



Universitatea Națională de Știință și Tehnologie Politehnica București  
**FACULTATEA DE INGINERIE ELECTRICA**



## **TEZĂ DE DOCTORAT**

**- REZUMAT -**

**CONTRIBUȚII PRIVIND SISTEMUL DE MANAGEMENT AL  
BATERIILOR UTILIZATE ÎN TRANSFERUL WIRELESS AL  
ENERGIEI ELECTROMAGNETICE LA AUTOVEHICULELE  
ELECTRICE**

**CONTRIBUTIONS ON BATTERY MANAGEMENT SYSTEM  
USED IN THE WIRELESS TRANSFER OF  
ELECTROMAGNETIC ENERGY IN ELECTRIC VEHICLES**

**Conducător științific:  
Prof.dr.ing. Mihai IORDACHE**

**Doctorand:  
ing. Horațiu POPESCU**

## Listă abrevieri

WPT – Wireless Power Transfer  
VE / EV – Vehicul Electric / Electrical Vehicle  
SMB / BMS – Sistem de Management al Bateriei / Battery Management System  
VH / HV – Vehicul Hibrid / Hybrid Vehicle  
IEEE - Institutul de Inginerie Electrică și Electronică  
WiTricity – Wireless Electricity  
IPT – Inductive Power Transfer  
IRPT – Inductive Resonant Power Transfer  
CWPT – Capacitor Wireless Power Transfer  
IGU / GUI – Interfață Grafică cu Utilizatorul / Graphical User Interface  
CC / DC – Curent Continuu / Direct Current  
CI / IC – Combustie Internă / Internal Combustion  
CA / AC – Curent Alternativ / Alternative Current  
AMDE – Analiza Modurilor de Defectare și a Efectelor  
FMEA – Failure Mode and Effects Analysis  
PAC / CAD – Proiectare Asistată de Calculator / Computer Aided Design  
 $L_{p,s}$  – autoinductanță primar / secundar  
 $C_{p,s}$  – autocapacitate primar / secundar  
k – Coeficient de cuplare  
Q – Factor de calitate  
NiCd – Nichel Cadmiu  
NiMH – Nichel Metal Hidrid  
Li-Ion – Litiu Ioni  
LiS – Litiu Sulf  
RSA / SAR – Raport Specific de Absorbție / Specific Absorptions Rate  
SW<sub>n</sub> – Switch / Comutator n  
ICR - Lithium Cobalt Oxide cylindrical cell  
AIAG - Automotive Industry Action Group  
VDA - Verband der Automobilindustrie  
ISO - International Organization for Standardization  
IEC - International Electrotechnical Commission  
ANIS - Automotive Nivel de Integritate a Siguranței  
ASIL - Automotive Safety Integrity Level  
OS / SG – Obiectiv de Siguranță / Safety Goal  
QM – Quality Management  
FTA – Fault Tree Analysis  
IPR / RPN – Indice de Prioritate al Riscului / Risk Priority Number  
APE / EDA – Automatizarea Proiectării Electronice / Electronic Design Automation  
PEAC / CAD – Proiectare Electronică Asistată de Calculator / Electronic Computer Aided Design  
FPGA – Field Programmable Gate Arrays  
FAC / CAM – Fabricare Asistată de Calculator / Computer Aided Manufacturing  
APIS IQ-RM - Automation Process Innovation Software Integrated Quality Risk Management  
CC / CC – Caracteristică Critică / Critical Characteristic  
IDE – Integrated Development Environment

## CUPRINS

CAPITOLUL 1 .....	3
INTRODUCERE .....	3
1.1. STAREA CURENTĂ A INDUSTRIEI AUTO MONDIALE.....	3
1.2. MOTIVAȚIA ALEGERII TEMEI DE CERCETARE.....	4
1.3. OBIECTIVELE CERCETĂRII .....	4
1.4. STRUCTURA ȘI CONȚINUTUL TEZEI.....	5
1.5. DISEMINAREA REZULTATELOR .....	5
CAPITOLUL 2 .....	7
TEHNOLOGIA TRANSFERULUI FĂRĂ FIR AL ENERGIEI ELECTROMAGNETICE LA AUTOMOBILELE ELECTRICE .....	7
2.1. SCURT ISTORIC AL TRANSFERULUI FĂRĂ FIR AL ENERGIEI .....	7
ELECTROMAGNETICE.....	7
2.2. STADIUL ACTUAL AL CUNOAȘTERII ÎN DOMENIU .....	8
2.3. METODE DE TRANSFER FĂRĂ FIR ALE ENERGIEI ELECTROMAGNETICE 8	
2.4. STANDARDE INTERNAȚIONALE DE SĂNĂTATE, SECURITATE ȘI IMPACT DE MEDIU .....	14
2.5. SISTEMUL DE MANAGEMENT AL BATERIEI.....	15
2.6. CALCUL CAPACITATE BATERIE VEHICUL ELECTRIC .....	17
2.7. ANALIZA TEHNICĂ DE RISC ÎN INDUSTRIA AUTO .....	18
2.8. PROIECTAREA ASISTATA DE CALCULATOR (PAC) ÎN SIMULAREA UNUI SISTEM DE MANAGEMENT AL BATERIEI (SMB) .....	21
CAPITOLUL 3 .....	25
CONTRIBUȚII PRIVIND REALIZAREA PROTOTIPULUI SMB.....	25
3.1 UTILIZAREA MODELULUI ÎN V DE DEZVOLTARE HARDWARE ȘI SOFTWARE .....	25
3.2 ANALIZA SPECIFICAȚIILOR SMB .....	25
3.3 ANALIZA TEHNICĂ DE RISC A FUNCȚIILOR SMB .....	26
3.4 PROIECTAREA ȘI SIMULAREA SMB PRIN APLICAȚII ASISTATE DE CALCULATOR.....	32
3.5 IMPLEMENTAREA SMB .....	46
3.6 VERIFICAREA ȘI TESTAREA SMB .....	53
CAPITOLUL 4 .....	60
CONCLUZII.....	60
4.1 SUMARUL CONTRIBUȚIILOR ORIGINALE DIN CADRUL TEZEI .....	60

4.2	DIRECȚII DE CERCETARE VIITOARE .....	62
	BIBLIOGRAFIE.....	64
	ANEXĂ.....	64

# CAPITOLUL 1

## INTRODUCERE

Scopul acestei lucrări este de a examina și analiza transferul fără fir al energiei electrice în contextul vehiculelor electrice. Lucrarea se concentrează pe identificarea principalelor avantaje și provocări asociate cu această tehnologie, evaluarea eficienței sistemelor de transfer fără fir, precum și impactul lor asupra infrastructurii și utilizatorilor vehiculelor electrice și mai ales pe Sistemul de Management al Bateriei (SMB/BMS) care a devenit esențial pentru a optimiza performanța, fiabilitatea și durabilitatea bateriilor în vehiculele electrice.

Pe parcursul lucrării, se vor explora principalele componente ale sistemelor de transfer fără fir, precum bobinele de inducție, electronica de control și sistemele de gestionare a puterii. Se vor analiza, de asemenea, metodele de încărcare wireless existente, precum încărcarea prin rezonanță magnetică și încărcarea prin inducție electromagnetică, evaluându-le în termeni de eficiență, compatibilitate și fezabilitate tehnică. Teza se concentrează pe analiza și dezvoltarea unui sistem de management al bateriei electrice pentru vehiculele electrice, scopul principal al acestui sistem este de a monitoriza și controla parametrii-cheie ai bateriilor, precum tensiunea, curentul, temperatura și starea de încărcare, pentru a maximiza eficiența și durata de viață a acestora.

Sper ca această lucrare va fi de interes și va aduce contribuții semnificative în domeniul sistemelor de management ale bateriilor pentru vehiculele electrice. Prin investigarea și analiza detaliată a acestor sisteme, îmi propun stimularea și dezvoltarea de soluții inovatoare și eficiente pentru gestionarea bateriilor în vehiculele electrice, contribuind astfel la dezvoltarea unei mobilități mai sustenabile și mai ecologice.

### 1.1. STAREA CURENTĂ A INDUSTRIEI AUTO MONDIALE

Industria auto este un motor cheie al economiei mondiale și reprezintă un sector major de producție, angajare și inovație. Sustenabilitatea și impactul asupra mediului prin reducerea emisiilor de carbon rămân priorități esențiale. Industria auto se angajează în dezvoltarea de tehnologii alternative, cum ar fi vehiculele cu hidrogen și combustibili regenerabili, precum și în implementarea de practici sustenabile în procesele de producție [1].

Tendențele actuale de dezvoltare ale industriei sunt:

- **Tranziția către mobilitatea electrică;**
- **Autonomia și tehnologia de conducere autonomă;**
- **Digitalizare și personalizare.**

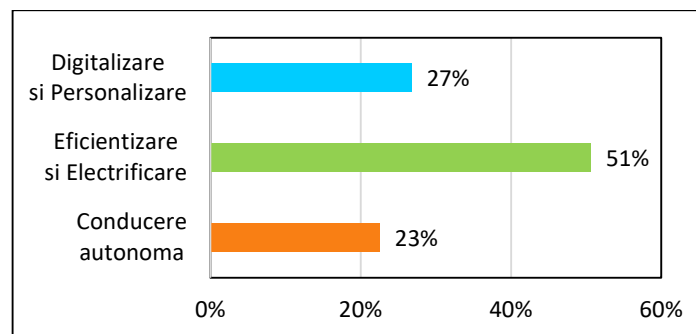


Fig. 1.1. Distribuția inițiativelor în relație cu tendințelor pieței auto [1]

În ceea ce privește bateriile electrice, cercetările actuale se îndreaptă către creșterea densităților energetice (160 Wh/kg) cât și investigărilor diverselor chimii bazate pe Li în vederea susținerii cerințelor pieței în ceea ce privește capacitatea bateriilor electrice. Combinația LiSi sau Li-aer (oxigen) au unele dintre cele mai mari densități de energie, cu un factor de multiplicare de aproximativ 10 ori mai mare față de bateria pe Li cu anod de grafit, avantajul de cost fiind net în favoarea siliciului.

În concluzie, industria auto se află într-o perioadă de transformare semnificativă. Provocările și oportunitățile actuale și viitoare determină o schimbare rapidă și adaptare în domeniu. Producerea auto își îndreaptă atenția către vehiculele electrice, tehnologii avansate și servicii de mobilitate inovatoare, în timp ce se confruntă cu provocări legate de infrastructură, reglementare și securitate. Prin abordarea acestor provocări și orientându-se către viitor, industria auto are potențialul de a crea soluții durabile, eficiente și sigure pentru transportul public și personal. Prin colaborare, inovație și adaptabilitate, industria auto poate contribui la dezvoltarea unei mobilități mai ecologice și la îmbunătățirea calității vieții pentru oameni din întreaga lume.

## **1.2. MOTIVAȚIA ALEGERII TEMEI DE CERCETARE**

Alegerea temei de transfer fără fir al energiei la mașinile bazate pe propulsie electrică și managementul bateriei electrice este determinată de importanța crescută a mobilității sustenabile și a dezvoltării vehiculelor electrice din ultimele decenii. Această temă abordează două aspecte cruciale ale evoluției industriei auto: încărcarea eficientă și convenabilă a vehiculelor electrice și optimizarea performanței și duratei de viață a bateriilor. În acest capitol, vom explora motivațiile care stau la baza alegerii acestei teme și importanța lor în contextul actual:

- Mobilitate sustenabilă și reducerea emisiilor de carbon;
- Autonomia îmbunătățită a vehiculelor electrice;
- Eficiența și comoditatea încărcării;
- Optimizarea performanței și duratei de viață a bateriilor;
- Inovația și cercetarea în domeniul transferului fără fir și managementului bateriilor.

În concluzie, alegerea temei transferului fără fir al energiei la mașini și managementului bateriilor electrice este motivată de nevoia de a dezvolta soluții durabile și eficiente pentru mobilitatea viitorului. Într-o lume în care sustenabilitatea și eficiența energetică devin priorități tot mai mari, transferul fără fir și managementul bateriilor reprezintă direcții cheie pentru a răspunde acestor provocări. Prin cercetare, inovație și colaborare, putem contribui la dezvoltarea unei infrastructuri de încărcare wireless eficiente și a sistemelor de management avansate, consolidând astfel evoluția vehiculelor electrice și facilitând tranziția spre mobilitatea durabilă.

## **1.3. OBIECTIVELE CERCETĂRII**

Managementul bateriilor electrice la mașini reprezintă un aspect esențial în dezvoltarea vehiculelor electrice și în asigurarea performanței, fiabilității și durabilității acestora. Cercetarea în acest domeniu are ca obiectiv îmbunătățirea performanței bateriilor, prelungirea duratei lor de viață, optimizarea utilizării energiei și asigurarea unei experiențe sigure și eficiente pentru utilizatorii vehiculelor electrice.

Dezvoltarea software-ului de control al managementului bateriilor electrice la mașini reprezintă un obiectiv esențial în evoluția vehiculelor electrice. Acest domeniu de cercetare se

concentrează pe dezvoltarea algoritmilor și a sistemelor de control care să optimizeze performanța, durabilitatea și eficiența bateriilor, asigurând astfel o experiență optimă și sigură pentru utilizatorii vehiculelor electrice. În această teză, vom explora obiectivul-cheie al cercetării în dezvoltarea software-ului de control al managementului bateriilor electrice și importanța sa în contextul dezvoltării vehiculelor electrice. Prin intermediul algoritmilor avansați și a sistemelor de control sofisticate, cercetarea urmărește îmbunătățirea eficienței și a capacității de stocare a energiei bateriilor, permițând astfel creșterea autonomiei vehiculelor electrice. Prin optimizarea gestionării energiei și a caracteristicilor de încărcare și descărcare, se poate maximiza performanța bateriilor și se poate asigura o experiență de utilizare superioară pentru conducătorii de mașini electrice.

Obiectivele specifice prezentei teze, ce susțin obiectivele generale enumerate mai sus, sunt următoarele:

- analiza, modelarea și simularea în aplicația de simulare *SimulIDE* a sistemului de management al bateriei folosind controlerul Arduino Uno;
- elaborarea și dezvoltarea prototipului sistemului de management al bateriei în jurul controlerului Arduino Uno;
- elaborarea programului de control în limbajul C al sistemului de management al bateriei
- integrarea și testarea prototipului sistemului de management al bateriei;

În concluzie, dezvoltarea software-ului de control al managementului bateriilor electrice reprezintă un obiectiv crucial în evoluția vehiculelor electrice. Prin optimizarea performanței și autonomiei bateriilor, prelungirea duratei lor de viață, asigurarea siguranței și integrarea adecvată în sistemul vehiculului, cercetarea în acest domeniu contribuie la dezvoltarea unei experiențe superioare pentru utilizatorii de mașini electrice.

## 1.4. STRUCTURA ȘI CONȚINUTUL TEZEI

Lucrarea este structurată pe 4 capitole după cum urmează:

În **Capitolul 1 - Introducere** sunt prezentate aspecte generale legate de formularea problemei în cadrul acestei cercetări. În cea de-a doua parte sunt prezentate obiectivele prezentei teze de doctorat.

**Capitolul 2** intitulat *Tehnologia transferului fără fir al energiei electromagnetice la automobilele electrice* este consacrat descrierii celor mai cunoscute și utilizate sisteme de transfer fără fir al energiei electromagnetice și sisteme de management al bateriilor electrice, fiind prezentat și un studiu de piață privind prezența acestor tehnologii la nivel mondial.

În **Capitolul 3** intitulat *Contribuții privind realizarea prototipului SMB* se prezintă o analiză detaliată a unui sistem de management al bateriei electrice din punct de vedere funcțional, de risc, simulare și implementare a unui prototip pe baza celulelor electrice de Li-Ion.

În **Capitolul 4 - Concluzii** sunt redată concluziile activității științifice desfășurate pe perioada elaborării tezei de doctorat cât și o serie de direcții de cercetare viitoare.

## 1.5. DISEMINAREA REZULTATELOR

Diseminarea rezultatelor s-a realizat prin publicarea unui număr de 9 articole științifice, din care 1 ca prim autor și în 8 ca și coautor, după cum urmează:

1. **Horatiu Samir Popescu**, Marius Florin Stăniloiu, Mihai Iordache, “A method for extracting the main parameters of an NPN bipolar transistor from datasheet for use in the SPICE model”, MPS 2023, DOI 10.1109/MPS58874.2023.10187554, Publisher: IEEE.

2. Marius Florin Stăniloiu, **Horatiu Samir Popescu**, Mihai Iordache, „*SPICE model of a "n" channel MOSFET transistor*”, MPS 2023, DOI 10.1109/MPS58874.2023.10187532, Publisher: IEEE.
3. Mihaela Grib, Mihai Iordache, Alexandru Radu Grib, **Horatiu Popescu**, Ovidiu Laudatu, Marius Stăniloiu, „*The Use of Thévenin, Norton and Hybrid Equivalent Circuits in The Analysis and Polarization of Nonlinear Analog Circuits*”, 2022 International Conference and Exposition on Electrical And Power Engineering (EPE), DOI 10.1109/EPE56121.2022.9959871, Number: **WOS:000709089900001**, Publisher: IEEE.
4. Marius-Florin Stăniloiu, **Horatiu-Samir Popescu**, Georgiana Rezmeriță, Ionela Vlad, Mihai Iordache, „*SPICE model of a real Zener diode tested at room temperature*”, 2022 International Conference and Exposition on Electrical And Power Engineering (EPE), DOI 10.1109/EPE56121.2022.9959813, Publisher: IEEE.
5. Mihai Iordache, **Horatiu Samir Popescu**, Ionela Vlad, Marius Florin Staniloiu, „*ACAP - Analog Circuit Analysis Program*”, 2021 12th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE), DOI 10.1109/ATEE52255.2021.9425307, Accession Number: **WOS:000676164800143**, Publisher: IEEE.
6. Victor Bucata, Mihai Iordache, Ionela Vlad, Alina Orosanu, **Horatiu Samir Popescu**, Marius Florin Staniloiu, „*Thévenin Equivalent Circuits for Magnetisc Coupling Resonators (Series–Series, Series– Parallel) in Wireless Power Transfer Systems*”, 2021 International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE), DOI 10.1109/ICATE49685.2021.9464933, Number: **WOS:000709089900001**, Publisher: IEEE.
7. Victor Bucata, Mihai Iordache, Ionela Vlad, Alina Orosanu, **Horatiu Samir Popescu**, Marius Florin Staniloiu, „*Wireless Power Transfer Systems: Thévenin Equivalent Circuits for Parallel-Series and Parallel-Parallel Magnetic Resonator Configurations*”, 2021 International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE), DOI 10.1109/ICATE49685.2021.9464974, Accession Number: **WOS:000709089900011**, Publisher: IEEE.
8. Marius Florin Staniloiu, **Horatiu Samir Popescu**, Bogdan Ionut Glod, Mihai Iordache, „*SPICE model of a real capacitor : Capacitive feature analysis with voltage variation*”, 2020 International Conference and Exposition on Electrical And Power Engineering (EPE), DOI 10.1109/EPE50722.2020.9305554, Publisher: IEEE.
9. Marius Florin Staniloiu, **Horatiu Samir Popescu**, Bogdan Ionut Glod, Mihai Iordache, „*SPICE Model of a Real Coil Inductance feature analysis with current variation*”, 2020 International Conference and Exposition on Electrical And Power Engineering (EPE), DOI 10.1109/EPE50722.2020.9305677, Publisher: IEEE.



## CAPITOLUL 2

### TEHNOLOGIA TRANSFERULUI FĂRĂ FIR AL ENERGIEI ELECTROMAGNETICE LA AUTOMOBILELE ELECTRICE

Tehnologia transferului fără fir al energiei electromagnetice la automobilele electrice reprezintă o inovație semnificativă în domeniul mobilității electrice. Această tehnologie oferă o modalitate convenabilă și eficientă de a încărca vehiculele electrice, eliminând nevoia de conectare fizică prin cabluri și prize.

Transferul fără fir al energiei se bazează pe legea inducției electromagnetice. Un sistem de transfer constă în două componente principale: o stație de încărcare sau emițător și un receptor montat pe vehiculul electric. Emițătorul generează un câmp electromagnetic oscilant de înaltă frecvență, iar receptorul, amplasat sub vehicul, captează energia electromagnetică și o convertește în energie electrică pentru încărcarea bateriei.

În concluzie, tehnologia transferului fără fir al energiei electromagnetice reprezintă o direcție promițătoare în domeniul mobilității electrice. Aceasta oferă comoditate, fiabilitate și flexibilitate în încărcarea vehiculelor electrice, eliminând necesitatea conectării fizice. Cu continuarea cercetărilor și dezvoltării tehnologice, această tehnologie poate deveni o soluție obișnuită și accesibilă pentru încărcarea vehiculelor electrice în viitorul mobilității durabile.

#### 2.1. SCURT ISTORIC AL TRANSFERULUI FĂRĂ FIR AL ENERGIEI ELECTROMAGNETICE

Tehnologia transferului fără fir al energiei electromagnetice la automobilele electrice reprezintă rezultatul unui proces evolutiv care a început cu mult timp în urmă. Istoria acestei tehnologii se întinde pe mai multe decenii și a parcurs mai multe etape cheie în dezvoltarea sa. Figura 2.1 prezintă cronologia dezvoltării sistemelor de transfer wireless al energiei electromagnetice.

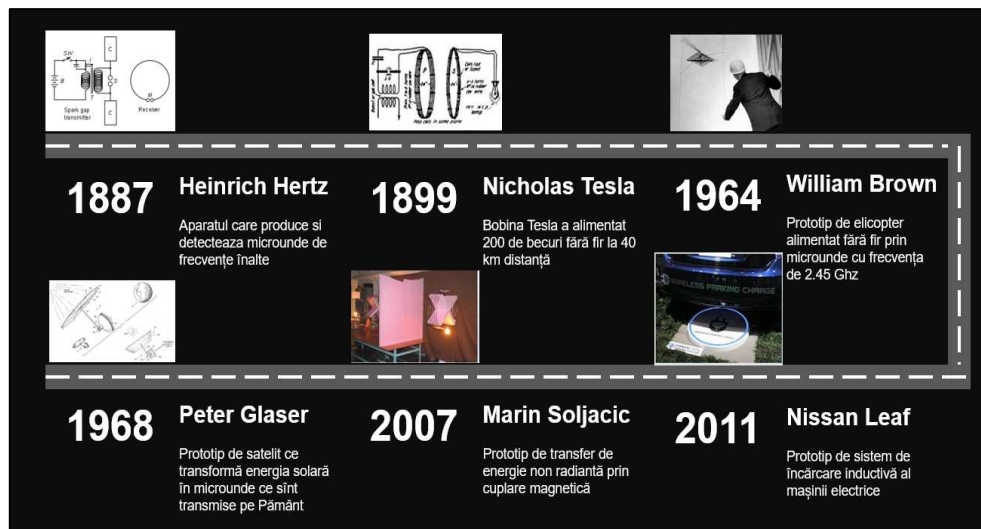


Fig. 2.1. Cronologia dezvoltării sistemelor de transfer fără fir al energiei electromagnetice [3]

## 2.2. STADIUL ACTUAL AL CUNOAȘTERII ÎN DOMENIU

Transferul fără fir a energiei electromagnetice, denumit și transfer de putere fără contact, este un tip de transfer al energiei fără contact direct (fire conductoare), prin diverse tehnologii de transfer. Există mai multe metode de transfer fără fir al energiei electromagnetice, câteva dintre cele mai utilizate sunt enumerate mai jos [3]:

- Inducția electromagnetică;
- Rezonanță electromagnetică;
- Microunde;
- Laser.

În figura 2.2 se regăsește o clasificare a diverselor tipuri de transfer fără fir a energiei electrice:

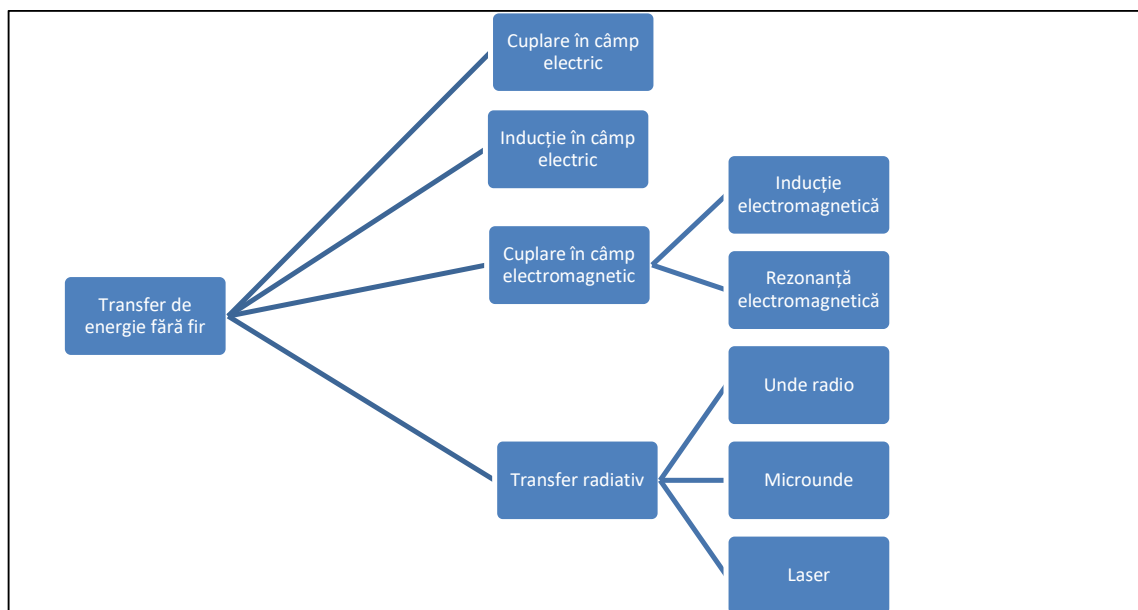
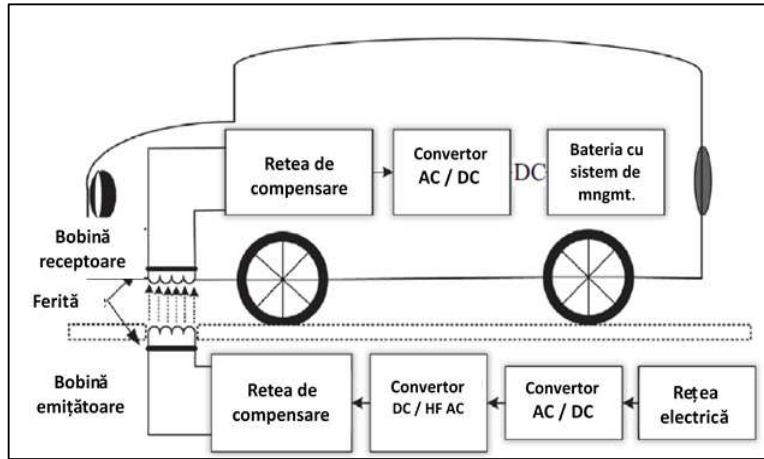


Fig. 2.2. Metode de transfer ale energiei electromagnetice fără fir [4]

## 2.3. METODE DE TRANSFER FĂRĂ FIR ALE ENERGIEI ELECTROMAGNETICE

Diagrama bloc de bază a unui sistem de transfer fără fir al energiei pentru aplicația statică a încărcării vehiculelor electrice sau hibride este ilustrată în figura 2.2. Pentru transferul de energie din bobina emițătoare spre bobina receptoare, energie alternativă din rețeaua electrică este transformată în energie alternativă de înaltă frecvență prin dispozitive convertitoare. Pentru îmbunătățirea eficienței sistemului, topologii de compensare serie/paralel sunt prezente atât în partea receptoare cât și emițătoare. Sunt incluse și sistemul de control al energiei, comunicațiile și managementul bateriei (SMB), pentru a evita orice probleme de sănătate și siguranță și pentru a asigura o funcționare stabilă. Plăcile de ferită magnetice sunt folosite atât pe partea emițătorului, cât și a receptorului, pentru a reduce orice fluxuri de scurgere magnetice dăunătoare și pentru a îmbunătăți distribuția fluxului magnetic.



**Fig. 2.2.** Arhitectura sistemului de transfer a energiei fără fir a automobilului electric [5]

Bobina receptoare montată sub autoturism împreună cu electronica de putere, convertește câmpul magnetic oscilant în curent alternativ de înaltă frecvență care la rândul său este convertit în curent electric continuu, care prin sistemul de management al bateriei este stocat în celulele electrice bazate în special pe chimie Li Ion (sulfat de fier sau oxid de mangan datorită stabilității și siguranței în funcționare).

### 2.3.1. Transferul capacitiv fără fir al energiei electrice (CWPT)

Transferul capacitiv fără fir al energiei electrice reprezintă o metodă inovatoare de transmitere a energiei electromagnetice între două sau mai multe dispozitive fără a fi necesară o conexiune fizică prin cabluri. Această tehnologie se bazează pe principiul capacității electrice, în care două obiecte cu sarcini electrice opuse pot transfera energie electrică unul către celălalt prin intermediul unui câmp electric creat între ele. Costul redus și simplitatea tehnologiei CWPT, folosind structuri geometrice și mecanice avansate ale condensatoarelor de cuplare, este foarte utilă pentru aplicații cu putere redusă, cum ar fi dispozitive electronice portabile, încărcătoare pentru telefoane celulare și mașini rotative.

Până în prezent, aplicarea CWPT pentru vehiculele electrice a fost limitată din cauza golurilor mari de aer și a cerințelor de nivel ridicat de putere. Un prototip staționar de laborator cu putere >1 kW a fost demonstrat cu o eficiență de aproximativ 83% de la sursa de curent continuu la bancul de baterii la frecvența de operare de 540 kHz.

Transferul capacitiv fără fir al energiei electrice reprezintă o direcție interesantă în domeniul încărcării fără fir și al transferului de energie. Cu dezvoltarea continuă a tehnologiilor și cercetărilor în acest domeniu, se pot depăși limitările actuale și se pot obține avantaje semnificative pentru încărcarea și utilizarea dispozitivelor.

### 2.3.2. Transferul inductiv fără fir al energiei electrice (IPT)

Transferul inductiv fără fir al energiei electrice reprezintă o metodă avansată și tot mai răspândită de transmitere a energiei electromagnetice între dispozitive fără a fi necesară o conexiune fizică prin cabluri. Această tehnologie se bazează pe principiul inducției electromagnetice, în care un câmp magnetic variabil este utilizat pentru a transfera energie electrică de la o sursă la un receptor.

IPT tradițional a fost dezvoltat de Nikola Tesla în 1914 pentru a transfera fără fir energie electromagnetică în vederea alimentării consumatorilor. Schema bloc de bază a IPT-ului tradițional este prezentat în figura 2.5 Se bazează pe mai multe structuri de încărcare a vehiculelor electrice. IPT a fost testat și utilizat într-o mare varietate de domenii de la miliwați la kilowați pentru a transfera putere fără contact de la sursă către receptor. În 1996, a fost lansat General Motors (GM) Chevrolet S10 EV, care a folosit un sistem ce furniza nivelul 2 de putere (6,6 kW) pentru încărcări lente și nivelul 3 (50 kW) pentru încărcări rapide. Un încărcător EV de 6,6 kW de nivel 2 a fost demonstrat de Universitatea din Georgia, care a putut încărca tensiunii de baterii de la 200 V la 400 V la o frecvență de operare de 77 kHz [5].

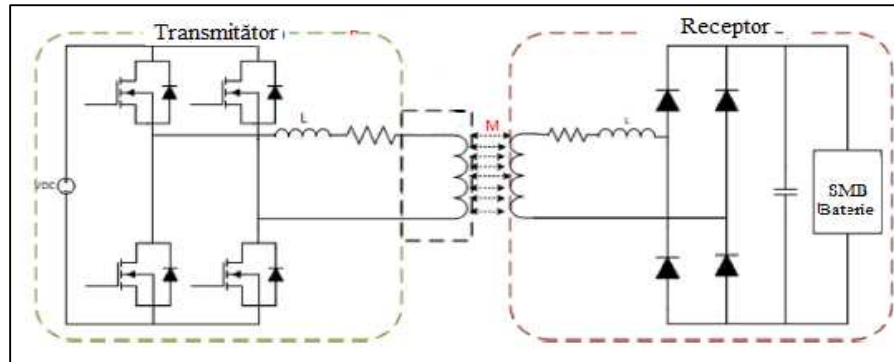


Fig. 2.5. Diagrama de transfer inductiv fără fir [5]

Transferul inductiv fără fir al energiei electrice reprezintă, o tehnologie în evoluție și cercetare continuă. Cu dezvoltarea continuă a tehnologiilor de bobine și a circuitelor de control, precum și cu îmbunătățirea eficienței și performanței transferului inductiv, această metodă devine tot mai promițătoare pentru încărcarea fără fir a dispozitivelor și a vehiculelor electrice.

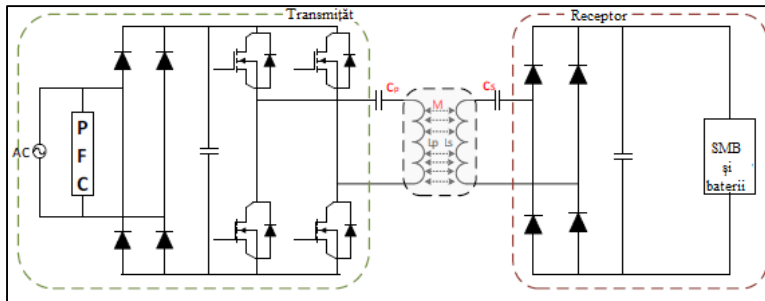
### 2.3.3. Transferul inductiv în rezonanță fără fir al energiei electrice (IRPT)

Transferul rezonant magnetic fără fir al energiei electrice reprezintă o metodă avansată și promițătoare de transmitere a energiei electromagnetice între dispozitive fără a fi necesară o conexiune fizică prin cabluri. Această tehnologie se bazează pe principiul rezonanței magnetice, în care două bobine rezonante se acordă la aceeași frecvență, creând un câmp magnetic puternic care permite transferul eficient al energiei.

Există câteva aspecte importante de luat în considerare în ceea ce privește transferul rezonant magnetic fără fir al energiei electrice:

- Bobine rezonante: transferul rezonant magnetic implică utilizarea a două sau mai multe bobine rezonante care sunt amplasate în sursa și receptorul de energie, figura 2.6. Aceste bobine sunt proiectate pentru a fi rezonante la aceeași frecvență, astfel încât să creeze un câmp magnetic puternic între ele;
- Rezonanță magnetică: atunci când bobinele rezonante sunt acordate la aceeași frecvență de rezonanță, transferul de energie devine maxim. Astfel, energia este transferată eficient între sursă și receptor prin intermediul câmpului magnetic rezultat din rezonanță;

- Circuitul de control: pentru a regla și controla transferul de energie, este necesar un circuit de control adecvat în ambele dispozitive. Acesta monitorizează și ajustează puterea și frecvența câmpului magnetic generat, asigurând un transfer sigur și eficient al energiei;



**Fig. 2.6.** Diagrama de transfer rezonant inductiv fără fir [5]

Formula matematică este descrisă în relația 2.1, unde  $f_{r(p,s)}$  este frecvența de rezonanță a bobinelor primare și secundare, iar  $L$  și  $C$  sunt valorile auto-inductanței și ale condensatorului de rezonanță ale bobinelor emițătorului și respectiv receptorului. Când frecvențele de rezonanță ale bobinelor primare și secundare sunt potrivite împreună, este posibil un transfer eficient de putere. Frecvența de funcționare variază de la zeci de kiloherți la câteva sute de kiloherți. Fluxul magnetic generat în acest interval de frecvență, fără miez magnetic, are un efect negativ semnificativ asupra inductanței reciproce și prin urmare a reducerii coeficientului de cuplare ( $k$ ). Frecvența de rezonanță a transferului rezonant inductiv fără fir (IRPT) are expresia:

$f_{r(p,s)} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{p,s}L_{p,s}}}$	(2.1)
--	-------

Valoarea coeficientului de cuplare  $k$  variază de la 0.2 la 0.3 datorită cerinței minime de înălțime liberă a vehiculelor electrice, care este de 150–300 mm. Ecuația 2.2 se poate aplica pentru calcularea coeficientului de cuplare,  $L_p$  și  $L_s$  sunt inductivitățile proprii ale bobinelor emițătorului și respectiv receptorului,  $L_m$  este inductanța mutuală dintre cele două bobine. Dacă bobinele primare și secundare sunt puternic cuplate, valoarea inductanței mutuale ar fi mai mare și invers conform ecuației (2.2). Coeficientul de cuplare al transferului rezonant inductiv fără fir IRPT are expresia:

$k = \frac{L_m}{\sqrt{L_p L_s}}$	(2.2)
----------------------------------	-------

Miezurile magnetice de ferită într-o varietate de structuri sunt utilizate pentru a îmbunătăți coeficientul de cuplare în proiectarea transformatorului fără fir, la frecvență înaltă, efectul de proximitate poate afecta eficiența transferului de putere. Pentru a evita astfel de probleme, în proiectare este luată în considerare în mod obișnuit sârmă subțire răsucită pe bază de sârmă izolată individual. Acest lucru poate reduce de asemenea rezistența parazitară și poate îmbunătăți factorul de calitate  $Q$  al bobinei. Factorul de calitate  $Q$  poate fi calculat

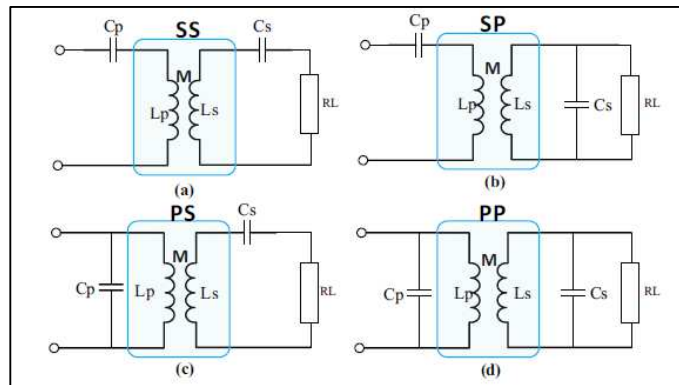
prin ecuația determinată de frecvența  $f$ , auto-inductanța  $L$  a bobinei primare sau secundare și rezistența  $R$  a bobinelor, conform formulei (2.3). Factorul de calitate al transferului rezonant inductiv fără fir IRPT are expresia:

$Q = \frac{\omega L_{p,s}}{R_{p,s}} = \frac{2\pi f L_{p,s}}{R_{p,s}}$	<b>(2.3)</b>
---	--------------

Transferul rezonant magnetic fără fir al energiei electrice reprezintă o tehnologie în evoluție și cercetare continuă. Cu dezvoltarea continuă a tehnologiilor de bobine rezonante și a circuitelor de control, precum și cu îmbunătățirea eficienței și performanței transferului rezonant magnetic, această metodă devine tot mai promițătoare pentru încărcarea fără fir a dispozitivelor și a vehiculelor electrice.

### 2.3.4. Rețele de compensare

Așa cum este prezentat în figura 2.7, condensatoarele de compensare sunt adăugate în combinații în serie și paralel pe ambele părți ale transmițătorului și receptorului în sistemele statice de încărcare fără fir pentru vehiculele electrice pentru a crea inducția la rezonanță. Patru tipuri de topologii de rețea de compensare există și anume serie-serie (SS), serie-paralelă (SP), paralel-serie (PS) și paralel-paralel (PP), fiind prezentate în figura 2.7 [5].



**Fig. 2.7.** Topologii de compensare: (a) Serie-Serie; (b) Serie-Paralel; (c) Paralel-Serie; (d) Paralel-Paralel [5]

Compensarea sursei este necesară pentru a elimina diferența de fază între curent și tensiune și pentru a minimiza puterea reactivă în sursă. Instalarea unei rețele secundare de compensare maximizează transferul puterii sarcinii și eficiența. Topologia compensată Serie-Serie este cea mai potrivită pentru aplicațiile de vehicule electrice deoarece oferă două avantaje semnificative. Primul avantaj este că valoarea condensatorului din partea sursei și receptorului este independentă de condițiile de sarcină și inductanța mutuală. Al doilea avantaj este că astfel de sisteme mențin un factor de putere unitar prin atragerea de putere activă la frecvența de rezonanță, deoarece impedanța reflectată de la bobina receptorului nu adaugă o parte imaginară în bobina emițătorului. Acest sistem bazat pe topologie Serie-Serie poate oferi o opțiune mai bună de încărcare a bateriei, deoarece poate oferi o tensiune și un curent constant pentru baterie.

### **2.3.5. Topologii ale transformatoarelor în transferul fără fir al energiei**

În sistemele de încărcare fără fir, elementele emițătorului și receptorului sunt realizate din mai multe straturi de componente pentru a obține o eficiență maximă a transferului de putere și a reduce interferența electromagnetică cu rentabilitate. Există trei componente principale ale elementelor de transformare fără fir: bobină, material de ecranare (ferită și placă de aluminiu) și straturi de protecție și de susținere.

În sistemele de încărcare fără fir a vehiculelor electrice, este utilizat un concept de transformator cu miez de aer pentru a transfera de la câțiva wați la kilowați de putere de la sursă la receptor. Există o varietate de forme de bobine plane cum ar fi aranjamente circulare, dreptunghiulare și hibride au fost utilizate în proiectarea transformatoarelor fără fir pentru a îmbunătăți performanța și pentru a rezolva problemele de nealiniere între plăcuțele emițătorului și receptorului [5].

### **2.3.6. Sisteme statice de încărcare ale vehiculelor prin transfer fără fir al energiei**

Sistemele de încărcare fără fir oferă un mediu ușor de utilizat pentru consumatori și evită problemele legate de siguranță cu încărcătoarele clasice cu fir. Sistemul static de încărcare poate înlocui cu ușurință încărcătorul cu priză cu o participare minimă a șoferului și rezolvă problemele de siguranță asociate, cum ar fi pericolele de șoc electric. Bobina primară este instalată dedesubt, în drum sau în sol, cu convertoare și circuite suplimentare de putere. Bobina receptorului sau bobina secundară, este instalată în mod normal sub vehiculele electrice în față, în spate sau în centru.

Energia recepționată este convertită de la forma alternativă la cea continuă utilizând convertorul de putere și este transferată în bancul de baterii. Timpul de încărcare depinde de nivelul de putere al sursei, de dimensiunile suportului de încărcare și de distanța dintre cele două înfășurări. Distanța medie între sol și platforma vehiculelor utilitare ușoare este de aproximativ 150 mm – 300 mm. Sistemul poate fi instalat în zonele de parcuri, case, clădiri comerciale, centre comerciale.

Prețurile acestora variază între aproximativ 2000 – 10.000 USD pentru nivelurile de putere de încărcare 3.3 kW – 7.2 kW. Nivelurile lor de putere îndeplinesc standardele internaționale SAE (J2954), clasa de putere încadrându-se într-unul din nivelurile 1 (3.3 kW) și 2 (7.7 kW), cu intervalul de frecvență 81.9 kHz – 90 kHz. În prezent, organizația SAE lucrează la standarde, care sunt legate de alinierea greșită admisă și locația de instalare a bobinei receptoare în mașină [5].

### **2.3.7. Sisteme dinamice de încărcare ale vehiculelor prin transfer fără fir al energiei**

Vehiculele electrice suferă din cauza a două obstacole majore - costul și autonomia. Pentru a crește autonomia, vehiculele electrice trebuie să se încarce fie destul de frecvent, fie să instaleze un acumulator mai mare, ceea ce duce la probleme suplimentare, cum ar fi costul și greutatea. În plus, nu este economic să se încarce frecvent un vehicul electric.

Sistemul dinamic de încărcare fără fir pentru vehicule electrice este o tehnologie promițătoare, care poate reduce problemele asociate cu autonomia și costul vehiculelor electrice. Este o soluție eficientă pentru automatizarea viitoare vehiculelor electrice, o

încărcare direct în mișcare. Bobinele primare sunt încorporate în betonul drumului la o anumită distanță, cu sursă de curent alternativ de înaltă tensiune, de înaltă frecvență și circuite de compensare la rețeaua publică electrică. La fel ca la aplicația statică, bobina secundară este montată sub vehicule iar când vehiculul trece peste transmiiător, acesta primește un câmp magnetic variabil printr-o bobină receptoare și îl convertește în curent continuu pentru a încărca acumulatorul, utilizând convertorul de putere și sistemul de management al bateriei.

Facilitățile de încărcare frecventă în mișcare ale vehiculelor electrice reduc necesarul total de capacitate al baterie cu aproximativ 20% în comparație cu vehiculele electrice actuale. Pentru sistemele dinamice, elementele emițătorului și sistemul de alimentare trebuie instalate în locații specifice și rute predefinite.

### **2.3.8. Interconectarea vehiculelor electrice la rețeaua electrică publică**

Cererea expresă de vehicule electrice a dus la nevoia de încărcare rapidă și metode eficiente de transfer de energie. Odată cu creșterea numărului de vehicule electrice, cerințele de energie din rețelele de distribuție au crescut rapid și au creat un impact negativ asupra acestora. Pentru a compensa cerințele suplimentare de energie, sursele de energie regenerabilă au fost introduse în rețeaua electrică, dar au facilitati de suport limitate.

Conceptul de vehicul interconectat la rețeaua de energie electrică poate oferi o soluție alături de planificarea avansată pentru încărcare și descărcare în rețeaua de distribuție, permițând vehiculelor electrice să devină o parte activă a rețelei electrice și să participe la schimbul de energie între vehicule și sistemul electric. Astfel vom avea o încărcare bidirecțională, tehnologia permite vehiculelor electrice să își încarce bateria din rețeaua electrică, dar în același timp, le permite să returneze energia stocată în baterie înapoi în rețeaua electrică, atunci când este necesar.

Bateriile vehiculelor electrice pot fi considerate ca niște sisteme de stocare a energiei care pot fi utilizate pentru a echilibra cererea și oferta de energie pe rețea. Astfel, vehiculele electrice conectate la rețea pot contribui la gestionarea fluctuațiilor de consum sau la asigurarea energiei în perioadele de vârf de consum. Se oferă flexibilitate operatorilor de rețea, permițându-le să adreseze provocările legate de gestionarea energiei regenerabile variabile, cum ar fi energia solară și eoliană, care depind de condițiile meteorologice.

## **2.4. STANDARDE INTERNAȚIONALE DE SĂNĂTATE, SECURITATE ȘI IMPACT DE MEDIU**

Sistemele de transfer fără fir oferă avantaje importante față de încărcarea prin cablu dar cu toate acestea, vine și cu trei probleme potențiale majore de sănătate și siguranță – pericole electrice, magnetice și de incendiu. Aceste sisteme funcționează la niveluri ridicate de curent și tensiune, lucru care poate crea risc de șoc de electricitate din cauza defecțiunii sau a deteriorării accidentale a dispozitivului, rezultată din condițiile de mediu (cald sau rece) și daune fizice. În plus, sistemele de transfer de nivel 1 (3.7 kW) și nivelul 2 (7.7 kW) sunt instalate în mare parte în case, cămine și zone de parcare publice, în care plăcile de încărcare ale transmiiătorului sunt instalate în sol sau beton. Fluxurile magnetice generate la niveluri mari de putere pot depăși standardele și reglementările minime stabilite de agențiile de standardizare și pot fi dăunătoare pentru comunitatea generală. Pentru a proteja flora și fauna din jur, compatibilitatea electromagnetică (EMC) și interferența electromagnetică (EMI) trebuie verificate pentru nu a pune probleme de siguranță a tehnologiei.



## **2.5. SISTEMUL DE MANAGEMENT AL BATERIEI**

În ultimele decenii, mașinile electrice au câștigat popularitate și au devenit o alternativă tot mai viabilă la vehiculele cu motoare tradiționale cu ardere internă. Această tranziție către mobilitatea electrică are la bază dezvoltarea și implementarea unui element esențial: bateria. O baterie eficientă, sigură și durabilă este vitală pentru performanța și succesul mașinilor electrice. Acest obiectiv este atins și menținut prin intermediul Sistemului de Management al Bateriei (SMB). Acesta reprezintă o componentă critică și complexă a unui vehicul electric și are rolul de a monitoriza, controla și proteja bateria vehiculului. Acest sistem avansat de tehnologie aduce numeroase beneficii și soluții pentru a gestiona cu succes bateria vehiculului, învățând din parametri de funcționare, obiceiurile de conducere și condițiile de mediu, pentru a asigura cea mai bună performanță și siguranță.

Unul dintre principalele roluri ale SMB este monitorizarea individuală a celulelor bateriei. De obicei, o baterie pentru un vehicul electric este alcătuită dintr-o serie de celule, iar fiecare dintre ele poate avea caracteristici diferite. SMB-ul analizează tensiunea, temperatura și alți parametri critici în timp real pentru fiecare celulă, asigurându-se că funcționează în parametri optimi. Un alt aspect important al SMB-ului este menținerea unei balanțe adecvate a celulelor. De-a lungul utilizării și în urma ciclurilor de încărcare și descărcare, celulele pot avea comportamente diferite, ducând la dezechilibre. SMB-ul gestionează cu precizie încărcarea și descărcarea individuală a celulelor, evitând astfel situațiile în care unele dintre ele sunt supraîncărcate sau subîncărcate, lucru care ar putea afecta performanța bateriei și durabilitatea în timp.

În concluzie, sistemul de management al bateriei (SMB) la mașinile electrice reprezintă o componentă esențială care asigură performanța, siguranța și durabilitatea bateriilor și, implicit, a vehiculelor electrice. Acest sistem avansat monitorizează și controlează individual celulele bateriei, menține o balanță adecvată între ele, protejează împotriva situațiilor critice și optimizează eficiența și performanța vehiculului electric. O implementare eficientă și continuă dezvoltare a BMS-ului vor juca un rol crucial în accelerarea tranziției către mobilitatea electrică, contribuind la reducerea emisiilor de carbon și la crearea unui viitor mai sustenabil pentru transportul rutier.

### **2.5.1. Funcțiile și specificațiile unui Sistem de Management al Bateriei**

Bateria este un dispozitiv electrochimic ce convertește energia chimică în energie electrică. În sistemele reîncărcabile din industria auto bateria este reîncărcată printr-un proces invers generării de energie. Unitatea de bază a unei baterii este celula electrică, o baterie fiind compusă din mai multe celule electrice conectate în serie/paralel pentru a se obține tensiunea sau capacitatea dorită [49].

Componentele majore ale unei celule electrice sunt:

1. Anodul sau electrodul negativ, generatorul de electroni în circuitul extern al bateriei ce este oxidat în timpul reacției electrochimice;
2. Catodul sau electrodul pozitiv ce acceptă electronii din circuitul extern și este redus în timpul reacției electrochimice;
3. Electrolitul sau conductorul ionic ce permite transferul de sarcină ca ioni în interiorul celulei între anod și catod, poate fi de natură lichidă cu diverși solvenți sau de natură solidă.

Într-un automobil electric există două sisteme electrice de baterii, fiecare cu funcții diferite: bateria de 12 V în general construite pe chimie Pb/Acid cu scopul de a oferi curenți mari pe perioade de timp scurte necesare pornirii motorului și a consumatorilor pe 12 V și

baterii de 48 V – 800 V ce trebuie să asigure energia necesară tracțiunii autovehiculului. Pentru îndeplinirea cerințelor de durată de viață, capacitate și numărul mare de cicluri de încărcare/descărcare, bateriile trebuie asistate de sisteme de management ale încărcării/descărcării (SMB) pentru a garanta funcționarea în zona sigură de operare și astfel prelungindu-se durata de viață a bateriilor. Costurile SMB reprezintă o fracțiune din costurile bateriilor electrice cu un impact major în eficiența sistemului electric. Arhitectura SMB poate fi împărțită în două componente majore: echipamentele hardware (fizice) și aplicațiile de monitorizare software ce controlează activ parametrii bateriei.

Majoritatea sistemelor BMS comerciale folosesc ca metodă de măsurare a parametrilor bateriei tehnica de măsurare a sarcinilor electrice (coulombilor) și măsurare a variațiilor tensiunilor. Funcțiile cheie ale unui sistem de management al bateriei la mașinile electrice se pot clasifica după cum urmează:

1. Monitorizarea individuală a celulelor bateriei;
2. Balanța de încărcare și descărcare;
3. Protecția împotriva suprasarcinii și supradescărcării;
4. Protecția termică;
5. Gestionarea eficientă a performanței;
6. Diagnosticare și depanare;
7. Comunicare și conectivitate.

### **2.5.2. Modele de arhitectură de sistem al sistemelor de management al bateriei (SMB / BMS)**

Există mai multe modele arhitecturale ale sistemului de management al bateriei (SMB) la mașinile electrice, fiecare cu propriile sale caracteristici și beneficii. Iată câteva dintre cele mai comune modele: Arhitectura Centralizată, Arhitectura Distribuită, Arhitectura Hibridă. Fiecare model arhitectural are propriile sale avantaje și dezavantaje și poate fi ales în funcție de cerințele specifice ale vehiculului electric, precum și de prioritățile producătorului. Indiferent de arhitectura aleasă, sistemul de management al bateriei joacă un rol crucial în asigurarea performanței optime, siguranței și durabilității bateriilor, contribuind astfel la succesul mașinilor electrice și la promovarea mobilității sustenabile [51].

### **2.5.3. Modele de arhitectură hardware al sistemelor de management al bateriei (SMB / BMS)**

Modelele de arhitectură hardware pentru sistemele de management al bateriei (SMB) utilizate în vehiculele electrice (VE) sunt concepute pentru a gestiona și monitoriza eficient bateria vehiculului, asigurând o performanță optimă, siguranță și durabilitate. Iată câteva dintre cele mai comune modele de arhitectură hardware pentru SMB: Arhitectura Integrată, Arhitectura Separată, Arhitectura Distribuită Local.

### **2.5.4. Arhitectura de tip Stapân / Sclav (Master / Slave) a topologiei sistemului**

Datorită numărului mare de baterii din aplicațiile de propulsie a vehiculelor hibride sau electrice cu tensiuni înalte (48 V – 600 V), soluțiile de sistem centralizate sunt înlocuite în general de soluțiile de sistem distribuite de tip Stapân / Sclav (*Master-Slave*). Subsistemele de tip *slave* monitorizează în mod direct parametrii celulelor bateriilor pe care ii transmit modulului de tip *master* pentru procesarea lor și controlul funcțiilor sistemului prin algoritmi

implementați. Astfel, prin arhitectura modulară, sistemul de management al bateriei asigură o flexibilitate crescută în ceea ce privește controlul mai multor tipuri de pachete de baterii cu dimensiuni variabile. Scalabilitatea fiind o caracteristică de calitate cerută pentru astfel de aplicații, proiectarea distribuită este cea mai bună soluție asigurând simultan și o eficiență crescută a sistemului.

### **2.5.5. Modele de arhitectură software ale Sistemului de Management al Bateriei (SMB / BMS)**

Există mai multe modele de arhitectură software pentru sistemul de management al bateriei (SMB) utilizate în vehiculele electrice (VE), enumerăm cele mai comune concepte de organizare software pentru SMB: Arhitectura Monolită, Arhitectura Modulară, Arhitectura Distribuită Local, Arhitectura Distribuită în rețeaua Internet (cloud), Arhitectura de tip Sursă Deschisă.

### **2.5.6. Procesul de echilibrare a celulelor electrice ale bateriei**

Bateria este alcătuită dintr-un grup de celule electrice individuale, iar calitatea și performanța acestora depind în mare măsură de starea fiecărei celule. În acest context, sistemul de management al bateriei (SMB) are un rol crucial în monitorizarea și controlul celulelor, asigurând o funcționare sigură și eficientă a bateriei. Unul dintre aspectele-cheie ale SMB-ului este procesul de echilibrare a celulelor electrice ce reprezintă procesul de ajustare a încărcării sau descărcării fiecărei celule individuale dintr-o baterie, astfel încât să aibă aproximativ același nivel de energie stocată [52].

De-a lungul timpului, celulele pot avea comportamente diferite datorită variațiilor de fabricație, uzurii inegale sau influenței mediului de funcționare. Prin urmare, unele celule pot deveni supraîncărcate, în timp ce altele pot fi subîncărcate, ceea ce poate duce la dezechilibre și la scăderea performanței generale a bateriei. Monitorizarea individuală a celulelor presupune verificarea constantă a parametrilor tensiune, temperatura și curent. Această monitorizare individuală permite identificarea celulelor care prezintă diferențe semnificative în comparație cu restul, indicând un dezechilibru. Odată detectate aceste diferențe, SMB-ul poate iniția procesul de echilibrare pentru a aduce celulele la niveluri apropiate de încărcare și descărcare. SMB-urile utilizează diferite metode pentru a echilibra celulele electrice, iar cele mai comune metode includ: echilibrare pasivă, echilibrare active, echilibrare hibridă. Echilibrarea celulelor electrice aduce numeroase beneficii în funcționarea bateriei și a vehiculului electric: prolongarea duratei de viață a bateriei, îmbunătățirea performanței, siguranță sporită, maximizarea autonomiei.

În concluzie, procesul de echilibrare a celulelor electrice în sistemul de management al bateriei (SMB) al vehiculelor electrice reprezintă un element cheie în asigurarea performanței optime și a durabilității bateriei. Prin monitorizarea individuală a celulelor și utilizarea metodelor adecvate de echilibrare, SMB-ul contribuie la maximizarea performanței și siguranței vehiculului, promovând astfel adoptarea și dezvoltarea mobilității electrice pentru un viitor mai sustenabil.

## **2.6. CALCUL CAPACITATE BATERIE VEHICUL ELECTRIC**

Capacitatea bateriei reprezintă cantitatea de energie electrică pe care o baterie o poate stoca și furniza pentru alimentarea motorului electric al vehiculului. Calculul capacității bateriei și alcătuirea ei din celule electrice sunt aspecte critice pentru asigurarea autonomiei,

performanței și durabilității mașinilor electrice. În acest capitol, vom explora procesul de calcul al capacității bateriei și structura celulelor electrice care o compun [53]. Capacitatea bateriei, adesea exprimată în kilowatt-ore (kWh) sau amperi-oră (Ah), este o măsură a cantității de energie electrică pe care o baterie o poate stoca și elibera. Aceasta determină autonomia vehiculului electric, adică distanța pe care vehiculul o poate parcurge cu o singură încărcare. Bateria vehiculului electric este alcătuită din mai multe celule electrice care funcționează împreună pentru a stoca și furniza energia electrică necesară vehiculului. Celulele electrice sunt unități individuale care pot fi combinate pentru a forma module și ulterior pachetul de baterii. Pentru o baterie de capacitate mai mare, putem combina celulele în serie și în paralel pentru a obține capacitatea totală dorită. În general, aceasta implică crearea de module de celule conectate în serie și apoi conectarea acestor module în paralel pentru a forma pachetul de baterii. Pentru a face acest calcul, avem nevoie de următoarele informații:

- Capacitatea unei celule individuale (exprimată în Ah);
- Tensiunea unei celule individuale (exprimată în V);
- Capacitatea totală dorită a bateriei (exprimată în Ah).

Pentru calculul numărului de celule necesare în serie se împarte tensiunea totală dorită la tensiunea unei celule individuale. Pentru calculul numărului de module necesare în paralel se împarte capacitatea totală dorită la capacitatea unui modul de celule care la rândul ei se calculează din numărul de celule înseriate înmulțit cu capacitatea unei celule.

## **2.7. ANALIZA TEHNICĂ DE RISC ÎN INDUSTRIA AUTO**

Industria auto este una dintre cele mai dinamice și complexe industrii din lume, iar dezvoltarea vehiculelor moderne implică integrarea unor tehnologii avansate, sisteme sofisticate și procese complexe de producție. Într-o astfel de industrie, siguranța, fiabilitatea și performanța vehiculelor sunt de o importanță crucială pentru satisfacerea cerințelor și așteptărilor consumatorilor, precum și pentru respectarea reglementărilor stricte din domeniu. Pentru a asigura aceste standarde înalte, industria auto utilizează frecvent o metodă de analiză tehnică a riscurilor cunoscută sub numele de Analiza Modurilor de Defectare și a Efectelor (AMDE / FMEA). Acest capitol va explora necesitatea analizei AMDE / FMEA în industria auto și beneficiile pe care le aduce această abordare în procesul de dezvoltare și producție a vehiculelor [54]. AMDE / FMEA este o metodă de analiză proactivă, utilizată pentru a identifica și evalua potențialele moduri de defectare, precum și pentru a dezvolta măsuri preventive și corective înainte ca aceste defecte și efectele lor să apară în practică. În industria auto, în care se produc mii de componente complexe și se assemblează într-un vehicul, există numeroase oportunități pentru apariția unor probleme sau defecte. Prin aplicarea analizei AMDE / FMEA, aceste potențiale deviații sunt identificate și gestionate, ceea ce ajută la evitarea accidentelor, îmbunătățirea calității produselor și protejarea reputației producătorilor auto.

### **2.7.1. Motivația analizei efectelor modurilor de defectare**

Unul dintre principalele motive pentru care industria auto aplică analiza AMDE / FMEA este de a asigura siguranța vehiculelor și a utilizatorilor acestora. Siguranța rutieră este o prioritate pentru toți producătorii auto, iar prin analiza AMDE / FMEA, pot fi identificate și corectate potențialele vulnerabilități sau eșecuri care pot duce la accidente grave. AMDE / FMEA contribuie la îmbunătățirea proiectării și fabricației componentelor

critice ale vehiculului, cum ar fi sistemul de frânare, airbagurile, sistemele de asistență a șoferului și multe altele.

În plus, analiza AMDE / FMEA este utilă și pentru optimizarea fiabilității vehiculelor. Într-o industrie competitivă, încrederea consumatorilor în calitatea și durabilitatea vehiculelor este esențială pentru succesul unui producător auto. Prin identificarea și eliminarea potențialelor defecte, AMDE / FMEA permite dezvoltarea de vehicule mai fiabile și cu costuri reduse de întreținere, ceea ce conduce la creșterea satisfacției clienților și la consolidarea brandului producătorului.

AMDE / FMEA permite identificarea potențialelor probleme de calitate și a factorilor care pot afecta calitatea componentelor auto. Prin aplicarea măsurilor preventive și corective, se poate îmbunătăți calitatea componentelor și sistemelor vehiculului, asigurându-se că produsele auto sunt livrate clienților cu niveluri înalte de fiabilitate și performanță. Calitatea, siguranța și fiabilitatea vehiculelor joacă un rol crucial în consolidarea reputației unui producător auto. AMDE / FMEA contribuie la dezvoltarea de vehicule mai fiabile și mai sigure, ceea ce poate conduce la creșterea încrederii clienților și la consolidarea brandului producătorului.

În concluzie, analiza tehnică a riscurilor AMDE / FMEA este o metodă esențială în industria auto pentru asigurarea siguranței, fiabilității și performanței vehiculelor. Prin identificarea și gestionarea potențialelor defecte, analiza AMDE / FMEA contribuie la creșterea calității produselor auto, la îmbunătățirea reputației producătorilor și la satisfacția clienților. Într-o industrie dinamică și competitivă, FMEA reprezintă un instrument esențial pentru asigurarea unui viitor mai sigur și mai sustenabil pentru industria auto [45].

### **2.7.2. Evaluarea modurilor de defectare și a efectelor la transferul energiei fără fir**

Folosirea Analizei Modurilor de Defectare și a Efectelor (AMDE / FMEA) în transmiterea fără fir a energiei electrice către vehiculele electrice (VE) reprezintă o abordare esențială pentru asigurarea siguranței, fiabilității și performanței acestui sistem de încărcare inovator. Transmiterea fără fir a energiei electrice la VE, cunoscută și sub denumirea de "încărcare wireless" sau "încărcare prin inducție," este o tehnologie emergentă care elimină necesitatea unor conexiuni fizice între mașină și sursa de alimentare. Aceasta implică utilizarea unui câmp electromagnetic pentru transferul de energie către bateria vehiculului, oferind astfel un mod mai comod și eficient de încărcare.

Prin aplicarea analizei AMDE / FMEA producătorul auto poate dezvolta un transfer fără fir cât și un sistem de management al bateriei mai sigur, mai eficient și mai fiabil pentru vehiculele electrice, contribuind astfel la maximizarea performanței bateriei, prelungirea duratei de viață a acesteia și îmbunătățirea satisfacției clienților.

### **2.7.3. Analiza AMDE / FMEA și siguranța în funcționare (SF / FS)**

Siguranța funcțională (SF/FS) reprezintă o componentă esențială în industria modernă, unde sistemele complexe sunt folosite pentru a asigura funcționarea sigură și corectă a echipamentelor, vehiculelor, infrastructurii și multe altele. În contextul în care tehnicile și tehnologiile avansate sunt utilizate în diverse domenii, precum industria auto, aeronautică, feroviară, energetică, medicală, asigurarea funcționării sigure devine o prioritate critică. În acest context, Analiza Modurilor de Defectare și a Efectelor (AMDE / FMEA) joacă un rol semnificativ în îmbunătățirea siguranței funcționale a sistemelor și în reducerea riscurilor asociate. Siguranța funcțională este acea parte a siguranței generale a unui sistem sau a unei piese de echipament care depinde de funcționarea corectă a protecției automate, ca răspuns la

intrările sale sau la o defecțiune într-un mod previzibil. Sistemul de protecție automată ar trebui să fie proiectat pentru a gestiona în mod corespunzător erorile umane probabile, erorile sistematice, defecțiunile hardware și stresul operațional sau de mediu.

ISO 26262, intitulat „Vehicule rutiere – Siguranță funcțională”, este un standard internațional pentru siguranța funcțională a sistemelor electrice și/sau electronice care sunt instalate în vehiculele rutiere de producție în serie (cu excepția mopederelor), definit de Organizația Internațională pentru Standardizare (ISO) în 2011 și revizuit în 2018. Standardul urmărește să abordeze posibilele pericole cauzate de comportamentul defectuos al sistemelor electronice și electrice din vehicule. Deși este intitulat „Vehicule rutiere – Siguranță funcțională”, standardul se referă la siguranța funcțională a sistemelor electrice și electronice, precum și la cea a sistemelor în ansamblu sau a subsistemelor mecanice ale acestora.

#### **2.7.4. ANALIZA MODURILOR DE DEFECTARE ȘI A EFECTELOR ACESTORA ÎN CONTEXTUL SF/FS**

Ca o definiție generală, Obiectivele de Siguranță (OS/SG) sunt obiective de nivel superior pe care SMB trebuie să le îndeplinească pentru a ține siguranța bateriei pe bază de litiu sub control. Acestea sunt derivate dintr-o analiză a pericolelor și evaluarea riscurilor aplicației specifice auto aflate în studiu și trebuie să fie consecventă pentru a controla riscul până la un nivel acceptabil. Nivelul de integritate al siguranței auto (ANIS/ASIL) este clasificarea de risc definită de standardul ISO 26262, o adaptare a nivelului de integritate a siguranței (NIS/SIL) utilizat în standardul IEC 61508. Această clasificare ajută la definirea reducerii riscurilor necesare menționate anterior, ANIS/ASIL-ul se stabilește analizând probabilitatea și consecințele unui pericol. Standardul clasifică reducerea necesară a riscului ca: ANIS/ASIL A, ANIS/ASIL B, ANIS / ASIL C, ANIS / ASIL D și MC/QM (Managementul Calității). ANIS / ASIL D impune cele mai înalte cerințe de siguranță privind integrarea funcțiilor, obținând cea mai mare reducere a riscului, iar ANIS / ASIL A cel mai scăzut. Riscurile clasificate ca MC / QM trebuie să fie supuse unui proces regulat de proiectare a managementului calității. Evaluarea riscurilor constă în enumerarea pericolelor identificate și a cauzelor acestora, planificarea măsurilor care pot fi aplicate pentru prevenirea sau atenuarea pericolelor și evaluarea riscului pentru a identifica reducerea necesară.

Metodologia AMDE / FMEA utilizează trei parametri cheie pentru a evalua riscurile și efectele defectelor: Severitate (S), Frecvență de Apariție (A/O) și Probabilitate de Detecție (D), acești parametri fiind utilizați pentru a calcula Indicele de Prioritate al Riscului (IPR / RPN). Clasificarea severității este notată pe o scară de la 1 la 10, unde 1 reprezintă un impact foarte scăzut, fără efecte majore asupra sistemului sau utilizatorilor iar 10 reprezintă un impact foarte mare, cu consecințe grave asupra siguranței, performanței sau fiabilității sistemului. Pentru determinarea probabilității de apariție a modului de defectare este necesar să se dispună de date privind ratele de defectare (din bazele de date) și date asupra defectărilor în exploatare. Ea este notată pe o scară de la 1 la 10, unde 1 reprezintă o probabilitate foarte scăzută de apariție, cu șanse minime de manifestare a modului de defectare și 10 reprezintă o probabilitate foarte mare de apariție, cu riscul ridicat de manifestare a modului de defectare. Pentru fiecare mod de defectare s-a definit parametrul de probabilitate de detecție D/D, este notată pe o scară de la 1 la 10, unde 1 reprezintă o capacitate foarte ridicată de detectare, cu mecanisme avansate de monitorizare și detectare precoce a defectelor și 10 reprezintă o capacitate foarte scăzută de detectare, cu o probabilitate ridicată de trecere neobservată a modului de defectelor.

Pe baza celor 3 parametri S/S, A/O, D/D de calculează unui Indice de Prioritate al Riscului IPR / RPN (în engleză: Risk Priority Number (RPN)) se calculează astfel:  $IPR =$

Severitatea efectului (S/S)  $\times$  Probabilitatea de apariție a defectului (A/O)  $\times$  Probabilitatea de Detecție a defectării (D/D). Matricea de criticalitate a riscurilor permite aprecierea riscurilor sub aspect calitativ și oferă un mijloc de identificare și comparare a fiecărui mod de defectare cu toate celelalte moduri, în raport cu severitatea (gravitatea) estimată prin categoriile de severitate (I la IV), reprezentate în matrice pe axa sa orizontală. Nivelurile probabilității de apariție sunt reprezentate pe axa verticală a matricei, în ordine ascendentă. Matricea care rezultă evidențiază distribuția criticității modurilor de defectare ale piesei/echipamentului și oferă un instrument pentru determinarea priorităților acțiunilor corective.

## **2.8. PROIECTAREA ASISTATA DE CALCULATOR (PAC) ÎN SIMULAREA UNUI SISTEM DE MANAGEMENT AL BATERIEI (SMB)**

În ultimele decenii, proiectarea asistată de calculator (PAC / CAD) a revoluționat industria auto și domeniul proiectării și dezvoltării circuitelor electrice și electronice, aducând cu sine inovații, eficiență sporită și dezvoltarea accelerată a vehiculelor moderne. PAC / CAD-ul este un sistem de proiectare și modelare care utilizează tehnologia informației pentru a crea și a analiza modele digitale 2D sau 3D ale componentelor, ansamblurilor și vehiculelor auto. Cu ajutorul PAC / CAD-ului, inginerii pot explora și optimiza designul înainte de a construi prototipurile fizice, economisind timp și resurse și asigurând produsele finale de înaltă calitate având un impact semnificativ asupra și industriei electronice, oferind inginerilor o abordare mai eficientă, precisă și inovatoare pentru dezvoltarea și testarea circuitelor electronice complexe.

PAC / CAD-ul pentru circuite electrice și electronice se bazează pe utilizarea unor programe software specializate, care permit proiectarea, simularea, analiza și optimizarea circuitelor pe un mediu digital. Acest lucru permite inginerilor să testeze multiple variante de design și să identifice posibile erori înainte de a trece la producția fizică a circuitelor. Un aspect crucial al PAC/CAD-ului în industria auto este că acesta acoperă o gamă largă de domenii, inclusiv designul exterior și interior, ingineria mecanică, simulările și analizele de performanță.

### **2.8.1. Introducere în proiectarea asistată de calculator (PAC / CAD)**

Proiectarea asistată de calculator (PAC / CAD) reprezintă utilizarea calculatoarelor sau a stațiilor de lucru pentru a asista la crearea, modificarea, analiza sau optimizarea unui design. Această aplicație informatică este folosită pentru a crește productivitatea proiectantului, a îmbunătăți calitatea designului, a îmbunătăți comunicațiile prin documentare și pentru a crea o bază de date pentru producție. Ieșirea software-ului PAC / CAD este adesea sub formă de fișier electronic pentru imprimare, prelucrare sau alte operațiuni de fabricație. În proiectarea mecanică metoda mai este cunoscută sub numele de automatizare a proiectării mecanice (APM / MDA), care include procesul de creare a unui desen tehnic cu utilizarea unui software de calculator iar utilizarea PAC / CAD în proiectarea sistemelor electronice este cunoscută sub denumirea de Automatizare a Proiectării Electronice (APE / EDA).

Software-ul PAC / CAD pentru proiectarea mecanică folosește fie grafică vectorială pentru a reprezenta obiectele desenelor tradiționale, fie poate produce, de asemenea, grafice raster care arată aspectul general al obiectelor proiectate. Ca și în elaborarea manuală a desenelor tehnice și de inginerie, rezultatul PAC / CAD trebuie să transmită informații, cum ar fi materiale, procese, dimensiuni și toleranțe, în conformitate cu convențiile specifice aplicației. PAC / CAD este o artă industrială importantă utilizată pe scară largă în multe

aplicații, inclusiv în industria auto, de construcții navale și aerospațială, design industrial și arhitectural, protetică și multe altele. PAC / CAD este, de asemenea, utilizat pe scară largă pentru a produce animație pe computer pentru efecte speciale în filme, reclame și manuale tehnice, adesea numite creare de conținut digital. Datorită importanței sale economice enorme, PAC / CAD a fost o forță motrice majoră pentru cercetarea în geometria computațională, grafică computerizată (atât hardware cât și software) și geometria diferențială discretă.

## **2.8.2. Scurt istoric în proiectarea asistată de calculator (PAC/CAD)**

Începând de la mijlocul anilor 1960, odată cu IBM Drafting System, sistemele de proiectare asistată de calculator au început să ofere mai multe capacități decât cea de a reproduce desenul manual cu desenul electronic, devenind evident raportul cost-beneficiu pentru companii de a trece la PAC / CAD. Avantajele sistemelor PAC / CAD față de desenarea manuală sunt capacitățile pe care le considerăm adesea de la sine înțelese de la sistemele informatice de astăzi: generarea automată a listelor de materiale, aspectul automat în circuite integrate, verificarea interferențelor și multe altele.

Pachetele PAC / CAD moderne pot, de asemenea, să permită frecvent rotații în trei dimensiuni, permițând vizualizarea unui obiect proiectat din orice unghi dorit, chiar și din interior și exterior. Tehnologia PAC / CAD este utilizată în proiectarea de unelte și utilaje cât și în proiectarea tuturor tipurilor de clădiri, de la tipuri rezidențiale mici (case) până la cele mai mari structuri comerciale și industriale (spitale și fabrici). PAC / CAD este utilizat în principal pentru ingineria detaliată a modelelor 3D sau a desenelor 2D ale componentelor fizice, dar este, de asemenea, utilizat pe tot parcursul procesului de inginerie, de la proiectarea conceptuală și aspectul produselor, prin analiza rezistenței și proprietăților dinamice a ansamblurilor până la definirea metodelor de fabricație a componentelor. În plus, multe aplicații PAC / CAD oferă acum capacități avansate de randare și animație, astfel încât inginerii să își poată vizualiza mai bine design-urile produselor.

PAC/CAD a devenit o tehnologie deosebit de importantă în domeniul proiectării asistate de calculator, cu beneficii precum costuri mai mici de dezvoltare a produselor și un ciclu de proiectare mult scurtat. PAC / CAD le permite proiectanților să planifice și să dezvolte lucrarea pe ecran, să o imprime și să o salveze pentru editare ulterioară, economisind timp pentru desenele lor [10].

## **2.8.3. Tipuri de aplicații software PAC / CAD**

La începutul anului 2000, unii furnizori de software de sistem PAC / CAD și-au livrat distribuțiile cu un software dedicat managementului de licențe care ar putea controla cât de des sau câți utilizatori pot utiliza sistemul PAC / CAD. Aplicațiile pot rula fie pe o mașină locală prin încărcare de pe un dispozitiv de stocare local sau pe un server de fișiere de rețea locală la o anumită adresă IP. Software-ul PAC / CAD le permite inginerilor și arhitecților să proiecteze, să inspecteze și să gestioneze proiecte de inginerie într-o interfață grafică integrată (IGI/GUI) pe un sistem de calculator personal.

Un nucleu de modelare geometrică este o componentă software care oferă caracteristici de modelare a solidelor și modelare a suprafețelor aplicațiilor PAC / CAD precum ShapeManager de la Autodesk sau Parasolid de la Siemens. Pe baza statisticilor de piață, software-ul comercial de la Autodesk, Dassault Systems, Siemens PLM Software și PTC domină industria PAC / CAD. Urmează o listă a aplicațiilor PAC / CAD majore, grupate după statistici de utilizare:



- i. Aplicații software comerciale: Autocad și Fusion 360 de la Autodesk, CATIA de la Dassault Systèmes, ArchiCAD de la Graphisoft;
- ii. Aplicații software cu sursă publică ce permit accesul liber al utilizatorilor asupra procesului dezvoltare: FreeCAD, LibreCAD, OpenSCAD;
- iii. Aplicații software gratuite: Tinkercad.

#### **2.8.4. Prefațarea domeniului proiectării asistate de calculator în electronică în PAC / CAD**

Automatizarea Proiectării Electronice (APE / EDA), denumită și Proiectare Electronică Asistată de Calculator (PECA/ECAD), este o categorie PAC / CAD formată din instrumente software pentru proiectarea sistemelor electronice, cum ar fi circuitele integrate (CI / IC) și plăcile de circuite imprimate (PCI / PCB). Instrumentele lucrează împreună într-un flux de proiectare pe care designerii de cipuri îl folosesc pentru a proiecta și analiza cipuri semiconductoare întregi. Deoarece un cip semiconductor modern poate avea miliarde de componente, instrumentele APE / EDA sunt esențiale pentru proiectarea lor. Înainte de dezvoltarea APE / EDA, circuitele integrate au fost proiectate și așezate manual pe placa de circuit.

#### **2.8.5. Dezvoltarea proiectării asistate de calculator în electronică în PAC / CAD**

Anul 1981 a marcat începutul PAC / EDA ca industrie. Timp de mulți ani, companiile electronice mari, cum ar fi Hewlett Packard, Tektronix și Intel, au urmărit PAC / EDA pe plan intern, manageri și dezvoltatori începând să se desprindă din aceste companii pentru a se concentra pe domeniul PAC / EDA ca afacere. Daisy Systems, Mentor Graphics și Valid Logic Systems au fost toate fondate în această perioadă, totodată Departamentul de Apărare al SUA a început să finanțeze VHDL ca limbaj de descriere hardware, în câțiva ani, înființându-se multe companii specializate în PAC / EDA, fiecare cu un accent ușor diferit [10]. Domeniul PAC / EDA pentru electronică a crescut rapid în importanță odată cu scalarea continuă a tehnologiei semiconductoare. Fabricanții folosesc companiile de servicii de proiectare tehnologică care utilizează software-ul PAC / EDA pentru a evalua un design primit pentru pregătirea pentru producție. Instrumentele PAC / EDA sunt, de asemenea, utilizate pentru programarea funcționalității de proiectare în circuitele integrate personalizabile numite Matrice de Porți Programabile în Câmp (MPPC / FPGA) [10]. Proiectarea Electronică Asistată de Calculator sau PEAC/ECAD este o tehnologie care a fost utilizată pe scară largă în industriile de inginerie și proiectare de produse de ani de zile. Cu toate acestea, ca și în cazul oricărei tehnologii, există unii specialiști care s-au împotrivit instrumentelor de asistare, preferând în schimb procesul de redactare manuală.

#### **2.8.6. Capabilitățile proiectării electronice asistate de calculator PECA / ECAD**

Software-ul Proiectării Electronice Asistate de Calculator (PECA / ECAD) este utilizat pentru a crea și modifica atât diagrame cât și machete 2D și 3D, pentru a proiecta, evalua și documenta plăci de circuite imprimate (PCI / PCB) electrice. În procesul de dezvoltare, software-ul PECA / ECAD poate fi utilizat pentru explorarea diferitelor iterații ale unei plăci de circuite imprimate (PCI / PCB), fie în mod abstract ca diagramă, fie în detaliu ca aspect sau ansamblu 3D. Proiectanții pot construi diferite alternative și opțiuni, comparându-le între ele, generând documentația de producție, care este eliberată producției

ca parte a specificațiilor utilizate pentru aprovizionarea, fabricarea și producerea PCI / PCB-urilor. Aplicațiile PECA/ECAD oferă o combinație a următoarelor capacități: Capacitățile de **diagramare**, Capacitățile de **rutare**, Capacitățile de **asamblare 3D**, Capacitățile de **colaborare**, Capacitățile de **proiectare cu mai multe plăci**, Capacitățile de **verificare a regulilor**, Capacitățile de **export**.

### **2.8.7. Tinkercad – platforma online de modelare și simulare a circuitelor electronice**

*Tinkercad* este o colecție online de instrumente software de la Autodesk care le permit proiectanților să creeze modele 3D cât și circuite electrice/electronice. Drept urmare, acest software de modelare 3D este ușor de utilizat și este în prezent atât în mediul academic cât și de designer, permitând utilizatorilor să creeze modele compatibile cu imprimarea 3D, o opțiune excelentă pentru începătorii în tehnologie. În plus, aplicația permite să adăugați circuite electronice modelelor 3D pentru a crea obiecte cu lumină și mișcare. Rezultatul final poate fi chiar simulat pe platforma online pentru a verifica cum vor răspunde componentele în viața reală. În plus, Autodesk a pus multe resurse disponibile comunității sale. Software-ul funcționează pe orice computer cu conexiune la internet, fiind necesar crearea unui cont online, oferind și copii de rezervă a modelelor 3D pe cloud [44].

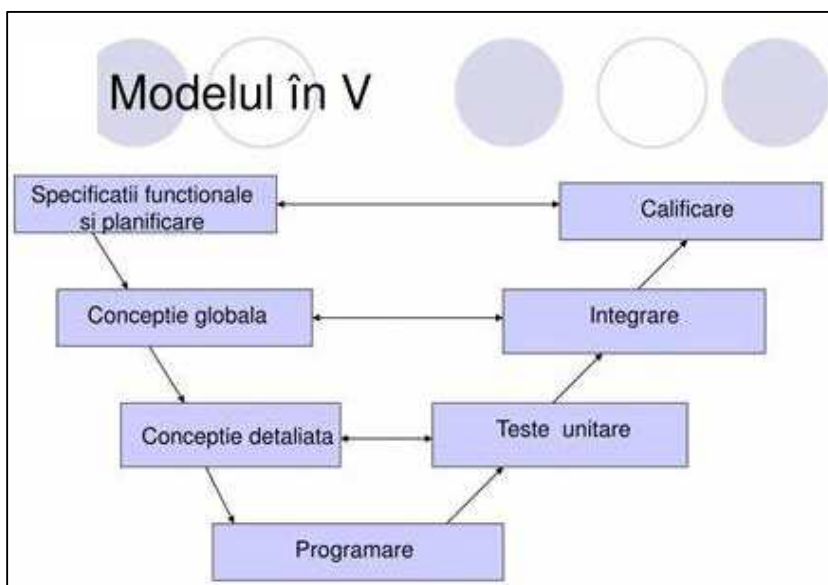
## CAPITOLUL 3

### CONTRIBUȚII PRIVIND REALIZAREA PROTOTIPULUI SMB

#### 3.1 UTILIZAREA MODELULUI ÎN V DE DEZVOLTARE HARDWARE ȘI SOFTWARE

Modelul de dezvoltare în V (V-Model) [11], prezentat în figura 3.1. este un cadru de lucru utilizat în dezvoltarea hardware / software și în managementul proiectelor pentru a asigura o abordare structurată și coordonată a întregului ciclu de dezvoltare. Acest model este o extensie a modelului clasic în cascada și este numit "V-Model" datorită formei sale grafice asemănătoare literei V.

Principala caracteristică a V-Model constă în asocieri strânse între fiecare etapă de dezvoltare și faza corespunzătoare de testare, începând cu specificațiile inițiale și continuând cu testarea unitară, integrarea, testarea sistemului și testarea de validare/acceptare. Cu alte cuvinte, fiecare etapă de dezvoltare are o etapă de testare asociată în V-Model. În figura 3.1 se observă împerecherea nivelurilor de dezvoltare și testare corespunzătoare.



**Fig. 3.1.** Modelul de dezvoltare în V al produselor ce conțin hardware și software [11]

Modelul în V pentru un sistem de management al bateriei ajută la coordonarea strânsă a dezvoltării și testării, asigurând că fiecare funcționalitate și caracteristică este verificată și validată corespunzător. Acest proces poate contribui la dezvoltarea unui sistem de management al bateriei sigur, eficient și fiabil pentru vehiculele electrice, ceea ce are un impact pozitiv asupra performanței și durabilității bateriei și asigură o experiență de conducere mai plăcută pentru utilizatori.

#### 3.2 ANALIZA SPECIFICAȚIILOR SMB

##### 3.2.1 Analiza specificațiilor de sistem a SMB

Funcțiile implementate în acest prototip SMB sunt esențiale pentru asigurarea unei funcționări sigure, eficiente și fiabile a bateriei. Acest capitol va explora în detaliu funcțiile cheie ale sistemului de management al bateriei pentru VH/VE ce vor fi implementate:

- **Monitorizarea individuală a celulelor;**
- **Echilibrarea celulelor;**
- **Protecția împotriva suprasarcinii și a descărcării excesive;**
- **Controlul temperaturii bateriei;**
- **Diagnoza și detectarea defectelor;**
- **Monitorizarea și raportarea stării bateriei.**

### **3.2.2 Analiza specificațiilor de hardware a SMB**

Specificațiile hardware ale sistemului de management al bateriei ce implementează funcțiile de sistem enumerate în capitolul 3.1.1 includ următoarele componente hardware principale: **Microcontroler, Senzori, Circuite de măsurare, Comutatoare și protecții, Conectori și interfețe de comunicație, Ecran sau interfață utilizator, Memorie, Modul de echilibrare, Module de protecție împotriva supratensiunii și supracurentului.**

### **3.2.3 Analiza specificațiilor de software a SMB**

Specificațiile software ale sistemului de management al bateriei ce implementează funcțiile de sistem enumerate în capitolul 3.1.1 includ următoarele componente principale:

- **Sistem de operare în timp real (SOTR / RTOS;**
- **Protocoale de comunicație CAN, LIN, UART, SPI, Bluetooth;**
- **Algoritm de control al încărcării / descărcării;**
- **Algoritm de echilibrare;**
- **Algoritm de protecție și avertizări;**
- **Algoritm de afișare a datelor;**

## **3.3 ANALIZA TEHNICĂ DE RISC A FUNCȚIILOR SMB**

În acest capitol se va implementa analiza tehnică de risc AMDE a SMB, care este o metodă de analiză a posibilelor moduri de defectare și a efectelor acestora asupra funcțiilor SMB, folosită pentru identificarea și evaluarea potențialelor probleme și riscuri în proiectarea SMB. Pentru implementarea analizei s-a folosit un instrument software de asistare a metodologiei de calitate AMDE numit APIS IQRM. APIS IQRM (Automation Process Innovation Software - IQ-RM) este un software dezvoltat de compania APIS Informationstechnologien GmbH, specializată în dezvoltarea de soluții software pentru industria auto și aeronautică. Toate defectele cauzelor radacină de pe ultimul nivel se vor lega de nivelul intermediar ce conține modulele de defectare care la rândul lor se vor lega de efectele de pe primul nivel, aplicația generând astfel o rețea funcțională și o rețea de defecte bazate pe principiul cauză-efect.

### **3.3.1 Analiza structurală a SMB**

Prin aplicarea analizei structurale în AMDE, un sistem de management al bateriei electrice poate fi dezvoltat și implementat într-un mod mai sigur, mai fiabil și mai performant, pentru a asigura o funcționare optimă și pentru a prelungi durata de viață a

bateriei. Primul pas este să se identifice și să se listeze toate componentele principale ale SMB care urmează să fie analizat. APIS IQ-RM prezintă structura sub formă arborescentă, vârful arborelui fiind reprezentat de SMB, apoi următoarele noduri în arbore fiind cele 3 mari componente ale sistemului, cea mecanică (carcasa), cea hardware (electronica) și cea software (aplicația de control). Componenta mecanică nu mai este rafinată în alte subcomponente, astfel, la cel de al treilea nivel în arbore pe partea mecanică găsim caracteristicile dimensionale ale carcusei. Componenta hardware fiind mai complexă decât cea mecanică este rafinată în subcomponentele care reprezintă placa de monitorizare a celulelor bateriei, placa de control, celulele electrice și senzorul de curent, pe nivelul următor găsim-se caracteristicile fiecăreia din aceste subcomponente. Componenta software va avea rafinat pe cel de al treilea nivel modulele aplicației de control și anume modulul de inițializare a microcontrolerului, modulul de inițializare a celulelor electrice, modulul de citire curent, modulul de conversie analog-digital și modulul de echilibrare celule electrice. În figura 3.4 se regăesc toate componentele identificate, afișate într-o structură ierarhică arborescentă pe orizontală, ce reflectă arhitectura SMB-ului, soluția tehnică de implementare a cerințelor de sistem.

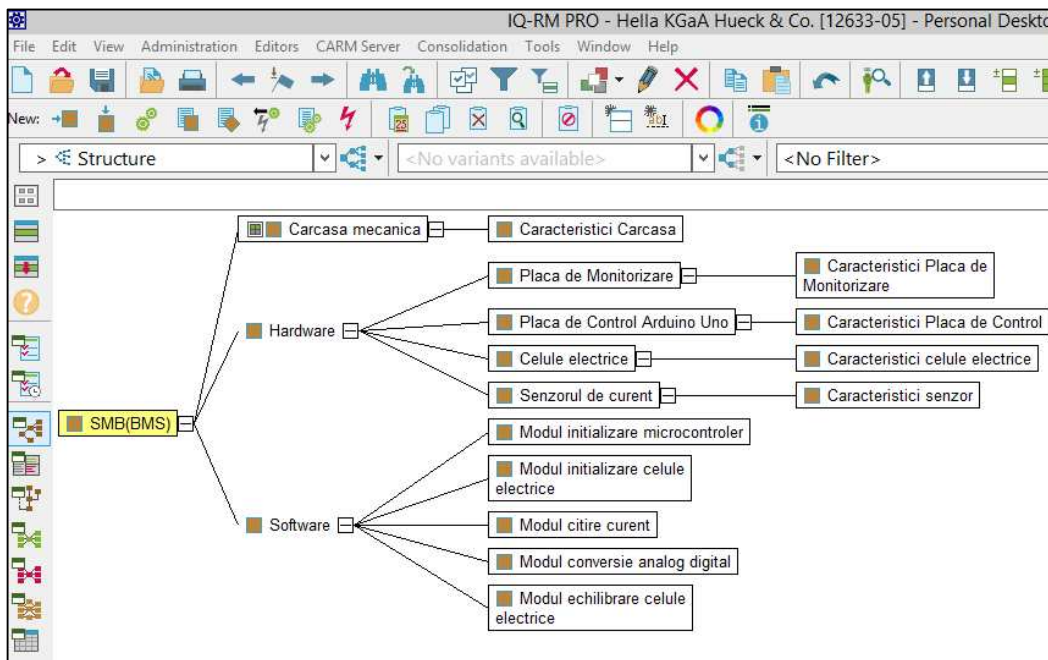


Fig. 3.4. Componentele principale ale SMB

### 3.3.2 Analiza funcțională a SMB

Scopul analizei funcționale este să identifice funcțiile SMB care urmează să fie analizat în cadrul AMDE și să determine modurile potențiale de defectare asociate acestor funcții. Pentru fiecare funcție identificată, se descrie în detaliu ce presupune aceasta și ce rezultate ar trebui să fie obținute în urma îndeplinirii funcției respective. Au fost identificate un număr de 9 funcții ale SMB și un număr de 22 de efecte ale defectărilor acestor funcții conform figurii 3.5.

Funcțiile documentate la primul nivel de analiză vor fi rafinate în subfuncții de la nivelul următor, nivel care va ramifica analiza pe 3 direcții. Prima direcție va fi cea mecanică și va analiza carcasa SMB, cea de a doua direcție va fi cea electronică ce va analiza partea

componentelor hardware iar cea de-a treia direcție va fi cea a aplicației de control sau software.

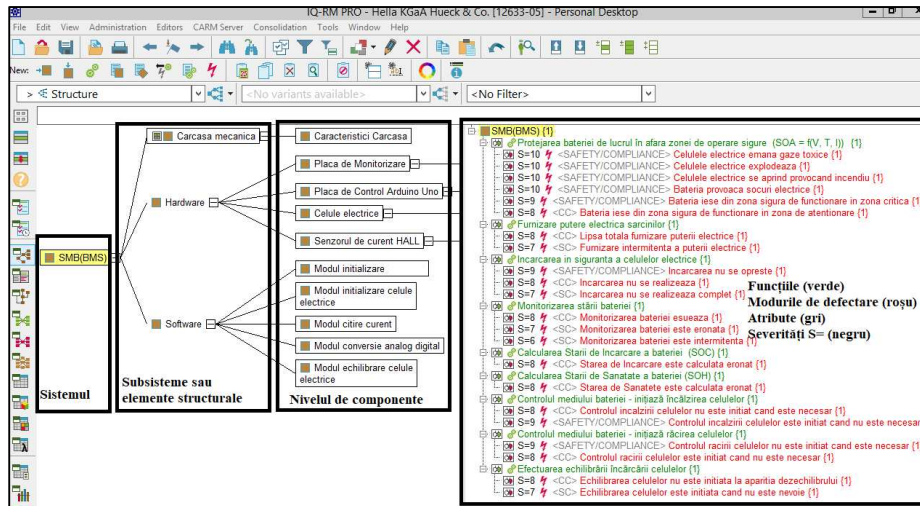


Fig. 3.5. Funcțiile și de defectele SMB analizate

În cadrul elementului “Carcasă mecanică” au fost documentate cele 3 funcții ale acestuia cât și cele 4 moduri de defectare potențiale conform figurii 3.6:

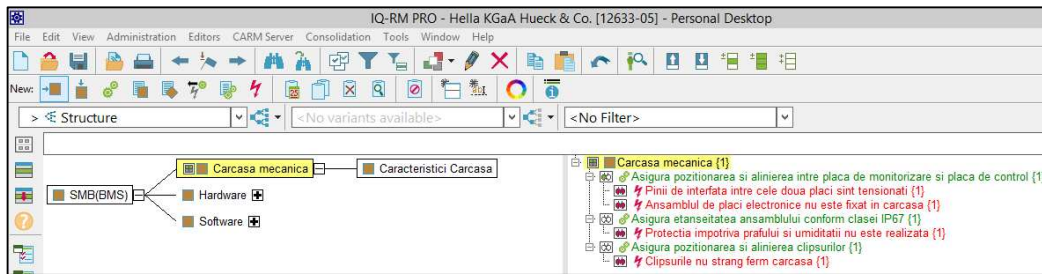


Fig. 3.6. Funcțiile și de defectele subsistemului *Carcasă mecanică*

În cadrul elementului “Hardware” au fost structurate cele 4 subcomponente electronice de bază: placa de monitorizare a celulelor, placa de control a microcontrolerului, celulele electrice și senzorul de curent, fiecare sub-element având documentate funcțiile cât și modurile de defectare potențiale conform figurii 3.7.

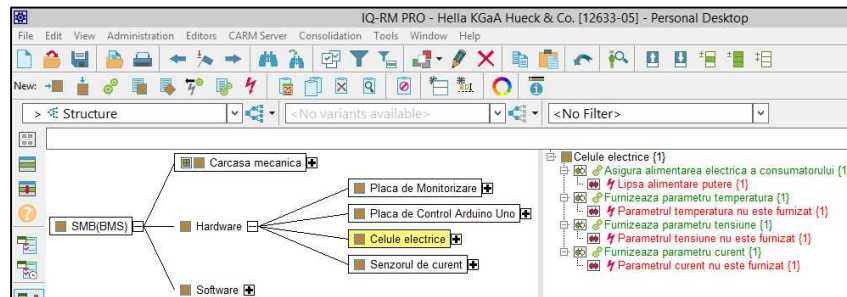
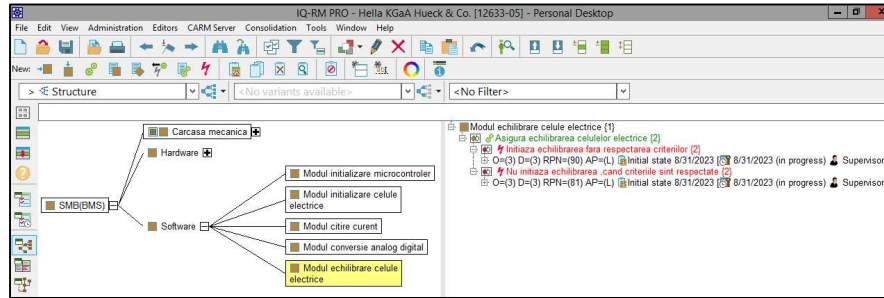


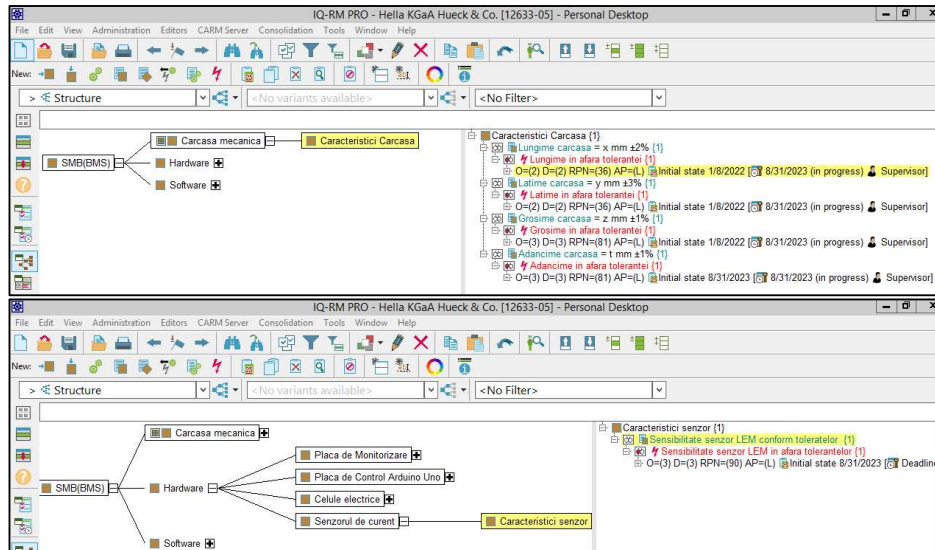
Fig. 3.7. Funcțiile și de defectele subsistemelor electronice

În cadrul elementului “Software” au fost structurate cele 5 subcomponente logice de bază: modul initializare microcontroler, modul initializare celule electrice, modul citire curent, modul conversie analog-digital, modul echilibrare celule electrice, fiecare element având documentate funcțiile cât și modurile de defectare potențiale conform figurii 3.8.



**Fig. 3.8.** Funcțiile și de defectele modulelor software

În cadrul ultimului nivel rădăcină, cel mai din dreapta în ordinea analizei, funcțiile componentelor primare sunt denumite caracteristici funcționale la nivelul mecanic și hardware. Fiecare caracteristică a componentelor au o toleranță conform cerințelor părților interesate sau a foilor de catalog. În figura 3.9 sunt enumerate caracteristicile componentelor mecanice și hardware cu culoare turcoaz conform setărilor prestabilite ale aplicației APIS IQ-RM.



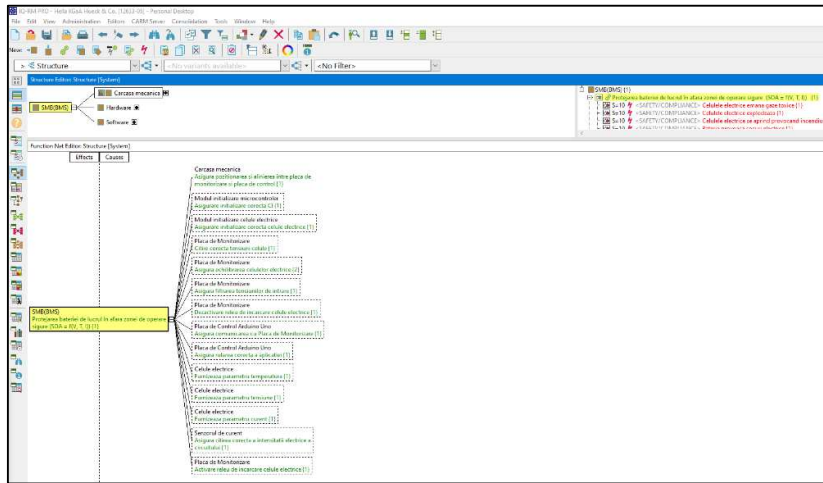
**Fig. 3.9.** Caracteristicile și de defectele componentelor mecanice și electronice

### 3.3.3 Analiza modurilor de defectare a SMB

După ce am analizat structural și funcțional SMB-ul, urmează etapa de analiză a modurilor de defectare pentru fiecare din funcțiile analizate la pasul anterior. Scopul analizei modurilor de defectare de proiectare este de a identifica cauze modurilor de defectare și efectele acestora inclusiv relațiile dintre ele pentru a permite evaluarea riscurilor. Principalele obiective ale unei analize a defecțiunilor de proiectare sunt: stabilirea lanțului de defecțiuni,

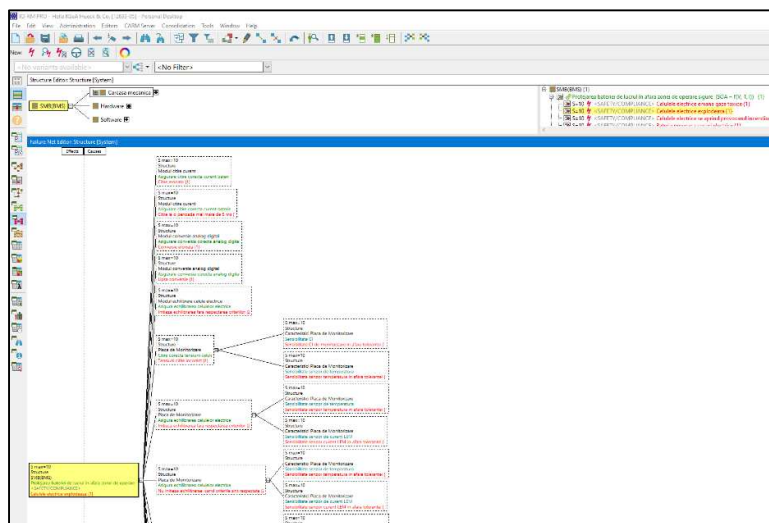
efecte potențiale de defecțiune, moduri de defecțiune, cauze de defecțiune pentru fiecare funcție a produsului.

După executarea legăturilor funcționale și a celor de defectare în arborele de analiză în APIS IQ-RM, se obține rețeaua de funcții și rețeaua de moduri de defectare ca în figurile 3.10 și 3.11. Astfel se poate observa rafinarea la nivel de funcții cât și multiplele cauze rădăcină care poate implica un efect de defectare la nivel de sistem. Instantaneul din figura 3.10 arată decompoziția unei funcții la nivel de sistem în toate funcțiile de la nivelul următor care concură la implementarea funcției la nivel de sistem.



**Fig. 3.10.** Rețeaua funcțională la nivel de sistem

Instantaneul din figura 3.11 arată cauzele directe și indirecte ce pot determina efectul de la nivel de sistem. Cauzele și efectele analizate sunt mapate funcțional și structural pe funcții și elementele de structură aferente. Fiecare efect, mod de defectare și cauză au marcate atributele și severitatea maximă din rețeaua de defecte. Exemplul se focusează pe un efect critic la nivel de sistem evaluat la o severitate maximă datorită impactului.



**Fig. 3.11.** Rețeaua modurilor de defectare la nivel de sistem



### 3.3.4 Analiza acțiunilor preventive și detective

Controalele de prevenire se referă la cerințele de performanță. Pentru articolele care au fost proiectate în afara contextului și sunt achiziționate ca articole de stoc sau de catalog de la un furnizor, controlul de prevenire ar trebui să documenteze o referință specifică la modul în care articolul îndeplinește cerința. Aceasta poate fi o referire la o fișă de specificații dintr-un catalog. Controalele actuale de prevenire trebuie să fie descrise clar și cuprinzător, cu referințe citate.

În figura 3.12 sunt prezentate acțiunile curente preventive și detective pentru un caz particular al unei componente hardware, unde pe lângă evaluarea parametrilor de Ocurență și Detectie, APIS IQ-RM documentează și data limită de timp până la implementarea acțiunilor cât și persoana responsabilă, informații care pot fi folosite pentru efectuarea diverselor filtre în aplicație pentru controlul, urmărirea și prioritizarea acțiunilor.

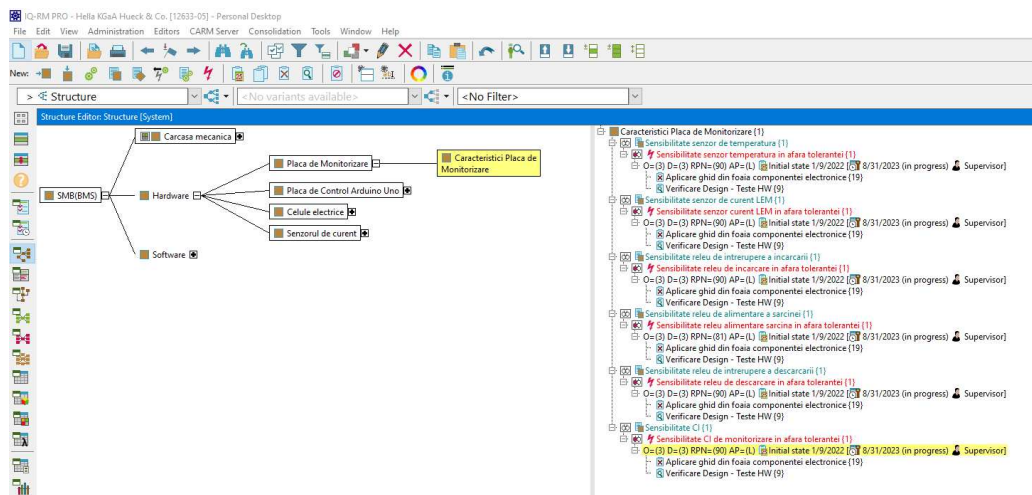


Fig. 3.12. Acțiunile preventive și detective la nivel de cauză rădăcină

### 3.3.5 Generarea matricii de risc a SMB

Generarea matricii de risc în analiza AMDE implică utilizarea scorurilor de severitate (S), ocurență (O) și detectabilitate (D) pentru a evalua riscul asociat fiecărui mod de defectare în SMB-ul analizat. Se calculează scorul de risc (IPR / RPN - Risk Priority Number) pentru fiecare mod de defectare multiplicând scorurile de severitate (S), ocurență (O) și detectabilitate (D) astfel că  $IPR (RPN) = S \times O \times D$ . Matricea de risc în AMDE generată automat de aplicația APIS IQ-RM va conține informații detaliate despre fiecare mod de defectare analizat, inclusiv scorurile S, O, D și IPR / RPN, ajutând la înțelegerea riscurilor asociate pentru prioritizarea acestora. În figura 3.13 apare o instanță a matricii de risc în partea superioară și o prioritizare a cauzelor rădăcină sub formă tabelară în partea inferioară a imaginii.

Aplicația APIS IQ-RM este capabilă și de altă metodă de analiză a riscului și anume analiza Pareto. Analiza Pareto în analiza AMDE este o tehnică utilizată pentru a identifica și prioriza modurile de eșec sau defecțiunile care au cel mai mare impact asupra sistemului analizat. Această tehnică se bazează pe principiul Pareto, conform căruia o proporție semnificativă a efectelor sau consecințelor este generată de un număr redus de cauze. Analiza Pareto în AMDE permite identificarea rapidă și eficientă principalelor riscuri și ajutând la concentrarea eforturilor pe aspectele cele mai critice pentru a îmbunătăți siguranța și

fiabilitatea SMB. În figura 3.14 este prezentat un instantaneu al analizei Pareto unde se observă ca 11 cauze dintre cele 25 enumerate au cel mai mare impact în proiectarea SMB.

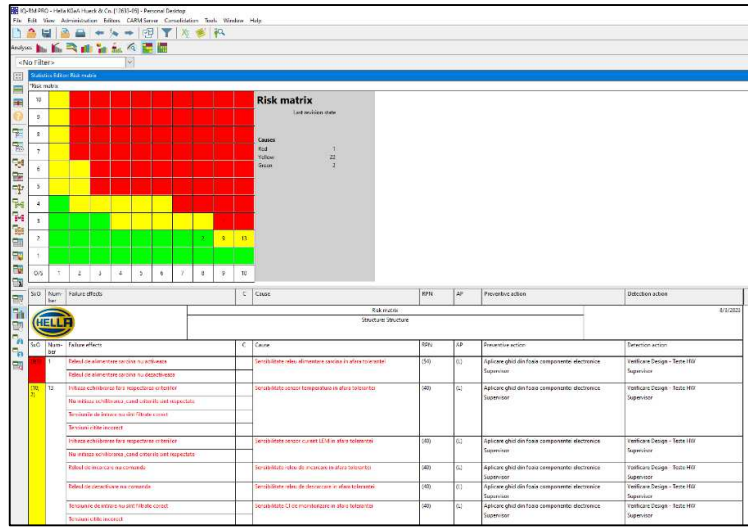


Fig. 3.13. Matricea de risc a SMB

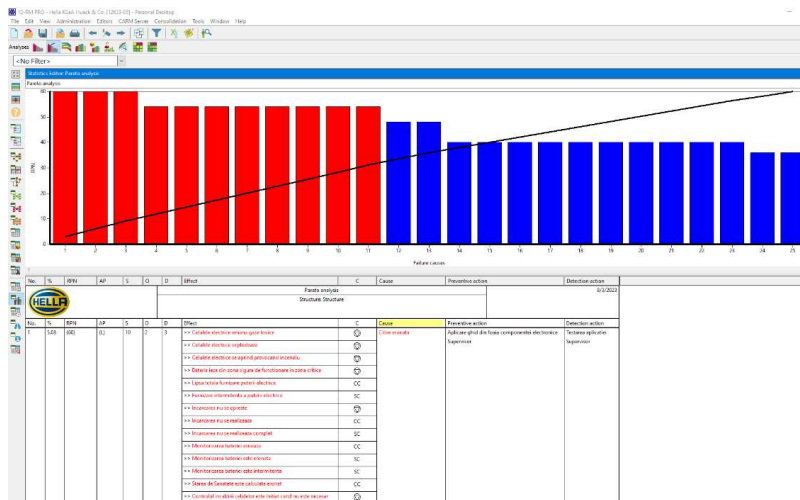


Fig. 3.14. Diagrama Pareto a SMB

### 3.4 PROIECTAREA ȘI SIMULAREA SMB PRIN APLICAȚII ASISTATE DE CALCULATOR

Activitatea de sinteză și simulare funcțională a SMB-ului a fost făcută cu ajutorul aplicației de asistare a proiectării SimulIDE. SimulIDE este un software de simulare interactivă, deschis și gratuit, care este utilizat în principal pentru a proiecta și testa circuite electronice digitale și analogice. Acesta este folosit în special în educație și în dezvoltarea de prototipuri pentru proiecte electronice mici până la complexe. SimulIDE oferă un mediu de dezvoltare virtual pentru a testa și valida circuitele electronice înainte de a le implementa fizic pe plăci de circuit imprimate sau alte dispozitive electronice [46].

Coroborat cu mediul SimulIDE am folosit și mediul de dezvoltare Arduino pentru implementarea aplicației de control a SMB. Platforma Arduino este o platformă open-source de prototipare și dezvoltare pentru proiecte electronice, de programare și robotică. Arduino este o alegere populară datorită ușurinței de utilizare și a comunității active de suport și dezvoltare. Platforma Arduino cuprinde următoarele componente principale: Plăcile Arduino, Mediul Integrat de Dezvoltare Arduino MID / IDE (Integrated Development Environment), Limbajul de programare Arduino, Biblioteci, Comunitatea Arduino.

### 3.4.1 Proiectarea asistată de calculator a SMB cu aplicația SimulIDE

Cu ajutorul mediului SimulIDE versiunea 0.4.15 a fost implementată arhitectura virtuală a SMB-ului iar în aplicația MID / IDE Arduino versiunea 1.8.19 a fost creată aplicația de control, al cărei cod sursă detaliat este documentat în anexa tezei. Interfața grafică a SimulIDE este prezentată în figura 3.15, ea fiind configurabilă se pot adăuga și alte secțiuni, de exemplu fereastra de monitorizare a comunicației microcontrolerului.

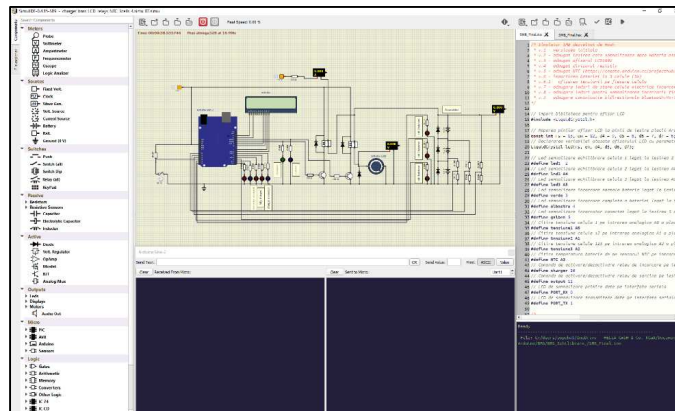


Fig. 3.15. Mediul de simulare SimulIDE

Interfața mediului Arduino are o structură simplă și ușor de utilizat, proiectată pentru a permite utilizatorilor să scrie, să compileze și să încarce codul pe placa Arduino pentru a controla diverse dispozitive și proiecte electronice, după cum se relevă în figura 3.16.

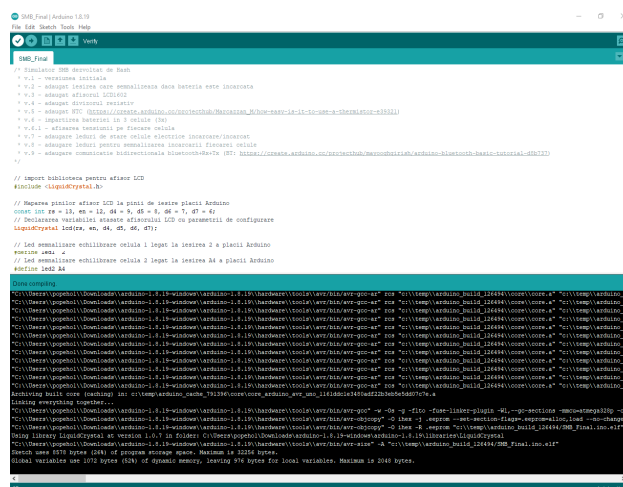
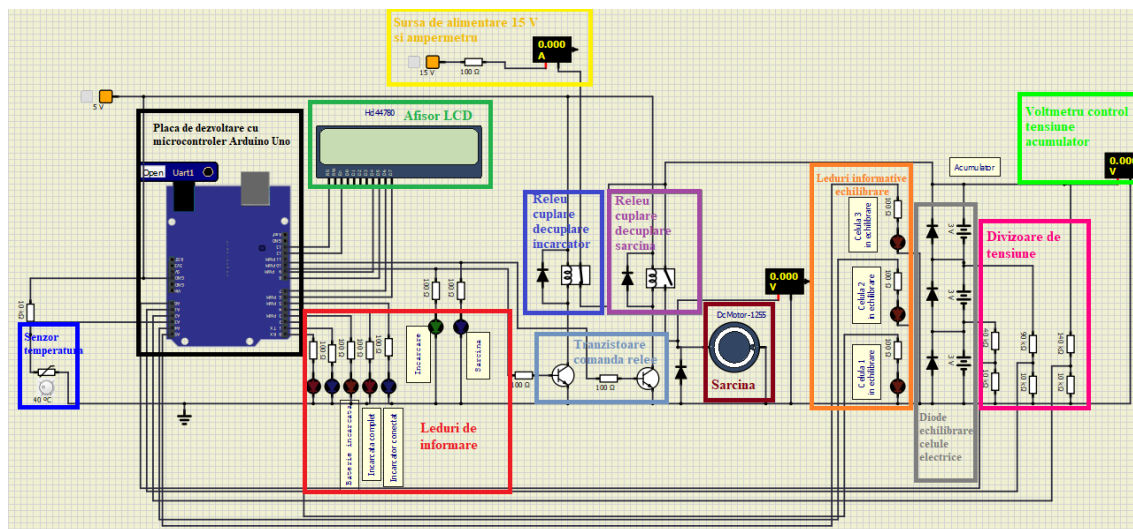


Fig. 3.16. Mediul integrat de dezvoltare Arduino

Pentru implementarea funcționalităților SMB, din punct de vedere hardware au fost folosite următoarele blocuri formate din componentele bibliotecii SimulIDE, enumerate de la stânga la dreapta conform arhitecturii din figura 3.17:

- Senzorul de temperatură al bateriei;
- Placa de dezvoltare bazată pe microcontrolerul Arduino Uno;
- Afișorul LCD;
- Leduri de informare a comunicației sau a stării SMB;
- Releu de cuplare decuplare încărcător baterie;
- Releu de cuplare decuplare sarcină baterie;
- Sarcină SMB;
- Leduri de informare echilibrare celule;
- Diode de echilibru a celor 3 celule electrice din baterie;
- Divizoare de tensiune;



**Fig. 3.17.** Arhitectura hardware a SMB

Pe partea stângă a plăcii sunt folosite următoarele intrări/ieșiri enumerate de sus în jos:

- Intrarea de alimentare pe 5 V;
- Intrarea analogică A0 legată la divizorul de frecvență al primei celule;
- Intrarea analogică A1 legată la divizorul de frecvență a celei de a doua celule;
- Intrarea analogică A2 legată la divizorul de frecvență a celei de a treia celule;
- Intrarea analogică A3 legată la senzorul de temperatură;
- Ieșirea analogică A4 legată la ledul de semnalizare echilibrare celulă 2;
- Ieșirea analogică A5 legată la ledul de semnalizare echilibrare celulă 3;

Pe partea dreaptă a plăcii sunt folosite următoarele intrări enumerate de jos în sus:

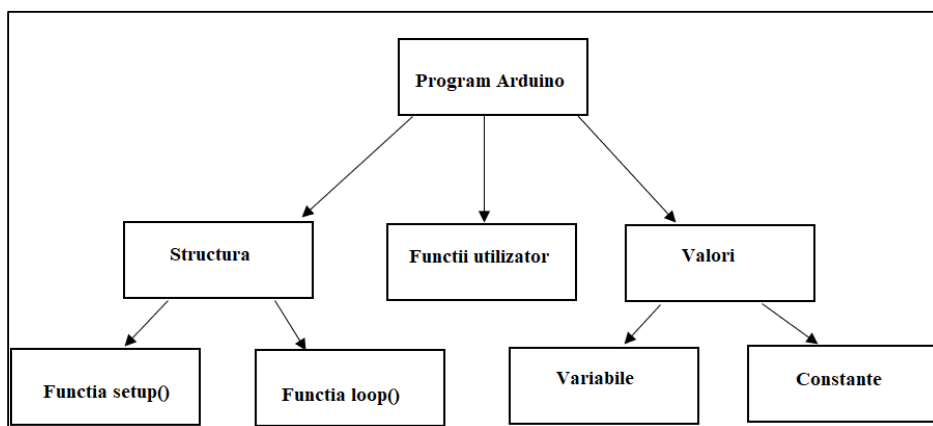
- Ieșirea Rx legată la ledul de semnalizare primire date ce se activează în momentul când se primesc date pe interfața serială;
- Ieșirea Tx legată la ledul de semnalizare trimitere date ce se activează în momentul când se transmit date pe interfața serială;
- Ieșirea PWM 3 comandă ledul de semnalizare a stării de încărcare a bateriei;
- Ieșirea digitală 4 ce comandă ledul de semnalizare a stării de încărcare completă a bateriei;

- Ieșirea PWM 5 comandă ledul de semnalizare a conectării încărcătorului extern al bateriei;
- Ieșirea PWM 6 conectată la pinul D7 al afișorului LCD;
- Ieșirea digitală 7 conectată la pinul D6 al afișorului LCD;
- Ieșirea digitală 8 conectată la pinul D5 al afișorului LCD;
- Ieșirea PWM 9 conectată la pinul D4 al afișorului LCD;
- Ieșirea PWM 10 conectată la tranzistorul de comandă al releului de conectare / deconectare încărcător extern al bateriei;
- Ieșirea PWM 11 conectată la tranzistorul de comandă al releului de conectare / deconectare sarcină externă a bateriei;
- Ieșirea digitală 12 conectată la pinul En al afișorului LCD;
- Ieșirea digitală 13 conectată la pinul RS al afișorului LCD;

### 3.4.2 Algoritmul și arhitectura aplicației de control a SMB

Arhitectura unui program pentru Arduino Uno se bazează pe limbajul de programare Arduino și pe mediul de dezvoltare Arduino IDE (Integrated Development Environment). Astfel arhitectura software cu componente principale ale unui program pentru Arduino Uno este prezentată detaliat în figura 3.18:

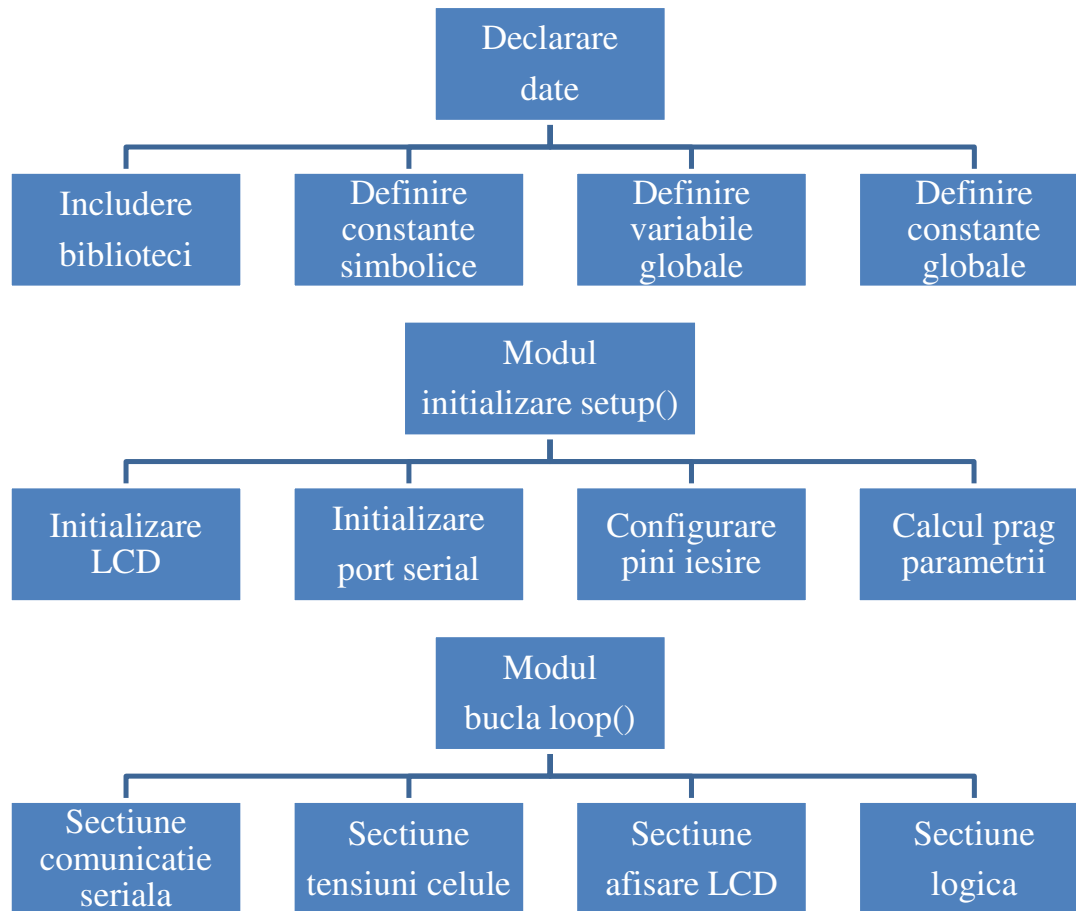
- Funcția *setup()*: aceasta este o funcție esențială în orice program Arduino, codul din funcția *setup()* rulează o singură dată la pornirea plăcii Arduino și este utilizat pentru inițializări inițiale, cum ar fi configurarea pinilor, setarea comunicării seriale sau stabilirea unor parametri importanți;
- Funcția *loop()*: acesta este locul unde majoritatea codului va fi plasat. Codul din funcția *loop()* rulează în buclă la infinit, continuu. Acesta este locul unde se implementează logică repetitivă sau monitorizare constantă, fiind apelată în mod continuu și se execută într-o buclă infinită odată ce programul a fost pornit pe placa Arduino.
- Funcții și variabile: se pot defini propriile funcții și variabile în programul Arduino pentru a organiza codul și a face logica mai ușor de înțeles, variabilele pot fi utilizate pentru a stoca date temporare sau pentru a transmite informații între diferite părți ale programului.



**Fig. 3.18.** Arhitectura software general a programului Arduino Uno

Pe baza celor descrise mai sus, arhitectura programului de control al SMB are 3 secțiuni distincte după cum urmează și sunt schițate în figura 3.19:

- Zona de declarare date;
- Modulul de inițializare setup();
- Modulul de buclare loop();



**Fig. 3.19** Arhitectura programului de control al SMB

Logica de control din funcția loop() începe cu verificarea disponibilității portului serial pentru comunicare, în caz că acesta este gata de utilizare se citesc datele de pe interfața serială și se semnalizează vizual prin ledul de primire date pe portul Rx. Datele sunt transmise manual în fereastra de comunicație a mediului SimulIDE de către utilizator și reprezintă comenzi de afișare a diverse informații: tensiunea celor 3 celule, mesaje de informare dacă celulele sunt supraîncărcate și trebuie echilibrate, starea de încărcare a bateriei cu conectarea / neconectarea încărcătorului sau sarcinii în funcție de condițiile îndeplinite parametrii SMB, temperatura și mesaje de informare sau avertizare. Datele cerute sunt transmise la consola serială utilizatorului și se semnalizează vizual prin led activitatea pe portul Tx de transmitere de date. Comenzile primite pentru afișarea de date sunt numere naturale între 1 și 4 reprezentând cererile, în ordine, de afișare a informațiile despre celulele electrice 1,2,3 și temperatură.

Algoritmul continuă cu citirea datelor de pe divizoarele de tensiune și calculul căderilor de tensiune de pe fiecare dintre cele 3 celule electrice necesare deciziilor acțiunilor



### 3.4.3 Simularea asistată de calculator a SMB cu aplicația SimulIDE

Asistat de utilitarul ScreenRecorder, am înregistrat simularea funcționării SMB din aplicația SimulIDE și am integrat-o în acest capitol în figura 3.21, pentru rularea fisierului video \*.wmv trebuind apăsat simultan tasta control (Ctrl) și butonul stâng al mouse-ului. Înregistrarea de aproximativ 4 minute conține demonstrativul pentru diverse stări funcționale ale SMB după cum urmează:

- Simularea SMB în stare normală de funcționare, cu valori ale parametrilor ce asigură o zonă sigură, temperatura bateriei setată în jur de 50° C, tensiunile celulelor electrice în jur de 3.7 V valoare nominală, ceea ce va duce la o tensiune totală pe baterie de aproximativ 11.1 V rezultând activarea celor 2 rele de conectare a încărcătorului și sarcinii simultan, informațiile de stare fiind afișate pe ecranul LCD și transmise pe interfața serială;
- La secunda 33 se schimbă parametrul de temperatură prin intermediul potențiometrului termistorului la valoarea de 65° C fără a se modifica tensiunile celulelor electrice, acțiune care va duce la deconectarea încărcătorului și sarcinii externe prin dezactivarea celor 2 rele, informațiile de stare și avertizare de supraîncălzire fiind afișate pe ecranul LCD și transmise pe interfața serială;
- La secunda 50 se schimbă parametrul de temperatură prin intermediul potențiometrului termistorului la valoarea de 50° C și se setează tensiunile celor 3 celule electrice la valoare de 3.0 V pentru a întruni condițiile de descărcare profundă a bateriei sub tensiunea minimă de 3.2 V per celulă electrică, ceea ce va conduce la deconectarea sarcinii prin releul corespunzător și avertizarea prin leduri de a conectării încărcătorului;
- La secunda 120 se setează tensiunile celor 3 celule electrice la valori de 3.5 V pentru a întruni condițiile de încărcare normală a bateriei peste tensiunea minimă de 3.2 V per celulă electrică dar sub tensiunea nominală de 3.7 V, ceea ce va conduce la conectarea sarcinii prin releul corespunzător, încărcătorul rămânând conectat și informarea prin leduri cât și pe ecran LCD de conectarea sarcinii;
- La secunda 165 se setează tensiunile celor 3 celule electrice la valori de 4.7 V pentru a întruni condițiile de supraîncărcare a bateriei peste tensiunea maximă de 4.2 V per celulă electrică întrunind condițiile de echilibrare, ceea ce va conduce la deconectarea încărcătorului prin releul corespunzător, sarcina rămânând conectat, se vor activa diodele paralele celulelor pentru preluarea sarcinii în exces de pe celulele electrice, generând informarea prin leduri de echilibrare cât și pe ecran LCD de conectarea sarcinii și deconectarea încărcătorului;
- La secunda 165 se vor trimite un set multiplu de comenzi „1234” în rafală de 4, generând informarea prin leduri de echilibrare, pe ecran LCD cât și prin interfața serială a stării de supraîncărcare și procesul de echilibrare; se observă în acest ultim caz de simulare cum ledurile de comunicație atât pe Rx cât și pe Tx ce reprezintă recepția și transmisia de date pe interfața serială luminează intermitent pentru informarea utilizatorului despre transferul de date;



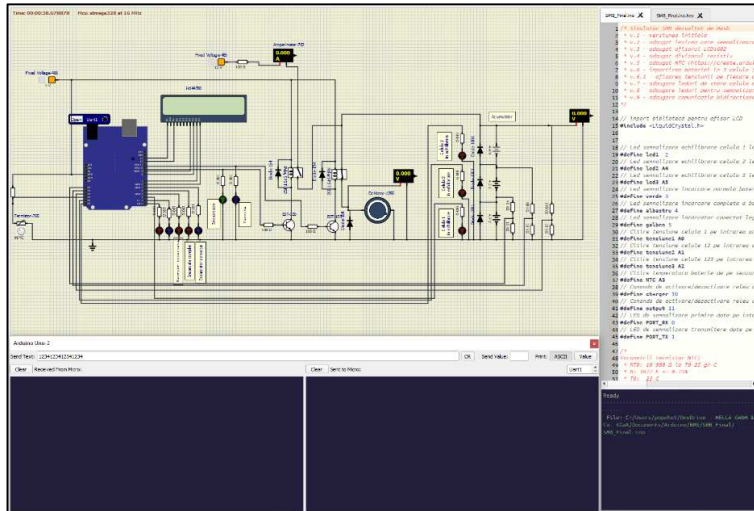


Fig. 3.21. Simulare funcționalitate SMB

### 3.4.4 Testarea cazurilor de utilizare a SMB

Testarea sistemului de management al bateriei simulat cu un senzor de temperatură și trei celule electrice presupune verificarea și validarea funcționalității și siguranței sistemului în diferite condiții. Pentru a elabora cazurile de testare trebuie avute în vedere valorile parametrilor de temperatură și tensiune pentru cele 3 celule electrice. Astfel, temperatura maximă de funcționare în zona sigură a fost setată în programul de control la 60° C, tensiunea minimă a celulei electrice este de 3.2 V, tensiunea nominală 3.7 V, tensiunea maximă 4.2 V când trebuie declanșată funcția de echilibrare. Limita inferioară de tensiune a întregii baterii pentru a fi considerată descărcată este de 3 ori tensiunea minimă a unei celule electrice deci dacă este mai mică de 9.6 V. Cazurile de testare pe care le considerăm pentru SMB sunt următoarele:

- Testarea funcționalității de încărcare și descărcare;
- Testarea funcției de echilibrare;
- Testarea senzorului de temperatură;
- Testarea siguranței;
- Testarea managementului de încărcare;
- Testarea gestionării descărcării;
- Testarea comunicațiilor și a interfeței;
- Testarea în medii extreme;

Se vor documenta și analiza rezultatele fiecărui caz de testare pentru a asigura că sistemul de management al bateriei funcționează în mod corespunzător, în siguranță și în conformitate cu specificațiile și cerințele proiectului, exemplificându-se cu instanțee din aplicația de simulare SimulIDE.

**Caz 1 de testare:** verificarea stării normale de funcționare a SMB, temperatura setată la 50° C și tensiunile celor 3 celule electrice setate la 3.7 V. Rezultatul așteptat de la simularea SMB este de activare a încărcării și a sarcinii prin cele 2 rele, afișarea corectă pe ecranul LCD a parametrilor și a stării releelor cât și pe interfața serială, activarea celor 2 leduri de informare *Baterie încărcată* și *Încărcător conectat*. După cum se exemplifică în figura 3.22 acest test a trecut cu succes în simulare.

**Caz 2 de testare:** verificarea stării supraîncălzire a bateriei, temperatura setată la 75° C și tensiunile celor 3 celule electrice setate la 3.7 V. Rezultatul așteptat de la simularea SMB

este de dezactivare a încărcării și a sarcinii prin cele 2 rele, afișarea corectă pe ecranul LCD a parametrilor și a stării releelor cât și pe interfața serială, dezactivarea tuturor ledurilor de informare, afișarea mesajelor de avertizare a stării de supraîncălzire pe ecranul LCD cât și pe interfața serială. După cum se exemplifică în figura 3.23 acest test a trecut cu succes în simulare.

**Caz 3 de testare:** verificarea stării subîncărcare a bateriei, temperatura setată la 50° C și tensiunile celor 3 celule electrice setate la 3.2 V. Rezultatul așteptat de la simularea SMB este de activare a încărcării și dezactivare a sarcinii prin cele 2 rele, afișarea corectă pe ecranul LCD cât și pe interfața serială a parametrilor, a stării releelor și mesajelor de avertizare a stării de subîncărcare, activarea ledului de informare de *Încărcător conectat*. După cum se exemplifică în figura 3.24 acest test a trecut cu succes în simulare.

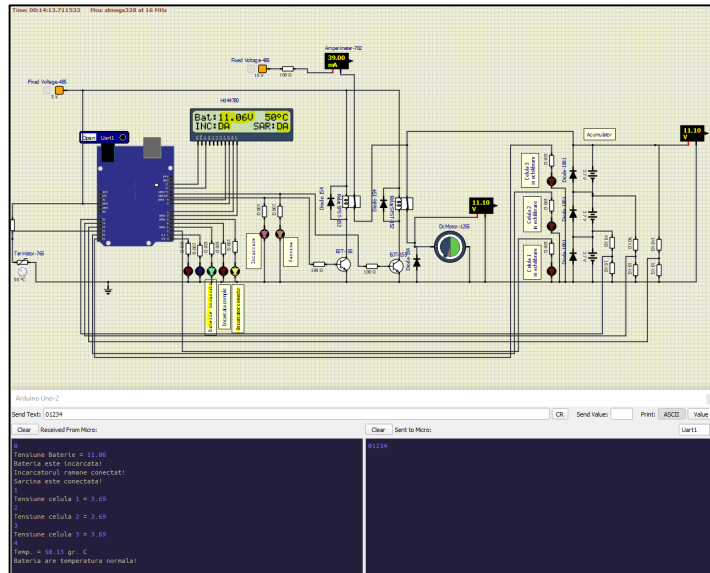


Fig. 3.22. Caz 1 de testare

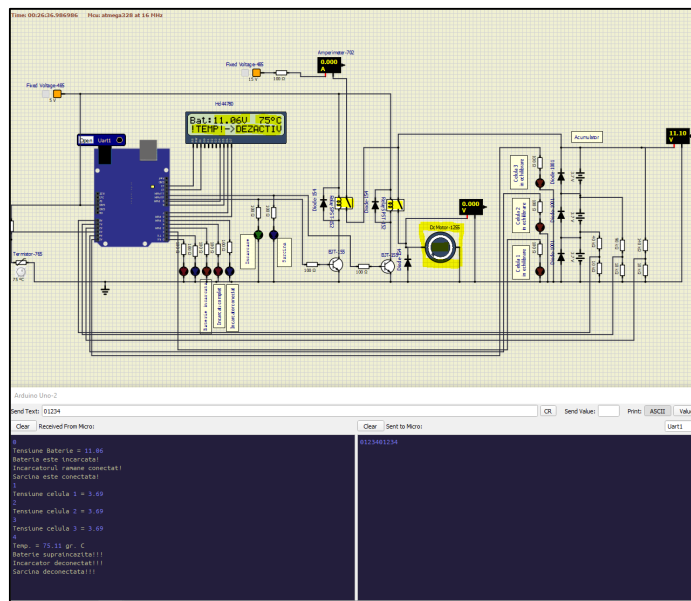


Fig. 3.23. Caz 2 de testare

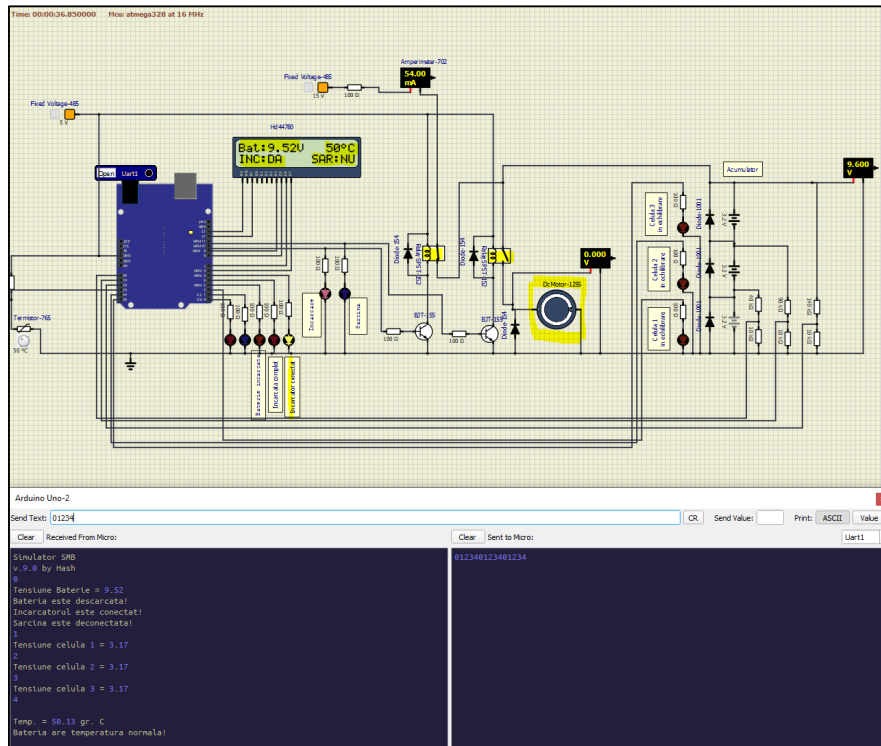


Fig. 3.24. Caz 3 de testare

**Caz 4 de testare:** verificarea stării subîncărcare și supraîncălzire a bateriei, temperatura setată la  $75^{\circ}\text{C}$  și tensiunile celor 3 celule electrice setate la 3.2 V. Rezultatul așteptat de la simularea SMB este de dezactivare a încărcării și dezactivare a sarcinii prin cele 2 rele, afișarea corectă pe ecranul LCD cât și pe interfața serială a parametrilor, a stării releelor și mesajelor de avertizare a stării de subîncărcare și supraîncălzire, dezactivarea tuturor ledurilor de informare. După cum se exemplifică în figura 3.25 acest test a trecut cu succes în simulare.

**Caz 5 de testare:** verificarea stării subîncărcare pe un subset de celule electrice dar cu tensiunea totală a bateriei este peste limita inferioară de 9.6 V, temperatura setată la  $50^{\circ}\text{C}$  și tensiunile a 2 celule electrice setate la nominala de 3.7 V iar celulă la tensiunea de subîncărcare de 3.2 V rezultând o tensiune pe baterie de 10.6 V. Rezultatul așteptat de la simularea SMB este de activare a încărcării și activare a sarcinii prin cele 2 rele, afișarea corectă pe ecranul LCD cât și pe interfața serială a parametrilor, a stării releelor și ledurile de informare a mesajelor *Baterie încărcată* și *Încărcător conectat* de subîncărcare și supraîncălzire. După cum se exemplifică în figura 3.26 acest test a trecut cu succes în simulare.

**Caz 6 de testare:** verificarea stării de supraîncărcare unor celule electrice, temperatura setată la  $50^{\circ}\text{C}$  și tensiunea a 2 celule electrice setate la valori peste limita superioară de 4.2 V și tensiunea unei celule electrice setată sub această limită superioară. Rezultatul așteptat de la simularea SMB este de dezactivare a încărcării și activare a sarcinii prin cele 2 rele, afișarea corectă pe ecranul LCD cât și pe interfața serială a parametrilor, a stării releelor și mesajelor de informare *Încărcată complet* și de avertizare a stării de supraîncărcare a 2 celule electrice ceea ce duce la activarea echilibrării pe cele 2 celule, eveniment semnalizat prin ledurilor de informare a echilibrării. După cum se exemplifică în figura 2.27 acest test a trecut cu succes în simulare.

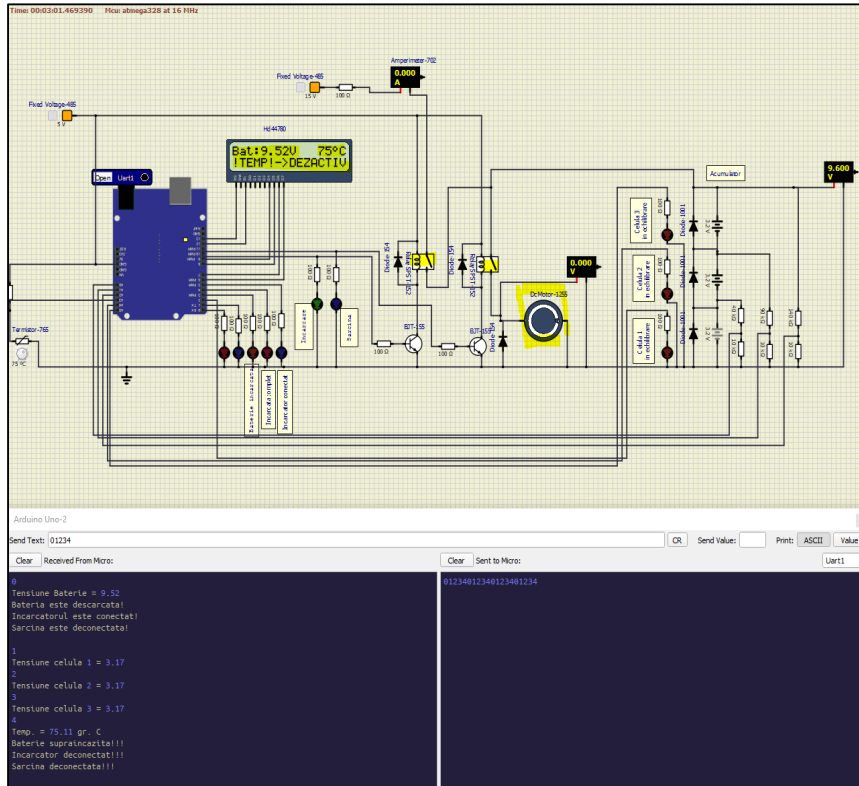


Fig. 3.25. Caz 4 de testare

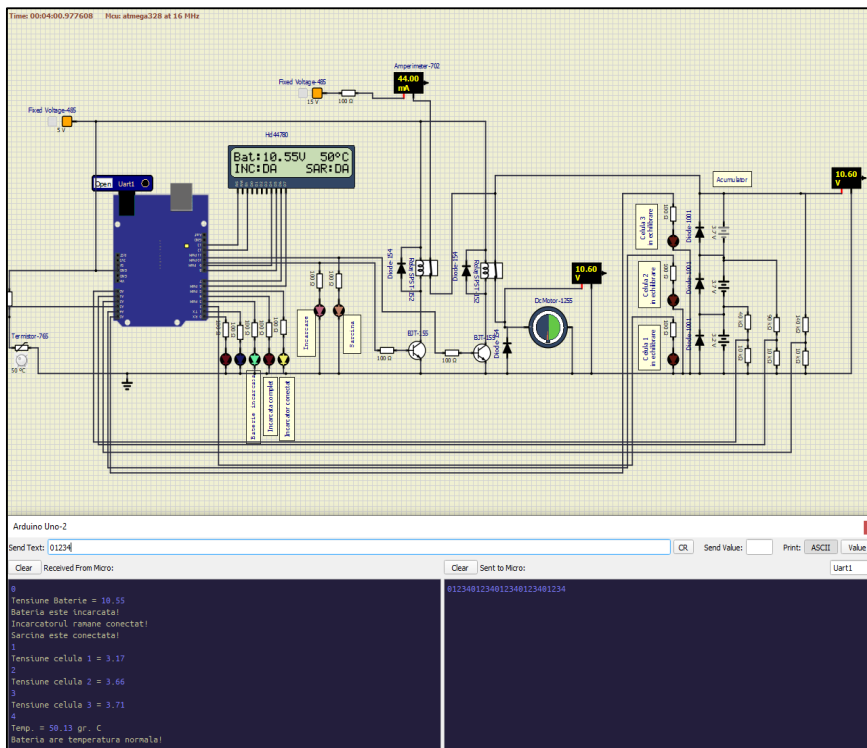


Fig. 3.26. Caz 5 de testare

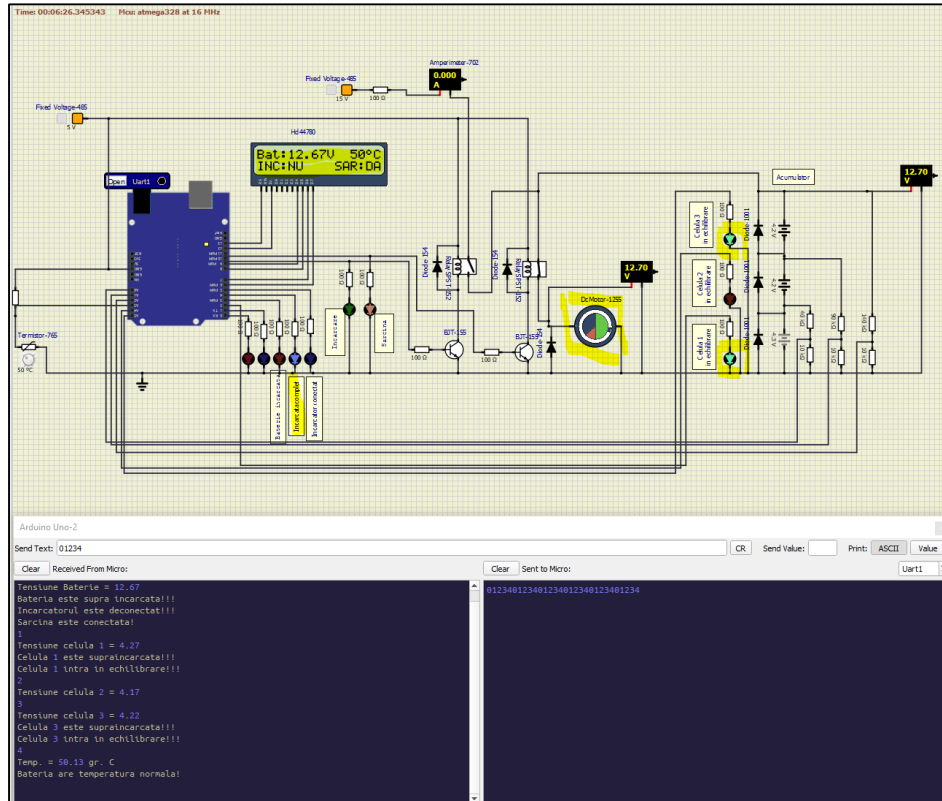


Fig. 3.27. Caz 6 de testare

**Caz 7 de testare:** verificarea stării de supraîncărcare a celor 3 celule electrice, temperatura setată la 50° C și tensiunea celule electrice setate la valori peste limita superioară de 4.2 V. Rezultatul așteptat de la simularea SMB este de dezactivare a încărcării și activare a sarcinii prin cele 2 rele, afișarea corectă pe ecranul LCD cât și pe interfața serială a parametrilor, a stării releelor și mesajelor de informare *Încărcată complet* și de avertizare a stării de supraîncărcare a celor 3 celule electrice ceea ce duce la activarea echilibrării pe acestea, eveniment semnalizat prin ledurilor de informare a echilibrării. După cum se exemplifică în figura 2.28 acest test a trecut cu succes în simulare.

**Caz 8 de testare:** verificarea stării de supraîncărcare a unei celule electrice din cele 3, temperatura setată la 50° C și tensiunea unei celule electrice setate la valori peste limita superioară de 4.2 V iar celălalte 2 celule setate la tensiunea nominală de 3.7 V. Rezultatul așteptat de la simularea SMB este de activare a încărcării și activare a sarcinii prin cele 2 rele, afișarea corectă pe ecranul LCD cât și pe interfața serială a parametrilor, a stării releelor și mesajelor de informare *Baterie incarcata și Incarcator conectat* cât și a mesajului de avertizare a stării de supraîncărcare a celulei electrice ceea ce duce la activarea echilibrării pe aceasta, eveniment semnalizat prin ledul de informare a echilibrării celulei supraîncărcate. După cum se exemplifică în figura 3.29 acest test a trecut cu succes în simulare.

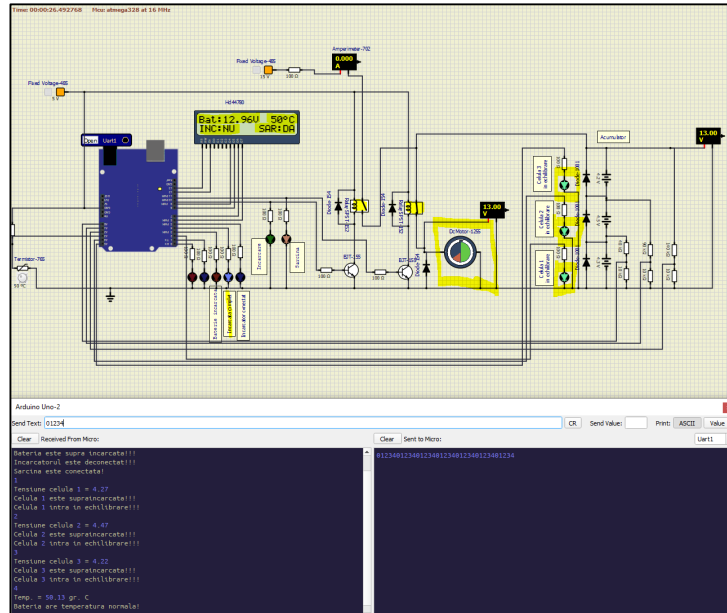


Fig. 3.28. Caz 7 de testare

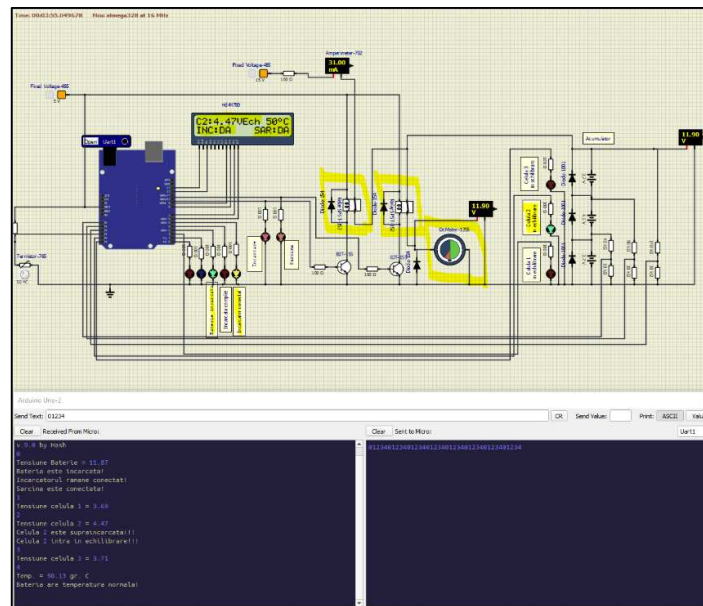


Fig. 3.29. Caz 8 de testare

**Caz 9 de testare:** verificarea stării de supraîncărcare a celor 3 celule electrice în caz de supratemperatură a bateriei ce este setată la  $75^{\circ}\text{C}$ , tensiunea celulelor electrice setate la valori peste limita superioară de 4.2 V. Rezultatul așteptat de la simularea SMB este de dezactivare a încărcării și dezactivare a sarcinii prin cele 2 relee deoarece sistemul este în afara zonei de siguranță de funcționare, afișarea corectă pe ecranul LCD cât și pe interfața serială a parametrilor, a stării releelor și mesajului de avertizare *Baterie supraincalzita* și *Incarcator deconectat* cât și a mesajului de informare a stării de supraîncărcare a celulelor electrice ceea ce duce la activarea echilibrării pe acestea, eveniment semnalizat prin leduri de informare a echilibrării celulelor supraîncărcate. Dupa cum se exemplifică în figura 3.30 acest test a trecut cu succes în simulare.

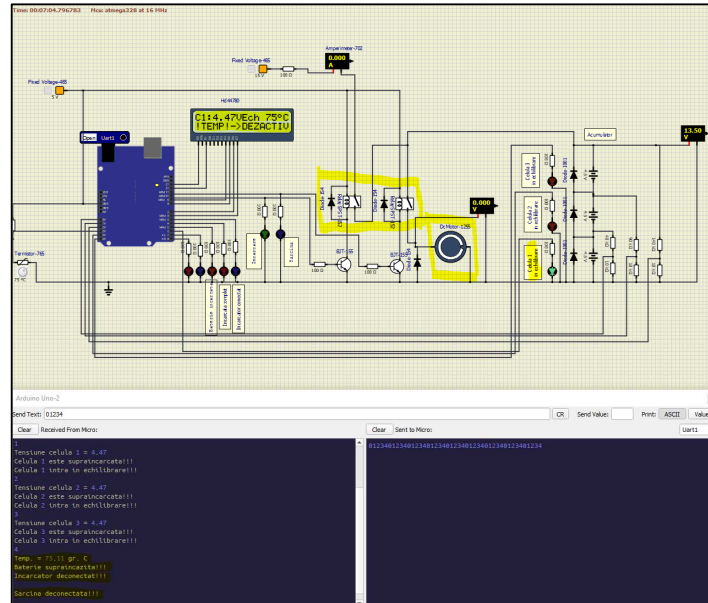


Fig. 3.30. Caz 9 de testare

Ca o sumarizare a testării funcționale a SMB în diversele scenarii, cele 9 cazuri de testare sunt detaliate în tabelul 3.1, conținând informații relevante despre valorile parametrilor de temperatură a bateriei și tensiune ale celulelor electrice în diverse configurații importante pentru influențarea stărilor SMB urmând ca după simularea cu succes a SMB să trecem în capitolul următor la implementarea acestuia.

Tabelul 3.1

Sumarizare cazuri de testare a SMB simulat

Caz de testare	Temperatură baterie °C	Tensiune celule electrice 1, 2, 3 V	Comandă serială	Comportament așteptat	Comportament actual simulat	Verdict test
1	50.13	3.69, 3.69, 3.69	01234	Încărcător conectat, Sarcină conectată, Led <i>Baterie incarcata</i> activ, Led <i>Incarcator conectat</i> activ, Leduri Rx, Tx active la transfer de date, Valorile parametrilor și mesaje de informare afișate pe interfața serială	Figura 61	Succes
2	75.11	3.69, 3.69, 3.69	01234	Încărcător deconectat, Sarcină deconectată, Leduri de informare dezactivate, Leduri Rx, Tx active la transfer de date, Valorile parametrilor și mesaje de informare și avertizare afișate pe interfața serială	Figura 62	Succes
3	50.13	3.17, 3.17, 3.17	01234	Încărcător conectat, Sarcină deconectată, Led <i>Incarcator conectat</i> , Leduri Rx, Tx active la transfer de date, Valorile parametrilor și mesaje de informare și avertizare afișate pe interfața serială	Figura 63	Succes
4	75.11	3.17, 3.17, 3.17	01234	Încărcător deconectat, Sarcină deconectată, Leduri de informare dezactivate, Leduri Rx, Tx active la transfer de date, Valorile parametrilor și mesaje de informare și avertizare afișate pe interfața serială	Figura 64	Succes

5	50.13	3.17, 3.66, 3.17	01234	Încărcător conectat, Sarcină conectată, Leduri de informare <i>Baterie incarcata, Incarcator conectat, Incarcare, Sarcina</i> activate, Leduri Rx, Tx active la transfer de date, Valorile parametrilor și mesaje de informare afișate pe interfața serială	Figura 65	Succes
6	50.13	4.27, 4.17, 4.22	01234	Încărcător deconectat, Sarcină conectată, Leduri de informare <i>Incarcata complet, Sarcina, Celula 1 in echilibrare, Celula 3 in echilibrare</i> activate, Leduri Rx, Tx active la transfer de date, Valorile parametrilor și mesaje de informare afișate pe interfața serială	Figura 66	Succes
7	50.13	4.27, 4.47, 4.22	01234	Încărcător deconectat, Sarcină conectată, Leduri de informare <i>Incarcata complet, Sarcina, Celula 1 in echilibrare, Celula 2 in echilibrare</i> , Celula 3 in echilibrare activate, Leduri Rx, Tx active la transfer de date, Valorile parametrilor și mesaje de informare afișate pe interfața serială	Figura 67	Succes
8	50.13	3.69, 4.47, 3.71	01234	Încărcător conectat, Sarcină conectată, Leduri de informare <i>Baterie incarcata, Incarcator conectat, Incarcare, Sarcina, Celula 2 in echilibrare</i> activate, Leduri Rx, Tx active la transfer de date, Valorile parametrilor și mesaje de informare afișate pe interfața serială	Figura 68	Succes
9	75.11	4.47, 4.47, 4.47	01234	Încărcător deconectat, Sarcină deconectată, Leduri de informare dezactivate, Leduri Rx, Tx active la transfer de date, Leduri de echilibrare active, Valorile parametrilor și mesaje de informare și avertizare afișate pe interfața serială	Figura 69	Succes

## 3.5 IMPLEMENTAREA SMB

### 3.5.1 Desenarea schemei hardware asistată de aplicația EAGLE

EAGLE (acronim pentru Easily Applicable Graphical Layout Editor) este o aplicație software utilizată pentru proiectarea schematică și a plăcilor de circuite imprimate (PCB - Printed Circuit Board). Dezvoltată de către compania CadSoft ce a fost achiziționată ulterior de Autodesk, EAGLE este una dintre cele mai populare și bine-cunoscute soluții de proiectare pentru electroniști, ingineri și pasionați. EAGLE este un instrument versatil și puternic pentru proiectarea circuitelor imprimate și este utilizat într-o gamă largă de domenii, de la electronica amatorilor până la dezvoltarea de produse comerciale [47].

În figura 3.31 sunt prezentată blocurile funcționale ale arhitecturii hardware a SMB cât și schematicul sistemului implementat folosind codul culorilor. Structura bloc a SMB a suferit ceva modificări de optimizare față de varianta simulată prezentată în capitolul anterior, astfel s-a folosit un dispozitiv cu 2 relee integrate în locul releelor independente de încărcare și întrerupere, iar în locul interfeței seriale UART am ales un modul de comunicație fără fir bluetooth pentru transferul de informație. O altă modificare importantă este folosirea unei interfețe ce utilizează protocolul I2C pentru afișarea datelor de stare și avertizare pe ecranul LCD, folosind astfel doar 2 pini de control în loc de 6 pini utilizați la varianta simulată.



Descrierea detaliată a blocurilor funcționale pentru implementarea hardware a SMB este următoarea:

- **Placa de dezvoltare Arduino Nano 3.0;**
- **Modulul Bluetooth HC-05;**
- **Stabilizator de tensiune de 5 V;**
- **Limitator de curent** bazat pe circuitul LM317;
- **Leduri echilibrare LED1, LED2, LED3;**
- **Leduri stare baterie LED4, LED5, LED6;**
- **Interfața I2C** (Inter-Integrated Circuit / Circuit de Conectare a Integratelor) pentru ecranul LCD;
- Modulul **Dispozitiv relee încărcător și sarcină**, *Relay-2-SRD*, este un dispozitiv electronic care conține două releuri (relay) tip SRD (Single Relay Driver);
- **Ecran LCD**, modulul "HD44780LCD-1602";
- Secțiunea **Divizoare de tensiune** conține cele 3 divizoare de tensiune necesare pentru culegerea celor 3 tensiuni de pe celula electrică 1, de pe combinația de celule 1 și 2 cât și de pe celulele electrice 1, 2 și 3;
- Blocul **Module de echilibrare tensiune;**
- Blocul **Celule electrice** conține cele 3 celule electrice implementate prin folosirea de acumulatori Li-Ion 18650 cu o tensiune nominală de 3.7 V și o capacitate de 8800 mAh;
- Blocul **Senzor de temperatură** este implementat prin intermediul termistorul NTC Siemens B57164;

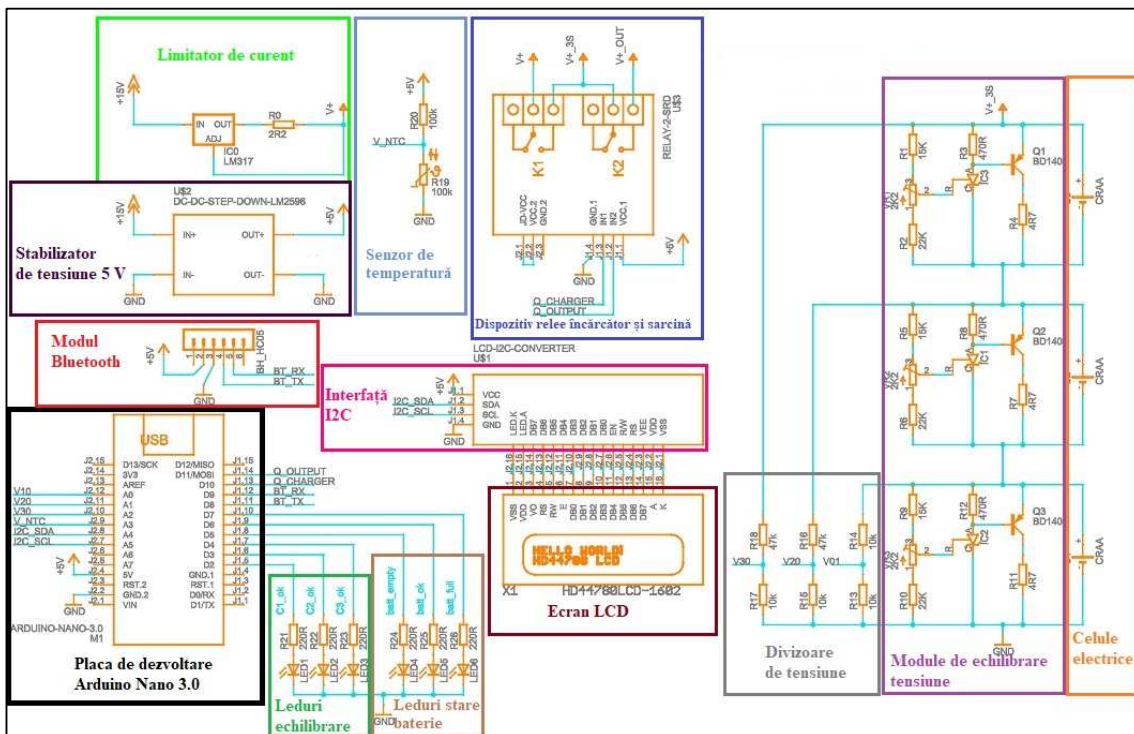


Fig. 3.31. Arhitectura hardware și schematicul SMB

### 3.5.2 Lista de componente electrice / electronice a SMB

Pentru a crea lista de materiale (LM / BOM) în aplicația Autodesk Eagle, am utilizat instrumentul BOM, care a generat automat o LM / BOM pe baza pieselor pe care le-am plasat în proiectarea schematică. Pașii pentru generarea listei în format .csv sunt următorii:

- Deschidere fișierul schematic (.sch) din Panoul de control Autodesk EAGLE;
- Selectare instrumentul ULP din partea de sus a interfeței și alegere fișier bom.ulp din lista ULP-urilor disponibile;
- Instrumentul BOM va genera automat o LM / BOM pe baza pieselor pe care le-am plasat în proiectul schematic.

Fișierul .csv generat este integrat în tabelul 3.2:

**Tabelul 3.2**

#### Lista de componente generată din schematicul SMB

Componenta	Valoare	Dispozitivul	Capsulă	Descriere
BH_HC05		MA06-1	MA06-1	CONECTOR CU PINI
C1	CRAA	CRAA	CRAA	BATERIE DE LI VARTA
C2	CRAA	CRAA	CRAA	BATERIE DE LI VARTA
C3	CRAA	CRAA	CRAA	BATERIE DE LI VARTA
IC0	LM317	LM317-TO3	TO3-K02	REGULATOR DE VOLTAJ
IC1		TL431CLP	TO92-CLP	REGULATOR DE VOLTAJ
IC2		TL431CLP	TO92-CLP	REGULATOR DE VOLTAJ
IC3		TL431CLP	TO92-CLP	REGULATOR DE VOLTAJ
LED1		LED5MM	LED5MM	LED
LED2		LED5MM	LED5MM	LED
LED3		LED5MM	LED5MM	LED
LED4		LED5MM	LED5MM	LED
LED5		LED5MM	LED5MM	LED
LED6		LED5MM	LED5MM	LED
M1	ARDUINO-NANO-3.0	ARDUINO-NANO-3.0	ARDUINO-NANO-3.0	ARDUINO NANO 3.0
Q1	BD140	BD140	TO126AV	TRANZISTOR PNP
Q2	BD140	BD140	TO126AV	TRANZISTOR PNP
Q3	BD140	BD140	TO126AV	TRANZISTOR PNP
R0	2R2	R-EU_0204/7	0204/7	REZISTOR, simbol european
R1	15K	R-EU_0204/7	0204/7	REZISTOR, simbol european
R2	22K	R-EU_0204/7	0204/7	REZISTOR, simbol european
R3	470R	R-EU_0204/7	0204/7	REZISTOR, simbol european
R4	4R7	R-EU_0204/7	0204/7	REZISTOR, simbol european
R5	15K	R-EU_0204/7	0204/7	REZISTOR, simbol european
R6	22K	R-EU_0204/7	0204/7	REZISTOR, simbol european
R7	4R7	R-EU_0204/7	0204/7	REZISTOR, simbol european
R8	470R	R-EU_0204/7	0204/7	REZISTOR, simbol european
R9	15K	R-EU_0204/7	0204/7	REZISTOR, simbol european
R10	22K	R-EU_0204/7	0204/7	REZISTOR, simbol european
R11	4R7	R-EU_0204/7	0204/7	REZISTOR, simbol european
R12	470R	R-EU_0204/7	0204/7	REZISTOR, simbol european
R13	10k	R-EU_0204/7	0204/7	REZISTOR, simbol european
R14	10k	R-EU_0204/7	0204/7	REZISTOR, simbol european
R15	10k	R-EU_0204/7	0204/7	REZISTOR, simbol european
R16	47k	R-EU_0204/7	0204/7	REZISTOR, simbol european
R17	10k	R-EU_0204/7	0204/7	REZISTOR, simbol european

R18	47k	R-EU_0204/7	0204/7	REZISTOR, simbol european
R19	100k	B57164	B57164	TERMISTOR NTC SIEMENS
R20	100k	R-EU_0204/7	0204/7	REZISTOR, simbol european
R21	220R	R-EU_0204/7	0204/7	REZISTOR, simbol european
R22	220R	R-EU_0204/7	0204/7	REZISTOR, simbol european
R23	220R	R-EU_0204/7	0204/7	REZISTOR, simbol european
R24	220R	R-EU_0204/7	0204/7	REZISTOR, simbol european
R25	220R	R-EU_0204/7	0204/7	REZISTOR, simbol european
R26	220R	R-EU_0204/7	0204/7	REZISTOR, simbol european
U\$1	LCD-I2C- CONVERTER	LCD-I2C- CONVERTER	LCD-I2C- CONVERTER	Magistrală I2C la interfața paralelă LCD pe 4 biți cu driver cu lumină de fundal LED
U\$2	DC-DC-STEP- DOWN- LM2596	DC-DC-STEP- DOWN-LM2596	DC-DC-STEP- DOWN- LM2596	DC/DC Regulator Step-Down bazat pe cip LM2596-ADJ
U\$3	RELAY-2- SRD	RELAY-2-SRD	RELAY-2-SRD	Modul releu cu 2 canale bazat pe relee SRD-05VDC-SL-C
VR1	2K2	R-TRIMM64P	RTRIM64P	Rezistor de reglare
VR2	2K2	R-TRIMM64P	RTRIM64P	Rezistor de reglare
VR3	2K2	R-TRIMM64P	RTRIM64P	Rezistor de reglare
X1	HD44780 LCD-1602	HD44780 LCD- 1602	LCD1602	Ecran cu cristale lichide HD44780

### 3.5.3 Implementarea hardware a SMB

Pe baza arhitecturii hardware și a schematicului, lista de componente a fost achiziționată prin platforma ArduinoShop, în vederea integrării acestora pe placa de circuit pentru realizarea implementării hardware ca în figura 3.32.

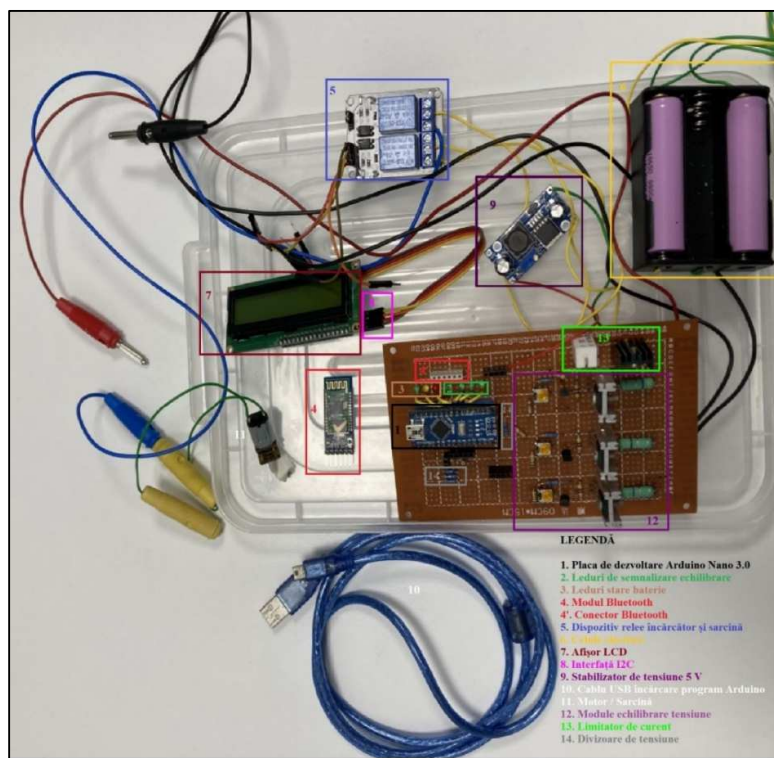
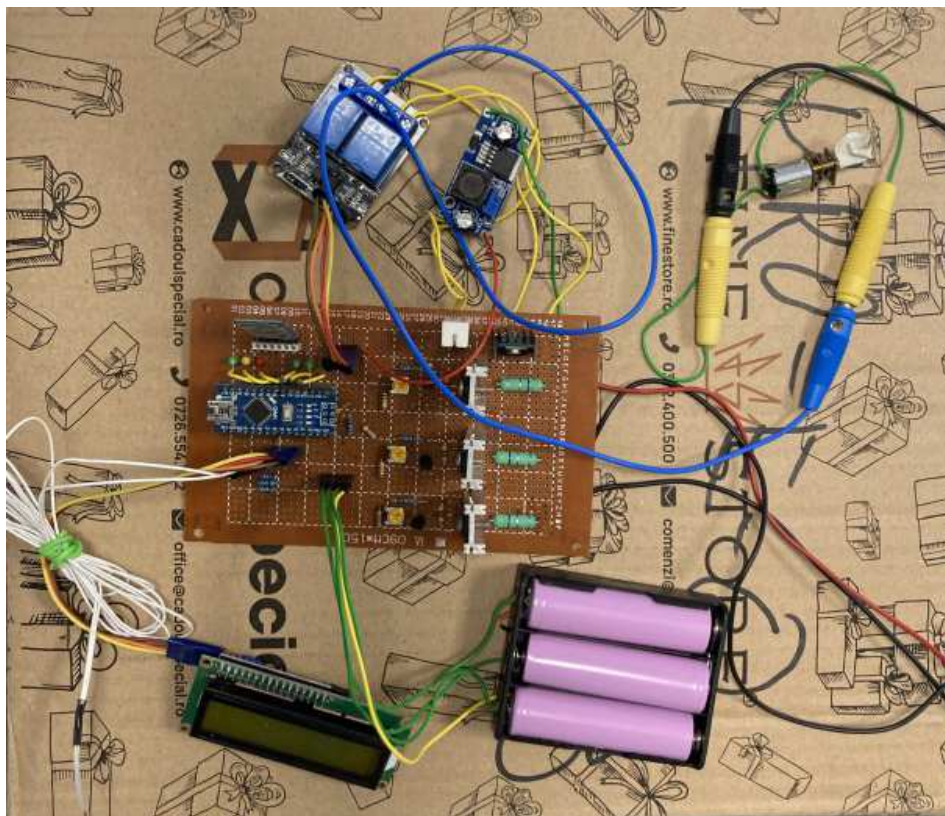


Fig. 3.32. Implementarea hardware a SMB

Pentru asigurarea trasabilității între componentele fizice și cele abstracte ale schematicului din figura 3.32, am păstrat același cod al culorilor pentru evidențierea blocurilor funcționale pe circuit cât și în documentarea acestora pe legendă. Pe circuitul real apar 2 articole în plus față de schematic care sunt documentate cu culoarea albă, fiind vorba despre cablul USB pentru asigurarea transferului programului de control din mediul de programare Arduino IDE pe placa de dezvoltare Arduino Nano 3.0 numerotată cu 10 și motorul care joacă rol de sarcină numerotată cu 11.

Urmărind schematicul, componentele achiziționate au fost integrate pe placa de circuit respectându-se orientarea și polarizarea corectă a acestora, conexiunile fiind realizate prin lipituri sau fire. După asamblare s-au verificat erorile de conexiuni sau scurtcircuit prin intermediul unui multimetru digital. În urma integrării componentelor electrice și electronice pe placa de cablaj cât și a conectării firelor la interfețele specifice se obține sistemul integrat ca în figura 3.33. Față de figura 3.34 se poate observa conectarea la interfețele specifice a următoarelor componente: afișorul LCD prin intermediul interfeței I2C, bateria sistemului formată din cele 3 celule electrice înseriate, modulul bluetooth pentru comunicația serială fără fir, dispozitivul cu cele 2 relee de conectare sau deconectare a încărcătorului extern și a sarcinii, senzorul de temperatură implementat prin termistorul NTC de la Siemens.

Sistemul astfel integrat a fost supus Testului Fumului (Smoke Test), ce reprezintă o testare inițială rapidă și simplă a SMB pentru a verifica dacă acesta pornește corect și dacă nu există erori majore. Acest test nu explorează în detaliu toate funcționalitățile SMB, ci doar verifică dacă sistemul "pornește" fără probleme evidente. S-a conectat SMB-ul la o sursă externă cu tensiunea de 15 V și o limitare a curentului debitat la 1 A pentru protecție fiind verificate indicatoarele luminoase de pe componentele active, temperatura sistemului pentru identificarea eventualelor probleme de disipare a căldurii sau suprasarcinilor.



**Fig. 3.33.** Sistemul hardware integrat al SMB

### 3.5.4 Implementarea software a comportamentului dinamic al SMB

Arhitectura software a variantei cu implementare hardware a SMB este similară cu arhitectura software a SMB simulat în aplicația SimulIDE. Partea de logică a buclei *loop()* a fost ajustată cu câteva modificări care au în vedere înlocuirea comunicației seriale cu fir UART cu comunicația serială fără fir bluetooth și folosirea unor fanioane temporare pentru a asigura acționarea actuatorelor după o perioadă de timp necesară eliminării perioadelor tranzitorii și evitarea de luare a unor decizii false. În figura 3.34 este prezentată schema logică a fluxurilor de control al buclei *loop()* iar în Anexă se află documentată implementarea detaliată în limbajul de programare Arduino C cu comentarii explicative pentru fiecare linie de cod.

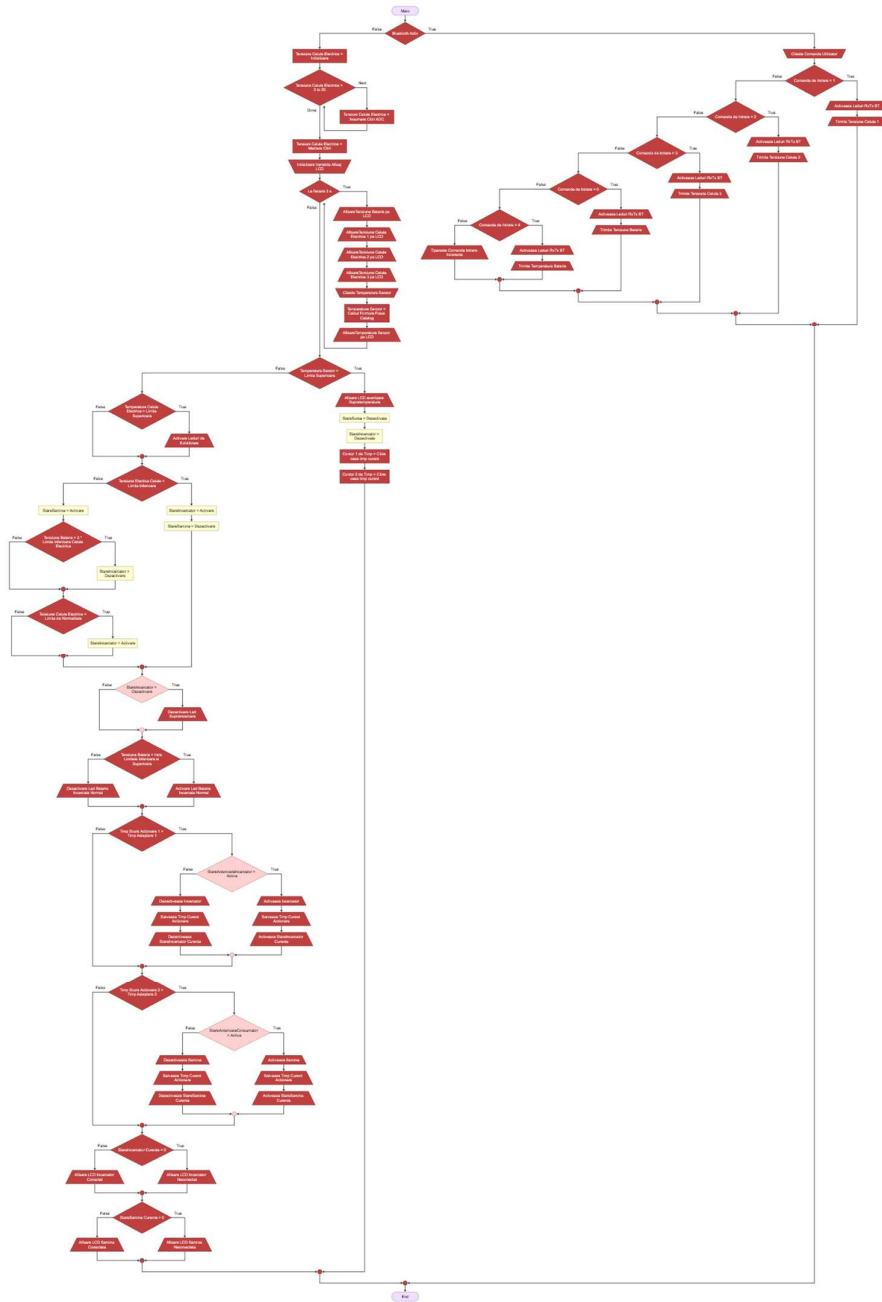


Fig. 3.34. Schema logica bucla implementare hardware a SMB

Odată ce aplicația software este implementată și verificată sintactic prin compilare, este necesar descărcarea acesteia pe placa de dezvoltare Arduino Nano 3.0. Astfel, se conectează placa Arduino Uno 3.0 la calculator folosind un cablu USB, articolul cu numărul 10 din tabelul 3.2. Se deschide mediul Arduino IDE și se selectează tipul de placă pe care îl utilizăm din meniul "Tools" -> "Board", în acest caz, selectăm "Arduino Nano 3.0". De asemenea, din meniul "Tools" -> "Port", se selectează portul serial corespunzător la care este conectată placa Arduino, în cazul nostru COM7. După ce programul este verificat de erori de erori de opțiunea *Verify* sau *Compile*, utilizăm butonul *Upload* (sau săgețile de pe lângă) pentru a încărca programul pe placa Arduino, opțiune ce va compila programul și îl va transfera pe placă. După ce programul este încărcat cu succes conform figurii 3.35, putem deconecta placa Arduino de la computer.



**Fig. 3.35.** Descărcare aplicația de control pe placa de dezvoltare Arduino Nano 3.0

### 3.6 VERIFICAREA ȘI TESTAREA SMB

Similar paragrafului 3.4.4, se vor documenta și analiza rezultatele fiecărui caz de testare pentru a asigura că sistemul de management al bateriei funcționează în mod corespunzător, în siguranță și în conformitate cu specificațiile și cerințele proiectului, direct pe placa implementată hardware a SMB, exemplificându-se cu instanțanee din procesul de testare.

#### 3.6.1 Elaborarea cazurilor de testare

**Caz 1 de testare:** verificarea funcționării comunicației fără fir bluetooth a SMB la pornirea sistemului și setarea corectă a acesteia. Rezultatul așteptat este de afișare a meniului de comenzi pe terminalul inteligent conectat la sistemul SMB, meniu care a fost implementat în funcția de setare a sistemului și care trebuie afișat o singură dată ca informare pentru utilizator la pornirea sau resetarea SMB-ului. După cum se exemplifică în figura 3.36 acest test a trecut cu succes, după resetarea SMB afișându-se meniul de comenzi de la 0 la 4 după cum urmează:

*Comenzi admise;*

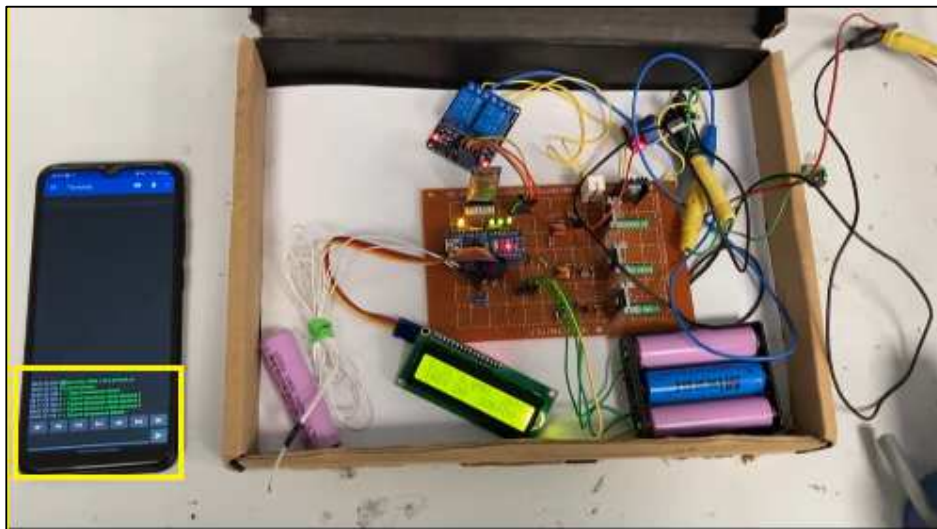
*0 -> Tiparire tensiune baterie*

*1 -> Tiparire tensiune celula electrica 1*

*2 -> Tiparire tensiune celula electrica 2*

*3 -> Tiparire tensiune celula electrica 3*

*4 -> Tiparire temperatura baterie*



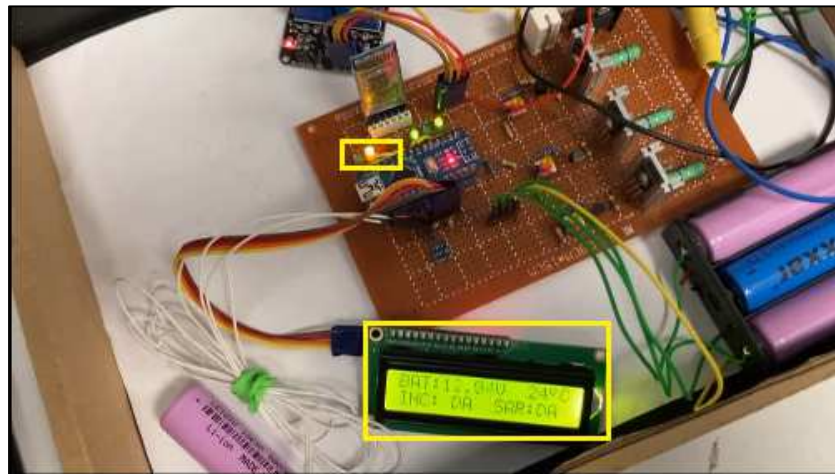
**Fig. 3.36.** Caz 1 de testare

**Caz 2 de testare:** verificarea funcționării comunicației fără fir bluetooth a SMB la pornirea sistemului și a mesajului de informare în cazul unei comenzi eronate de intrare, în afara domeniului 0-4. Rezultatul așteptat este de afișare a avertizării *Comanda incorecta, valori admise: 0, 1, 2, 3, 4* pe terminalul inteligent conectat prin bluetooth la SMB, în cazul în care se citește o comandă eronată. După cum se exemplifică în figura 3.37 acest test a trecut cu succes, după comenzii 5, fiind afișat mesajul de avertizare de comandă eronată:



**Fig. 3.37.** Caz 2 de testare

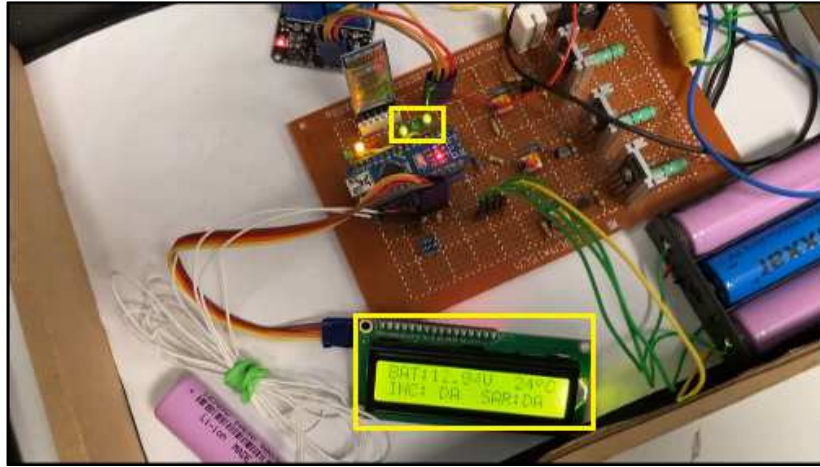
**Caz 3 de testare:** verificarea stării normale de funcționare a SMB, temperatura ambientală 24° C și tensiunea bateriei 12.04 V, cu distribuția tensiunilor pe celulele electrice de 4.1 V, 3.9 V, 4.04 V. Rezultatul așteptat de la SMB este de activare a încărcării și a sarcinii prin cele 2 rele, afișarea corectă pe ecranul LCD a parametrilor și a stării releelor cât și pe interfața serială bluetooth, activarea ledului de informare *Baterie încărcată normal* și *Încărcător conectat*. După cum se exemplifică în figura 3.38 acest test a trecut cu succes la rulare.



**Fig. 3.38.** Caz 3 de testare

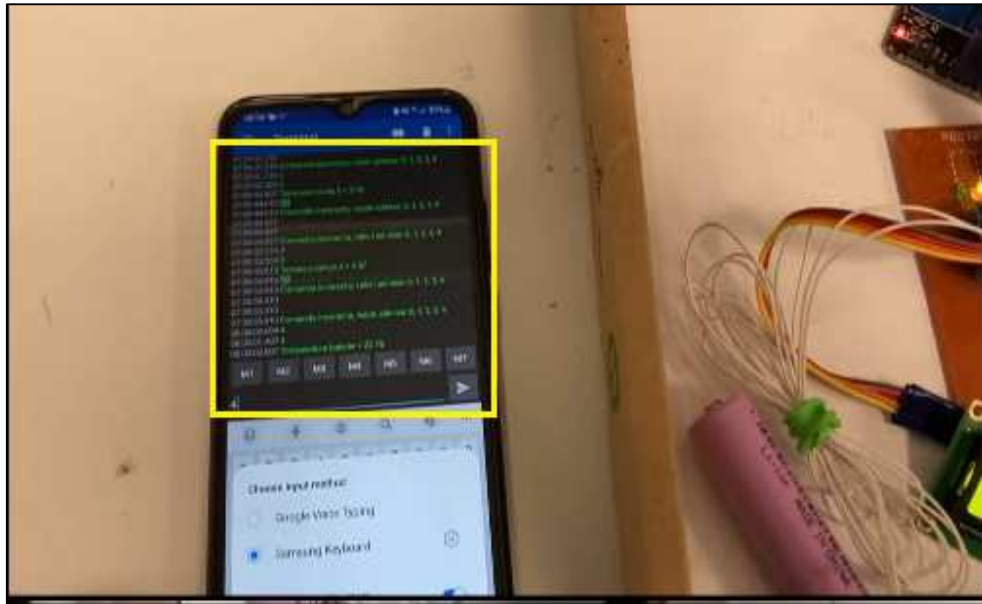
**Caz 4 de testare:** verificarea procesului de echilibrare a celulelor electrice a SMB, temperatura ambientală 24° C și tensiunea bateriei 12.04 V, cu distribuția tensiunilor pe celulele electrice de 4.1 V, 3.9 V, 4.04 V. Rezultatul așteptat de la SMB este de activare a încărcării și a sarcinii prin cele 2 rele, afișarea corectă pe ecranul LCD a parametrilor și a stării releelor cât și pe interfața serială bluetooth, activarea ledurilor de informare a echilibrării celulelor 1 și 2, dezactivarea ledului de informare a echilibrării celulei electrice 2. După cum se exemplifică în figura 3.39 acest test a trecut cu succes la rulare.





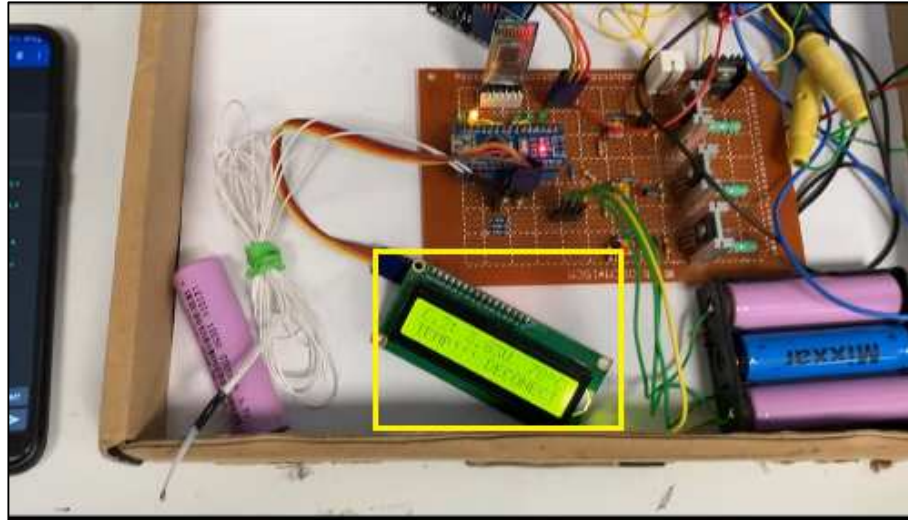
**Fig. 3.39.** Caz 4 de testare

**Caz 5 de testare:** verificarea procesului de afișare corectă a parametrilor SMB pe terminalul inteligent folosind tehnologia bluetooth SMB. Rezultatul așteptat de la SMB este de afișare corectă pe ecranul terminalului inteligent ai parametrilor tensiune baterie la comanda 0, tensiune celulă electrică 1 la comanda 1, tensiune celulă electrică 2 la comanda 2, tensiune celulă electrică 3 la comanda 3, temperatură senzor NTC de temperatură la comanda 4. După cum se exemplifică în figura 3.40 acest test a trecut cu succes la rulare.



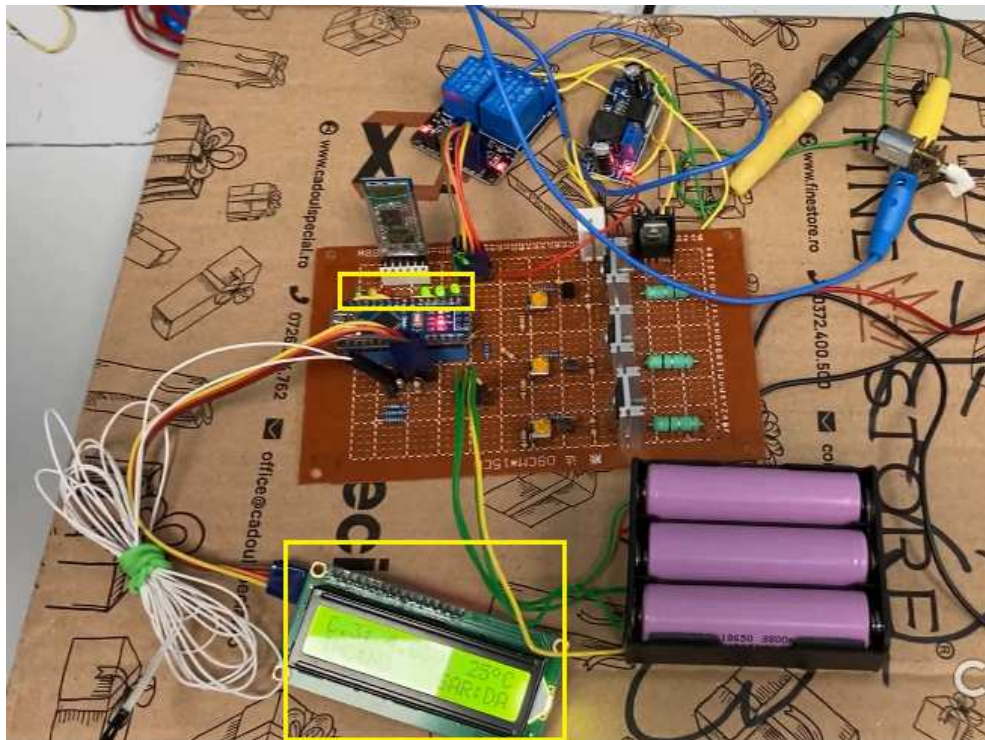
**Fig. 3.40.** Caz 5 de testare

**Caz 6 de testare:** verificarea procesului de supratemperatură a SMB la încălzirea senzorului peste temperatura de prag de 60° C. Rezultatul așteptat de la SMB este de afișare corectă pe ecranul terminalului inteligent ai parametrului de temperatură senzor NTC de temperatură la comanda 4 cât și a mesajului de avertizare pe ecranul LCD, deconectarea încărcătorului extern și a sarcinii până temperatura senzorului scade sub 60° C. După cum se exemplifică în figura 3.41 acest test a trecut cu succes la rulare.



**Fig. 3.41.** Caz 6 de testare

**Caz 7 de testare:** verificarea procesului de încărcare completă a bateriei SMB și a procesului de echilibrare a tuturor celor 3 celule electrice. Rezultatul așteptat de la SMB este deconectarea încărcătorului extern și conectare a sarcinii, activarea ledului de informare verde de încărcare completă a bateriei, afișarea corectă pe ecranul LCD a stării încărcătorului extern și a sarcinii cât și activarea ledurilor verzi de informare a echilibrării celulelor. După cum se exemplifică în figura 3.42 acest test a trecut cu succes la rulare.



**Fig. 3.42.** Caz 7 de testare

Ca o sumarizare a testării funcționale a SMB implementat hardware în diversele scenarii, cele 7 cazuri de testare sunt detaliate în tabelul 3.3, conținând informații relevante despre valorile parametrilor de temperatură a senzorului NTC și tensiune ale celulelor electrice în diverse configurații importante pentru influențarea stărilor SMB, testându-se cu succes comunicația serială fără fir prin bluetooth, afișarea informațiilor de stare atât pe ecranul LCD cât și pe terminalul inteligent conectat la SMB, testarea reacției sistemului la starea de supratemperatură, testarea procesului de echilibrare a celulelor electrice, testarea activării și dezactivării încărcătorului extern și a sarcinii.

**Tabelul 3.3**

**Sumarizare cazuri de testare a SMB implementat HW**

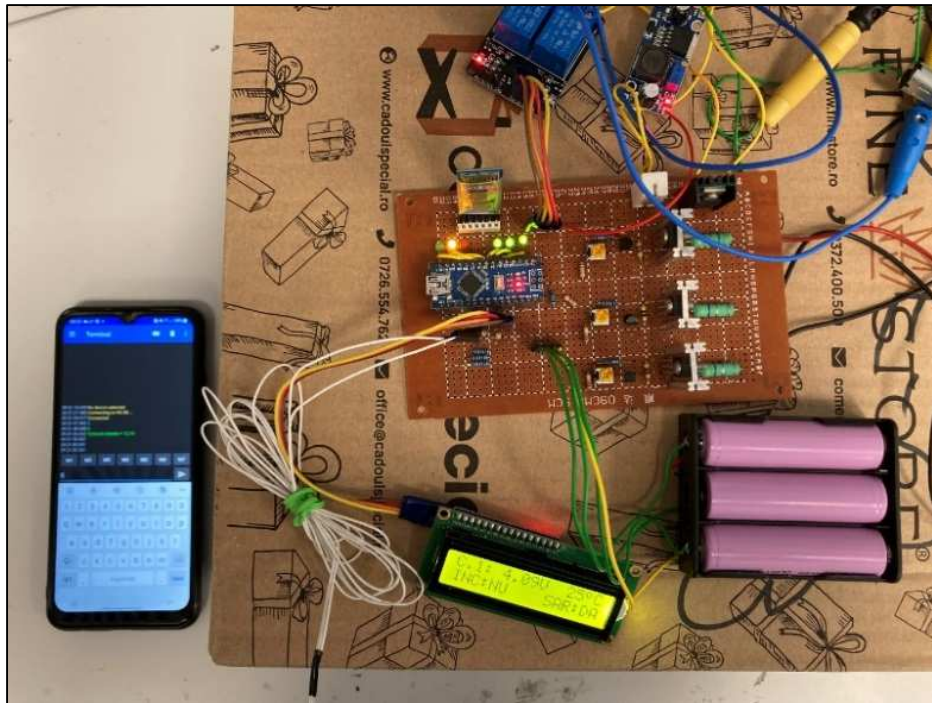
Caz de testare	Temperatură baterie °C	Tensiune în V celule electrice 1, 2, 3	Comandă serială	Comportament așteptat	Comportament actual	Verdict test
1	-	-, -, -	-	Afișare meniu de comenzi la pornirea sau resetarea SMB per terminalul inteligent: <i>Comenzi admise:</i> 0 -> Tiparire tensiune baterie 1 -> Tiparire tensiune celula electrica 1 2 -> Tiparire tensiune celula electrica 2 3 -> Tiparire tensiune celula electrica 3 4 -> Tiparire temperatura baterie	Figura 77	Succes
2	-	-, -, -	5	Afișare mesaj de avertizare pe terminalul inteligent la introducerea unei comenzi eronate: <i>Comanda incorecta, valori admise: 0, 1, 2, 3, 4</i>	Figura 78	Succes
3	24	4.10, 3.90, 4.04	-	Încărcător conectat, Sarcină conectată, Led galben informare <i>Baterie Normal Încărcată</i> , valorile parametrilor și mesaje de informare corect afișate pe ecranul LCD.	Figura 79	Succes
4	24	4.10, 3.90, 4.04	-	Încărcător conectat, Sarcină conectată, Leduri de informare a echilibrării celulelor electrice 1 și 3 activate, ledul de informare a echilibrării celulei 2 dezactivat, valorile parametrilor corect afișate pe ecranul LCD.	Figura 80	Succes
5	24	4.10, 3.90, 4.04	01234	Valorile parametrilor SMB corect afișate pe terminalul inteligent conectat la SMB prin bluetooth: tipărire tensiune baterie la comanda 0, tipărire tensiune celula electrica 1 la comanda 1, tipărire tensiune celula electrica 2 la comanda 2, tipărire tensiune celula electrica 3 la comanda 3, tipărire temperatură baterie la comanda 4.	Figura 81	Succes
6	78	4.10, 4.15, 4.22	-	Încărcător deconectat, Sarcină deconectată, mesajul de avertizare a stării de supratemperatură afișat pe ecranul LCD, temperatura corect afișată pe ecranul LCD.	Figura 82	Succes
7	25	4.15, 4.17, 4.20	-	Încărcător deconectat, Sarcină conectată, Ledul verde de informare <i>Baterie încărcată complet</i> activ, ledurile verzi de informare a echilibrării celor 3 celule active, mesajul de informare a stării încărcătorului și a sarcinii corect afișate pe ecranul LCD.	Figura 83	Succes

### 3.6.2 Rularea cazurilor de testare și înregistrarea rezultatelor

Asistat de utilitarul *clideo.com*, am înregistrat rularea testării funcționării SMB implementat hardware și am integrat-o în acest capitol în figura 3.43, pentru rularea fisierului video \*.wmv trebuind apăsat simultan tasta control (Ctrl) și butonul stâng al mouse-ului. Înregistrarea de aproximativ 4 minute conține rularea reală pentru diverse stări funcționale ale SMB după cum urmează:

- până la secunda 15 s-a rulat SMB în stare normală de funcționare, cu valori ale parametrilor ce asigură o zonă sigură, temperatura ambientală în jur de 24° C, tensiunile celulelor electrice în jur de 4.0 V, ceea ce va duce la o tensiune totală pe baterie de aproximativ 12.0 V în stare normală de încărcare, rezultând activarea celor 2 rele de conectare a încărcătorului și sarcinii simultan, informațiile de stare fiind afișate pe ecranul LCD;
- între secunda 16 și secunda 27 se resetează placa de dezvoltare Arduino Nano 3.0 prin butonul specific, acțiune care va duce la setarea parametrilor plăcii de dezvoltare și de afișare a meniului de comandă pe terminalul inteligent conectat cu sistemul prin bluetooth;
- între secundele 28 și 77 se afișează parametrii sistemului pe ecranul dispozitivului inteligent conectat prin bluetooth la SMB după cum urmează: tensiunea bateriei la comanda 0, tensiunea celulei electrice 1 la comanda 1, tensiunea celulei electrice 2 la comanda 2, tensiunea celulei electrice 3 la comanda 3, temperatura senzorului NTC la comanda 4;
- între secundele 78 și 139 se urmăresc afișarea parametrilor sistemului pe ecranul LCD, tensiune baterie, tensiune celule electrice, temperatură senzor NTC, activarea ledului galben de încărcare normală a bateriei și a ledurilor verzi de echilibrare a celulelor electrice individuale dacă au atins pragul tensiunii de echilibrare;
- la secunda 140 se resetează placa de dezvoltare Arduino Nano 3.0, urmărindu-se executarea funcției de setare a acesteia cu afișarea meniului de comandă pe terminalul inteligent conectat prin bluetooth la SMB, sursa externă setată la 15 V, indicând un consum de 0.5 A a sarcinii conectate și active, starea normală de încărcare a bateriei fiind indicată de ledul galben, celulele electrice fiind în echilibru conform ledurilor verzi activate și a tensiunilor afișate pe ecranul LCD, mesajul de informare de conectare a încărcătorului extern și a sarcinii apărând pe afișorul LCD ;
- la secunda 200 se începe procesul de încălzire externă a senzorului NTC de temperatură cu scopul de a ridica temperatura peste pragul de supraîncălzire de 60 de grade, ceea ce va duce la dezactivarea releelor de încărcare și sarcină cât și afișarea mesajului de avertizare pe ecranul LCD de supraîncălzire și deconectare a încărcătorului și sarcinii și afișarea temperaturii pe ecranul LCD și pe terminalul inteligent la primirea comenzii 4 din partea utilizatorului;
- la secunda 218 când temperatura senzorului NTC scade sub pragul temperatura de supraîncălzire de 60 de grade prin dezactivarea sursei externe de încălzire, se observă activarea releelor de încărcare și sarcină cât și afișarea mesajului de informare pe ecranul LCD de conectare a încărcătorului și a sarcinii, motorul extern întâind în regim de rotație;
- la secunda 247 toate cele 3 celule electrice ating pragul de tensiune de activare a echilibrării, ledul verde de încărcare completă a bateriei fiind activat în locul celui

galben de încărcare normală cât și ledurile verzi de informare a echilibrării pe toate cele 3 celule electrice;



**Fig. 3.43.** Rulare teste funcționalitate SMB implementat hardware

## CAPITOLUL 4

### CONCLUZII

În urma analizei ample a transferului fără fir în contextul automobilelor electrice și a implementării unui sistem de management al bateriei, rezultatele și concluziile obținute evidențiază importanța semnificativă a tehnologiei fără fir în dezvoltarea vehiculelor electrice și în optimizarea performanței bateriilor. Această teză oferă o privire cuprinzătoare asupra beneficiilor, provocărilor și potențialului transferului fără fir în industria automobilelor electrice. Principalele concluzii includ:

- **Eficiența transferului fără fir:** analiza a demonstrat că transferul fără fir reprezintă o modalitate promițătoare de a încărca bateriile automobilelor electrice, sistemele de încărcare inductive și rezonante pot asigura o eficiență semnificativă în transferul de energie, reducând necesitatea conectării fizice la o sursă de alimentare;
- **Simplificarea procesului de încărcare:** implementarea transferului fără fir poate simplifica procesul de încărcare a automobilelor electrice, șoferii nu mai trebuie să se preocupe de cabluri sau prize, ceea ce poate îmbunătăți experiența de utilizare și poate promova adoptarea vehiculelor electrice;
- **Optimizarea Sistemului de Management al Bateriei:** dezvoltarea și implementarea unui sistem de management al bateriei sunt esențiale pentru maximizarea duratei de viață a bateriilor, optimizarea eficienței încărcării și monitorizarea stării bateriilor, acest sistem poate contribui semnificativ la prevenirea degradării premature a bateriilor și la menținerea performanței optime;
- **Provocări tehnice și tehnologice:** cu toate acestea, există provocări tehnice și tehnologice asociate cu transferul fără fir, cum ar fi eficiența redusă în cazul distanțelor mari și necesitatea standardizării tehnologiei pentru a asigura interoperabilitatea;
- **Efectele socio-economice:** teza a subliniat, de asemenea, efectele socio-economice pozitive ale implementării transferului fără fir în automobilele electrice, contribuind la reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră, la diminuarea dependenței de combustibili fosili și la promovarea dezvoltării durabile a industriei auto.

În concluzie, această teză evidențiază că transferul fără fir reprezintă o soluție promițătoare pentru încărcarea automobilelor electrice, iar implementarea unui sistem de management al bateriei este esențială pentru optimizarea funcționării acestora. Cu toate că există provocări de rezolvat, perspectivele pozitive în ceea ce privește eficiența, confortul utilizatorului și sustenabilitatea fac ca această tehnologie să fie o direcție viabilă pentru industria automobilelor electrice.

#### 4.1 SUMARUL CONTRIBUȚIILOR ORIGINALE DIN CADRUL TEZEI

În prezentul capitol sunt enumerate principalele contribuții originale aduse de către autor în prezenta teză de doctorat:

- Capitolul 1 cuprinde o descriere cuprinzătoare a stării curente a industriei auto mondiale, concentrându-se pe cele 3 tendințe globale curente de cercetare care prin tranziția către mobilitatea electrică, conducerea autonomă și serviciile de digitalizare și personalizare a autovehiculelor, asigură orientarea către soluții prietenoase cu mediul și de scădere a amprentei de carbon a industriei și scăderea emisiilor gazelor cu efect de seră. S-a analizat distribuția inițiativelor a tendințelor pieței auto, previziunea alocării tehnologiilor actuale de tracțiune a

autovehiculelor cât și a sistemelor electrice pe baza tensiunilor bateriilor în decada curentă. În plus s-a evidențiat și un sondaj al proprietarilor de vehicule electrice asupra beneficiilor încărcării fără fir a VH / EV și evoluția tehnologiilor bateriilor electrice;

- Capitolul 2 descrie un scurt istoric cu cele mai importante jaloane în evoluția transferului fără fir a energiei electrice în ultimul secol și o clasificare detaliată a acestei tehnologii cu impact major în industrii multiple. Se prezintă arhitectura sistemului de transfer fără fir a energiei la autovehiculele electrice, principalele standarde ale industriei și parametrii de funcționare cât și cei mai importanți jucători de pe piață în domeniul cercetării cât și a implementării comerciale ale acestor cercetări. Se amintesc și principalii parametri ai transferului fără fir a energiei la autovehiculele electrice și o analiză a componentelor sistemului de transfer. Ca element primordial al acestei teze, se descrie detaliat conceptul de sistem de management al bateriei electrice și se prezintă principalele arhitecturi existente pe piață atât la nivel de sistem cât și la nivel de hardware și software. Se pune accent în acest capitol și pe funcția de echilibrare a încărcării celulelor electrice și pe importanța analizei tehnice de risc a sistemului, pas important în proiectarea eficientă și eficientă a unui sistem de o asemenea complexitate, introducându-se conceptul de siguranță în funcționare a unui SMB și aplicarea acestuia în analiza modurilor de defectare a unui SMB. Ultima parte a acestui capitol oferă o descriere detaliată a proiectării asistate de calculator pentru dezvoltarea SMB-urilor și o evoluția acestui nou domeniu de suport al proiectării cu impact major în scăderea costurilor de dezvoltare și a timpului de implementare, enumerându-se principalele platforme comerciale ale industriei de asistare a proiectării;
- Capitolul 3 aduce ca element de noutate folosirea modelului de dezvoltare în V atât pentru partea hardware cât și pe partea software, cel mai folosit model de dezvoltare din industria de inginerie, ce asigură proiectarea și implementarea iterativă și incrementală a produselor. Primul pas de analiză a specificațiilor din modelul de dezvoltare în V este continuat cu analiza tehnică de risc a funcțiilor SMB cu ajutorul aplicației asistate de calculator APIS IQ-RM, ce permite analiza structurală, funcțională și a modurilor de defectare într-o manieră eficientă și controlată de criteriile de verificare internă ale instrumentului software folosit, generând matricea de risc a sistemului și analiza Pareto. Pe baza matricei de risc și analizei Pareto se identifică cauzele rădăcină ale defectelor de sistem cu cel mai mare impact funcțional sau de siguranță, implementându-se acțiuni preventive și corective suplimentare pentru plasarea impactului în afara zonei critice de funcționare. Capitolul continuă cu analiza și sinteza SMB folosind aplicația SimulIDE de proiectare și simulare din familia PAC / CAD, scurtând astfel timpul de dezvoltare al produsului prin depanare și actualizare rapidă a proiectului digitalizat. Astfel am implementat aplicația de control al plăcii de dezvoltare Arduino Uno, depanând și optimizând fluxurile logice de control în mediul asistat de simulare, ceea ce a scăzut foarte mult riscul de nefuncționare eficientă în varianta implementată a SMB / BMS cât și timpul de dezvoltare a acesteia. Continuând pașii de dezvoltare al modelului în V, se elaborează arhitectura SMB ce se rafinează la nivel de modul atât pe domeniul hardware cât și software, apoi se implementează algoritmul și aplicația de control a plăcii de dezvoltare a SMB, se elaborează cazurile de testare și se execută verificarea și validarea sistemului. După realizarea cu succes a simulării SMB validând prin teste trecute cu succes funcționalitatea sistemului, se continuă cu implementarea hardware al acestuia

folosind același model de dezvoltare în V. O contribuție tehnică importantă din această teză apare în aplicația de control a SMB ului implementat fizic și anume modul de citire a tensiunilor divizoarelor de tensiune de pe celulele electrice, citirea instantanee la un anumit moment de timp a fost înlocuită pentru creșterea acurateții valorilor cu o citire repetată a valorilor pentru un anumit număr, în cazul de față 20 de citiri consecutive, și calculul mediilor citirilor pentru generarea tensiunilor finale folosite de aplicația de control în luarea deciziilor. Alt element tehnic de contribuție folosit în aplicația de control cu scopul de eliminare a efectelor tranzitorii și a sincronizării mesajelor de informare și avertizare cu starea reală curentă a SMB este folosirea variabilelor duble de stare pentru încărcare și sarcină cât și procesarea datelor brute achiziționate de sistem din mediul extern după un timp de așteptare configurabil. Astfel pentru controlul încărcătorului extern se folosesc perechile de variabile  $tpactionare1/tpasteptare1$  care asigură verificarea stării curente a încărcătorului după o perioadă de timp configurabilă față de momentul de timp anterior de acționare. Similar am procedat și pentru controlul sarcinii externe prin intermediul variabilelor  $tpactionare2/tpasteptare2$ , asigurând consistența între starea reală a sistemului și cea procesată de programul de control. În ceea ce privește actualizarea stărilor calculate ale încărcătorului și sarcinii externe, am folosit o pereche de variabile  $încărcare/încărcare1$  și  $consumator/consumator1$  ca și fanioane de control al stărilor anterioare și curente, implementând astfel în aplicație o mașină de stare finită care ia decizia stării următoare pe baza stării anterioare.

## 4.2 DIRECȚII DE CERCETARE VIITOARE

În ultimele decenii, cercetarea și dezvoltarea în domeniul automobilelor electrice și al tehnologiei de transfer fără fir au înregistrat progrese semnificative. Această evoluție continuă a deschis drumul către noi perspective și inovații în direcția mobilității electrice, contribuind la reducerea impactului asupra mediului și la crearea unui viitor sustenabil în industria auto. În acest context, explorarea direcțiilor viitoare de cercetare în domeniul transferului fără fir și al sistemelor de management al bateriilor pentru automobilele electrice joacă un rol esențial în definirea evoluției tehnologice și a dezvoltării durabile, avându-se în vedere următoarele direcții:

- Eficiența îmbunătățită a transferului fără fir: cercetarea viitoare ar trebui să se concentreze asupra dezvoltării și optimizării tehnologiilor de transfer fără fir pentru a îmbunătăți eficiența și rata de transfer a energiei, investigarea materialelor și a geometriilor de bobină poate contribui la minimizarea pierderilor și la creșterea puterii transmise, ceea ce ar face încărcarea prin transfer fără fir mai rapidă și mai convenabilă;
- Dezvoltarea tehnologiei de încărcare dinamică: o direcție interesantă este cercetarea și dezvoltarea tehnologiei de încărcare dinamică a vehiculelor electrice în timp ce se află în mișcare, abordare ce ar elimina nevoia oprii pentru a încărca bateria și ar permite automobilelor să se încarce în timp ce circulă pe autostrăzi sau în orașe, extinzând astfel autonomia vehiculelor electrice;
- Inteligență Artificială și analiza datelor pentru Sisteme de Management al Bateriilor: implementarea tehnologiilor de inteligență artificială (IA) și analiza avansată a datelor poate contribui la dezvoltarea unor sisteme de management al bateriilor mai sofisticate, sisteme ce pot prezice starea bateriilor, pot optimiza încărcarea și descărcarea pentru a prelungi durata de viață a bateriilor și pot



adapta parametrii de funcționare în funcție de nevoile șoferului și de condițiile de trafic;

- Standardizarea și interoperabilitatea tehnologică: cercetarea ar trebui să se îndrepte către stabilirea standardelor tehnologice pentru transferul fără fir și pentru sistemele de management al bateriilor în automobilele electrice, interoperabilitatea între diferite sisteme și dispozitive fiind esențială pentru a asigura o infrastructură de încărcare coerentă și eficientă;
- Miniaturizarea și integrarea tehnologiei de transfer fără fir: o altă direcție interesantă este dezvoltarea de tehnologii de transfer fără fir care să permită integrarea în infrastructura rutieră sau în parcare, ce ar putea elimina necesitatea unor stații de încărcare separate și ar face încărcarea o parte invizibilă și continuă a experienței de conducere;
- Sisteme de stocare de energie la nivel de rețea: cercetarea viitoare ar trebui să exploreze posibilitatea utilizării automobilelor electrice ca resurse de stocare temporară a energiei pentru rețelele electrice, vehiculele electrice putând fi utilizate pentru a îmbunătăți gestionarea vârfurilor de consum și pentru a contribui la stabilizarea rețelelor de energie regenerabilă;

În concluzie, cercetarea viitoare în domeniul transferului fără fir și al sistemelor de management al bateriilor pentru automobilele electrice are potențialul de a transforma complet paradigma mobilității. Prin eficientizarea încărcării, optimizarea performanței bateriilor și integrarea inteligenței artificiale, industria auto poate contribui semnificativ la atingerea obiectivelor de sustenabilitate și la crearea unui viitor mai ecologic și mai eficient energetic.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] [Pagina principală | \(hella.com\)](#)
- [2] <https://www.netscribes.com/ev-battery-technology-evolution/>
- [3] [https://en.wikipedia.org/wiki/Wireless\\_power\\_transfer](https://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_power_transfer)
- [4] S. Berger, Program on Technology Innovation: Impact of Wireless Power Transfer Technology, Initial Market Assessment of Evolving Technologies, Electric Power Research Institute
- [5] Chirag Panchal, Sascha Stegen, Junwei Lu, Review of static and dynamic wireless electric vehicle charging system
- [6] Arda Kilic, Selim Koroglu, Design of Master and Slave Modules on Battery Management System for Electric Vehicles, 2017
- [7] <https://x-engineer.org/>
- [8] <https://voltage.com/12s8p-43.2v-20ah-li-ion-18650-battery-pack-samsung-25r5-cuboid>
- [9] Functional Safety Requirements for Battery Management Systems in Electric cars, Nordbatt 2019, Copenhagen
- [10] [https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic\\_design\\_automation](https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_design_automation)
- [11] <https://en.wikipedia.org/wiki/V-model>
- [12] <https://www.apis-iq.com/>
- [13] Mihai Iordache, Lucia Dumitru, Simularea asistată de calculator a circuitelor analogice, Algoritmi si tehnici de calcul, 2014, Editura POLITEHNICA Press, București 2014, Vol. II
- [14] Mihai Iordache, Lucian Mandache, Analiza asistată de calculator a circuitelor analogice neliniare, 2004, Editura POLITEHNICA, București.
- [15] Changhao Piao, Zhaoguang Wang, Ju Cao, Wei Zhang, Lithium-Ion Battery Cell-Balancing Algorithm for Battery Management System Based on Real-Time Outlier Detection
- [16] José Miguel Branco Marques, Battery Management System for Lithium-Ion Batteries.
- [17] Mihai Iordache, George Andronescu, Victor Bucată, Maria-Lavinia Iordache (Bobaru), Marilena Stăculescu, Dragoș Niculae, Design and Simulation of Wireless Power Transfer Systems
- [18] Bartholomeus van Wyk Horn, The Development of a 48V, 10KWh LiFePO4 Battery Management System for Low Voltage Battery Storage Applications, 2017, Universitatea Stellenbosch, Africa de Sud
- [19] Markus Lelie, Thomas Braun, Battery Management System Hardware Concepts: An Overview, 2018, Universitatea Aachen, Germania
- [20] H. Fisk, J. Leijgård, A Battery Management Unit, 2010, Universitatea Gothenburg, Suedia
- [21] German Gomez Armayor, Simulation and practical implementation of a BMS for a Li-Ion battery, 2017, Universitatea din Oviedo, Spania
- [22] WoonDong Kim, SunGu Lee, DaeKeun Kang, Analysis of Risk Priority Number and Functionally Safe Design of Battery Management System, 2021
- [23] Conferinta NordBatt, Functional Safety Requirements for Battery Management Systems in Electric cars, 2019, Copenhagen
- [24] David Marcos, Maitane Garmendia, Jon Crego and José Antonio Cortajarena, Functional Safety BMS Design Methodology for Automotive Lithium-Based Batteries, 2021, Eibar, Spania
- [25] Michael Kirchhofl, Klaus Haas, Failure Analysis in Lithium-Ion Battery Production with FMEA-Based Large-Scale Bayesian Network, 2020, Munchen, Germania.
- [26] <https://www.pivotint.com/blog/7-reasons-why-you-should-be-using-cad>
- [27] <https://www.lifecycleinsights.com/tech-guide/ecad/>
- [28] <https://www.cadcrowd.com/blog/the-advantages-of-cad/>
- [29] <https://fractory.com/cad-advantages/>
- [30] <https://www.lifecycleinsights.com/tech-guide/ecad/>
- [31] <https://news.cision.com/de/zuken/i/zuken-z0466-cr-8000-2015-3,c1743667>
- [32] <https://www.wikipedia.com>
- [33] <https://www.pcbway.com>
- [34] [Balancing-li-ion-li-polymer-batteries-battery-balancing-circuit](#)

- [35] **Horatiu Samir Popescu**, *Marius Florin Stăniloiu, Mihai Iordache*, “A method for extracting the main parameters of an NPN bipolar transistor from datasheet for use in the SPICE model”, MPS 2023, Publisher: IEEE.
- [36] *Marius Florin Stăniloiu, Horatiu Samir Popescu, Mihai Iordache*, „SPICE model of a "n" channel MOSFET transistor”, MPS 2023, Publisher: IEEE.
- [37] *Mihaela Grib, Mihai Iordache, Alexandru Radu Grib, Horatiu Popescu, Ovidiu Laudatu, Marius Stăniloiu*, „The Use of Thévenin, Norton and Hybrid Equivalent Circuits in The Analysis and Polarization of Nonlinear Analog Circuits”, 2022 International Conference and Exposition on Electrical And Power Engineering (EPE), Publisher: IEEE.
- [38] *Marius-Florin Stăniloiu, Horatiu-Samir Popescu, Georgiana Rezmăriță, Ionela Vlad, Mihai Iordache*, „SPICE model of a real Zener diode tested at room temperature”, 2022 International Conference and Exposition on Electrical And Power Engineering (EPE)
- [39] *Mihai Iordache, Horatiu Samir Popescu, Ionela Vlad, Marius Florin Staniloiu*, „ACAP - Analog Circuit Analysis Program”, 2021 12th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE), Publisher: IEEE.
- [40] *Victor Bucata, Mihai Iordache, Ionela Vlad, Alina Orosanu, Horatiu Samir Popescu, Marius Florin Staniloiu*, „Thévenin Equivalent Circuits for Magnetisc Coupling Resonators (Series–Series, Series– Parallel) in Wireless Power Transfer Systems”, 2021 International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE), Publisher: IEEE.
- [41] *Victor Bucata, Mihai Iordache, Ionela Vlad, Alina Orosanu, Horatiu Samir Popescu, Marius Florin Staniloiu*, „Wireless Power Transfer Systems: Thévenin Equivalent Circuits for Parallel-Series and Parallel-Parallel Magnetic Resonator Configurations”, 2021 International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE)
- [42] *Marius Florin Staniloiu, Horatiu Samir Popescu, Bogdan Ionut Glod, Mihai Iordache*, „SPICE model of a real capacitor : Capacitive feature analysis with voltage variation”, 2020 International Conference and Exposition on Electrical And Power Engineering (EPE),
- [43] *Marius Florin Staniloiu, Horatiu Samir Popescu, Bogdan Ionut Glod, Mihai Iordache*, „SPICE Model of a Real Coil Inductance feature analysis with current variation”, 2020 International Conference and Exposition on Electrical And Power Engineering (EPE)
- [44] <https://www.tinkercad.com/circuits>
- [45] <https://www.aiag.org/quality/automotive-core-tools/fmea>
- [46] <https://www.simulide.com/p/home.html>
- [47] <http://eagle.autodesk.com/>
- [48] <https://www.dspace.com/automotive-industry/battery-management-systems.cfm>
- [49] <https://www.solvay.com/en/solutions-market/batteries>
- [50] <https://www.biologic.net/topics/battery-states-state-of-charge-soc-state-of-health-soh/>
- [51] <https://www.synopsys.com/glossary/what-is-a-battery-management-system.html>
- [52] <https://www.linkedin.com/pulse/balancing-battery-power-passive-active-cell-electric>
- [53] <https://www.wheelsatev.com/2020/09/battery-pack-capacity-calculation-for.html>
- [54] [https://cdn.skfmediahub.skf.com/api/public/0901d1968023709f/pdf\\_preview\\_medium](https://cdn.skfmediahub.skf.com/api/public/0901d1968023709f/pdf_preview_medium)
- [55] <https://www.tuvsud.com/en/industries/mobility-and-automotive>

## ANEXĂ

Programul sursă al platformei Arduino Uno în limbajul C folosit la implementarea controlului pentru varianta simulată cu SimulIDE a SMB a fost dezvoltat incremental în 9 versiuni.

```
/* Simulator SMB dezvoltat de hash_ro
* v.1 - versiunea initiala
* v.2 - adaugat iesirea care semnalizeaza daca bateria este incarcata
* v.3 - adaugat afisorul LCD1602
* v.4 - adaugat divizorul rezistiv
* v.5 - adaugat sensor de temperatura NTC
* v.6 - impartirea bateriei in 3 celule (3x)
* v.6.1 - afisarea tensiunii pe fiecare celula
* v.7 - adaugare leduri de stare celule electrice incarcare/incarcat
* v.8 - adaugare leduri pentru semnalizarea incarcarii fiecarei celule
* v.9 - adaugare comunicatie bidirectionala UART+Rx+Tx
*/
```

Programul sursă al plăcii de dezvoltare Arduino Nano 3.0 în limbajul de programare C folosit la implementarea controlului pentru varianta hardware a SMB a fost dezvoltat incremental în 12 versiuni.

```
/* Simulator BMS de către hash_ro
* v.1 - versiunea initiala
* v.2 - ieșire adăugată dacă bateria este încărcată
* v.3 - afișor LCD1602 adăugat
* v.4 - adăugat divizor rezistiv
* v.5 - adăugat NTC
* v.6 - împărțire bateria în 3 celule electrice (3x)
* v.6.1 - afișare tensiune pe fiecare celulă
* v.7 - LED-uri de stare adăugate pentru celulele încărcate/încărcate
* v.8 - adăugat un led pentru fiecare celulă încărcată complet
* v.9 - adăugat comunicare serială bidirecțională (bluetooth) + leduri Rx & Tx
* v.9.1 - adăugat indicator led Rx & Tx (forță la lumină)
* v.10 - adăugat i2c LCD1602 + rezistențe modificate în divizor și NTC (100k)
* v.10.a - logica inversată pentru controlul releului
* v.10.b - reconectare încărcător dacă tensiunea este la valoarea limitelor
* v.11 - mici optimizări
* v.12 - schimbare pinout led + bluetooth
*/
```