



Inginerie Electronică, Telecomunicații și Tehnologii Informaționale

TEZĂ DE DOCTORAT

- REZUMAT -

**Cercetarea teoretică și experimentală a sistemului de propulsie
al unui vehicul electric**

Student-doctorand:
Ing. Ana-Maria Petri

Conducător științific:
Prof. Dr. Ing. Dorin PETREUȘ

Comisia de evaluare a tezei de doctorat:

Președinte: Prof. Dr. Ing. **Ovidiu Pop** - Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca;
Conducător științific: Prof. Dr. Ing. **Dorin Petreuş** - Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca;

Referenți:

- Prof. Dr. Ing. **Dan Lascu** - Universitatea Politehnică din Timișoare;
- Prof. Dr. Ing. **Petre Ogruțan** - Universitatea Transilvania din Brașov;
- Conf. Dr. Ing. **Dan Pitică** - Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca.

- Cluj-Napoca -
2023

Cuprinsul Rezumatului

1.Cuprinsul tezei	3
2. Motivarea alegerii temei	5
3.Obiectivele tezei	5
4.Metodologie	6
5.Structura tezei	7
5.1. Stadiul actual al cunoașterii	7
5.1.1. Introducere	7
5.1.2. Fundamentare teoretică	7
5.2. Contribuții personale	7
5.2.1. Motorul asincron cu inducție și controlul acestuia	8
5.2.2. Adaptive Cruise Control în cadrul vehiculului electric folosind control vectorial	10
5.2.3. Motorul sincron cu magneți permanenți și controlul acestuia	13
5.2.4. Pachetul de baterii și sistemul de management al acestuia	17
5.2.5. Sistemul de propulsie electric	22
6.Concluzii	23
7.Originalitate și contribuții personale.....	24
8. Bibliografie	24
9. Lista de publicații	26

1. Cuprinsul tezei

ABREVIERI.....	9
ABSTRACT.....	11
STADIUL ACTUAL AL CUNOAȘTERII.....	13
1. Introducere.....	15
1.1. Vehiculul electric – scurt istoric.....	17
1.2. Structura vehiculului electric – elemente principale.....	18
1.3. Tipuri de vehicule electrice.....	19
1.3.1. Vehicul electric pur.....	19
1.3.2. Vehicul electric hibrid.....	21
1.3.3. Vehicul electric cu fuel cell.....	23
2. Fundamentare teoretică.....	25
2.1. Motorul electric.....	25
2.2. Controlul motorului electric.....	28
2.3. Surse de energie electrică în cadrul unui vehicul electric.....	30
2.4. Bateria.....	33
2.4.1. Caracteristicile unei baterii.....	34
2.4.2. Tipuri de baterii.....	38
2.5. Structură: celula, modulul, pachetul.....	42
2.6. Bateria în cadrul vehiculului electric.....	43
2.7. Managementul unui pachet de baterii – funcțiile acestuia.....	45
CONTRIBUȚIA PERSONALĂ.....	55
3. Motorul asincron cu inducție și controlul acestuia... ..	57
3.1. Motorul asincron cu inducție – construcție și funcționare	57
3.2. Modelarea motorului asincron cu inducție.....	59
3.3. Controlul vectorial motorului asincron cu inducție.....	62
3.4. Implementarea unui bloc de control vectorial pentru un motor asincron cu inducție.....	67
3.3.1. Implementarea la nivel de simulare.....	70
3.3.2. Implementare practică.....	73
3.5. Rezultate.....	77
3.4.1. Rezultate din simulare.....	77
3.4.2. Rezultate experimentale.....	81
3.6. Discuții.....	86
3.7. Concluzii.....	87
4. Adaptive Cruise Control în cadrul vehiculului electric folosind control vectorial.....	89
4.1. Cruise Control – noțiuni generale.....	89
4.2. Adaptive Cruise Control în cadrul vehiculului electric.....	90
4.3. Implementarea unui sistem de propulsie electrică cu Adaptive Cruise Control.....	97
4.3.1. Implementare la nivel de simulare.....	97
4.3.2. Implementare practică.....	98
4.4. Rezultate	99
4.4.1. Rezultate din simulare.....	100
4.4.2. Rezultate experimentale.....	102
4.5. Discuții.....	103
4.6. Concluzii.....	105
5. Motorul sincron cu magneți permanenți și control acestuia.....	107

5.1. Motorul sincron cu magneți permanenți – construcție și funcționare.....	107
5.2. Modelarea matematică a motorului sincron cu magneți permanenți.....	108
5.3. Controlul vectorial al motorului sincron cu magneți permanenți.....	111
5.3. Determinarea unghiului de rotație.....	116
5.4. Implementarea controlului vectorial pentru motorul sincron cu magneți permanenți.....	117
5.4.1. Implementare la nivel de simulare.....	117
5.4.2. Implementare practică.....	120
5.4. Rezultate.....	123
5.5.1. Rezultate din simulare.....	124
5.5.2. Rezultate experimentale.....	128
5.6. Discuții.....	132
5.7. Concluzii.....	134
6. Pachetul de baterii și sistemul de management al acestuia.....	137
6.1. Bateria unui vehicul electric.....	137
6.2. Sistemul de management al bateriei în cadrul unui vehicul electric.....	140
6.3. Determinarea stării de încărcare.....	146
6.4. Balansarea celulelor.....	156
6.5. Implementarea unui pachet de baterii, balansarea celulelor și determinarea stării de încărcare.....	163
6.5.1. Implementare la nivel de simulare.....	163
6.5.2. Implementare practică.....	171
6.6. Rezultate.....	179
6.6.1. Rezultate din simulare.....	179
6.6.2. Rezultate experimentale.....	185
6.7. Discuții.....	191
6.8. Concluzii.....	193
7. Sistemul de propulsie electric.....	195
7.1. Elementele sistemului de propulsie electric.....	195
7.2. Implementarea sistemului – Alimentarea motorului de la pachetul de baterii.....	196
7.3. Rezultate.....	197
7.4. Discuții.....	200
7.5. Concluzii.....	201
8. Discuții generale.....	203
9. Concluzii finale.....	211
9.1. Concluzii generale.....	211
9.2. Originalitatea și contribuțiile inovative ale tezei.....	216
REFERINȚE.....	219
LISTA FIGURILOR.....	233
LISTA TABELELOR.....	239
ANEXE.....	241
Anexa 1 – Modelarea matematică a motorului asincron cu inducție Lesson.....	241
Anexa 2 – Funcțiile scrise în cadrul codului folosit pentru programarea modului linduino pentru conectarea modulului EVAL-ADBMS18181 folosit în cazul balansării pasive.....	243
Anexa 3 – Setul de date obținut în timpul procesului de balansare pasivă.....	247
LISTĂ DE PUBLICAȚII.....	251

2. Motivarea alegerii temei

În decursul timpului, numărul de vehiculele personale a crescut considerabil, în prezent, existând mai mult de două miliarde de vehicule folosite pe întreg globul [1]. Cele mai utilizate vehicule, atât personale, cât și pentru transportul mărfurilor sunt cele cu motor termic, folosind combustibili fosili.

Folosirea vehiculelor cu motor termic determină generarea și eliberarea în aer a unor substanțe toxice, care sunt nocive atât pentru sănătatea oamenilor, cât și pentru mediul înconjurător [2]. Odată cu creșterea numărului de vehicule a crescut și cantitatea de substanțe toxice degajate în aer [3]. La ora actuală zonele urbane prezintă o poluare ridicată a aerului, din cauza utilizării unui număr mare de vehicule cu motor termic [4]. Prezența în aer a multor substanțe nocive, denumite și gaze cu efect de seră, determină apariția fenomenului de încălzire globală. [2][5][6].

Pe lângă problemele legate de poluarea aerului și încălzirea globală, cantitatea tot mai mare de carburanți necesari în sectorul transportului, ridică întrebări legate de resursele de petrol existente, care sunt în scădere, determinând creșterea prețurilor [2].

Toate aceste probleme generate de folosirea vehiculelor cu motor termic, au determinat căutarea unor soluții alternative pentru sectorul transporturilor. Astfel, o variantă pentru transporturi, care să reducă, atât emisia de gaze cu efect de seră, cât și consumul de combustibili fosili este folosirea vehiculelor electrice[5][6].

În prezent, utilizarea vehiculelor electrice nu mai reprezintă un concept futurist, ele fiind folosite deja în viața cotidiană. Cu toate acestea, prețul de achiziționare al unui vehicul electric, dar și dezavantajele acestuia, în comparație cu vehiculul clasic cu motor termic, determină oamenii să fie sceptici în privința cumpărării și utilizării unui vehicul electric [2][7][8][9].

Principalele probleme ale vehiculului electric sunt autonomia bateriei și reîncărcarea acesteia [7][10]. Durata de timp dintre două încărcări se dorește a fi cât mai lungă, iar timpul de încărcare cât mai scurt [7][11]. Astfel, studiul construcției și a utilizării vehiculelor electrice sunt subiecte de mare interes pentru industria auto, în primul rând, și apoi, pentru utilizatori, pentru a determina folosirea integrală a vehiculelor electrice, în detrimentul vehiculelor cu motor termic.

În această lucrare intitulată ” Cercetarea teoretică și experimentală a sistemului de propulsie al unui vehicul electric”, s-a realizat un studiu teoretic, implementarea și testarea sistemului de propulsie ale unui vehicul electric, pentru a identificat probleme existente și propunerea unor variante de rezolvare.

3. Obiectivele tezei

Lucrarea de față își propune studiul teoretic, modelarea, implementarea experimentală și testarea unui sistem de propulsie electric, sistem utilizat în cadrul unui vehicul electric. Obiectivul principal al lucrării fiind determinarea problemelor existente în cadrul unui astfel de sistem și propunerea unor variante de rezolvare, care să ducă la creșterea randamentului întregului sistem, reducerea dimensiunilor și a costurilor. Toate determinând dezvoltarea unui sistem compact, cu cost redus, care să încurajeze utilizatorii să achiziționeze un astfel de vehicul.

Obiectivul general propus a fost împărțit în alte trei obiective:

- realizarea unui sistem de control al motorului electric
- realizarea unui sistem de stocarea a energiei
- conectarea celor două sub-sisteme, pentru a construi un sistem de propulsie electric complet

Motorul electric și sistemul de stocarea a energiei fiind principalele elemente din cadrul unui sistem de propulsie electric. Implementarea cât mai eficientă a acestor două elemente duce la implementarea eficientă a întregului sistem.

4. Metodologie

Pentru realizarea obiectivelor propuse s-a stabilit o metodologie de cercetare, care cuprinde patru etape:

- **Documentare și studiu teoretic**

În prima faza a fost realizată o documentarea a domeniului, care a permis realizarea unei imagini de ansamblu a sistemului de propulsie electrică și a elementelor dezvoltate până în momentul prezent. Au fost studiate numeroase articole științifice cu informații generale despre vehicule electrice, mai apoi despre sistemul de propulsie electric, iar, în final, articole despre motoarele electrice și controlul acestora, respectiv, cărți de specialitate (prezentate în secțiunea Bibliografie a lucrării), care descriu funcționarea motoarelor electrice și controlul acestora; în aceeași măsură, s-a realizat un studiu al tipurilor de baterii și modul de implementarea a unui sistem de management al unui pachet de baterii. Acest proces de studiu și documentare s-a desfășurat continuu pe întreaga perioadă a stagiului de doctorat pentru a fi mereu în contact cu problemele aflate în curs de cercetare și cu rezultatele obținute. De asemenea, pentru a păstra gradul de noutate al studiului, s-a considerat necesară cunoașterea rezultatelor prezentate deja în alte studii de cercetare.

- **Desfășurarea cercetării**

- Modelare

După documentarea inițială a domeniului de cercetare și identificarea problemelor care au fost abordate, s-a realizat modelarea matematică a sub-sistemelor (cel de control al motorului electric, respectiv cel de stocare a energiei) pentru a înțelege mai bine funcționarea acestora, dar și pentru a observa toate aspectele care influențează comportamentul lor. Pentru a lucra eficient și rapid au fost folosite programe software specializate pentru modelare. MATLAB a fost principalul program folosit, dar a mai fost utilizat și programul MathCad. Cele două programe software oferă o modalitate ușoară și fiabilă de a modela matematic un sistem.

- Simulare

După modelarea matematică, a fost realizată implementarea la nivel de simulare a sistemelor, pentru a verifica funcționarea corectă a acestora, dar și obținerea unor rezultate preliminare a metodelor de implementare propuse. De altfel, prin intermediul simulării au fost realizate o multitudine de verificări într-un mod simplu, rapid și la un cost redus. Pentru simularea sistemelor propuse în această lucrare au fost folosite următoarele programe software specializate pentru simulare: PSIM și Simulink MathLab.

- Implementarea practică

Sistemul de propulsie electric propus pentru studiu cuprinde cele două sub-sisteme, sistemul de control al motorului electric și sistemul de stocare al energiei. Pentru ambele sisteme, aspectele de interes sunt controlul motorului, respectiv managementul sistemului de stocare a energiei, iar pentru întreg sistemul este importantă interacțiunea dintre cele două sub-sisteme. Astfel, cea mai mare parte a implementării presupune dezvoltarea mai multor algoritmi, pentru controlul motorului electric, pentru managementul bateriei, respectiv pentru conectarea optimă a celor două subsisteme și obținerea unor serii de rezultate necesare pentru a verifica fiabilitatea algoritmilor.

După realizarea implementărilor la nivel de simulare, s-a trecut la implementarea practică a sistemului. Folosind o platformă dSPACE s-au efectuat inițial teste de tip HIL (hardware in the loop). Utilizarea unei platforme de dezvoltare dSPACE permite o implementare rapidă a sistemului pentru testare, făcând mult mai ușoară și mai rapidă obținerea unor rezultate care să ilustreze performanțele sistemului.

- Testare și validare

Activitatea de cercetare a fost finalizată prin testarea sub-sistemelor propuse, dar și a sistemului complet implementat. Fiecare sub-sistem a fost testat individual, în final, fiind testat sistemul complet, realizat prin conectarea celor două sub-sisteme.

- **Valorificarea rezultatelor**

Rezultatele obținute în urma cercetării au fost valorificate pe întreaga perioadă a stagiului de doctorat prin participarea la patru conferințe internaționale de specialitate și publicarea unui articol într-o revistă de specialitate (Q2), toate articolele fiind indexate WOS.

5. Structura tezei

Lucrarea este împărțită în două părți mari: Stadiul Actual al Cunoașterii (capitolul 1 și capitolul 2) și Contribuții Personale (capitolele 3 – 7).

5.1. Stadiul actual

Prima parte prezintă elemente teoretice generale cunoscute la momentul prezent despre subiectul abordat.

5.1.1. Introducere

Capitolul 1, intitulat "Introducere", cuprinde noțiuni generale despre vehiculul electric, scurt istoric despre apariția și dezvoltarea acestuia, structura vehiculului (luând în considerare principalele elemente ale sistemului de propulsie electric), precum și tipurile de vehicule electrice existente la momentul prezent.

5.1.2. Fundamentare teoretică

Capitolul 2 reprezintă "Fundamentarea Teoretică" a elementelor care sunt prezentate pe larg în secțiunea de contribuții personale. Pornind de la cele două elemente principale ale sistemului de propulsie (motorul electric și sistemul de stocare a energiei), a fost realizat un studiu al celor două elemente principale, luând în considerare soluțiile existente pe piață la ora actuală, și au fost determinate variantele cele mai eficiente de implementare, prezentate pe larg în capitolele următoare.

5.2. Contribuții personale

A doua parte cuprinde contribuțiile personale dezvoltate în decursul stagiului de doctorat. Fiecare element al sistemului de propulsie a fost studiat, analizat, iar apoi au fost realizate implementări la nivel de simulare, dar și implementări practice ale elementelor. Funcționarea motorului electric și controlul acestuia a fost primul subiect abordat. Au fost studiate motorul asincron cu inducție și motorul sincron cu magneți permanenți, respectiv modul de implementare al controlului vectorial pentru fiecare tip de motor. Al doilea subiect a fost sistemul de stocare al energiei, mai specific pachetul de baterii și sistemul de management al acestuia.

5.2.1. Motorul asincron cu inducție și controlul acestuia

Capitolul 3 al lucrării de doctorat este intitulat " Motorul asincron cu inducție și controlul acestuia" și cuprinde studiul teoretic al funcționării motorului și a controlului vectorial al acestui tip de motor.

Motorul asincron cu rotorul în scurt, cunoscut în literatura de specialitate și sub denumirea de motor asincron cu inducție, este cel mai folosit tip de motor, deoarece are o construcție robustă și un cost redus [12].

Funcționarea motorului se bazează pe principiul inducției electromagnetice. Injectarea unui curent trifazat în înfășurările statorului determină generarea unui câmp magnetic în zona de întrefier a motorului. Câmpul magnetic generat este sinusoidal și are o frecvență egală cu cea a curentului injectat, denumită frecvența sincronă. Câmpul magnetic generat induce o tensiune în rotor, care o să determine apariția unui curent în înfășurările aflate în scurtcircuit ale rotorului. Curentul indus în circuitul rotorului determină o forță magneto-motoare, care pune în mișcare rotorul în același sens cu câmpul magnetic învârtitor. Interacțiunea dintre câmpul magnetic generat de stator și forța magneto-motoare determinată de rotor produce cuplul motorului [12][13].

Controlul vectorial implică funcționarea motorului asincron asemeni unui motor de curent continuu cu excitație separată [12].

În cazul controlului vectorial indirect unghiul de rotație sincron este calculat pe baza pulsației de alunecare [4], folosind relația (1):

$$\theta_e = \int \omega_e dt = \int (\omega_{slip} + \omega_r) dt \quad (1)$$

Controlul vectorial indirect este eficient deoarece asigură decuplarea fluxului și a cuplului, cele două mărimi putând fi controlate independent fiecare, cuplul prin intermediul curentului i_q , iar fluxul prin intermediul curentului i_d , conform relațiilor (5) și (6):

$$T_e = \frac{3}{2} \left(\frac{P}{2}\right) \frac{L_m}{L_r} \hat{\Psi}_r i_{qs} \quad (5)$$

$$\hat{\Psi}_r = L_m i_{ds} \quad (6)$$

Pe baza relațiilor prezentate anterior se poate realiza implementarea unui control vectorial pentru un motor asincron. În Fig. 1 este prezentată implementarea unui sistem de control vectorial pentru un motor asincron.

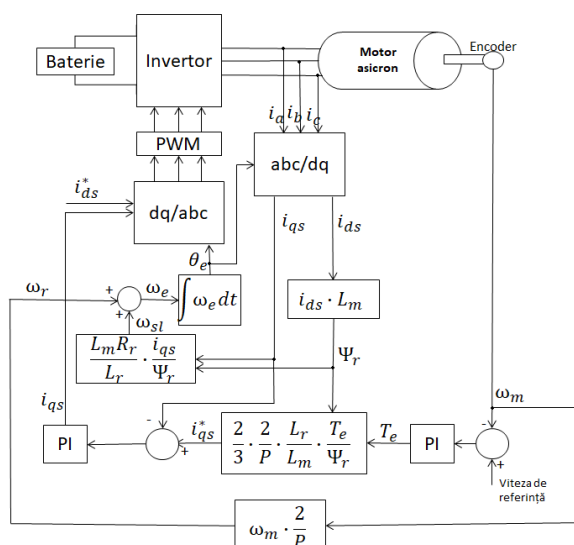


Figura 1. Sistem de control vectorial al unui motor asincron cu inducție

Pornind de la diagrama bloc din Fig.1 a sistemului de control vectorial pentru motorul asincron cu inducție, a fost dezvoltată, inițial, o simulare în cadrul Simulink, conform Fig.2.

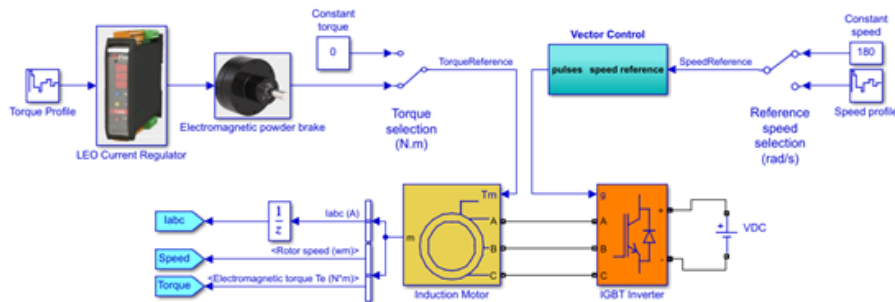


Figura 2. Sistemul de control vectorial al motorul asincron cu inducție în Simulink

Asemeni implementării la nivel de simulare a fost realizată și implementarea practică a unui sistem de propulsie electrică de mici dimensiuni. Sistemul cuprinde motorul de inducție Lesson 1/3HP, 3450 rpm, un invertor Danfoss, o sursă de alimentare de putere EA-PSI 81000-300, trei senzori de curent cu efect Hall Lem-HLSR-10-P, un encoder rotativ, frâna electromagnetică cu pulbere B53, regulatorul de curent Leo, plus platforma dSPACE MicroLabBox, care cuprinde o unitate de calcul de bază DS1202 și o unitate pentru porturile de intrări/ieșiri DS1302. În Fig. 3 este prezentată diagrama bloc a sistemului de control vectorial pentru motorul asincron cu inducție, folosind platforma dSPACE.

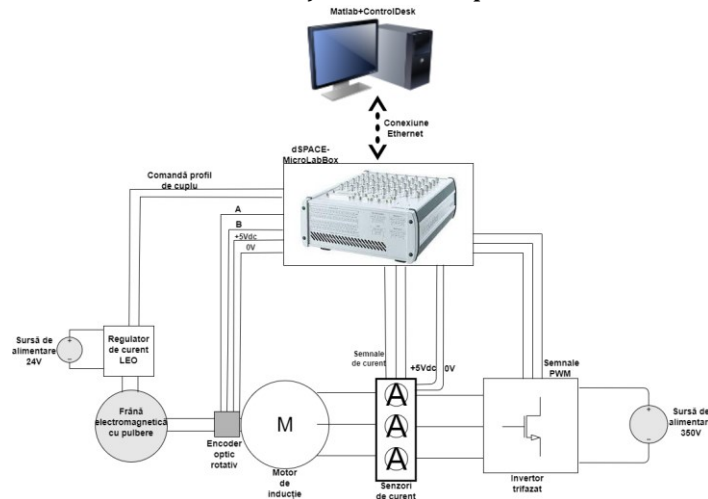


Figura 3. Diagrama bloc a sistemului practic de control vectorial pentru motorul asincron cu inducție

În Fig. 4 și Fig. 5 sunt prezentate elementele practice ale sistemului de propulsie electrică de mici dimensiuni.

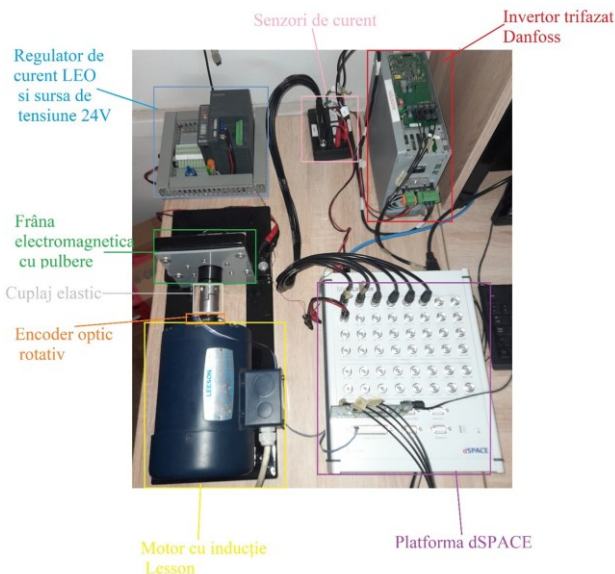


Figura 4. Elementele practice ale sistemului practic

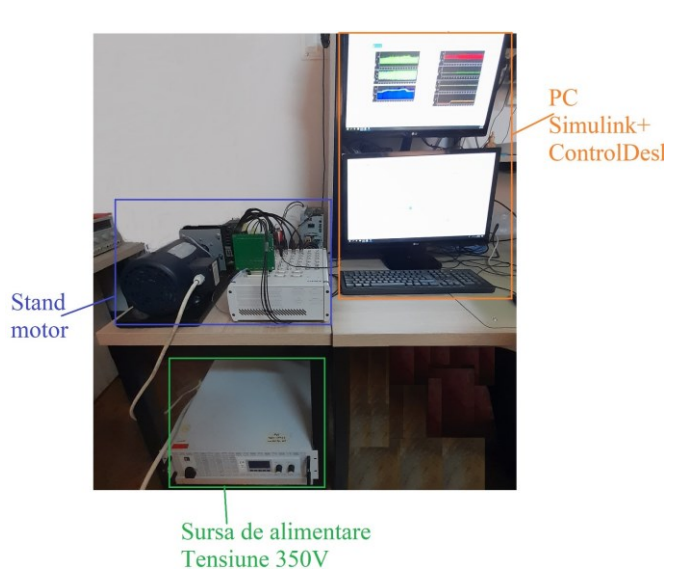


Figura 5. Sistemul de control vectorial practic

Folosind cele două implementări, practică și simulată, s-au realizat o serie de teste care să verifice atât funcționarea corectă a sistemului simulat, cât și a celui practic. Au fost testate mai multe scenarii cu variații ale turației de referință și a cuplului de sarcină. În continuare, sunt prezentate câteva din rezultatele obținute:

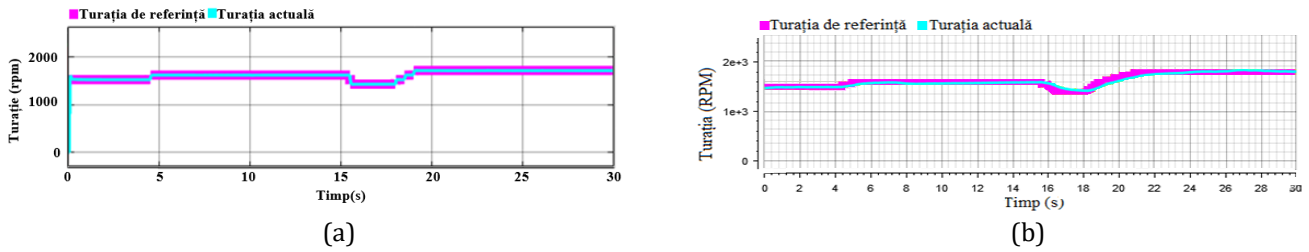


Figura 6. Turația motorului și turația de referință (a – simulare, b – experimental)

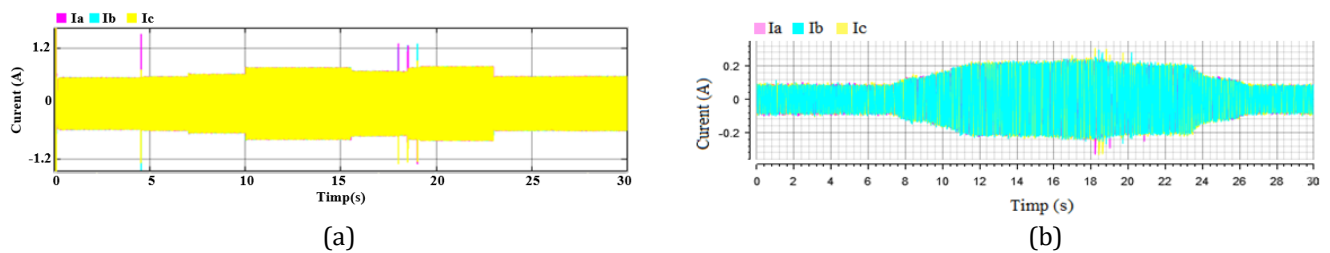


Figura 7. Curentul din statorul motorului (a – simulare, b- experimental)

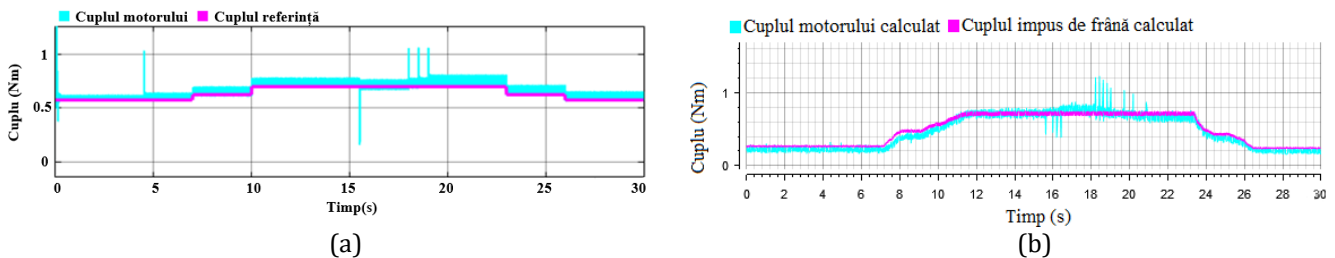


Figura 8. Cuplul motorului și cuplul impus (a - simulare, b – experimental)

Acest capitol a cuprins studiul și modelarea motorului asincron, implementarea unui control vectorial indirect pentru un motor asincron de inducție și a fost propus un sistem de propulsie electric. Acest sistem cuprinde un motor de inducție, un inverter, o frână electromagnetică cu pulbere, o sursă de alimentare, senzori de curent și turație, plus un bloc de control vectorial indirect. Sistemul propus a fost testat atât pentru variații de turație, cât și pentru variații de cuplul impus. Rezultate obținute validând funcționarea corespunzătoare a blocului de control.

5.2.2. Adaptive Cruise Control în cadrul vehiculului electric folosind control vectorial

Capitolul 4 al lucrării de doctorat este intitulat ” Adaptive Cruise Control în cadrul vehiculului electric folosind control vectorial” și cuprinde studiul teoretic al unui sistem de tip Adaptive Cruise Control și adaptarea acestuia în cazul unui vehicul electric.

Sistemul de tip Cruise Control, popular cunoscut ca sistem de pilot automat, permite șoferului să seteze o viteză de condus, iar sistemul asigură rularea cu viteza respectivă, fără ca șoferul să mai fie nevoit să acționeze pedala de accelerație. Însă, șoferul trebuie să rămână atent, pentru a acționa frână în caz de nevoie [14][15][16].

O variantă îmbunătățită a sistemului Cruise Control este sistemul de Adaptive Cruise Control (ACC). Sistemul de tip Adaptive Cruise Control acționează, nu doar asupra accelerației

vehiculului, pentru a menține viteza setată de șofer, ci și pentru a frâna vehiculul, asigurând o distanță de siguranță față de vehiculul din față [17][18].

Aceste sisteme au fost create pentru vehicule cu motor termic, în cazul cărora trebuia controlată valva regulatorului de combustibil, care asigură accelerația necesară. Fig. 9 prezintă diagrama bloc a unui vehicul cu motor termic și sistem de tip ACC. Însă, în cazul vehiculelor electrice nu mai este prezent regulatorul de combustibil, respectiv valva corespunzătoare, astfel sistemele de tip ADAS trebuie adaptate pentru a putea fi folosite și în cazul vehiculelor electrice. În Fig. 10 este prezentată diagrama bloc a unui vehicul electric cu sistem de tip ACC.

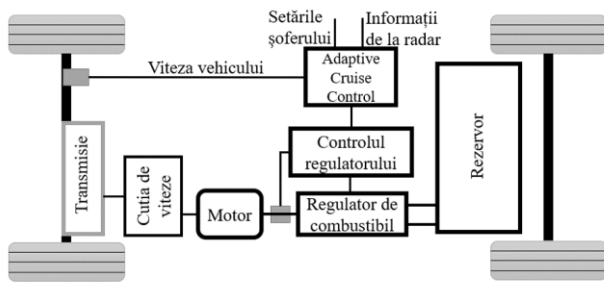


Figura 9. Vehicul cu motor termic cu sistem de tip ACC

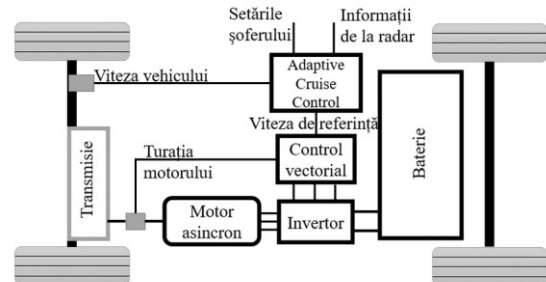


Figura 10. Vehicul electric cu sistem de tip ACC

În cazul vehiculelor electrice, sistemul de tip Adaptive Cruise Control trebuie să funcționeze în legătură cu blocul de control al motorului electric. Pentru integrarea blocului de ACC în cadrul vehiculului electric a fost propus un sistem de control în cascadă, adică blocul ACC realizează un control în buclă închisă, pe baza valorii setate de șofer și a valorilor măsurate, viteză actuală și distanță relativă, plus viteza vehiculului urmărit. Semnalul generat de blocul ACC este folosit ca semnal de referință, pentru blocul de control vectorial, care are ca valori măsurate turația motorului și valoarea curentului prin motor, plus variația cuplului de sarcină a motorului. Astfel, se realizează structura în cascadă, având două bucle de control: bucla exterioară cuprinzând blocul ACC și bucla internă cu blocul de control vectorial [19]. Fig. 11 prezintă controlul unui vehicul electric care cuprinde blocul de ACC și blocul de control vectorial.

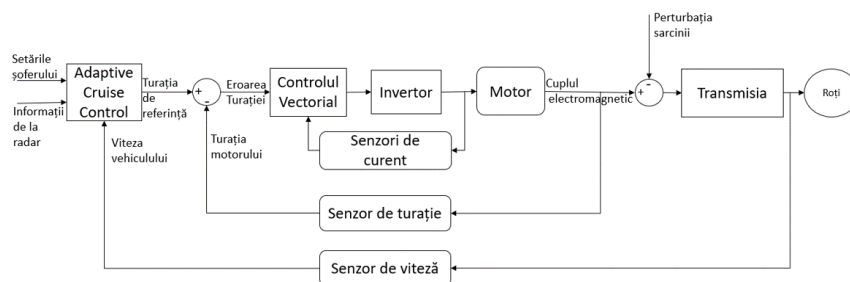


Figura 11. Control în cascadă pentru un vehicul electric cu sistem de tip ACC

Folosind sistemul de control vectorial al motorului asincron cu inducție, prezentat în capitolul 3 al lucrării, a fost realizată structura de control în cascadă, cuprinzând controlul vectorial al unui motor asincron de inducție și un sistem de tip ACC.

Atât la nivel de simulare, cât și la nivel practic, modificările aduse sistemului prezentat în capitolul anterior, au fost doar la nivel de control. A fost adăugat un bloc de tip ACC și a fost modelat un vehicul care poate să apară în fața vehiculului gazdă, pentru a putea testa și controlul distanței sigure.

Atât implementarea la nivel de simulare, cât și implementarea practică au fost utilizate pentru a testa și analiza funcționarea blocului ACC în cadrul sistemului de propulsie electric.

Pentru testul realizat, viteza vehiculului gazdă a fost setată la valoarea de 40m/s, astfel blocul de ACC generează accelerația/decelerația necesară. Dacă nu este detectat niciun al vehicul atunci vehicul trebuie să ruleze la viteza setată, indiferent de valoarea cuplului de sarcină a motorului. În prima parte a scenariului, viteza vehiculului urmărit este de 35m/s, apoi viteza crește la 42m/s, scade apoi la valoarea de 36m/s, iar în final viteza urcă până la valoarea de 45m/s. Pentru fiecare durată de timp în care vehiculul urmărit are o viteză mai mică decât 40m/s, vehiculul gazdă se apropie de vehiculul urmărit, astfel încât blocul de ACC trebuie să ajusteze viteza pentru a păstra distanța de siguranță între cele două vehicule. Rezultatele obținute în urma testului sunt prezentate în continuare:

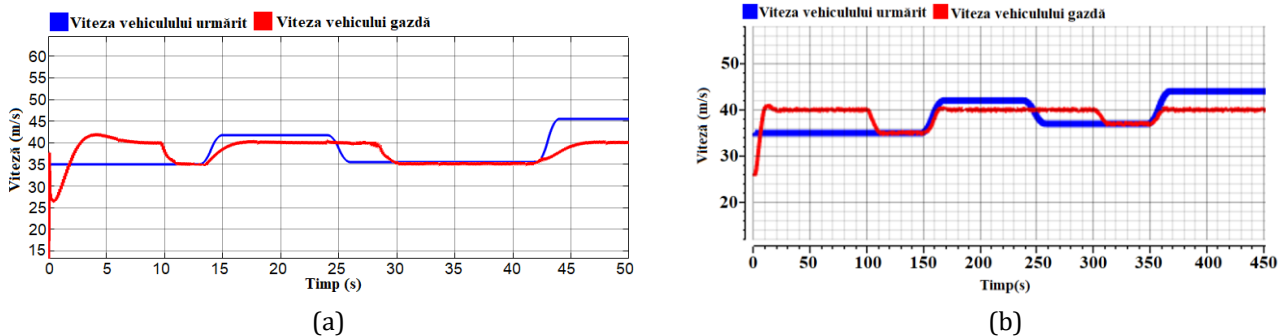


Figura 12. Viteza vehiculului gazdă și a vehiculului urmărit (a – simulare, b – experimental)

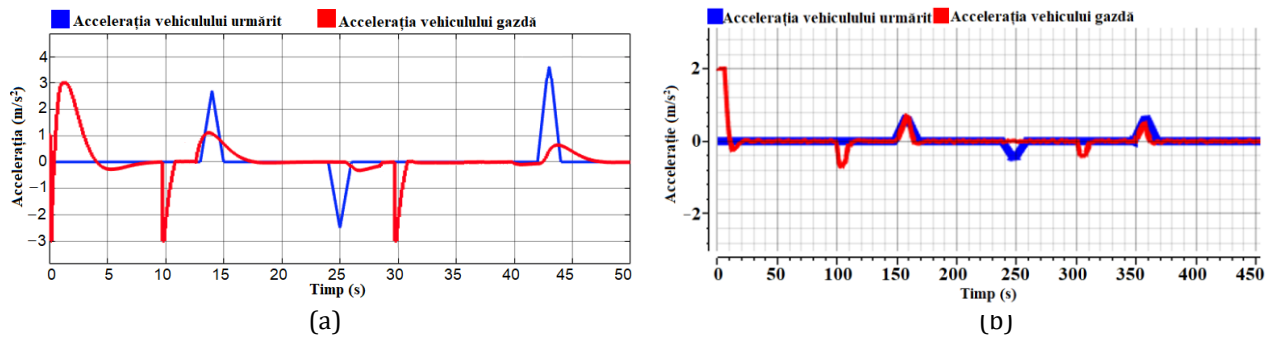


Figura 13. Accelerația vehiculului gazdă și a vehiculului urmărit (a – simulare, b – experimental)

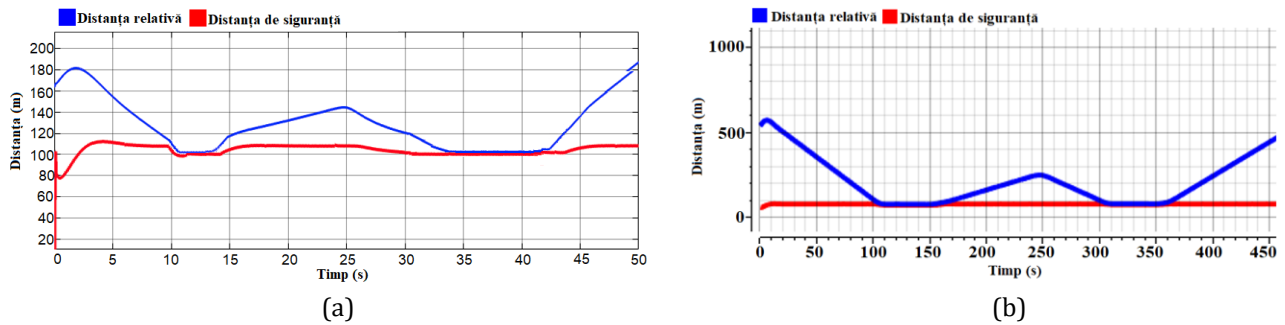


Figura 14. Distanța relativă dintre vehicule și distanța de siguranță (a – simulare, b – experimental)

Acest capitol a prezentat conceptul unui sistem de tip Adaptive Cruise Control în cadrul unui sistem de propulsie electric, care cuprinde un motor electric de inducție, controlat prin intermediul unui control vectorial indirect.

Rezultatele obținute din simularea sistemului, cât și rezultatele experimentale prezentate ilustrează funcționarea corespunzătoare a sistemului, atât în cazul în care funcționează în mod de control al vitezei, cât și în modul de control al distanței, păstrând distanța de siguranță față de un alt vehicul prezent în față. Astfel, se poate afirma că un sistem de tip Adaptive Cruise Control se poate instala și funcționează corespunzător în cadrul unui vehicul electric, la fel ca și în cazul vehiculului cu motor termic.

5.2.3. Motorul sincron cu magneți permanenți și controlul acestuia

Capitolul 5 al lucrării este intitulat " Motorul sincron cu magneți permanenți și controlul acestuia" și cuprinde studiul teoretic al funcționării motorului și al controlului vectorial al acestui tip de motor.

Motorul sincron face parte din categoria motoarelor de curent alternativ, asemeni motorului asincron. În comparație cu motorul asincron, rotorul motorului sincron se rotește cu o viteză egală cu viteza sincronă corespunzătoare frecvenței tensiunii de alimentare, de aici și numele de motor sincron [12].

Statorul motorului sincron are aceeași construcție ca și statorul motorului asincron: are trei înfășurări, dispuse la 120° una față de cealaltă, generând câmpul magnetic învârtitor [19]. Rotorul, însă, este diferit față de rotorul motorului asincron, deoarece în cadrul unui motor sincron rotorul cuprinde un electromagnet, care necesită o alimentare secundară, sau cuprinde magneți permanenți [13].

Cuplul motorului sincron este proporțional cu produsul dintre amplitudinea fluxului din stator și a fluxului din rotor și sinusul unghiului dintre cei doi vectori. Câmpul magnetic generat de rotor este constant, generat de un curent continuu sau de un magnet permanent, iar câmpul magnetic generat de stator este variabil și se rotește cu viteza sincronă. Câmpul magnetic din rotor se aliniază față de câmpul magnetic variabil generat de stator și urmărește mișcarea de rotație a acestuia, de aceea rotorul se mișcă cu o viteză egală cu viteza sincronă [13].

La fel ca și în cazul motorului asincron de inducție, controlul vectorial asigură o eficiență ridicată și în cazul motorului sincron cu magneți permanenți.

Controlul vectorial al motorului sincron cu magneți permanenți se aseamănă cu cel al motorului cu inducție, însă trebuie avute în vedere următoarele aspecte:

- Frecvența de alunecare, ω_{slip} , este zero, deoarece motorul sincron funcționează întotdeauna la viteză sincronă;
- Fluxul magnetic este asigurat de magneții permanenți, de aceea valoarea de referință a curentului i_d este setată la valoarea 0;
- Frecvența sincronă de comandă este determinată cu ajutorul unui encoder atașat pe axul motorului;
- Implementarea nu depinde de parametrii motorului [12].

Păstrând referința curentului i_d la zero și referința curentului i_q calculată pe baza relației (40), se pot dezvolta trei variante de implementare a unui bloc de control vectorial pentru un motor sincron cu magneți permanenți [112], prezentate în Fig. 15, Fig. 16 și Fig. 17.

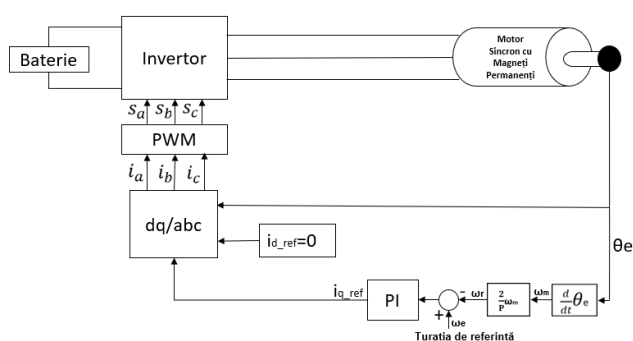


Figura 15. Controlul vectorial pentru motorul sincron cu magneți permanenți cu control în buclă deschisă pentru curentii i_d și i_q

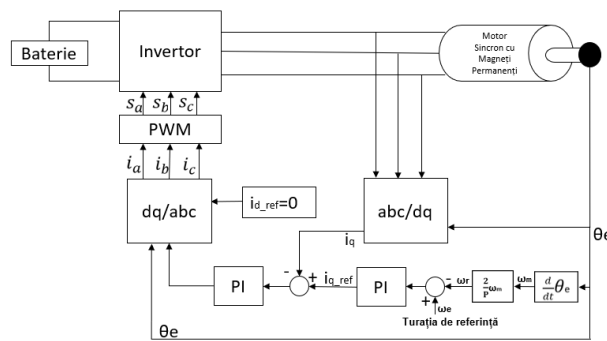


Figura 16. Controlul vectorial pentru motorul sincron cu magneți permanenți cu control în buclă deschisă pentru curentul i_d și control în buclă închisă pentru curentul i_q

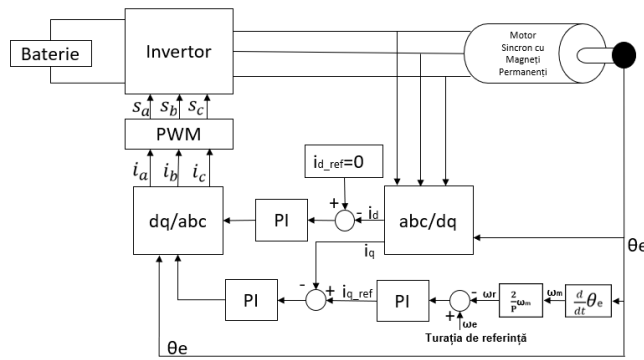


Figura 17. Controlul vectorial pentru motorul sincron cu magneți permanenți cu control în buclă închisă pentru curenții i_d și i_q

Pornind de la sistemul prezentat în Fig. 15, 16 și 17 a fost realizată o implementare la nivel de simulare în cadrul Simulink, prezentat în Fig. 18.

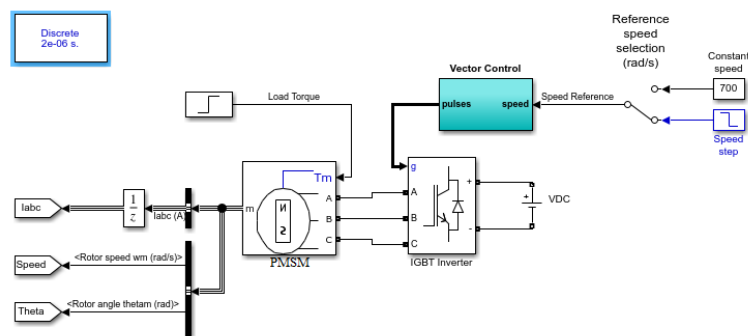


Figura 18. Sistemul de control vectorial al motorului sincron cu magneți permanenți implementat în Simulink

Sistemul dezvoltat în cadrul simulării a permis testarea celor trei variante de implementare a blocului de control vectorial, prezentate în Fig. 15, 16 și 17.

Implementarea practică a sistemului de propulsie electrică, de mici dimensiuni, cuprinzând un motor sincron cu magneți permanenți și control vectorial, a fost realizată folosind motorul sincron cu magneți permanenți DMB0224C10002, o sursă de alimentare, un invertor, senzori de poziție Hall, un encoder optic rotativ, senzori de curent Hall, platforma dSPACE și un calculator pentru implementarea aplicației, mai precis a blocului de control, necesar pentru platforma dSPACE. Fig. 19 și Fig. 20 ilustrează diagrama bloc a sistemului implementat practic, respectiv, elementele practice ale sistemului.

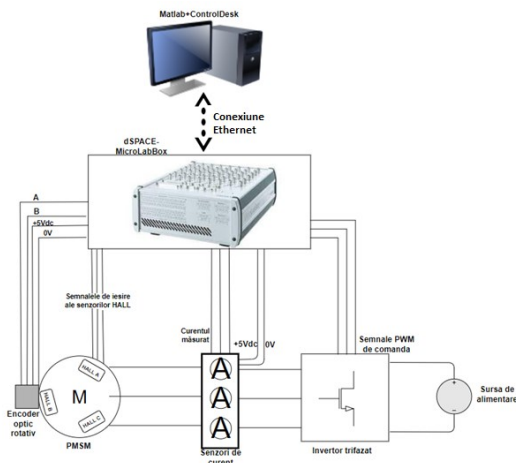


Figura 19. Diagrama bloc a sistemului practic de control vectorial pentru motorul sincron cu magneți permanenți

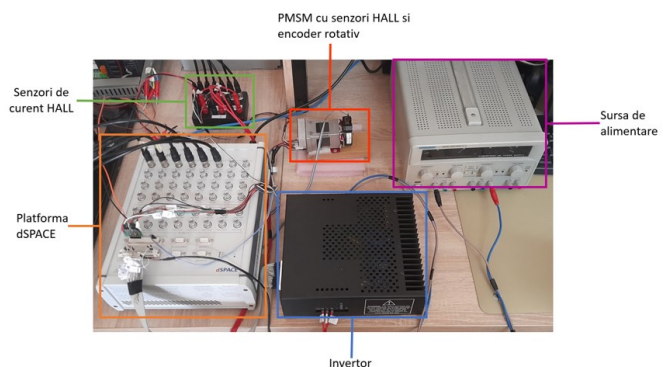
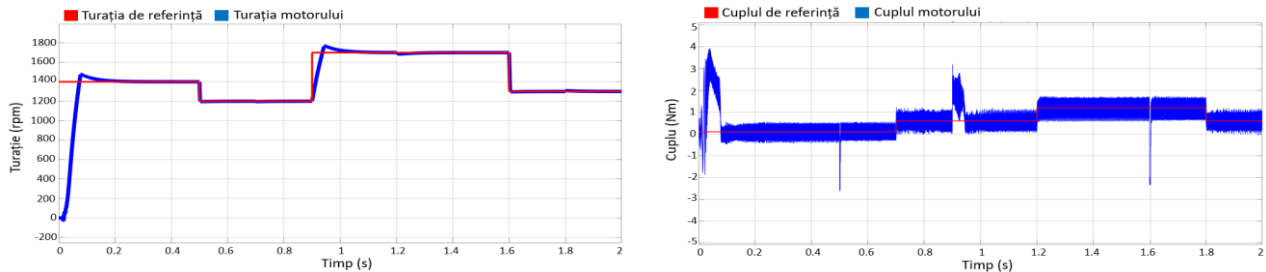


Figura 20. Elementele practice ale sistemului de control vectorial pentru motorul sincron cu magneți permanenți

Pe baza celor două implementări ale sistemului de propulsie electric cu motor sincron cu magneți permanenți (cea din cadrul simulării și cea practică) au fost realizate diferite teste, care au permis analizarea performanțelor sistemului.

Cele trei variante de implementare au fost testate în cadrul simulării, folosind același

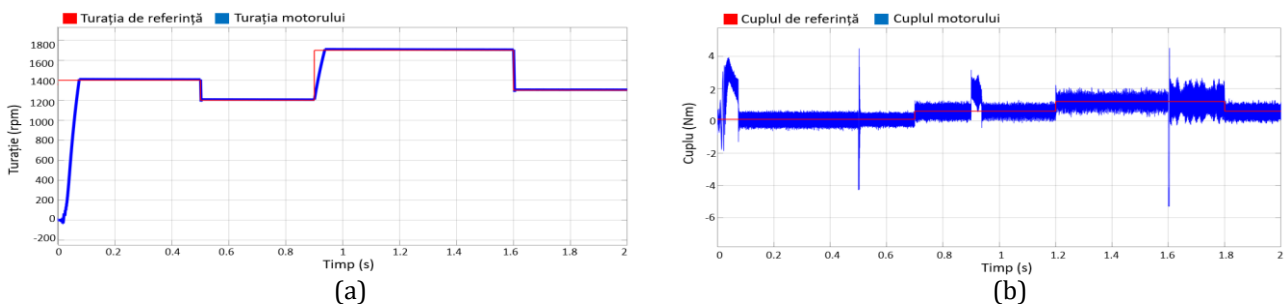


profil de testare. Rezultatele sunt prezentate în continuare:

(a)

(b)

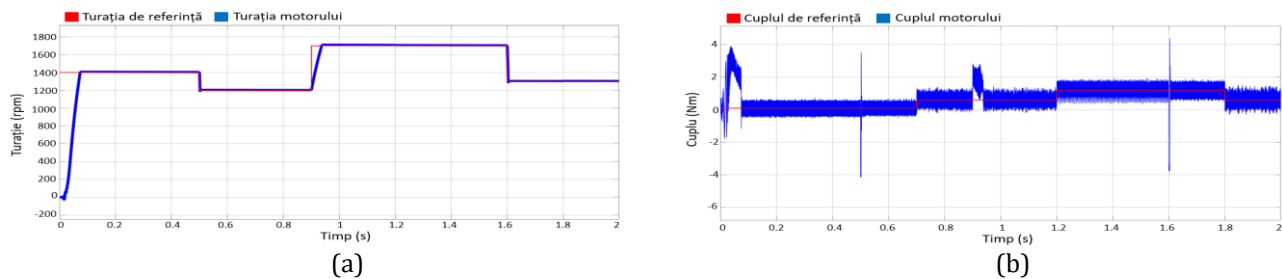
Figura 21. Răspunsul sistemului pentru prima variantă de implementare (a – turația motorului și turația de referință, b – cuplul motorului și cuplul de referință)



(a)

(b)

Figura 22. Răspunsul sistemului pentru a doua variantă de implementare (a – turația motorului și turația de referință, b – cuplul motorului și cuplul de referință)

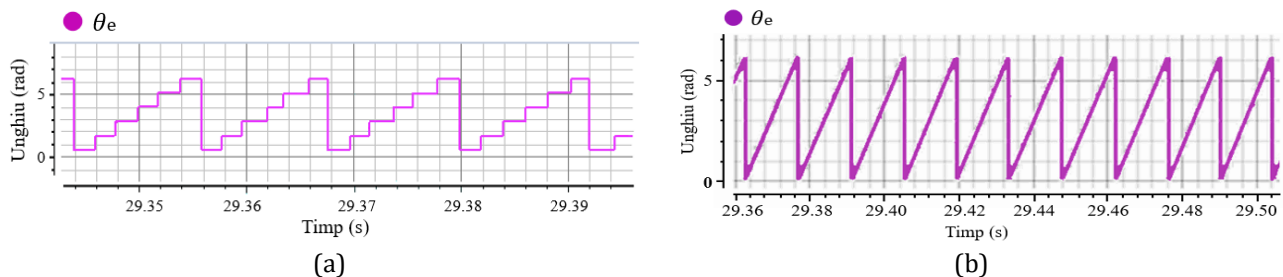


(a)

(b)

Figura 22. Răspunsul sistemului pentru a treia variantă de implementare (a – turația motorului și turația de referință, b – cuplul motorului și cuplul de referință)

Implementarea practică a cuprins atât un encoder rotativ, cât și senzori Hall pentru măsurarea unghiului sincron de rotație. A fost realizată o comparație a funcționării controlului vectorial, în cazul în care unghiul sincron de rotație se măsoară cu senzorii Hall sau cu encoderul rotativ.



(a)

(b)

Figura 23. Unghiul sincron de rotație (a – măsurat cu senzori Hall, b – determinat pe baza măsurătorii de turație a encoderului rotativ)

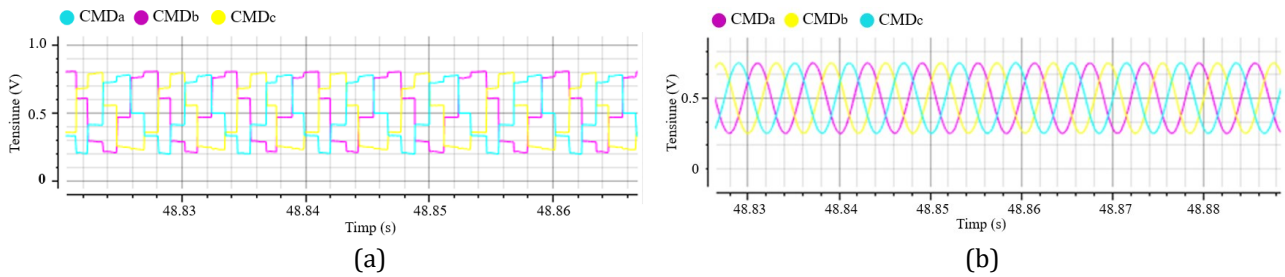


Figura 24. Semnale sinusoidale determinate de control pentru generarea semnalelor PWM de comandă al invertorului (a – în cazul măsurătorii cu senzori Hall, b – în cazul măsurătorii cu encoderul rotativ)

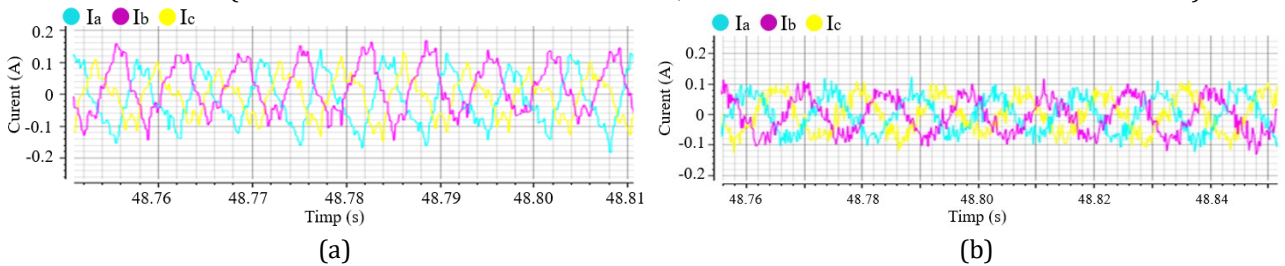


Figura 25. Curentul din stator (a – în cazul măsurătorii cu senzori Hall, b – în cazul măsurătorii cu encoderul rotativ)

A fost realizat și un test dinamic de variație a turației, pentru a testa eficiența blocului de control vectorial, atât în simulare, cât și practic. Rezultate sunt prezentate în continuare:

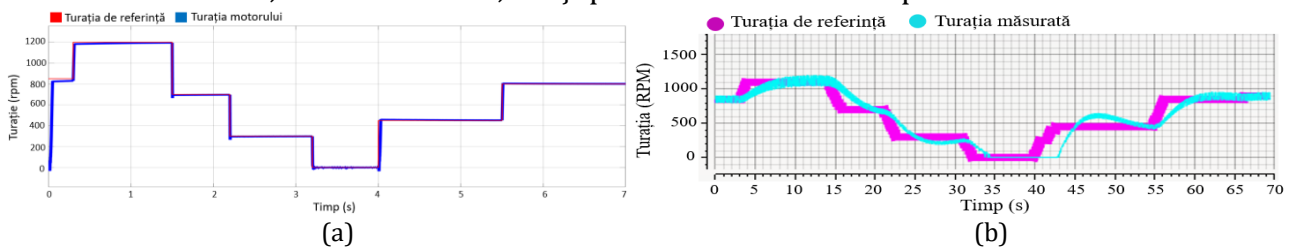


Figura 26. Turația de referință și turația motorului (a – simulare, b – experimental)

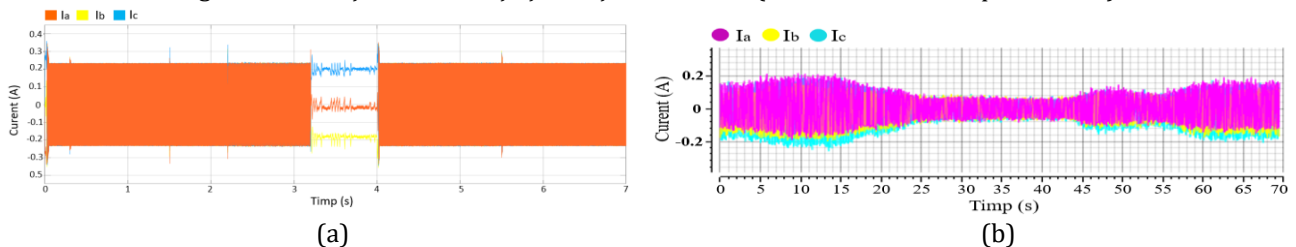


Figura 26. Curentul din stator (a – simulare, b – experimental)

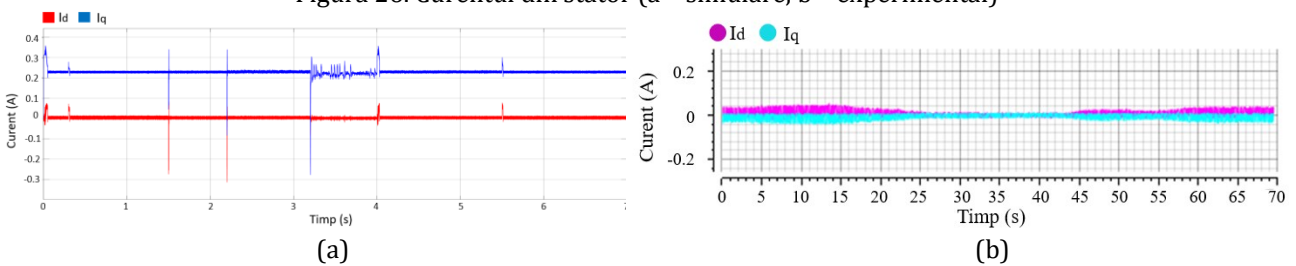


Figura 27. Curenții i_{ds} și i_{qs} (a – simulare, b – experimental)

Capitolul curent a prezentat funcționarea și modelarea unui motor sincron cu magneți permanenți, studiul și implementarea unui control vectorial corespunzător acestui tip de motor și a propus implementarea unui sistem de propulsie electric.

Implementarea la nivel de simulare a permis testarea a trei variante de implementare a blocului de control vectorial, iar implementarea practică a permis compararea modului de măsurare a unghiului sincron de rotație cu senzori Hall sau encoder rotativ. Rezultatele obținute susțin funcționarea eficientă a blocului de control vectorial pentru un motor sincron cu magneți permanenți, în cazul unor variații de turație.

5.2.4. Pachetul de baterii și sistemul de management al acestuia

În capitolul 6 al lucrării, intitulat ” Pachetul de baterii și sistemul de management al acestuia” este prezentat studiul teoretic, modelarea în simulare, implementarea practică și testarea unui pachet de baterii.

În cazul unui vehicul electric, bateria este cel mai important element, alături de motorul electric, fără de care vehiculul electric nu ar funcționa. Din punct de vedere al costului, bateria reprezintă aproximativ 50% din costul inițial al vehiculului. De aceea, are o mare importanță alegerea și utilizarea bateriei în cadrul vehiculului, pentru a putea fi funcțională o perioadă îndelungată de timp. Mai mult, se poate spune că evoluția vehiculelor electrice se bazează pe evoluția bateriilor reîncărcabile [20][21].

În prezent, bateriile utilizate în cadrul vehiculelor electrice, care îndeplinesc cel mai satisfăcător cerințele unei baterii în cadrul unui vehicul electric, sunt bateriile litiu-ion. Principalele caracteristici ale bateriilor litiu-ion, ideale pentru vehiculele electrice, sunt energia specifică și densitatea de putere mai mare decât a celorlalte tipuri de baterii existente [22][23][24][25].

Bateriile de tip litiu-ion prezintă, însă, și o serie de dezavantaje. Un mare dezavantaj este faptul că bateriile sunt ușor inflamabile, putând genera incendii sau chiar explozii, dacă nu sunt utilizate corespunzător [23]. Mai mult, bateriile litiu-ion au o capacitate scăzută de funcționare în cazuri de abuz (folosirea lor în condiții vitrege), fapt care determină deteriorarea precoce a bateriei [20][22]. Astfel, pentru a asigura o bună funcționare, atât din punct de vedere al siguranței, cât și pentru evitarea degradării precoce, alături de pachetul de celule litiu-ion este necesar și un sistem de management al pachetului de baterii [20][22][23].

Sistemul de management, din cadrul vehiculului electric, trebuie să asigure buna funcționare a pachetului de baterii litiu-ion, atât din punct de vedere al siguranței, bateriile să funcționeze în parametrii normali, pentru a evita riscul de incendii sau explozii [26], cât și din punct de vedere al funcționării optime pentru a evita situațiile de abuz, care pot determina degradarea precoce a bateriei [22].

Bateria unui vehicul electric este o noțiune generică, deoarece în realitate, pentru realizarea sistemului de stocare a energiei sunt necesare mai multe elemente: pachetul de baterii format dintr-un număr mare de celulele de baterii, sistemul de management al pachetului, senzori, comutatoare, siguranțe, interfețe de comunicare și sistem de răcire/încălzire. În Fig. 28 este ilustrată diagrama bloc a sistemului de stocare a energiei în cadrul unui vehicul electric.

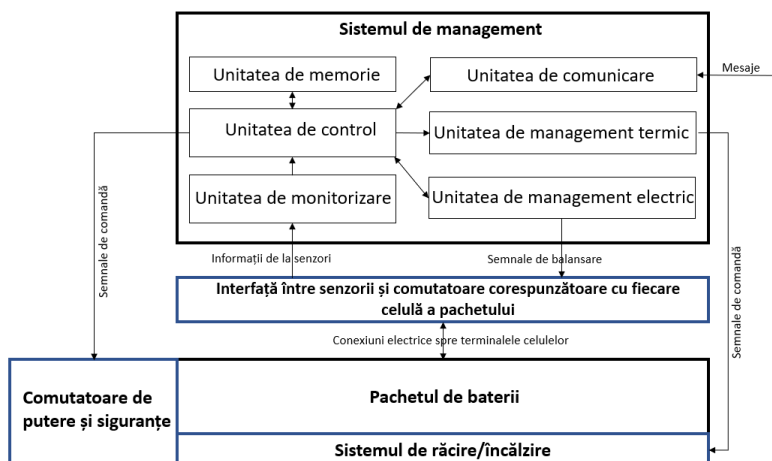


Figura 28. Diagrama bloc a sistemului de stocare a energiei în cadrul unui vehicul electric

Sistemul de management al bateriei îndeplinește multe funcții, însă în cadrul acestei lucrări au fost studiate pe larg doar două funcții: estimarea stării de încărcare a bateriei și balansarea celulelor din cadrul pachetului.

Starea de încărcare este parametrul care oferă informații despre cantitatea de energie care este stocată, în raport cu cantitatea maximă pe care bateria o poate stoca [27][28]. Determinarea stării de încărcare este o funcție foarte importantă a sistemului de management al bateriei în general, deoarece utilizarea optimă a bateriei se bazează pe estimarea corectă a stării de încărcare, cu atât mai mult în cadrul unui vehicul electric, a cărui autonomie se bazează doar pe energia din baterie [29].

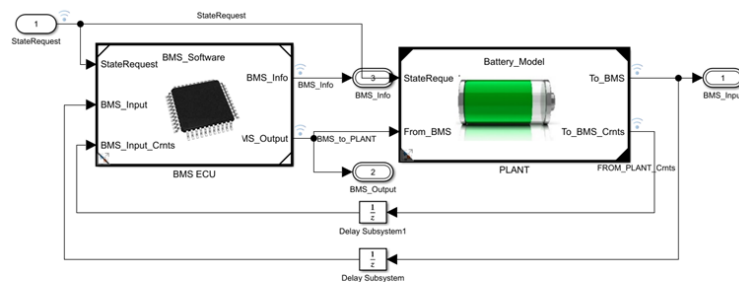
Starea de încărcare nu este un parametru al bateriei care poate fi măsurat direct, deoarece depinde de o multitudine de factori, astfel au fost dezvoltate mai multe metode de estimare a stării de încărcare. În cadrul lucrării au fost dezvoltate la nivel de simulare metoda de estimare bazată pe Coulomb Counting și metoda de estimare folosind filtre Kalman, mai specific, filtrul Kalman Extended și Unscented.

Având în vedere că, în cadrul unui vehicul electric, pachetul de baterii este format din sute de celule de baterii conectate în serie și/sau paralel, balansarea sau echilibrarea între celulele este obligatorie pentru funcționarea optimă a pachetului și prelungirea duratei de viață [30].

Există două tipuri de balansare care pot fi folosite în cadrul unui pachet de baterii: balansare statică și balansare dinamică [28]. Balansarea statică este realizată înainte ca pachetul să fie utilizat sau în afara duratei de funcționare a pachetului, și nu este asigurată de sistemul de management al bateriei [28].

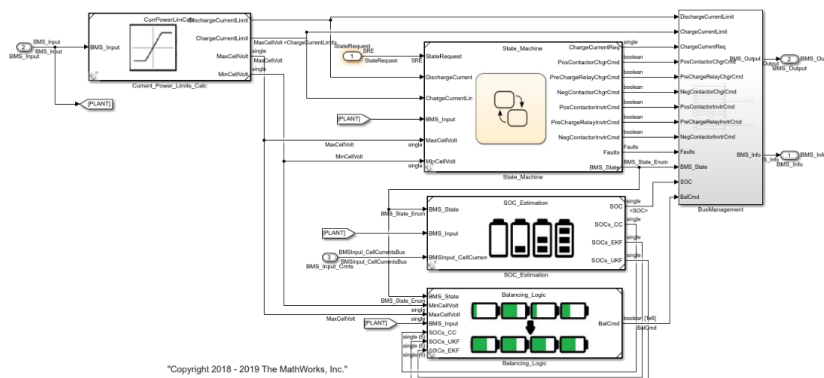
Balansarea dinamică este controlată de sistemul de management al bateriei și este, la rândul ei, de două tipuri: balansare pasivă și balansare activă [30][28].

Pentru implementarea unui sistem de management al bateriei a fost realizată o simulare în cadrul Simulink. În Fig. 29 este prezentat sistemul de stocare a energiei, iar în Fig. 30 sunt ilustrate elementele sistemului de management a bateriei. Pachetul modelat cuprinde 6 celule conectate în serie.



"Copyright 2018 - 2019 The MathWorks, Inc."

Figura 29. Pachetul de bateriei simulat în cadrul Simulink



"Copyright 2018 - 2019 The MathWorks, Inc."

Figura 30. Sistemul de management al bateriei simulat în cadrul Simulink

Acest sistem simulat a fost utilizat pentru implementarea metodelor de estimare a stării de încărcare, Coulomb Counting și filtrele Kalman (extended și unscented), plus balansarea pasivă, folosind topologia cu rezistori comutați, dar și balansare activă, în topologie de condensatori comutați. În continuare sunt prezentate rezultatele obținute:

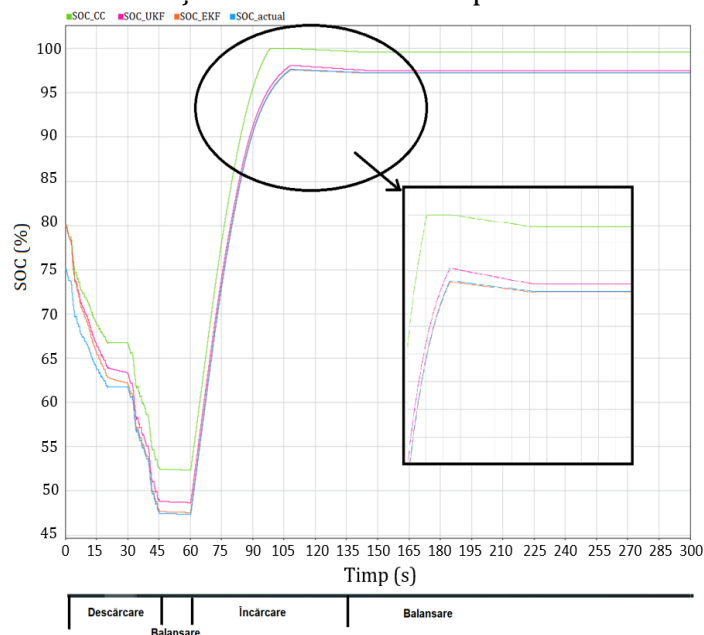


Figura 31. Starea de încărcare a celulei 1 estimată cu Coulomb Counting(verde), UKF(roz), EKF(portocaliu) și starea de încărcare reală a celulei (albastru)

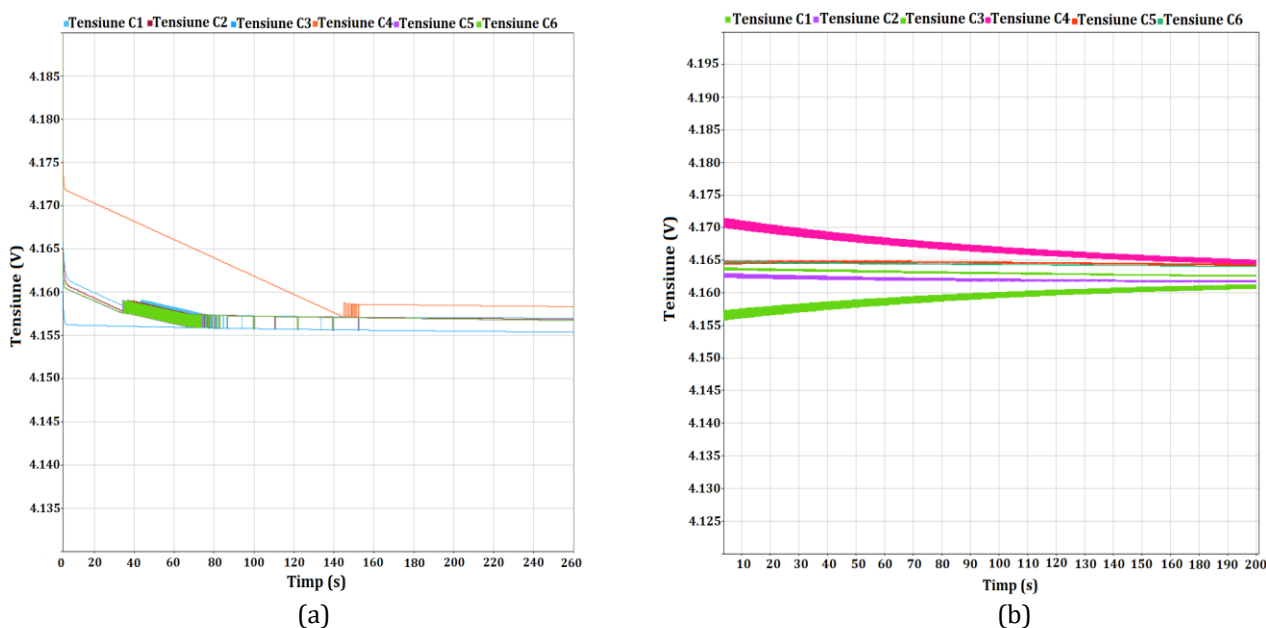


Figura 32. Tensiunile celulelor în timpul procesului de balansare (a - pasivă, b - activă)

Pentru implementarea practică a pachetului de baterii au fost studiate și utilizate circuite integrate specializate pentru monitorizarea, protecția și chiar balansarea celulelor. Astfel, pentru implementarea unui pachet de baterii au fost folosite mai multe circuite integrate și plăci de dezvoltare de la Analog Devices, specializate pentru construirea unui pachet de baterii.

În prima etapă pentru monitorizarea celulelor a fost folosit modulul EVAL-ADBMS1818, care are ca element central circuitul ADBMS1818, specializat în monitorizarea a 18 celule de baterii, și permite balansare pasivă a acestora, cu un curent maxim de 200mA,

folosind semnale PWM [145][146]. În Fig. 33 este prezentată structura sistemului realizat cu modulul EVAL-ADBMS1818, iar în Fig. 34 sunt ilustrate elementele practice.

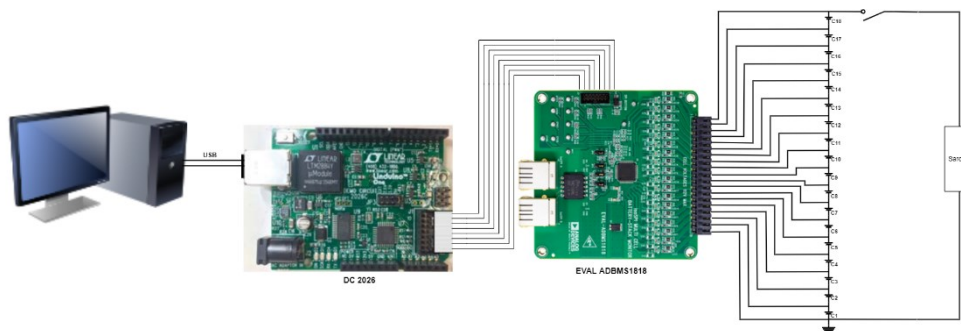


Figura 33. Structura pachetului de baterii realizat cu modulul EVAL-ADBMS1818

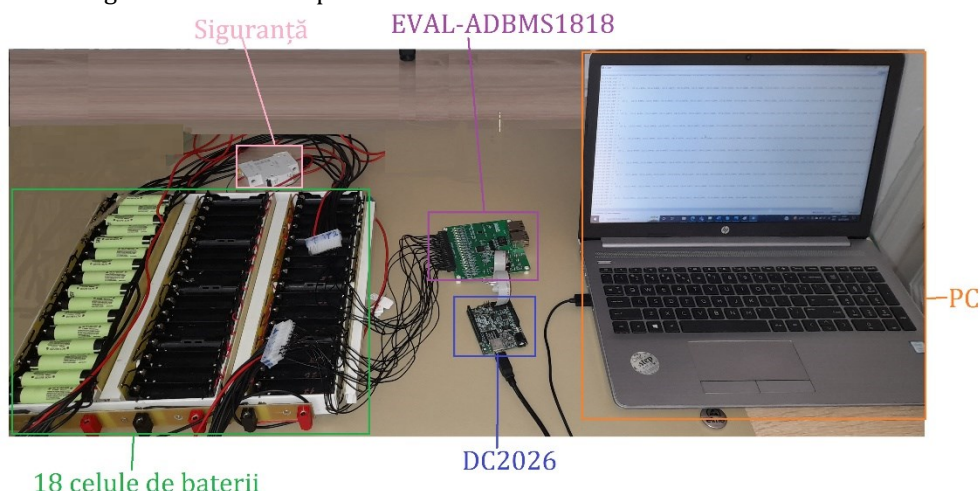


Figura 34. Elementele practice ale pachetului de baterii realizat cu modulul EVAL-ADBMS1818

Sistemul prezentat în Fig. 34 asigură formarea unui pachet de 18 celulele de litiu-ion, fiecare cu o tensiune nominală de 3.6V, conectate în serie, însumând o tensiune totală de 64,8V. Fig. 35 ilustrează tensiunea celulelor pe durata procesul de balansare pasivă.

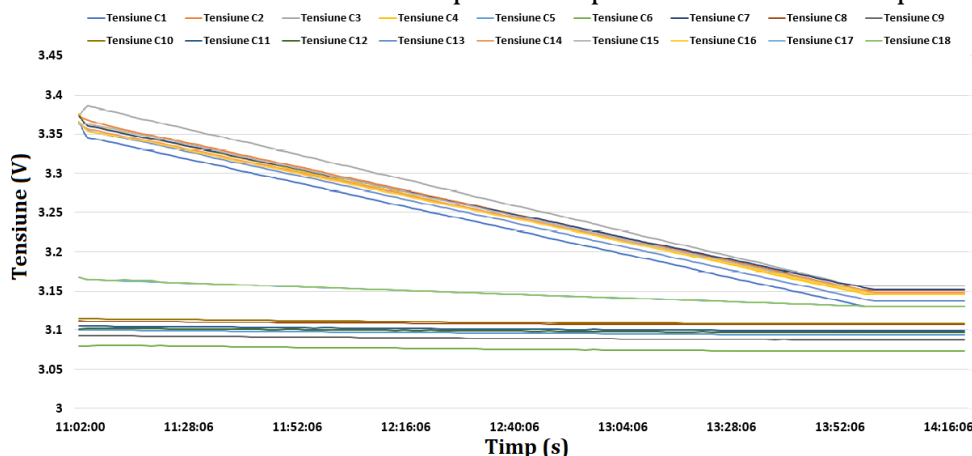


Figura 35. Tensiunea celor 18 celule pe durata procesului de balansare pasivă, cu modulul EVAL-ADBMS1818

Pentru o eficiență mai bună, s-a realizat un sistem de monitorizare și balansare activă a unui număr de 24 de celule, folosind modulul DC2100B-C și modulul DC2100B-D. Fig. 36 ilustrează structura sistemului implementat, iar Fig. 37 prezintă elementele practice.

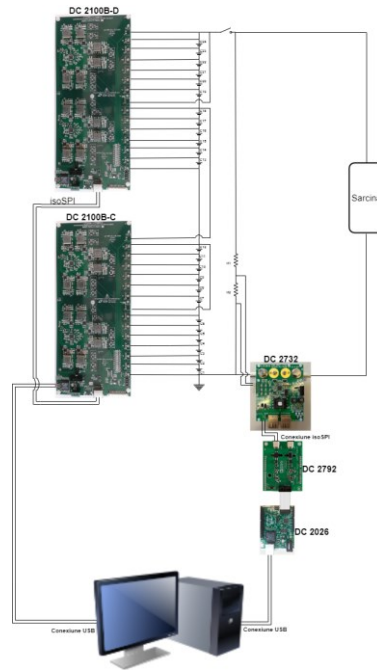


Figura 36. Structura pachetului de baterii realizat cu modulele DC2100B-C și DC2100B-D

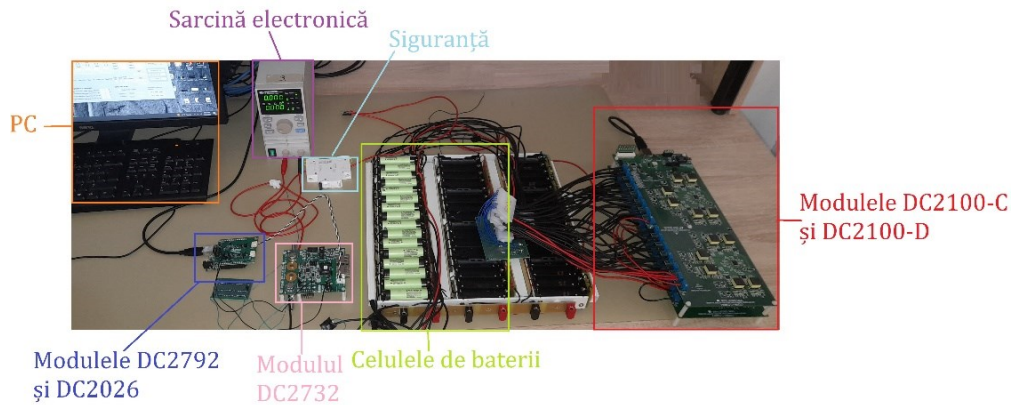


Figura 37. Elementele practice ale pachetului de baterii realizat cu modulele DC2100B-C și DC2100B-D

Modulele de tip DC2100B permit balansarea activă, prin descărcarea celulelor supraîncărcate, dar și încărcarea celulelor slab încărcate.

Procesul de balansare activă a presupus mai multe momente consecutive de descărcare, respectiv încărcare pentru cele 12 celule, astfel încât să se ajungă la un echilibru, la o valoare cât mai apropiată a tensiunilor celor 12 celule. În Fig. 38 este ilustrat procesul de balansare activă a celor 12 celule conectate la modul DC2100B-C, iar în Fig. 39 procesul de balansare activă a următoarelor 12 celule, conectate la modul DC2100B-D.

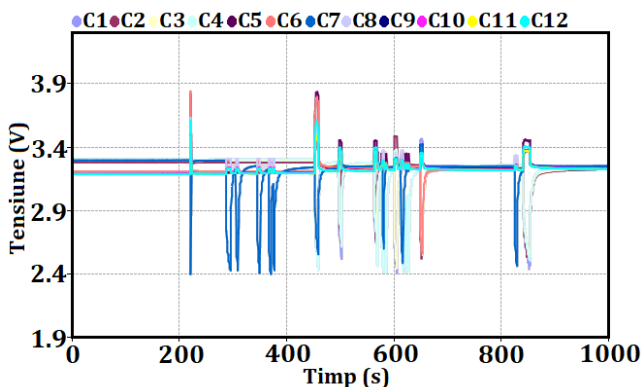


Figura 38. Procesul de balansare activa a celor 12 celule conectate la modul DC2100B-C

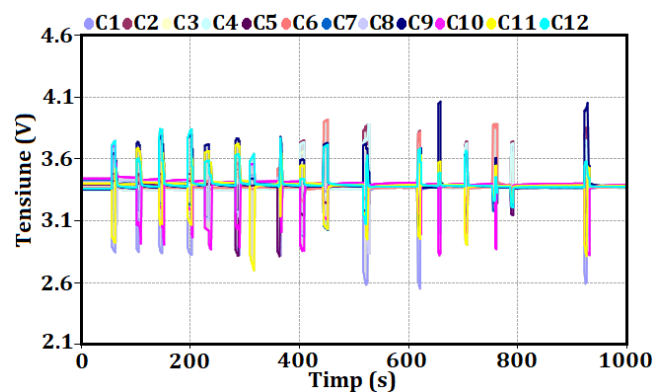


Figura 39. Procesul de balansare activa a celor 12 celule conectate la modul DC2100B-D

Capitolul 6 prezintă studiul teoretic, modelarea la nivel de simulare și implementarea practică a unui pachet de baterii, algoritmi de estimare a stării de încărcare, și metode de balansarea a celulelor. Folosind modelarea la nivel de simulare, dar și implementarea unui pachet de baterii practic, au fost testate trei metode de estimare a stării de încărcare și metode de balansare pasivă și activă, pentru echilibrarea celulelor din cadrul pachetului.

5.2.5. Sistemul de propulsie electric

Capitolul 7 al lucrării are titlul "Sistemul de propulsie electric" și cuprinde implementarea sistemului de propulsie electric, realizat prin conectarea sub-sistemelor prezentate în capitolele anterioare.

Sistemul realizat cuprinde motorul sincron cu magneți permanenți DMB0224C10002 cu sistemul de control vectorial, prezentat în detaliu în capitolul 5, însă alimentarea este asigurată de un pachet de 12 celule de baterii de tip li-ion, monitorizate cu un modul DC2100B-C, prezentat în cadrul capitolului 6.

Toată elementele sub-sistemului de control vectorial al motorului sincron cu magneți permanenți au fost păstrate la fel ca și în Fig. 20. Singura diferență fiind eliminarea sursei de alimentare de laborator. Alimentarea inverterului fiind asigurată de pachetul de baterii, format din 12 celule conectate în serie, monitorizate și balansate activ cu modulul DC2100B-C, plus modulul DC2732 pentru monitorizarea curentului prin întregul pachet. În Fig. 40 este ilustrată structura sistemului propus, iar în Fig. 41 sunt prezentate elementele practice.

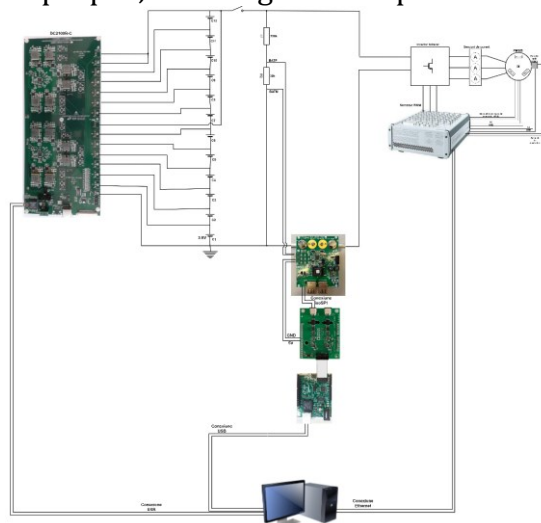


Figura 40. Diagrama bloc a sistemului de propulsie electric propus

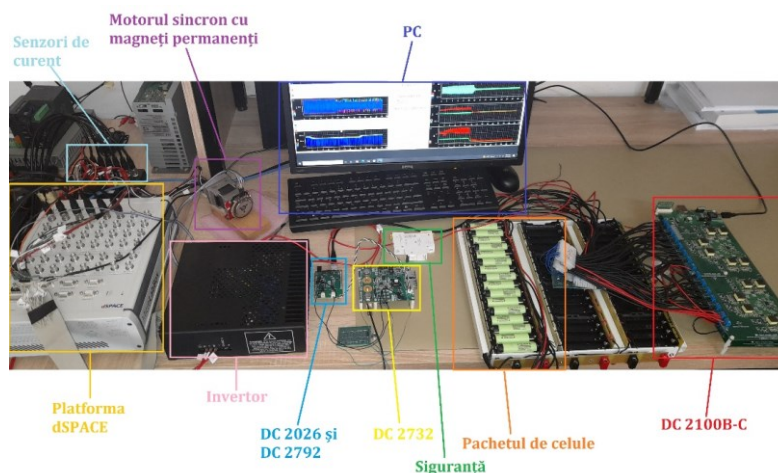


Figura 41. Elementele practice ale sistemului de propulsie electric propus

Sistemul prezentat în Fig. 41 a fost testat în cazul unui scenariu de variație al turației motorului, astfel au fost monitorizate modul în care turația motorului urmărește turația de referință impusă, curentul prin statorul motorului, curentul livrat de baterii și tensiunea pachetului de baterii. Aceste rezultate au validat funcționarea corespunzătoare a blocului de control și a pachetului de baterii. Rezultatele sunt prezentate în continuare:

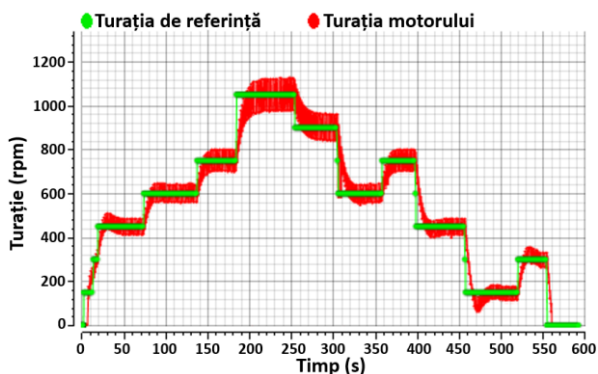


Figura 42. Turația motorului și turația de referință

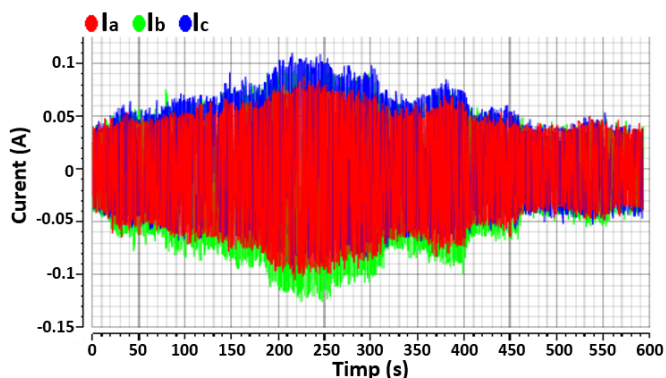


Figura 43. Curentul din statorul motorului

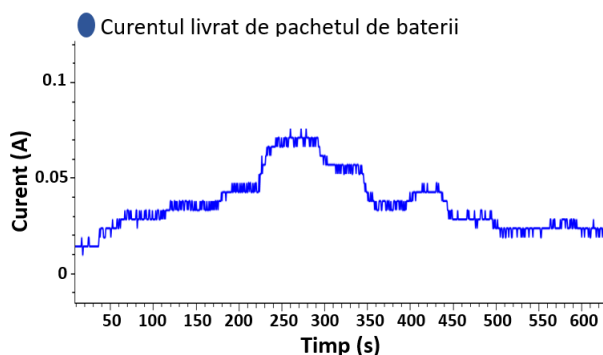


Figura 44. Curentul livrat de pachetul de baterii

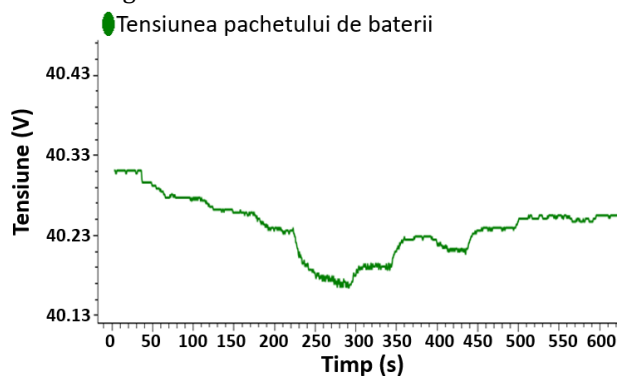


Figura 45. Tensiunea pachetului de baterii

În cadrul acestui capitol a fost prezentată implementarea unui sistem de propulsie care cuprinde atât motorul electric, cât și pachetul de baterii care asigură alimentarea motorului. Sistemul format a fost testat cu un profil de variație a turației de referință. Astfel, a fost analizat modul în care variația turației influențează celelalte mărimi din cadrul sistemului. Curentul din statorul motorului și curentul livrat de baterii prezintă aceeași variație, asemeni turației, pachetul de baterii livrând curentul necesar, impus de blocul de control, pentru ca turația motorului să egaleze turația impusă de valoarea de referință.

6. Concluzii

Lucrarea de față a avut ca scop studiul, modelarea și implementarea unui sistem de propulsie electric. Dezvoltarea vehiculelor electrice este un subiect de mare interes la ora actuală la nivelul întregii planete.

În prima etapă s-a realizat un studiu teoretic al vehiculelor electrice, a elementelor principale din cadrul sistemului de propulsie, în cadrul capitolului 1, și au fost identificate câteva elemente asupra cărora se pot aduce îmbunătățiri, pentru a crește performanța întregului sistem.

Pentru a putea determina elementele unde pot fi aduse contribuții inovative, în capitolul 2, a fost realizat un studiu detaliat al elementelor principale ale vehiculului, motorul electric, cu control acestuia, și sistemul de stocare a energiei electrice.

În cadrul acestei lucrări au fost studiate motorul sincron cu magneți permanenți, care oferă cea mai mare eficiență, însă la un cost ridicat, și motorul asincron cu inducție, care oferă un cost redus și o funcționare robustă, dar cu o eficiență mai scăzută.

În cadrul sistemului de control vectorial pentru motorul asincron cu inducție, a fost adăugat și un bloc de ACC, astfel a fost realizată o implementare la nivel de simulare, dar și o implementare practică a unui sistem de propulsie electric cu sistem de ACC, care asigură controlul vitezei pentru o valoarea setată, dar și adaptarea vitezei pentru a menține o distanță sigură față de un alt vehicul aflat în față.

După realizarea studiului celor două tipuri de motoare electrice utilizate în cadrul vehiculelor electrice, a fost realizat studiul și implementarea unui pachet de baterii utilizat pentru stocarea energiei în cadrul vehiculelor electrice.

În final a fost prezentat un sistem de propulsie complet, construit prin conectarea motorul sincron cu magneți permanenți și pachetul de baterii, formând sistemul de propulsie, asemeni unui vehicul electric.

În concluzie, această lucrare cuprinde studiul teoretic al tipurilor de vehicule electrice existente și a elementelor principale din cadrul unui vehicul electric.

7. Originalitate și contribuții personale

- Studiul și implementarea unui control vectorial indirect pentru un motor asincron de inducție, pentru aplicarea acestuia în cadrul unui sistem de propulsie electric.
- Implementarea unui control vectorial indirect digital, utilizând o platformă dSPACE, care a permis realizarea rapidă a unui sistem de control vectorial la nivel de prototip.
- Studiul și analiza funcționării unui sistem de tip Adaptive Cruise Control în cazul unui vehicul electric.
- Adaptarea unui sistem de tip Adaptive Cruise Control în cadrul unui sistem de propulsie electric, cu un control vectorial indirect pentru un motor asincron de inducție.
- Implementarea la nivel practic a unui sistem de propulsie electric care cuprinde un sistem de tip Adaptive Cruise Control folosind o platformă dSPACE, care a permis testarea sistemului de propulsie în cazul unui scenariu de funcționare în modul Adaptive Cruise Control
- Studiul și implementarea unui control vectorial indirect pentru un motor sincron cu magneți permanenți în trei variante posibile de control a curentului.
- Implementarea practică a unui control vectorial indirect digital pentru motorul sincron cu magneți permanenți, folosind o platformă dSPACE.
- Implementarea unui pachet de celule de baterii la nivel de simulare, dar și practic, care a permis balansarea pasivă, cu rezistori și comutatori, și activă a celulelor, cu multiple transformatoare.
- Utilizarea unor circuite integrate specializate, de la Analog Devices, pentru monitorizarea și balansarea pasivă, respectiv activă, a celulelor din cadrul unui pachet de baterii.
- Realizarea unui sistem de propulsie electrică, de mici dimensiuni, care cuprinde un motor sincron cu magneți permanenți, cu control vectorial indirect, și un pachet de 12 celule, monitorizate și balansate activ, utilizând module specializate de la Analog Devices.

8. Bibliografie

- [1] "How Many Cars are There in the World? | CarsGuide," (2022). <https://www.carsguide.com.au/car-advice/how-many-cars-are-there-in-the-world-70629> (accesat August 31, 2022).
- [2] A.E. Mehrdad Ehsani, Yimin Gao, Sebastian E. Gay, "Modern Electric, Hybrid Electric and

- Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory and Design," CRC Press LLC USA, 2005.
- [3] M.P.W. Asif Faiz, Christopher S. Weaver, "Air Pollution from Motor Vehicles: Standards and Technologies for Controlling Emissions," The Word Bank, Washington, D.C., 1996.
- [4] A.G. Abo-Khalil, M.A. Abdelkareem, E.T. Sayed, H.M. Maghrabie, A. Radwan, H. Rezk, A.G. Olabi, "Electric vehicle impact on energy industry, policy, technical barriers, and power systems," *Int. J. Thermofluids.* 13 (2022) 100134. <https://doi.org/10.1016/J.IJFT.2022.100134>.
- [5] "Sources of Greenhouse Gas Emissions | US EPA", (2022). <https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions> (accesat September 8, 2022).
- [6] B. Wang, B. Wang, B. Lv, R. Wang, "Impact of Motor Vehicle Exhaust on the Air Quality of an Urban City", *Aerosol Air Qual. Res.* 22 (2022) 220213. <https://doi.org/10.4209/AAQR.220213>.
- [7] S. Soylu, "Electric Vehicles - The Benefits and Barriers," *InTech*, 2011. <https://doi.org/10.5772/717>.
- [8] B.B. Seth Leitman, "Build Your Own Electric Vehicle," The McGraw-Hill Companies, 2009. <https://doi.org/10.1036/0071543732>.
- [9] K. Poornesh, K.P. Nivya, K. Sireesha, "A Comparative study on Electric Vehicle and Internal Combustion Engine Vehicles," *Proc. - Int. Conf. Smart Electron. Commun. ICOSEC* 2020. (2020) 1179–1183. <https://doi.org/10.1109/ICOSEC49089.2020.9215386>.
- [10] P. Aruna, P. V. Vasan, "Review on Energy Management System of Electric Vehicles," *Proc. 2019 2nd Int. Conf. Power Embed. Drive Control. ICPEDC 2019.* (2019) 371–374. <https://doi.org/10.1109/ICPEDC47771.2019.9036689>.
- [11] J.B.H.-N. Nil Patel, Akash Kumar Bhoi, Sanjeevikumar Padmanaban, "Electric Vehicles", Springer Singapore, Singapore, 2021. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-9251-5>.
- [12] B.K. Bose, "Modern Power Electronics and AC Drives," Prentice Hall PTR Upper Saddle River, 2002.
- [13] S.N. Vukosavic, "Electrical Machines," Springer New York, New York, NY, 2013. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-0400-2>.
- [14] A.K. Shaout, M.A. Jarrah, "Cruise control technology review," *Comput. Electr. Eng.* 23 (1997) 259–271. [https://doi.org/10.1016/S0045-7906\(97\)00013-X](https://doi.org/10.1016/S0045-7906(97)00013-X).
- [15] F. Diba, A. Arora, E. Esmailzadeh, "Optimized robust cruise control system for an electric vehicle," *Syst. Sci. Control Eng. An Open Access J.* 2 (2014) 175–182. <https://doi.org/10.1080/21642583.2014.891956>.
- [16] M.Y. Kara, E.A. Gol, "Adaptive Cruise Control with Timed Automata," *IFAC-PapersOnLine.* 53 (2020) 1918–1923. <https://doi.org/10.1016/J.IFACOL.2020.12.2585>.
- [17] M.M. Brugnolli, B.A. Angélico, A.A.M. Laganá, "Predictive Adaptive Cruise Control Using a Customized ECU," *IEEE Access.* 7 (2019) 55305–55317. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2907011>.
- [18] M.R. Hidayatullah, J.C. Juang, "Adaptive Cruise Control with Gain Scheduling Technique under Varying Vehicle Mass," *IEEE Access.* (2021). <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3121494>.
- [19] A.-M. Petri, D.M. Petreuş, "Adaptive Cruise Control in Electric Vehicles with Field-Oriented Control," *Appl. Sci.* 2022, Vol. 12, Page 7094. 12 (2022) 7094. <https://doi.org/10.3390/APP12147094>.
- [20] R. Xiong, "Battery management algorithm for electric vehicles," Springer Singapore, 2019. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-0248-4/COVER>.
- [21] M.A. Hannan, M.M. Hoque, A. Mohamed, A. Ayob, "Review of energy storage systems for

- electric vehicle applications: Issues and challenges," *Renew. Sustain. Energy Rev.* 69 (2017) 771–789. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2016.11.171>.
- [22] C.Z. Jiuchun Jiang, "Fundamentals and applications of lithium-ion batteries in electric drive vehicles," John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd., Singapore, 2015.
- [23] A. Perner, J. Vetter, "Lithium-ion batteries for hybrid electric vehicles and battery electric vehicles," in: *Adv. Batter. Technol. Electr. Veh.*, Elsevier, 2015: pp. 173–190. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-377-5.00008-X>.
- [24] C. Linse, R. Kuhn, "Design of high-voltage battery packs for electric vehicles," in: *Adv. Batter. Technol. Electr. Veh.*, Elsevier, 2015: pp. 245–263. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-377-5.00010-8>.
- [25] W. Chen, J. Liang, Z. Yang, G. Li, "A review of lithium-ion battery for electric vehicle applications and beyond," *Energy Procedia.* 158 (2019) 4363–4368. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.783>.
- [26] A. Hauser, R. Kuhn, "High-voltage battery management systems (BMS) for electric vehicles," in: *Adv. Batter. Technol. Electr. Veh.*, Elsevier, 2015: pp. 265–282. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-377-5.00011-X>.
- [27] "Battery State of Charge Determination," (2021). <https://www.mpoweruk.com/soc.htm> (accesat August 31, 2022).
- [28] A. Hauser, R. Kuhn, "Cell balancing, battery state estimation, and safety aspects of battery management systems for electric vehicles," in: *Adv. Batter. Technol. Electr. Veh.*, Elsevier, 2015: pp. 283–326. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-377-5.00012-1>.
- [29] A. Eldho Aliasand, F.T. Josh, "Selection of Motor foran Electric Vehicle: A Review," *Mater. Today Proc.* 24 (2020) 1804–1815. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2020.03.605>.
- [30] "Cell Balancing and Battery Equalisation," (2021). <http://www.mpoweruk.com/balancing.htm> (accesat August 31, 2022).

9. Lista de publicații

Lucrări indexate WOS:

- A. -M. Petri and D. Petreus, "Vector Control of Induction Machine Used in Electric Vehicle," 2020 43rd International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE), 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/ISSE49702.2020.9120984.
- A. -M. Petri and D. Petreuş, "Vector Control of Permanent Magnet Synchronous Machine," 2020 IEEE 26th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME), 2020, pp. 390-393, doi: 10.1109/SIITME50350.2020.9292170.
- A. -M. Petri and D. Petreuş, "Balancing and SOC Estimation in a Battery Management System for Electric Vehicle," 2021 44th International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE), 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/ISSE51996.2021.9467557.
- A. -M. Petri and D. Petreuş, "Field-Oriented Control of Permanent Magnet Synchronous Machine for Electric Traction Systems," 2022 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM), 2022, pp. 312-317, doi: 10.1109/SPEEDAM53979.2022.9842196.
- Petri, A.-M.; Petreuş, D.M. Adaptive Cruise Control in Electric Vehicles with Field-Oriented Control. *Appl. Sci.* 2022, 12, 7094. <https://doi.org/10.3390/app12147094> (Q2)