



**UNIVERSITATEA POLITEHNICA DIN
BUCUREȘTI**



**Școala Doctorală de Electronică, Telecomunicații
și Tehnologia Informației**

Decizie nr. 806 din 21-02-2022

REZUMAT TEZĂ DE DOCTORAT

Ing. Bogdan ANTON

**METODE DE ÎMBUNĂTĂȚIRE A CONSUMULUI
DE ENERGIE PENTRU AUTOVEHICULE**

**METHODS OF IMPROVING ENERGY
CONSUMPTION FOR MOTOR VEHICLES**

COMISIA DE DOCTORAT

Prof. Dr. Ing. Ion MARGHESCU Univ. Politehnica din București	Președinte
Prof. Dr. Ing. Adriana FLORESCU Univ. Politehnica din București	Conducător de doctorat
Prof. Dr. Ing. Alexandru VASILE Univ. Politehnica din București	Referent
Prof. Dr. Ing. Ioan LIȚĂ Univ. din Pitești	Referent
Prof. Dr. Ing. Radu Gabriel BOZOMITU Univ. Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași	Referent

BUCUREȘTI 2022

Această teză a fost finanțată parțial prin proiectul *Dezvoltarea competențelor de antreprenoriat ale doctoranzilor și postdoctoranzilor – cheie a succesului în carieră (A-Succes)*, Număr contract: 51675/09.07.2019 POCU/380/6/13 – Cod SMIS: 125125.

Cuprins

1. Introducere	1
1.1. Prezentarea domeniului tezei de doctorat	2
1.2. Scopul tezei de doctorat	2
1.3. Conținutul tezei de doctorat	3
2. Situația energetică actuală și motivațiile tranziției către autovehicule mai puțin poluante	5
3. Implicații ale tranziției către autovehicule mai puțin poluante	7
4. Autovehicule electrice hibride	9
5. Măsurarea parametrilor unui grup motopropulsor convențional utilizând o interfață de diagnoză computerizată	11
6. Proiectarea grupurilor motopropulsoare de tip hibrid-serie	15
7. Proiectarea grupurilor motopropulsoare de tip hibrid-paralel	18
8. Proiectarea circuitelor electronice de echilibrare a nivelului de încărcare pentru bateria de acumulatori de înaltă tensiune	22
9. Îmbunătățirea consumului de energie pentru autovehicule cu ajutorul sistemelor auxiliare de stocare	26
10. Concluzii	29
10.1. Rezultate obținute	30
10.2. Contribuții originale	32
10.3. Lista lucrărilor originale	34
10.4. Perspective de dezvoltare ulterioară	36
Bibliografie	37

Capitolul 1

Introducere

Problema încălzirii globale și a poluării cauzate de autovehicule, mai ales în zonele urbane, este cunoscută de zeci de ani, însă până în ultimul deceniu nu s-au realizat progrese semnificative pentru a încetini acest fenomen, chiar dacă reglementări în domeniu există de aproximativ o jumătate de secol.

Odată cu dezvoltarea unor baterii de acumulatori relativ accesibile ca preț și capabile să ofere densități de energie suficient de mari pentru a permite obținerea unor autonomii de câteva sute de kilometri pentru autovehiculele electrice, toată industria auto și-a redirecționat o mare parte dintre resurse spre aceste tipuri de grupuri motopropulsoare alternative, care sunt, cel puțin aparent, prietenoase cu mediul înconjurător.

Pe de altă parte, resursele de hidrocarburi devin din ce în ce mai dificil de exploatat, ceea ce va conduce în viitorul nu foarte îndepărtat la o creștere semnificativă a prețului combustibililor fosili, în cazul în care tendințele referitoare la consumul de petrol se mențin în creștere.

Așadar, devine din ce în ce mai clar faptul că autovehiculele propulsate de motoarele cu ardere internă convenționale cu care suntem obișnuiți de peste o sută de ani vor trebui să fie echipate cu motoare electrice, acestea din urmă fiind mult mai eficiente.

Totuși, tranziția rapidă către autovehiculele electrice are destule neajunsuri, din cauza faptului că, în prezent, acestea au o greutate semnificativ mai mare, în comparație cu cele convenționale, timpul de încărcare necesar bateriei de acumulatori este îndelungat, iar autonomia este de cele mai multe ori insuficientă pentru deplăsări lungi. Mai mult decât atât, reciclarea, precum și exploatarea rezervelor de litiu sunt nocive pentru mediul înconjurător, infrastructura disponibilă în multe state este slab dezvoltată, și poate cel mai important aspect, o parte semnificativă din energia electrică este produsă în prezent prin arderea cărbunelui și a hidrocarburilor, ceea ce face ca poluarea să fie doar mutată din orașe în zonele limitrofe, acolo unde sunt construite termocentralele.

Având în vedere afirmațiile precedente, până la găsirea unor soluții cu adevărat fezabile pe plan global, tranziția ar trebui să se realizeze lent, în câteva decenii (cel mai probabil), cu ajutorul grupurilor motopropulsoare de tip hibrid, care oferă atât avantajele motoarelor termice convenționale (autonomie crescută și timpi de

realimentare scăzuți), cât și pe cele ale motoarelor electrice (putere instantanee ridicată, eficiență crescută, respectiv emisii poluante zero).

1.1 Prezentarea domeniului tezei de doctorat

Domeniul abordat în cadrul acestei teze aparține atât electronicii utilizate în industria auto, cât și electronicii de putere, respectiv, atât metode de dimensionare a principalelor componente ale vehiculelor echipate cu grupuri motopropulsoare de tip hibrid, împreună cu algoritmi de gestionare a energiei, cât și circuite de echilibrare a nivelului de încărcare pentru bateriile de acumulatori utilizate de acestea, precum și sisteme auxiliare de stocare care permit îmbunătățirea consumului de energie pentru autovehicule. Este de notorietate faptul că în ultima perioadă industria auto și-a concentrat atenția asupra dezvoltării atât a autovehiculelor hibride, cât și a celor electrice, în primul rând, din cauza intensificării poluării atmosferei, precum și a diminuării resurselor de hidrocarburi. Deoarece în multe zone geografice tranziția directă de la autovehicule convenționale la cele cu propulsie exclusiv electrică este aproape imposibilă (atât din cauza deficiențelor de infrastructură, cât și din cauza costului ridicat de achiziție, precum și a autonomiei scăzute), combinarea avantajelor ambelor grupuri motopropulsoare amintite anterior reprezintă compromisul ideal pentru perioada de tranziție, care poate dura între 30 și 40 de ani (cel puțin în România). De asemenea, dezvoltarea sistemelor de conversie a energiei electrice, a bateriilor de acumulatori, precum și a motoarelor electrice joacă un rol foarte important în maximizarea eficienței grupurilor motopropulsoare moderne.

1.2 Scopul tezei de doctorat

Lucrarea de față aduce contribuții atât la modul de dimensionare a principalelor părți componente ale diferitelor grupuri motopropulsoare hibride, cât și la metodele de control al repartizării energiei în timpul deplasării autovehiculului. Aceste metode tratează diferite arhitecturi de grupuri motopropulsoare hibride, printre care configurația hibrid-serie, precum și cea hibrid-paralel, și se bazează în mare parte pe măsurători efectuate asupra unui grup motopropulsor convențional, în timpul deplasării pe drumurile publice, în diferite regimuri de viteză și accelerație, în condiții meteorologice diverse, la altitudini multiple, precum și pe parcursul diferitelor anotimpuri, utilizând două tipuri de anvelope (de vară, respectiv iarnă). Fiecare dintre cele două arhitecturi studiate prezintă atât avantajele, cât și dezavantajele, pe care le au față de un grup motopropulsor convențional, dar și față de unul complet electric, alimentat exclusiv din baterii de acumulatori sau pile de combustie. Pe de altă parte, această teză propune un sistem activ de echilibrare a nivelului de încărcare pentru celulele din componența bateriilor de acumulatori de înaltă tensiune, care sunt utilizate pentru alimentarea motorului electric de tracțiune, ceea ce permite

optimizarea consumului de energie electrică al autovehiculului. În plus, această teză propune dezvoltarea și utilizarea unor sisteme auxiliare de stocare a energiei electrice, în scopul micșorării și optimizării consumului de combustibil, atât pentru motorul termic, cât și pentru sistemele auxiliare ale autovehiculului.

1.3 Conținutul tezei de doctorat

Capitolul 1 prezintă domeniul tezei de doctorat, scopul tezei, precum și conținutul acesteia.

Capitolul 2 descrie sumar problemele cauzate de poluarea aerului, modul de generare a energiei, precum și conversia energiei utilizate în principal pentru alimentarea autovehiculelor. Mai mult decât atât, este evaluat potențialul de exploatare al resurselor energetice actuale, în vederea asigurării consumului din surse regenerabile.

În cadrul Capitolului 3 sunt prezentate implicațiile pe care le are tranziția către grupuri motopropulsoare prietenoase cu mediul înconjurător, mai ales în România, iar apoi este realizat un studiu de fezabilitate sumar, referitor la alegerea corectă a tipului de grup motopropulsor, în funcție de diferite constrângeri.

Capitolul 4 este dedicat autovehiculelor electrice hibride, debutând cu o clasificare a grupurilor motopropulsoare hibride utilizate în industrie, din punct de vedere al arhitecturii acestora.

În continuare, în cadrul acestui capitol, sunt propuse o serie de îmbunătățiri pentru cele mai importante părți componente ale grupurilor motopropulsoare hibride, începând cu motorul cu ardere internă, continuând cu motorul electric de tracțiune, generatorul electric, precum și convertoarele de putere aferente, și terminând cu sistemul de transmisie a puterii către roțile motoare ale autovehiculului, respectiv mediile de stocare ale energiei.

Acest capitol se încheie cu o trecere în revistă a tehnologiilor actuale din industrie, precum și o listă ce conține o serie de modele de autovehicule aflate în producție la momentul actual, în Europa.

În Capitolul 5, autorul propune o metodă simplă și foarte puțin costisitoare de măsurare în timp real a parametrilor grupului motopropulsor al unui autoturism convențional, echipat cu un motor termic și cutie de viteze automată. Scopul principal al acestei metode este de a facilita proiectarea și dimensionarea componentelor principale ale grupurilor motopropulsoare electrice hibride. Colectarea datelor a fost realizată cu ajutorul unei interfețe de diagnostică computerizată, a cărei precizie a fost verificată atât cu ajutorul calculelor matematice, cât și cu ajutorul simulărilor asistate de calculator.

În cadrul Capitolului 6, autorul propune o metodologie de proiectare și dimensionare a componentelor unui grup motopropulsor de tip hibrid-serie, precum și dezvoltarea unui algoritm de gestionare a energiei acestuia, care au fost realizate pe

baza datelor culese cu ajutorul interfeței menționate anterior, în timpul deplasării autovehiculului pe drumurile publice.

Capitolul 7 tratează dezvoltarea unor grupuri motopropulsore hibride de tip paralel, utilizându-se aceeași metodă de colectare în timp real a parametrilor unui sistem de propulsie convențional, în timpul conducerii autovehiculului pe drumurile publice.

Mai întâi, autorul propune un grup motopropulsor hibrid în configurație paralelă, care este capabil să echivaleze performanțele și specificațiile tehnice (curbele aferente cuplului, respectiv puterii maxime) ale unui grup motopropulsor convențional având o capacitate cilindrică mai mare.

După aceea, pe baza acestei arhitecturi, a fost dezvoltat un algoritm care permite deplasarea autovehiculului utilizând fie energia furnizată de combustibilul fosil, prin intermediul motorului termic, fie energia stocată în bateria de acumulatori de înaltă tensiune a sistemului propus (cu ajutorul motorului electric de tracțiune), fie o combinație a celor două surse de energie, permițând astfel obținerea unui consum de combustibil îmbunătățit, precum și reducerea emisiilor poluante.

În consecință, elementul de stocare a energiei electrice va avea caracteristici diferite față de cazul în care bateria de acumulatori de înaltă tensiune este utilizată în cadrul sistemului plug-in hibrid care doar echivalează performanțele unui propulsor convențional.

La finalul fiecărui subcapitol din cadrul Capitolului 7 sunt prezentate rezultatele experimentale obținute de autor în vederea dezvoltării grupurilor motopropulsoare de tip hibrid-paralel care au fost propuse.

În cadrul Capitolului 8, autorul propune o metodă eficientă de proiectare a circuitelor electronice de echilibrare a nivelului de încărcare pentru bateria de acumulatori de înaltă tensiune, prezentând și o serie de rezultate practice obținute în cadrul dezvoltării unor astfel de sisteme.

Capitolul 9 propune un sistem auxiliar de stocare a energiei care permite optimizarea consumului pentru autovehicule prin utilizarea unor elemente de captare a energiei provenite din diferite surse. De asemenea, pe baza unor măsurători efectuate în timpul deplasării autovehiculului pe drumurile publice, a fost realizată o dimensionare a acestui sistem auxiliar, care poate fi utilizat în combinație cu sistemele Start-Stop.

Capitolul 10 cuprinde concluziile acestei teze, începând cu rezultatele obținute, continuând cu prezentarea contribuțiilor originale, respectiv lista lucrărilor originale și terminându-se cu perspectivele de dezvoltare ulterioară pentru tema abordată.

După acest capitol urmează un număr de 13 Anexe (A.1 – A.13), al căror rol este de a clarifica, respectiv de a completa informațiile prezentate în cadrul acestei teze.

Ultima secțiune este reprezentată de Bibliografie, care încheie teza de doctorat și care cuprinde un număr de 183 de referințe bibliografice, în care au fost incluse și publicațiile personale ale doctorandului, detaliate în subcapitolul 10.3 al prezentei teze de doctorat.

Capitolul 2

Situația energetică actuală și motivațiile tranziției către autovehicule mai puțin poluante

Problema poluării, mai ales în interiorul orașelor aglomerate, reprezintă, într-adevăr, o preocupare foarte importantă de mediu, dar și de sănătate publică, iar autovehiculele convenționale vor trebui înlocuite sau adaptate la sisteme de propulsie alternative, însă este esențial ca această tranziție să se realizeze într-un mod sustenabil.

Poluanții atmosferici cuprind poluanții primari, care sunt emiși direct din surse (PM, SO₂, NO_x, HC, COV, CO, NH₃), respectiv poluanții secundari, produși, în general, prin reacțiile chimice a doi sau mai mulți poluanți primari [1].

Încălzirea globală, rezultată în urma efectului de seră, care este indus de prezența dioxidului de carbon (CO₂) în atmosferă, este accelerată de arderea combustibililor utilizați pentru generarea de energii electrice, alimentarea motoarelor termice, respectiv, încălzirea clădirilor [1], [2].

În prezent, majoritatea vehiculelor se bazează pe arderea combustibililor formați din hidrocarburi (HC), pentru a obține energia necesară propulsiei lor, iar îmbunătățirea economiei de carburant are un impact deosebit asupra cantității de GES produse în interiorul orașelor, acolo unde densitatea de populație este foarte mare. Momentan, cele mai promițătoare tehnologii menite să reducă emisiile poluante sunt prezente pe vehiculele electrice-hibride, respectiv pe cele complet electrice, echipate cu celule de combustie sau cu baterii de acumulatori.

Trebuie totuși reținut faptul că gazele cu efect de seră sunt produse atât din cauze naturale (aproximativ 44,6% din total), cât și din cauze antropice (aproximativ 55,4% din total), iar tranziția către autovehicule care nu emit deloc gaze în timpul deplasării poate reduce poluarea cu cel mult 4% [3], [4].

În ceea ce privește energia, aceasta trebuie produsă din surse care există deja în mediul natural, precum combustibilii fosili, combustibilii nucleari sau formele de energie regenerabilă. În schimb, sursele de aprovizionare cu energie sunt reprezentate de cele primare (care pot fi consumate direct), cele secundare (produsele petroliere rafinate, biocombustibilii, etc.), respectiv cele terțiare (energia electrică), ultimele două categorii fiind utilizate în mod direct pentru alimentarea autovehiculelor [5].

Conversia energiei se realizează de obicei prin intermediul centralelor termoelectrice, care transformă energia cinetică în energie electrică, cu ajutorul unor generatoare, însă există, de asemenea, și alte metode directe de conversie [5].

Referitor la sursele alternative disponibile pe Pământ, de exemplu, radiația solară incidentă generează o energie totală care este de peste 100 de milioane de ori mai mare decât energia utilizată de pământeni într-un an. Această cantitate imensă de energie este gratuită, distribuită aproape uniform și disponibilă tuturor națiunilor și locuitorilor planetei [5].

Pe de altă parte, puțin mai mult de 2% din totalul energiei solare primite de Pământ este transformat în energie eoliană, iar aceasta reprezintă de peste două milioane de ori mai mult decât energia totală care a fost utilizată de populația umană în anul 2010. Energia eoliană este una dintre cele mai benigne și mai ecologice forme de producere a energiei electrice, deoarece nu implică substanțe chimice și nu produce emisii nocive sau poluare termică [5].

O altă sursă regenerabilă foarte importantă pentru producerea energiei electrice, care este utilizată în prezent, reprezintă energia hidroelectrică, aceasta fiind valorificată cu ajutorul hidrocentralelor [5].

În plus față de sursele regenerabile de energie amintite anterior, biocombustibilii (metanol, etanol și biodiesel) pot fi utilizați direct pentru alimentarea motoarelor cu combustie internă ale autovehiculelor, aceștia având o importanță deosebită pentru susținerea tranziției către mașini „verzi”.

Totuși, trebuie ținut cont de faptul că perioada de timp în care se va realiza această tranziție către autovehicule mai puțin poluante poate diferi atât în funcție de zona geografică, cât și în funcție de potențialul economic al fiecărui stat în parte.

Capitolul 3

Implicații ale tranziției către autovehicule mai puțin poluante

Acest capitol este destinat expunerii implicațiilor pe care le are tranziția către autovehicule mai puțin poluante, iar în acest sens a fost realizată o analiză asupra producției de energie din țara noastră, precum și a costurilor de exploatare a autovehiculelor, în funcție de tipul grupului motopropulsor cu care acestea sunt echipate.

Așa cum a fost menționat și la finalul capitolului precedent, perioada de tranziție către autovehicule mai puțin poluante va diferi în funcție de zona geografică, dar mai ales în funcție de potențialul economic al fiecărui stat. În plus, trebuie ținut cont și de faptul că prețul mediu al unui baril de petrol (din ultimele decenii) se situează în jurul valorii de 60\$, ceea ce face ca autovehiculele convenționale să fie încă atractive și relativ ieftin de exploatat [6].

În România există potențial de exploatare a energiei din surse regenerabile de aproximativ 144 TWh/an, în condițiile în care consumul final de energie pentru anul 2018 a fost de 175 TWh (excluzând sectorul transporturilor și cel al agriculturii) [7].

Pentru ultimii ani, media anuală a producției de energie electrică din diferite surse a suferit o scădere, în timp ce consumul a crescut, soldul înregistrând o scădere de la 829 MW, la -307 MW. Din totalul de 6.549 MW (la nivelul anului 2021), hidrocarburile și cărbunii încă reprezintă sursa principală pentru 36% din producția medie națională de energie electrică [8].

Dacă un procent de doar 7,5% din parcul auto de la nivelul anului 2021 (aproximativ 550.000 de unități) ar fi reprezentat de autoturisme complet electrice, care ar avea nevoie de încărcare concomitentă (într-un interval de 8 ore), acest lucru va genera un necesar de putere medie orară de 3.960 MW, adică aproximativ 60% din producția zilnică națională din perioada iunie 2020 – mai 2021. În cazul în care aceste autovehicule ar trebui încărcate rapid (150 kW, putere medie orară), producția ar trebui crescută la 82.500 MW, ceea ce reprezintă aproximativ 1.250% din media actuală [8], [9].

În schimb, dacă același procent ar fi reprezentat de autoturisme hibride de tip plug-in, numerele prezentate anterior s-ar reduce de zece ori, ceea ce reprezintă o alternativă fezabilă pentru România și nu numai.

Având în vedere faptul că peste 76% din autoturismele care circulă pe străzile din țara noastră au o vechime mai mare de 12 ani, este de așteptat ca tranziția către autovehicule complet electrice să se realizeze în decursul câtorva decenii [9].

În cadrul capitolului s-au realizat o serie de studii referitoare la cheltuielile de exploatare pentru autoturisme echipate cu diferite tipuri de grupuri motopropulsoare (convențional, electric-hibrid, respectiv complet electric), și s-a ajuns la concluzia că pentru o utilizare frecventă a autovehiculului în decursul unei perioade îndelungate (8 ani și 240.000 km), modelele hibride sau complet electrice devin mai convenabil de exploatat, din punct de vedere financiar, dacă se achiziționează modelul de bază.

Cu toate acestea, mai ales în cazul autoturismelor complet electrice, trebuie avut în vedere și faptul că prețul unui kilowat-oră achitat la stațiile de încărcare rapidă este de două sau poate trei ori mai mare decât în regim casnic, ceea ce conduce la o creștere a costurilor totale de exploatare pentru acest tip de autovehicule [10].

Pe de altă parte, dacă achiziția autoturismului se realizează pe baza unui buget fix, modelele Diesel, precum și cele electrice hibride necesită costuri totale de exploatare mai mici decât variantele pe benzină, chiar și pentru o exploatare moderată (60.000 km, în decurs de 4 ani).

Pentru realizarea unei comparații corecte, ar trebui urmărit în mod constant atât prețul energiei electrice, cât și cel al combustibililor fosili, deoarece, la sfârșitul anului 2021, energia electrică avea un cost de 1,51 lei/kWh, iar benzina și motorina standard aveau costuri aferente de 6,10 lei/litru, respectiv 6,07 lei/litru, ceea ce defavorizează și mai mult mașinile complet electrice.

Astfel, costurile asociate carburantului și/sau energiei electrice necesare deplasării pe o distanță de 100 de kilometri, utilizând diferite tipuri de grupuri motopropulsoare, sunt următoarele: 40,32 de lei pentru modelul Volkswagen Golf 7 1.4TSI Comfortline, alimentat cu benzină, 33,62 de lei pentru modelul Golf 7 1.6TDI Comfortline, alimentat cu motorină, 38,94 de lei pentru modelul hibrid (benzină/electricitate), Golf 7 GTE, respectiv 26,12 de lei, pentru modelul complet electric, e-Golf 7.

Referitor la prețul de listă al unui autoturism care ar putea fi echipat cu un grup motopropulsor de tip hibrid-parallel ce are în componența sa un motor cu aprindere prin compresie de tip 1.6TDI și o baterie de acumulatori de 4,3 kWh, acesta ar fi de aproximativ 37.000€, o valoare foarte apropiată de cea a actualului model hibrid, care este alimentat cu benzină și electricitate (Volkswagen Golf 7 GTE).

În ceea ce privește greutatea unui astfel de model Diesel-hibrid, acesta ar putea cântări cu 169 kg mai mult decât modelul Volkswagen Golf 7 GTD, care se afla în producție în anul 2018 și care oferă performanțe similare, însă această diferență se poate micșora substanțial prin utilizarea unor componente și materiale compozite de ultimă generație.

Capitolul 4

Autovehicule electrice hibride

Acest capitol prezintă o clasificare a grupurilor motopropulsoare care intră în componența autovehiculelor hibride, împreună cu anumite strategii de control care pot fi aplicate asupra acestora, în funcție de diferite constrângeri (costuri, complexitate, tipul aplicației, etc.), fiecare prezentând atât avantaje, cât și dezavantaje specifice.

Conform definiției, un autovehicul hibrid este un vehicul care are în componența sa două sau mai multe sisteme de propulsie. Un vehicul hibrid care înglobează și un sistem de propulsie electric se numește Autovehicul Electric Hibrid (HEV) [2].

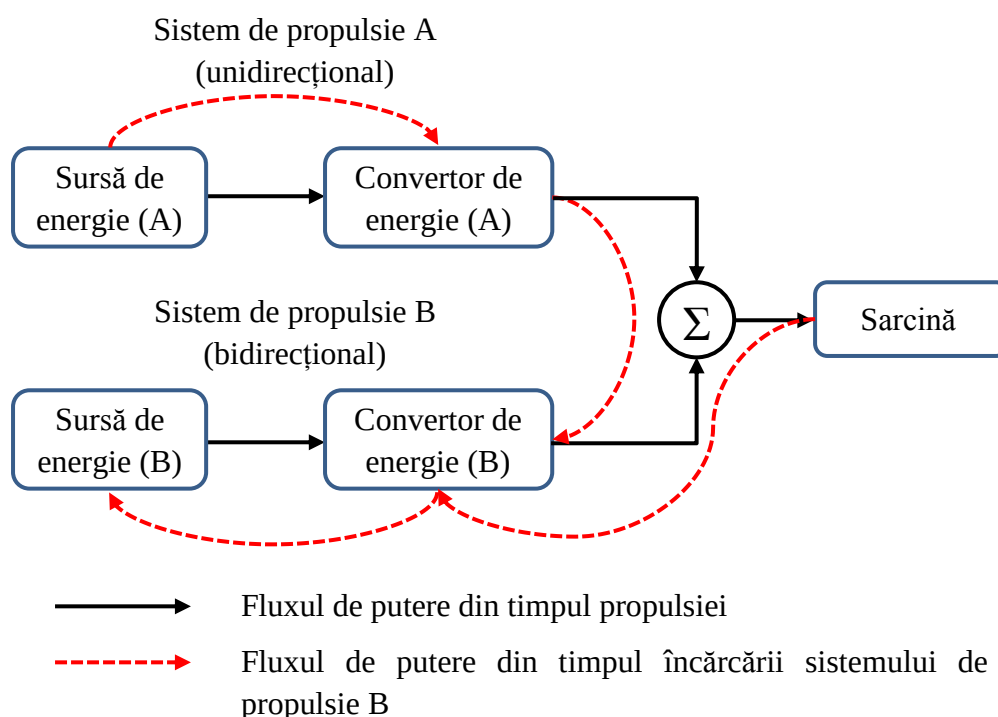


Figura 4.1 Grupul motopropulsor electric hibrid [2].

În general, atât din motive de complexitate, cât și de gabarit, dar mai ales de costuri, vehiculele hibride combină cel mult două sisteme de propulsie. Pentru recuperarea energiei de frânare, care este disipată sub formă de căldură (în cazul

vehiculelor convenționale, echipate doar cu motoare cu ardere internă), grupurile motorpropulsoare hibride (formate din propulsoare și sistemul de transmisie) dispun și de un sistem de propulsie care permite curgerea bidirecțională a energiei [2].

Pe de altă parte, pentru fiecare componentă importantă a grupului motopropulsor hibrid (motor termic, motor/generator electric, convertoare de putere, sisteme de transmisie, medii de stocare a energiei), au fost propuse o serie de îmbunătățiri care ajută, în principal, la reducerea atât a consumului de energie, cât și a emisiilor poluante. Toate aceste subansambluri pot fi alese dintr-o gamă diversificată, tehnologiile actuale oferind soluții multiple producătorilor din industria auto.

O reprezentare grafică a modelului electric hibrid Volkswagen Golf 7 GTE, împreună cu grupul motopropulsor hibrid este evidențiată în Figura 4.21.



Figura 4.21 Modelul electric hibrid Volkswagen Golf 7 GTE [11].

În ceea ce privește modelele de autovehicule electrice-hibride și complet electrice aflate în producție în anul 2021, oferta este variată, atât din punct de vedere al configurației grupului motopropulsor, al sursei de energie care alimentează motorul termic, precum și al capacității bateriei de acumulatori de înaltă tensiune. Astfel, în acest sens, a fost realizată o listă cu unele dintre cele mai importante modele care sunt comercializate în Europa.

Așadar, dezvoltările recente demonstrează faptul că autovehiculele echipate cu grupuri motopropulsoare hibride sau complet electrice au un potențial ridicat pentru dezvoltări ulterioare și, cel mai probabil, vor reuși să le înlocuiască, în mare parte, pe cele convenționale, în următoarele decenii.

Capitolul 5

Măsurarea parametrilor unui grup motopropulsor convențional utilizând o interfață de diagnoză computerizată

Acest capitol propune o metodă foarte simplă de colectare în timp real a parametrilor grupului motopropulsor convențional al unui autoturism, prin utilizarea unui instrument de diagnosticare ieftin, pentru a facilita dezvoltarea arhitecturilor alternative, cu care sunt echipate vehiculele hibride sau electrice.

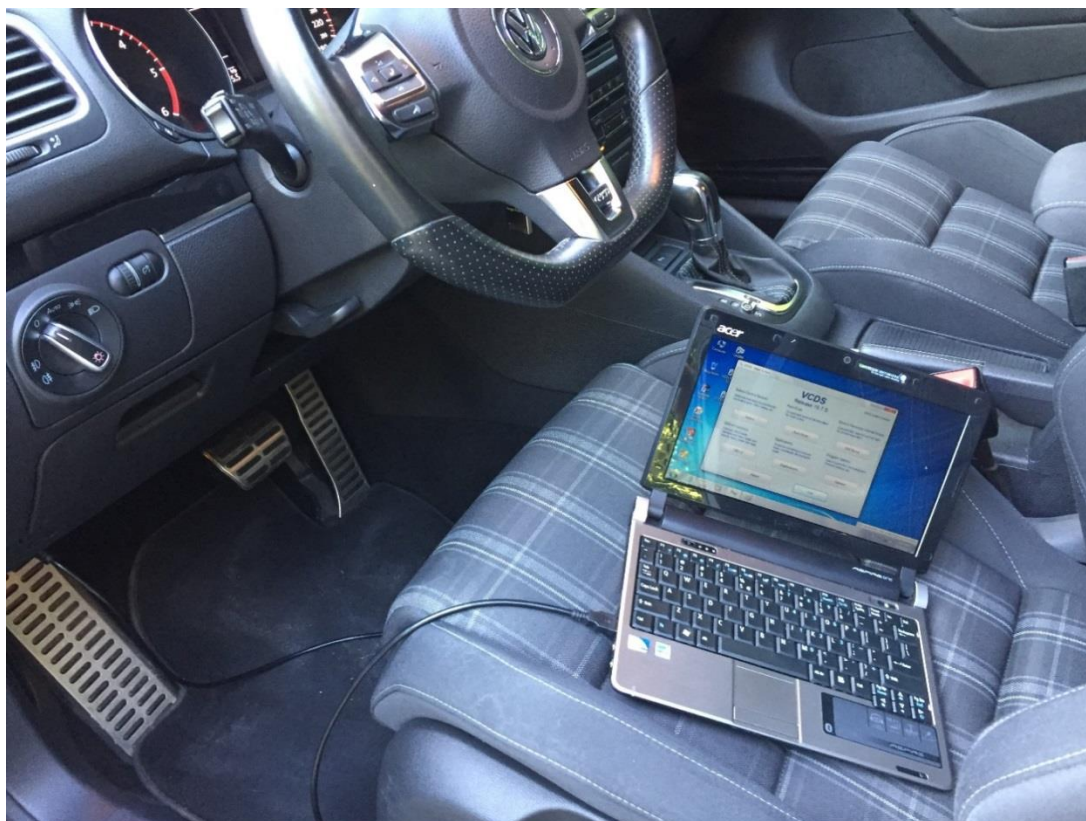


Figura 5.1 Configurația formată din autovehicul, interfața OBD-II și VCDS GUI.

Pentru a colecta toți parametrii necesari de la grupul motopropulsor al vehiculului, a fost utilizat software-ul VCDS, versiunea 15.7.0, care este propus și în [12] – [16]. Acest instrument este o aplicație compatibilă cu Windows, care a fost dezvoltată pentru a imita funcționalitatea echipamentului original de diagnosticare al Grupului Volkswagen, precum VAS sau ODIS [17].

În afară de interfața grafică (GUI), pentru a putea conecta computerul la mașină, a fost utilizată o interfață hardware specială, care comunică prin portul OBD-II, configurația completă fiind descrisă în Figura 5.1.

Pe lângă colectarea datelor, acestea au fost comparate atât cu calcule matematice, cât și cu simulări asistate de calculator, cu scopul de a valida metoda propusă. Pe baza câtorva parametri, cum ar fi cuplul dezvoltat de motorul termic, respectiv, turația acestuia, se poate determina cu ușurință puterea instantanee necesară autovehiculului pentru a se deplasa cu o anumită viteză. Aceasta reprezintă o informație foarte importantă, deoarece permite proiectarea grupurilor motopropulsoare hibride sau electrice într-un mod foarte simplu, cu ajutorul parametrilor colectați prin intermediul portului OBD-II al autovehiculului.

Mai mult, aceste măsurători pot fi efectuate într-un mediu real, pe orice drum, fără a fi necesară utilizarea unor echipamente scumpe, precum dinamometre, care pot fi folosite doar într-un spațiu închis, atunci când vehiculul staționează.

Cei mai importanți factori care contribuie la rezistența totală la înaintare pentru un vehicul care circulă cu o viteză de croazieră constantă sunt rezistența la rulare (F_{roll}), rezistența aerodinamică (F_{aero}) și rezistența la înclinare (F_{tilt}). Conform [18], formulele pentru fiecare dintre cele trei forțe sunt reprezentate de (5.1) – (5.3):

$$F_{roll} = \mu \cdot m \cdot g \quad (5.1)$$

$$F_{aero} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_w \cdot A \cdot (v + v_0)^2 \quad (5.2)$$

$$F_{tilt} = m \cdot g \cdot \sin \alpha \quad (5.3)$$

Prin urmare, forța maximă (în newtoni) necesară deplasării vehiculului cu o anumită viteză (în km/h), în regim staționar, este dată de (5.4):

$$F_{traction} = F_{roll} + F_{aero} + F_{tilt} \quad (5.4)$$

Prin transformarea acestei forțe de tracțiune în putere, rezultă ca puterea totală de rezistență la rulare este descrisă de (5.5), după cum urmează:

$$P_{traction} = \frac{F_{traction} \cdot v}{3600}, \quad (5.5)$$

unde $P_{traction}$ este exprimată în kW, $F_{traction}$ este exprimată în N, iar v (care reprezintă viteza vehiculului) este exprimată în km/h.

Pentru a valida rezultatele obținute prin intermediul calculelor matematice, au fost efectuate o serie de simulări asistate de calculator, utilizând programul MATLAB Simulink (care include instrumente dedicate pentru acest tip de aplicații); configurarea simulării este descrisă în Figura 5.7. Așadar, simulările au fost realizate în scopul determinării puterii necesare pentru deplasarea unui vehicul cu o viteză de croazieră constantă, pe un drum plat, conform referinței [16] (lucrare originală).

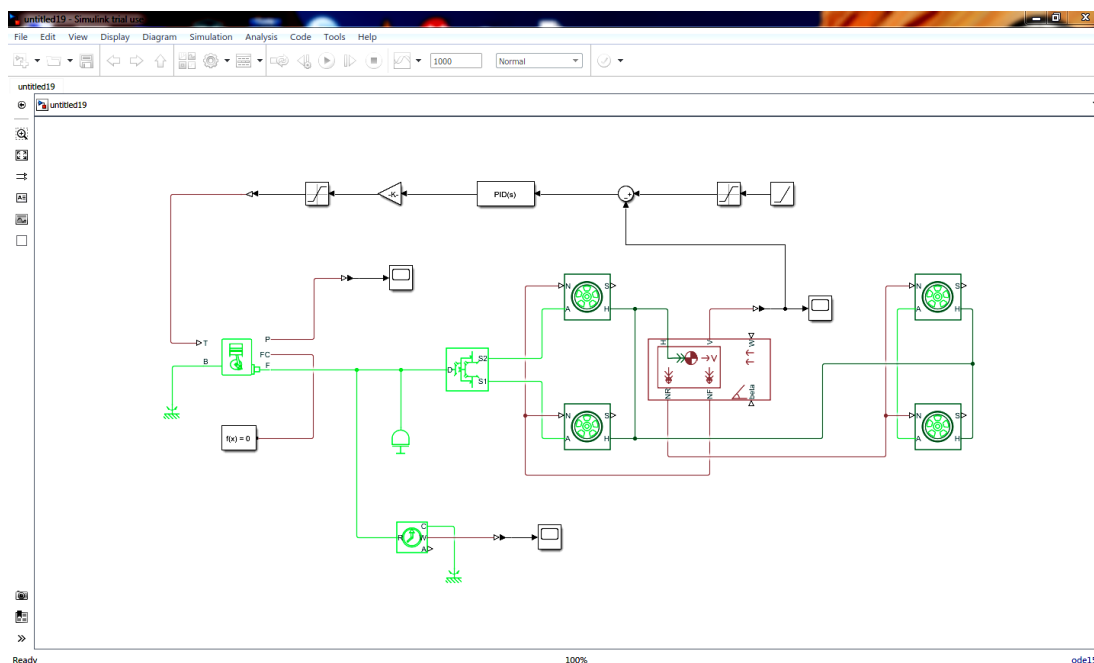


Figura 5.7 Schema MATLAB/Simulink utilizată pentru simularea grupului motopropulsor convențional al unui vehicul.

Grupul motopulsor convențional care a fost simulat constă dintr-un MAI, un diferențial, două roți de tracțiune (în partea din față a vehiculului), alte două roți, conectate la puntea spate, o caroserie a vehiculului și un controler PID, utilizat pentru a controla clapeta de accelerație a motorului, în vederea obținerii vitezei de deplasare dorite.

În ceea ce privește măsurătorile reale, acestea au fost colectate în condiții de condus rutier, într-un mod similar cu ceea ce a fost descris și în [12] – [16] (referințe din lista de lucrări originale publicate), scopul lor principal fiind de a verifica acuratețea instrumentului de diagnosticare, precum și pentru a crea o bază de date care a fost utilizată ulterior pentru proiectarea grupurilor motopropulsoare de tip hibrid-serie sau hibrid-paralel propuse.

Puterea de ieșire livrată de către motorul cu ardere internă (care a fost calculată pe baza cuplului măsurat și a valorilor de turație ale motorului) pentru o călătorie de 40 de minute (aproximativ) este prezentată în Figura 5.14.

Din graficul menționat anterior se poate observa că motorul furnizează aproximativ 14 kW de putere în timpul deplasării pe coborâre (înclinare de circa $-0,5^\circ$ a drumului), respectiv în jur de 23 kW, în timpul urcării (aproximativ $+0,5^\circ$ înclinare a carosabilului), la o viteză constantă a vehiculului de 101 km/h. Acest lucru

evidențiază faptul că rezultatul menționat anterior corespunde atât calculelor matematice, cât și simulărilor asistate de calculator, consolidând astfel eficacitatea metodologiei propuse în această teză.

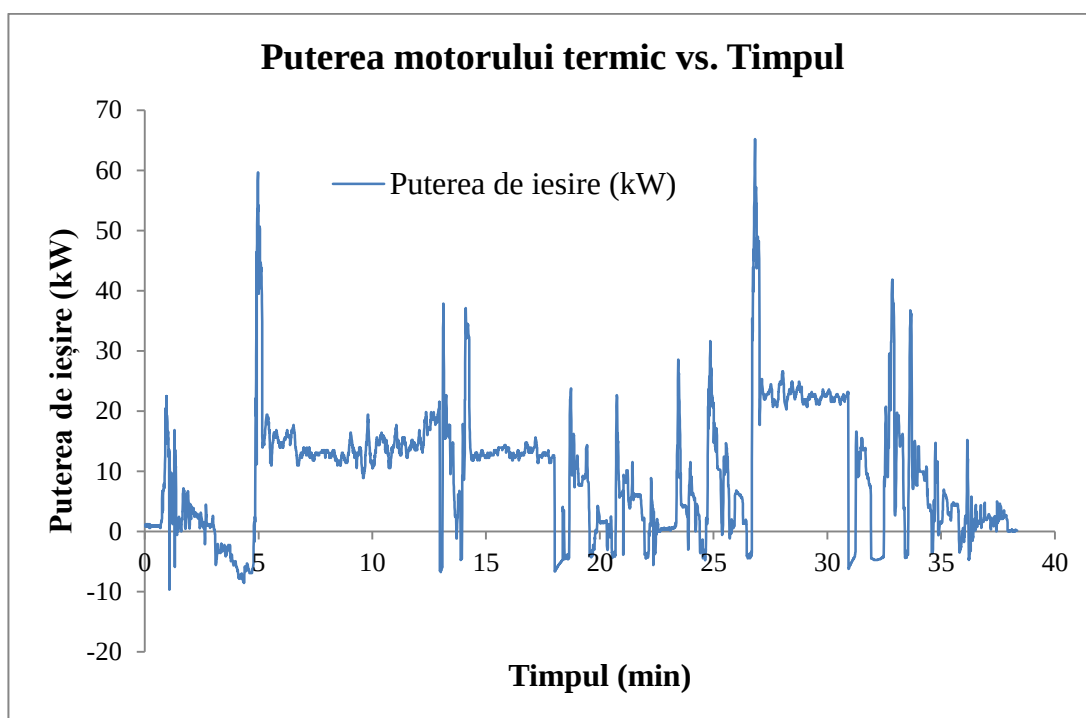


Figura 5.14 Puterea dezvoltată de motorul cu aprindere internă în funcție de timp, pentru o călătorie de aproximativ 40 de minute.

Rezultatele obținute arată o corelație foarte strânsă între calculele matematice, simulările asistate de calculator, respectiv măsurătorile efectuate în timpul condițiilor reale de conducere rutieră, diferența dintre acestea fiind mai mică de 12%, pentru viteze de până la 100 km/h, validând astfel metoda propusă. Trebuie totuși reținut faptul că atât în cadrul calculelor, cât și în cadrul simulărilor nu au fost luate în considerare toate echipamentele auxiliare ale autoturismului (lumini exterioare, sistem de aer condiționat, sistem de infotainment, servodirecție, geamuri electrice, etc.), și nici viteza vântului frontal.

La finalul acestui capitol au fost prezentate două metode generale de îmbunătățire a eficienței energetice a autovehiculelor, care ar putea reduce puterea necesară deplasării acestora cu aproximativ 15%.

Capitolul 6

Proiectarea grupurilor motopropulsoare de tip hibrid-serie

Având în vedere situația globală actuală, transportul personal joacă un rol foarte important în încetinirea răspândirii pandemiei și crește, de asemenea, sentimentul de siguranță pentru proprietarii de autoturisme; cu toate acestea, vehiculele convenționale actuale sunt ineficiente și produc emisii nocive pentru mediul înconjurător, în timp ce și omologii electrice sunt costisitori și oferă o autonomie insuficientă pentru nevoile de mobilitate emergente ale oamenilor.

Figura 6.1 relevă o comparație între un grup motopropulsor convențional și arhitectura de tip hibrid-serie propusă.

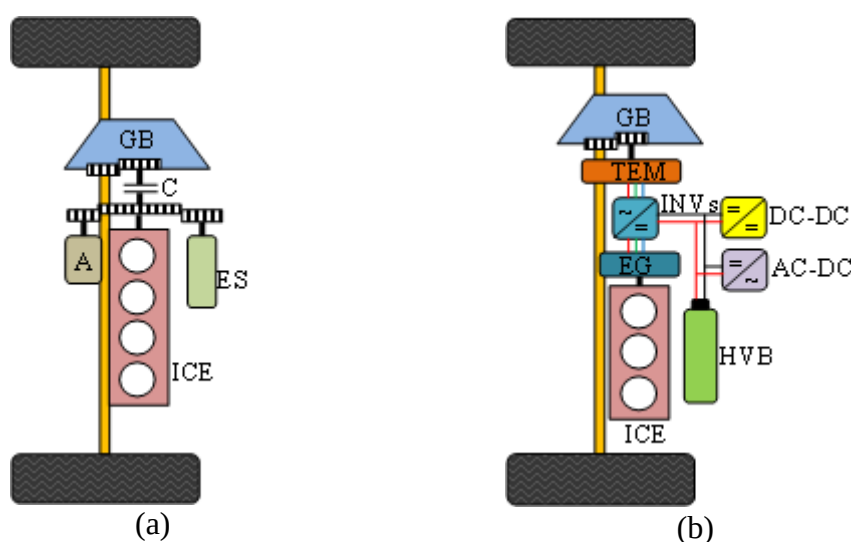


Figura 6.1 Comparație între grupuri motopropulsoare: (a) convențional, (b) hibrid-serie propus.

Scopul acestui capitol este de a oferi îndrumări cu privire la mai multe considerente de proiectare a vehiculelor hibride de tip serie, care se bazează, în

principal, pe măsurători reale și calcule matematice (care sunt utilizate pentru dimensionarea componentelor grupului motopropulsor).

În comparație cu anumite articole, care depind de utilizarea ciclurilor de conducere standard [19], [20], cum ar fi noul ciclu european de conducere (NEDC) și/sau procedura de testare a vehiculelor ușoare armonizată la nivel mondial (WLTP), această teză propune arhitecturi hibride care sunt dimensionate pe baza măsurătorilor reale efectuate în diferite condiții meteorologice, în diferite intervale de temperatură ambientală și la diferite altitudini, precum și în timpul utilizării diferitelor tipuri de anvelope (anvelope de vară/iarnă) [12] – [16].

Pe baza acestor date, a fost dezvoltat un algoritm foarte simplu (bazat pe reguli) care gestionează puterea generată de motorul termic, pentru a permite obținerea unui grup motopropulsor hibrid-serie de înaltă eficiență, menținând în același timp performanțele generale ale unui autoturism compact, echipat cu motor Diesel de 2 litri, capabil să producă o putere maximă de ieșire de 125 kW. Algoritmul de gestionare a grupului motopropulsor de tip hibrid-serie propus este ilustrat în Figura 6.8.

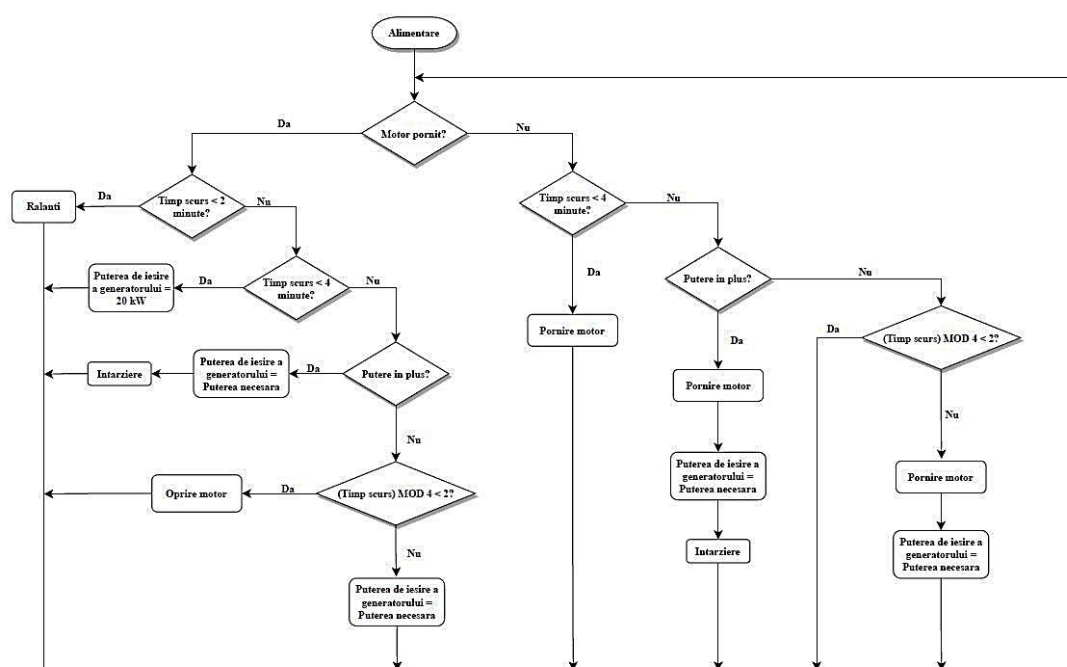


Figura 6.8 Algoritmul de gestionare a grupului motopropulsor de tip hibrid-serie propus.

Acest capitol oferă câteva îndrumări specifice cu privire la proiectarea grupului motopropulsor pentru vehicule electrice hibride de tip serie, bazate în principal, pe măsurători reale efectuate în timpul conducerii pe drumurile publice, care au fost completate de calcule matematice. Mai mult, în comparație cu alte lucrări, care propun algoritmi sofisticati, bazați pe inteligență artificială, și care necesită o putere de calcul mai mare, algoritmul prezentat în această teză este foarte simplu și se bazează pe reguli.

Chiar dacă, la prima vedere, eficiența utilizării unui grup motopropulsor hibrid de tip serie pare destul de scăzută, din cauza necesității convertirii energiei mecanice (produse de ICE) în energie electrică (prin intermediul generatorului electric), care trebuie apoi transformată din nou în energie mecanică (prin intermediul motorului electric de tracțiune, care antrenează roțile vehiculului), calculele matematice au arătat contrariul. Astfel, prin aplicarea algoritmului corespunzător pentru o arhitectură hibrid-serie, de tip plug-in (cu încărcare de la rețeaua electrică), care include un acumulator de înaltă tensiune (având o capacitate predefinită), eficiența sa este mai mare (în anumite condiții), comparativ cu cea a unui sistem de propulsie convențional (care are în componență doar un motor cu ardere internă).

Concret, prin combinarea unui motor cu aprindere prin compresie, având o cilindree relativ mică, de 1,2 litri (capabil să producă o putere maximă de ieșire de 55 kW), care este utilizat pentru a antrena un generator electric de 50 kW (putere nominală), împreună cu o baterie de acumulatori de înaltă tensiune, pe bază de litiu, care are o capacitate de 20 kWh (permițând o rată maximă de descărcare de 50%), cuplată la un motor electric de tracțiune cu magneți permanenți, de 125 kW (putere de vârf), poate fi obținut un consum mediu de carburant de aproximativ 3,53 litri/100 km. Practic, această configurație propusă folosește cu aproape 38% mai puțin combustibil fosil, comparativ cu un grup motopropulsor convențional (care consumă, în medie, în jur de 5,62 litri/100 km).

Consumul de combustibil rezultat corespunde unei autonomii a vehiculului de aproximativ 97 km în modul hibrid, pentru o viteză medie de deplasare de 42,69 km/h (fiind foarte apropiată, dar mai mică decât viteza combinată a ciclului WLTP). Acest lucru se traduce prin faptul că durata medie pentru care mașina poate fi condusă în modul hibrid este de 2,29 ore, adică aproximativ 137 de minute.

Pentru direcțiile ulterioare de dezvoltare, atât algoritmul, cât și componentele grupului motopropulsor pot fi personalizate în funcție de specificul aplicației (transport public, mașini de pasageri, autoutilitare, camioane, etc.). Totodată, acestea pot fi adaptate în funcție de caracteristicile motorului termic (puterea maximă de ieșire, capacitatea cilindrică, particularitățile sistemului de răcire al acestuia, etc.), în funcție de condițiile meteorologice sau chiar în funcție de dorința șoferului, cu scopul de a îmbunătăți eficiența generală a sistemului hibrid de tip plug-in. Așadar, prin aplicarea metodologiei propuse, acest studiu poate fi ușor extins către orice alt tip de vehicul hibrid sau electric, fiind totuși necesară scalarea tuturor componentelor grupului motopropulsor, precum și modificarea strategiei de control în funcție de cerințele de putere și de consumul de energie vizat.

Capitolul 7

Proiectarea grupurilor motopropulsoare de tip hibrid-paralel

Acest capitol oferă o perspectivă asupra câtorva considerente de proiectare și dimensionare a unor grupuri motopropulsoare de tip hibrid-paralel, care permit încărcarea acumulatorilor de la rețeaua electrică, împreună cu o serie de strategii simple de gestionare a energiei acestora.

În vederea echivalării performanțelor unui motor cu ardere internă convențional cu ajutorul unui sistem de propulsie parțial hibrid de tip paralel, este necesară cunoașterea preliminară a celor două arhitecturi, o comparație între acestea fiind ilustrată în Figura 7.1.

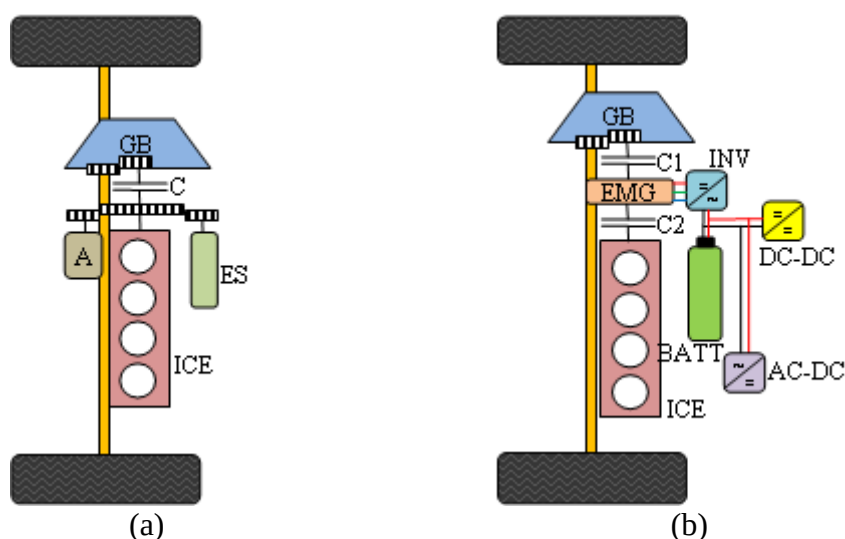


Figura 7.1 Comparație între grupuri motopropulsoare: (a) convențional, (b) hibrid-paralel propus.

Deoarece acest sistem se bazează în principal pe reducerea capacității cilindrice a motorului cu combustie internă, au fost considerate două motoare Diesel,

cu injecție directă (TDI), ale căror specificații de bază sunt prezentate în Tabelul 7.1, alături de configurația hibridă propusă.

Tabelul 7.1 Specificațiile sistemelor de propulsie propuse [21], [22].

Motor	Puterea maximă (kW) / Turația motorului (RPM)	Cuplul maxim (N·m) / Turația motorului (RPM)	Capacitatea cilindrică (cm ³)
1.6TDI	77/4.400	250/1.900 – 2.500	1.598
2.0TDI	125/4.200	350/1.750 – 2.500	1.968
1.6TDI Hibrid	125/4.200	350/1.750 – 2.500	1.598

Puterea de ieșire a grupului motopropulsor hibrid, în funcție de turația motoarelor, $P_{OUT_HYB}(\omega)$, poate fi determinată după cum urmează:

$$P_{OUT_HYB}(\omega) = \begin{cases} P_{ICE_{1.6TDI}}(\omega), \text{ cand } P_{ICE_{1.6TDI}}(\omega) \in \\ [0, 0.8 \cdot P_{ICE_{1.6TDI\max}}(\omega)] \\ P_{ICE_{1.6TDI}}(\omega) + \left(\frac{P_{ICE_{1.6TDI}}(\omega)}{P_{ICE_{1.6TDI\max}}(\omega)} - 0.8 \right) \\ \cdot 10 \cdot P_{EM\max}(\omega), \text{ cand } P_{ICE_{1.6TDI}}(\omega) \in \\ (0.8 \cdot P_{ICE_{1.6TDI\max}}(\omega), 0.9 \cdot P_{ICE_{1.6TDI\max}}(\omega)] \\ P_{ICE_{1.6TDI}}(\omega) + P_{EM\max}(\omega), \text{ cand } P_{ICE_{1.6TDI}} \in \\ (0.9 \cdot P_{ICE_{1.6TDI\max}}(\omega), P_{ICE_{1.6TDI\max}}(\omega)] \end{cases} \quad (7.5)$$

Inițial, este propus un grup motopropulsor hibrid care echivalează performanțele dinamice ale unui motor cu combustie internă de capacitate cilindrică mai mare. Acest lucru poate fi realizat prin utilizarea unui motor electric de tip AFPM, capabil să dezvolte o putere maximă de 55 kW, împreună cu o baterie de acumulatori de înaltă tensiune, pe bază de litiu, de capacitate 1,2 kWh (sau o combinație de baterii și ultracondensatoare), capabilă să elibereze densități mari de putere la rate foarte ridicate de descărcare a curentului (peste 45C, la 185V), din când în când. Mai mult, grupul motopropulsor hibrid propus conține și un motor Diesel de 1,6 litri, care va fi asistat de motorul electric de tracțiune, conform strategiei de control propuse.

În afară de beneficiile aduse de micșorarea capacității cilindrice a motorului cu ardere internă cu aproximativ 19% (de la 1.968 cm³, la 1.598 cm³), ceea ce atrage după sine costuri de exploatare mai mici, consumul de combustibil, la fel ca și cantitatea de CO₂ emisă, pot fi, de asemenea, reduse cu 4,5% (în medie), în condiții reale de deplasare. Mai mult, și emisiile de NOx pot fi diminuate cu un anumit procentaj, în timp ce toate aceste îmbunătățiri sunt realizate fără a compromite

performanțele vehiculului, cum ar fi viteza sau accelerația maximă pe care acesta le poate atinge.

În a doua parte a acestui capitol este propus tot un grup motopropulsor hibrid-paralel, de tip plug-in, însă care, pe lângă echivalarea performanțelor unui motor termic de 2 litri, permite deplasarea autovehiculului într-un mod complet electric (la viteze reduse). Astfel, cea de-a doua configurație permite reducerea consumului de carburant cu 15% (în medie, comparativ cu un motor cu ardere internă, de capacitate cilindrică mai mare), iar emisiile de CO₂ și NO_x pot fi eliminate complet, (în anumite condiții, la viteze de deplasare reduse), în timp ce performanțele dinamice ale autovehiculului sunt îmbunătățite.

Graficul care ilustrează performanțele motorului electric, atât atunci când acesta oferă un stimulent suplimentar pentru grupul motopropulsor hibrid (prin asistarea motorului cu combustie internă), cât și atunci când antrenează transmisia de unul singur (în modul complet electric), este prezentat în Figura 7.10, de mai jos:

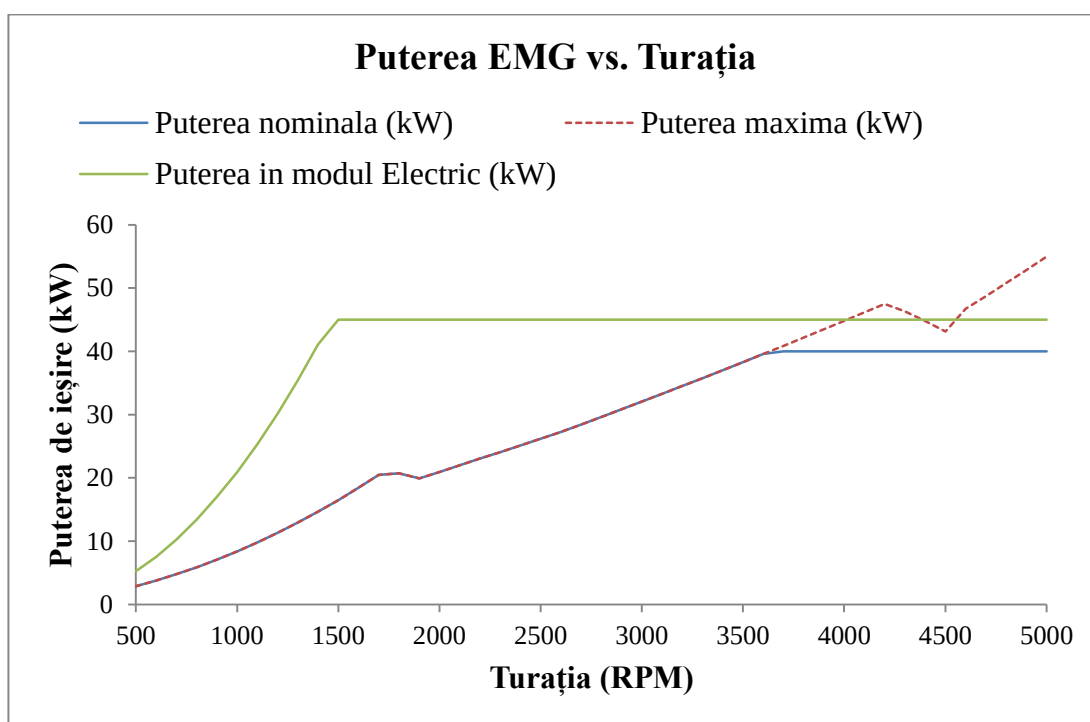


Figura 7.10 Puterea dezvoltată de motorul electric în funcție de turația sa.

O organigramă simplificată a strategiei de control care a fost proiectată pentru grupul motopropulsor hibrid propus și care supraveghează ICE este prezentată în Figura 7.11.

Scopurile principale ale unui grup motopropulsor hibrid sunt creșterea eficienței, reducerea consumului de combustibil și a emisiilor, dar și îmbunătățirea performanțelor dinamice. Prin urmare, după analizarea și prelucrarea unui volum mare de date (măsurate în condiții reale de conducere), similar cu ceea ce a fost prezentat în lucrarea originală [13], s-a stabilit că metoda de control al puterii propusă în subcapitolul 7.2 este potrivită pentru mai multe stiluri de condus și situații din

trafic, aducând beneficii semnificative, în principal, pentru conducerea urbană sau blocajele în trafic, dar nu numai.

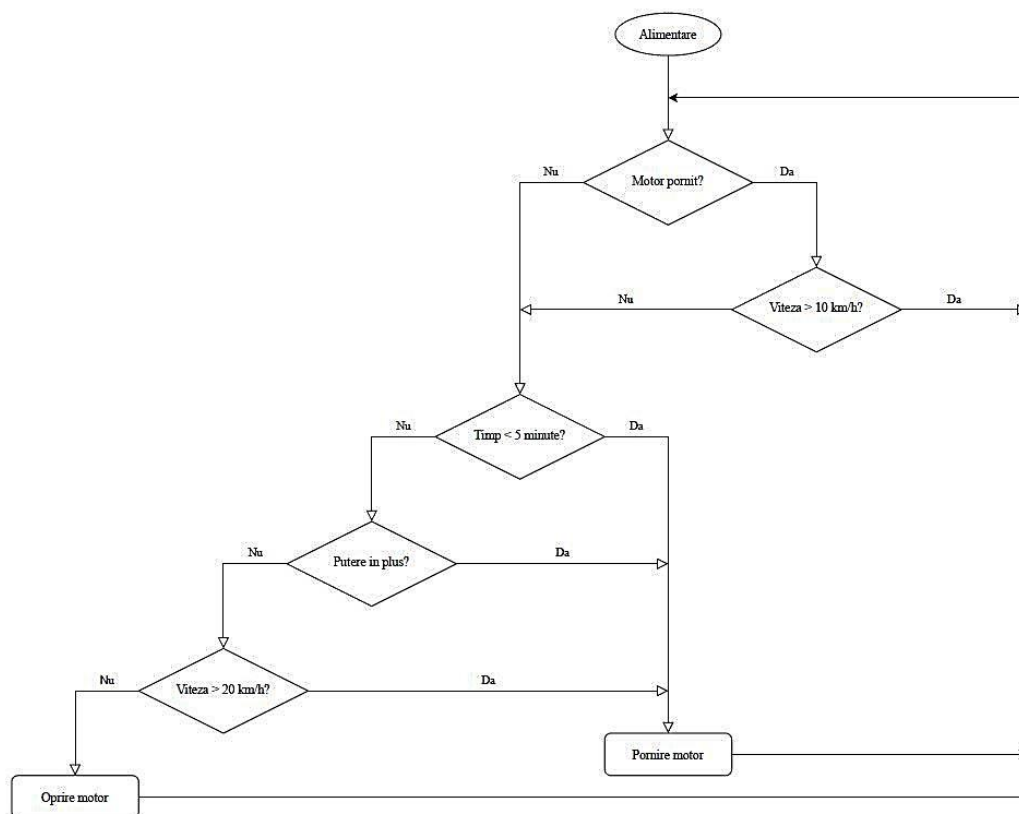


Figura 7.11 Algoritmul de gestionare a grupului motopropulsor de tip hibrid-paralel propus.

Astfel, din punct de vedere constructiv, principala diferență între cele două sisteme propuse constă în valoarea capacității nominale a bateriei de acumulatori de înaltă tensiune, aceasta fiind de 4,3 kWh. De asemenea, noua baterie trebuie să reziste la rate de descărcare a curentului de peste 12C, la 185V, pentru perioade scurte de timp. Pe de altă parte, principala diferență, din punct de vedere funcțional, o reprezintă strategia de control a grupului motopropulsor, care, comparativ cu cea descrisă anterior, permite și implementarea unui mod de deplasare complet electric pentru automobil, după cum a fost precizat anterior.

Așadar, conceptele, metodele și rezultatele prezentate în acest capitol pot fi implementate pe un vehicul de dimensiuni compacte, echipat cu un grup motopropulsor de tip hibrid-paralel, însă acestea pot fi extinse și pentru alte tipuri de vehicule. În plus, algoritmi pot fi adaptați pentru aplicații care utilizează motoare termice alimentate cu diverse tipuri de combustibili fosili, modificările necesare fiind minore, în acest caz. Mai mult decât atât, în funcție de performanțele și costurile vizate, aceștia pot fi adaptați astfel încât utilizarea energiei electrice să varieze, comparativ cu propunerile expuse în această teză.

Proiectarea circuitelor electronice de echilibrare a nivelului de încărcare pentru bateria de acumulatori de înaltă tensiune

22

Circuitul de echilibrare activă propus în acest capitol, precum și în [23] (referință din lista de lucrări originale publicate), este prezentat în Figura 8.4, iar principiul său de funcționare se bazează pe transferul excesului de energie din celula inferioară către celula vecină superioară.

Pentru a valida funcționalitatea circuitului propus, mai întâi au fost realizate o serie de simulări asistate de calculator (Figura 8.6), în mod similar cu ceea ce a fost propus în [23] (lucrare originală). Toate simulările prezentate în acest capitol au fost realizate utilizând SIMPLIS, care este un instrument de simulare dedicat surselor de alimentare analogice în comutație (SMPS).

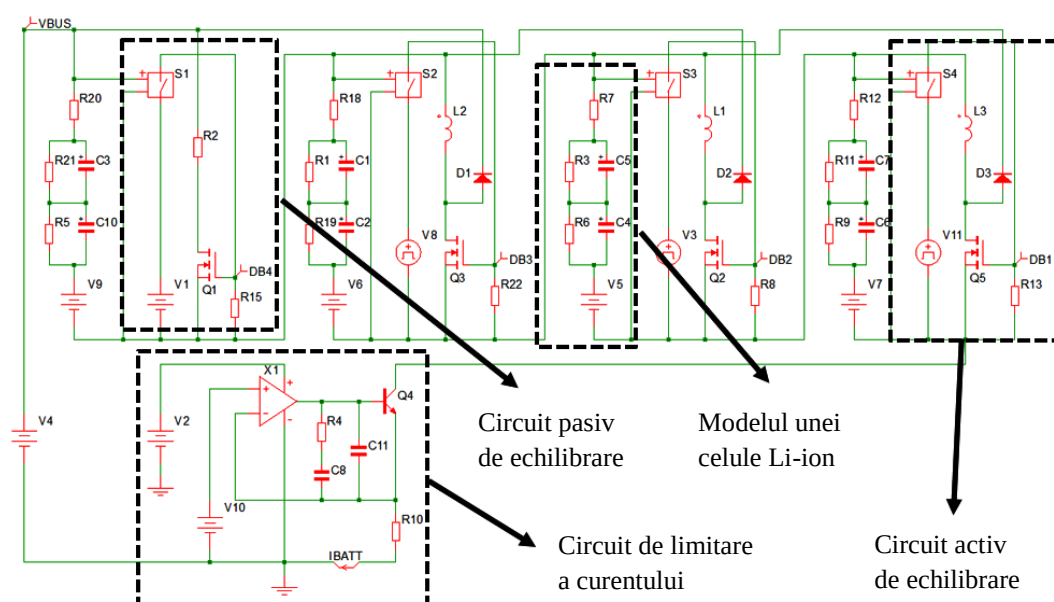


Figura 8.6 Schema simplificată a circuitului de echilibrare a încărcării celulelor.

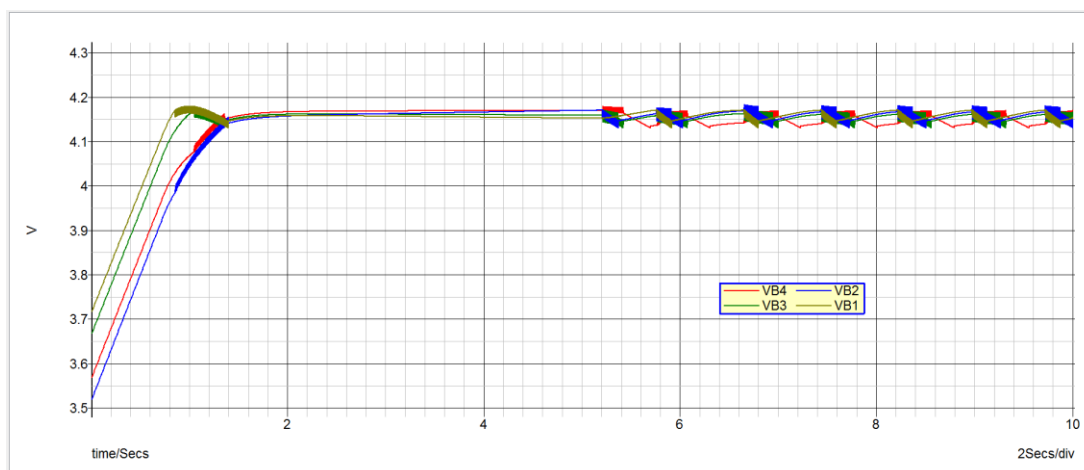


Figura 8.8 Formele de undă aferente pentru celulele conectate în serie în timpul fazei de încărcare și de echilibrare.

După rularea simulărilor, au rezultat tensiunile de ieșire (fiecare având o valoare nominală de 4,15V și un histerezis de ± 30 mV) pentru fiecare celulă (VB1,

VB2, VB3 și VB4), în timpul fazelor de încărcare și de echilibrare, acestea fiind prezentate în Figura 8.8.

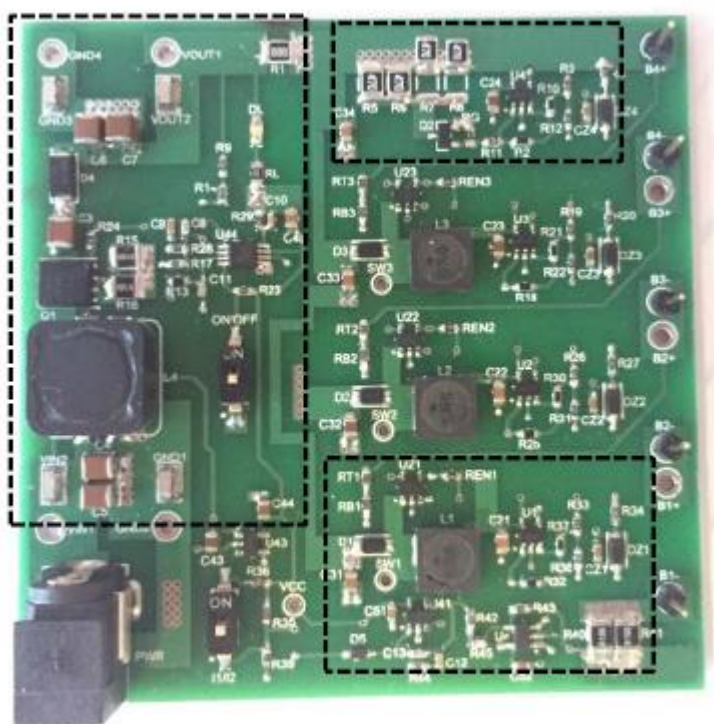
Pentru implementarea practică a circuitului de echilibrare propus, a fost utilizat programul de calculator Altium Designer, care este dedicat proiectării schemelor electronice, precum și a cablajelor imprimate (PCB).

Circuitul de echilibrare a nivelului de încărcare pentru celulele pe bază de litiu, conectate în serie, care a fost realizat fizic, este alcătuit din trei circuite active (implementate cu ajutorul unor convertoare DC-DC simple, în comutație), de tip Boost asincron, care funcționează la o frecvență fixă (spre deosebire de alte lucrări, care propun un control variabil al frecvenței de comutație, mai complex), împreună cu un circuit pasiv, care utilizează rezistoare de sarcină, pentru ultima celulă din partea superioară. Curentul de încărcare pentru întregul șir a fost setat la 300 mA, în timp ce nivelul de tensiune pentru fiecare celulă a fost stabilit la valoarea de 4,15V, cu un histerezis de ± 30 mV.

După ce au fost selectate patru baterii litiu-ion uzate (fiecare dintre ele având inițial o capacitate nominală de 2.200 mAh), care prezentau diferite niveluri de tensiune, acestea au fost conectate la circuitele de încărcare și echilibrare ilustrate în Figura 8.13.

Convertorul SEPIC

Circuitul pasiv de echilibrare



Circuit activ de echilibrare

Figura 8.13 Prezentare generală a implementării hardware, constând din încărcătorul de baterii, 3 circuite active de echilibrare a tensiunii celulelor și un circuit pasiv de echilibrare a nivelului de încărcare a celulelor.

Conform așteptărilor, în funcție de nivelul de încărcare al fiecărei celule litiu-ion, circuitul de echilibrare corespunzător activează și dezactivează alternativ (pentru o anumită perioadă de timp) stabilizatorul de tensiune în comutație aferent (sau MOSFET-ul utilizat pentru circuitul pasiv), într-un mod similar circuitului simulat, așa cum se poate observa în Figura 8.15.

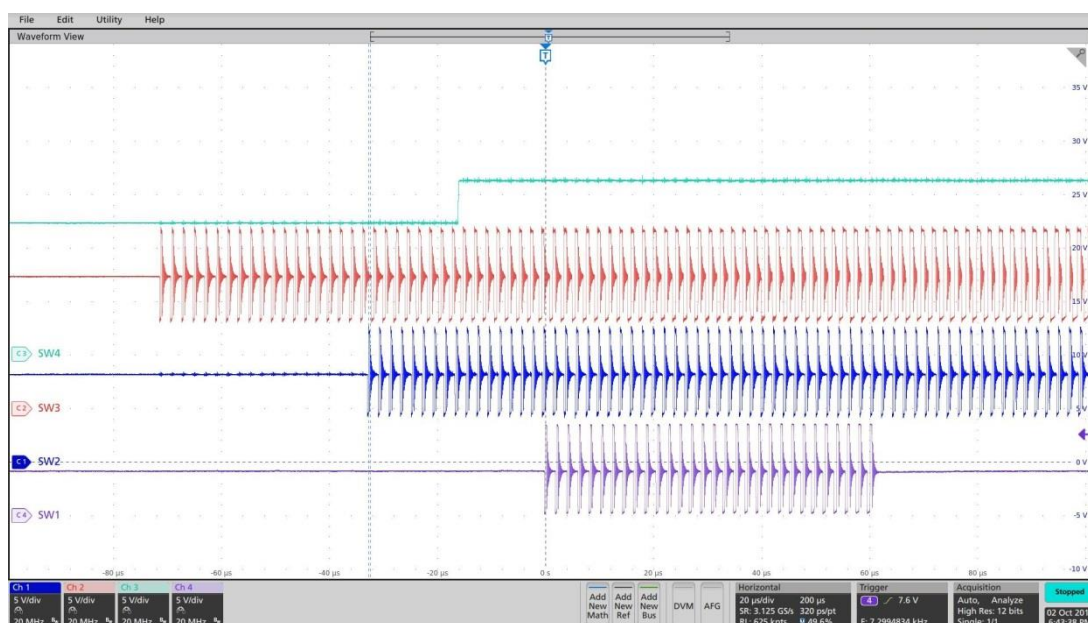


Figura 8.15 Formele de undă măsurate pentru celulele conectate în serie în timpul fazelor de încărcare și de echilibrare.

Designul propus în această teză oferă posibilitatea de a echilibra nivelul de încărcare al oricărei celule într-un mod eficient, maximizând durata de viață a bateriei de acumulatori, precum și cantitatea totală de energie utilă stocată, întrucât randamentul de conversie a puterii pentru circuitele active este de aproximativ 85%.

În funcție de precizia vizată pentru nivelul de încărcare (în faza de tensiune constantă) a fiecărei celule, pot fi utilizate comparatoare dedicate, cu referințe integrate (precum MCP65R46), iar histerezisul care determină activarea și dezactivarea alternativă a stabilizatoarelor în comutație poate fi redus (de la 60 mV, la o valoare mai scăzută, de exemplu, 30 mV), întrucât acesta influențează în mod direct dezechilibrul maxim între baterii.

Pentru performanțe optime de echilibrare, stabilizatoarele trebuie să fie alese în funcție de limita curentului de comutație, fiind necesară corelarea acestuia cu valoarea curentului de încărcare stabilit pentru bateria de acumulatori.

Capitolul 9

Îmbunătățirea consumului de energie pentru autovehicule cu ajutorul sistemelor auxiliare de stocare

Acest capitol oferă o colecție de metode ce au ca scop principal optimizarea consumului energetic al automobilelor, și care se bazează, în principal, pe utilizarea elementelor de recoltare a energiei, combinate cu dispozitive de stocare a acesteia, în cadrul sistemelor Start-Stop. Elementele care permit stocarea energiei electrice sunt alcătuite dintr-un pachet de 4 celule Li-ion, conectate în serie, fiecare având o capacitate de 3.000 mAh, respectiv o baterie de 6 supercondensatoare, ce au o capacitate de 1.200F fiecare.

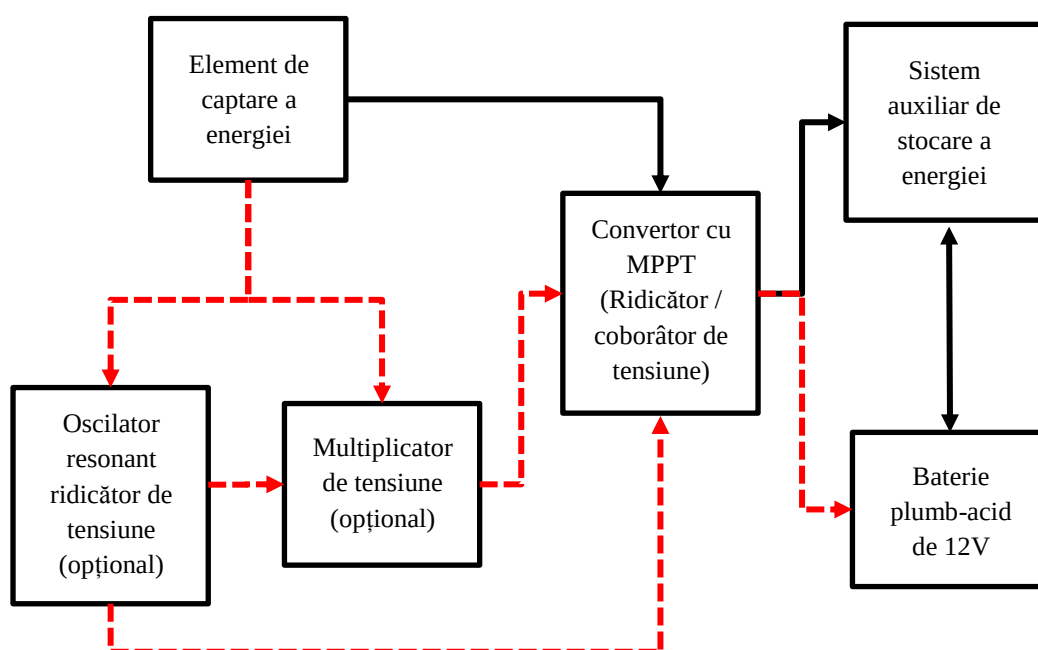


Figura 9.2 Privire de ansamblu asupra sistemului de recoltare a energiei propus.

Sistemul propus trebuie să poată recolta energia din diferite surse (atât atunci când autovehiculul este parcat, cât și atunci când acesta se află în mișcare sau staționează cu motorul pornit), prin urmare, diagrama bloc a întregului sistem este prezentată în Figura 9.2.

Deoarece unele surse de captare a energiei (cum ar fi radiațiile electromagnetice sau fluxurile de căldură) furnizează cantități mici de energie electrică, la o tensiune scăzută de ieșire, aceasta ar trebui intensificată până la aproximativ câțiva volți, pentru a permite circuitelor electronice actuale să funcționeze corect, prin urmare, este nevoie o conversie suplimentară. În acest scop, pentru a valida declarația anterioară, s-au efectuat o serie de teste (ca și în cazul [24]), utilizând SIMPLS, care este un program de simulare dedicat surselor de alimentare în comutație (SMPS).

Rezultatele simulărilor asistate de calculator relevă faptul că tensiunea de ieșire a elementului de recoltare a energiei poate fi crescută de la aproximativ 50 mV până la 1,4V, în aproximativ 1 secundă, așa cum este prezentat în Figura 9.4.

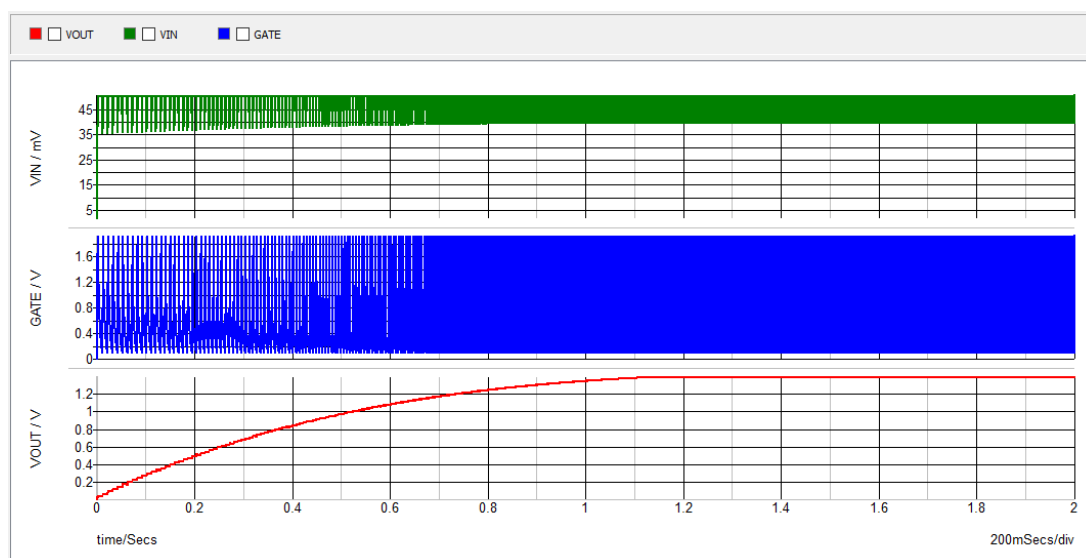


Figura 9.4 Formele de undă simulate pentru convertorul rezonant auto-oscilant ridicător de tensiune.

Figura 9.7 prezintă o privire de ansamblu asupra circuitului care a fost realizat fizic și care poate fi utilizat în aplicații de recoltare a energiei, alimentate de celule fotovoltaice, generatoare termoelectrice sau chiar radiații electromagnetice.

Astfel, pornind de la anumite surse de recoltare a energiei disponibile, s-au realizat diferite simulări asistate de calculator, precum și un montaj experimental, pentru a evalua fezabilitatea acestor sisteme auxiliare de stocare în industria auto.

Mai mult decât atât, pe baza măsurărilor reale efectuate pe parcursul conducerii în diverse situații de trafic intens (inclusiv în timpul ambuteiajelor), s-au elaborat o serie de estimări teoretice cu privire la cantitatea de energie necesară pentru repornirea motorului termic, ori de câte ori este necesar, utilizând un BSA, ca element important din cadrul sistemului Start-Stop.

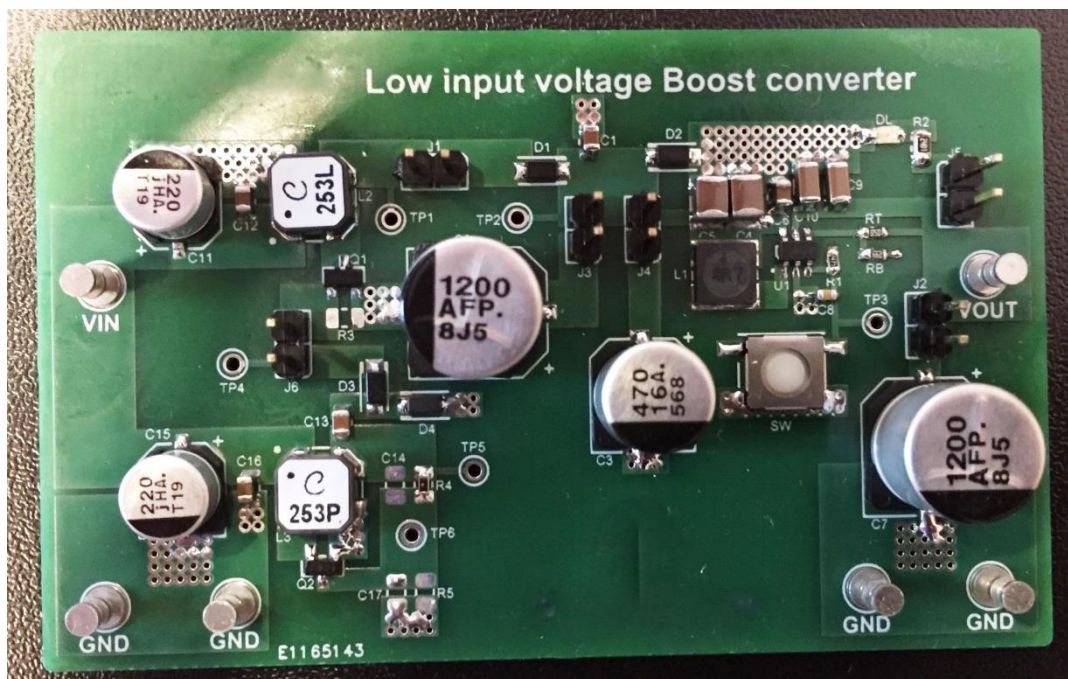


Figura 9.7 Privire de ansamblu asupra montajului experimental utilizat pentru obținerea unei tensiuni stabilizate de 5V de la o sursă de 400 mV.

În plus, au fost efectuate câteva calcule matematice, cu scopul de a determina cantitatea de energie care poate fi recoltată cu ajutorul unei trape panoramice echipate cu celule fotovoltaice.

Spre deosebire de sistemele convenționale Start-Stop, care utilizează baterii cu plumb, de tip AGM, capabile să repornească motorul doar de câteva ori înainte de atingerea pragului de descărcare prestabilit, sistemul auxiliar de stocare a energiei (AESD) propus în acest capitol este conceput pentru a permite până la 100 de reporniri ale motorului cu combustie internă, în decurs de o oră, fără suprasolicitarea bateriei de 12V.

Pe de altă parte, în comparație cu sistemele existente care utilizează energia recoltată cu ajutorul trapei panoramice echipate cu celule fotovoltaice doar pentru ventilarea habitacului pe perioada verii, sistemul propus în această teză stochează acea cantitate de energie pentru a o furniza sistemului Start-Stop.

O altă resursă importantă care poate fi exploatată este energia cinetică disponibilă atunci când vehiculul frânează, motiv pentru care implementarea unui astfel de sistem conduce la maximizarea duratei de viață a plăcuțelor de frână și a discurilor, într-un mod eficient.

Pe lângă beneficiile reducerii emisiilor poluante și a consumului de combustibil, pentru vehiculele convenționale sau electrice hibride, acest sistem poate aduce și alte avantaje, care îmbunătățesc atât fiabilitatea motorului termic, cât și confortul conducătorului auto și al pasagerilor.

Capitolul 10

Concluzii

Problema poluării, alături de cea a creșterii consumului de energie a devenit o preocupare mondială în ultimele decenii, iar industria auto este constrânsă din ce în ce mai mult să adopte măsuri pentru a limita efectele nocive cauzate de aceste probleme.

Din acest motiv, lucrarea de față își propune să ofere o serie de metode de proiectare menite să faciliteze tranziția către autovehicule mai puțin poluante prin intermediul unor circuite, algoritmi și soluții tehnice care pot fi implementate, în principal, în cadrul grupurilor motopropulsoare hibride.

Motivația din spatele deciziei de a pune accentul pe dezvoltarea grupurilor motopropulsoare hibride este influențată de mai mulți factori, printre care vechimea parcului auto din țara noastră, deficitul de energie din sistemul național, lipsa infrastructurii pentru încărcarea acumulatorilor care echipează mașinile electrice, puterea de cumpărare scăzută a conducătorilor auto din România, precum și dificultatea cu care se reciclează materialele din componența bateriilor de acumulatori de înaltă tensiune.

În urma studiilor efectuate, s-a demonstrat faptul că, la nivelul anului 2021, sistemul energetic național din România nu avea capacitatea să susțină o reînnoire consistentă a parcului auto cu vehicule complet electrice, iar tranziția poate dura chiar câteva decenii, în condițiile în care potențialul actual al resurselor energetice regenerabile ar fi exploatat corespunzător. Pe de altă parte, a fost realizat un studiu de fezabilitate care permite potențialilor cumpărători să se orienteze spre un anumit tip de grup motopropulsor, în funcție de bugetul de care dispun și de durata, respectiv modul de exploatare al autovehiculului.

Mai mult decât atât, lucrarea de față propune o metodă originală de dimensionare a principalelor părți componente ale grupurilor motopropulsoare hibride, atât de tip serie, cât și de tip paralel, precum și dezvoltarea unor algoritmi capabili să gestioneze transferul de energie dintre diferite subansambluri, scopul principal fiind acela de a reduce consumul de energie, respectiv emisiile poluante, fără a compromite performanțele autovehiculului.

De asemenea, au fost propuse o serie de recomandări cu privire la utilizarea unor anumite tehnici moderne de proiectare, dar și a unor materiale compozite de ultimă oră, care permit reducerea și mai mult a consumului de energie și a emisiilor poluante din atmosferă.

În afară de cele menționate anterior, au fost propuse o serie de tipuri constructive, configurații și arhitecturi ale unor subansambluri neutilizate sau foarte puțin utilizate în prezent în industria auto, alături de sisteme și circuite electronice de putere, menite să îmbunătățească eficiența energetică a tuturor tipurilor de grupuri motopropulsoare, dar punându-se accent pe cele de tip hibrid. Acest lucru a fost realizat atât prin proiectarea unui circuit analogic activ și autonom destinat echilibrării încărcării celulelor cu litiu conectate în serie, cât și prin dezvoltarea unui sistem auxiliar de stocare a energiei captate din diferite surse, care poate fi utilizat împreună cu un sistem de tip Start-Stop.

10.1 Rezultate obținute

În Capitolul 1 au fost prezentate domeniul tezei de doctorat, scopul tezei de doctorat, respectiv un rezumat al conținutului acesteia.

În Capitolul 2 au fost prezentate o serie de informații referitoare la poluarea aerului, punându-se accent pe emisiile produse de autovehicule. Pe de altă parte, au fost evidențiate aspectele legate de generarea și conversia energiei, precum și sursele principale de energie, în special cele regenerabile, care au un potențial ridicat de exploatare și de asigurare a cantității necesare pentru satisfacerea consumului din următoarea perioadă. Acest capitol prezintă o importanță deosebită pentru dezvoltarea autovehiculelor mai puțin poluante, întrucât este foarte necesar să se cunoască într-adevăr sursele primare din care derivă energia utilizată pentru alimentarea acestora. Astfel, în anumite condiții, biocombustibilii care alimentează motoarele termice convenționale pot avea un efect mai puțin nociv atât asupra sănătății oamenilor, cât și asupra mediului înconjurător, în comparație cu energia electrică (utilizată pentru alimentarea autovehiculelor complet electrice) produsă cu ajutorul cărbunelui sau a hidrocarburilor. Pe de altă parte, în cazul în care sunt exploatate corespunzător, sursele de energie regenerabilă pot reprezenta într-adevăr o alternativă mai puțin poluantă la cele utilizate în prezent.

În cadrul Capitolului 3 s-a realizat un studiu privind implicațiile tranziției către autovehicule mai puțin poluante (care este aplicabil cel puțin pentru țara noastră), iar pe de altă parte s-au oferit o serie de informații și calcule menite să determine alegerea optimă a tipului de grup motopropulsor pentru autovehicule, în funcție de anumite criterii pe care fiecare cumpărător le poate aplica pentru a-și satisface propriile nevoi. Astfel, din punctul de vedere al sustenabilității, situația energetică actuală nu permite trecerea către autovehicule complet electrice în viitorul apropiat. Pe de altă parte, din punct de vedere al rentabilității, modelele electrice hibride echipate cu motoare Diesel prezintă un avantaj, atât față de cele conventionale, cât și față de cele complet electrice.

Capitolul 4 tratează, în principal, grupurile motopropulsoare hibride pentru autovehicule, precum și strategiile de control care pot fi aplicate pentru acestea,

realizându-se, astfel, o clasificare a tipurilor de grupuri motopropulsoare hibride propuse în literatura de specialitate.

În continuare sunt prezentate limitările care nu au permis până în perioada recentă dezvoltarea și implicit pătrunderea pe piață a unor autovehicule electrice hibride cu adevărat competitive din multe puncte de vedere față cele conventionale, echipate exclusiv cu motoare termice. Apoi sunt discutate câteva metode propuse de autor în vederea îmbunătățirii eficienței motoarelor termice, și implicit reducerea emisiilor poluante, apoi optimizarea consumului de energie pentru motorul electric de tracțiune, precum și optimizarea eficienței generatorului electric, respectiv a convertoarelor de putere asociate, urmate de metode de îmbunătățire a sistemelor de transmisie și ale mediilor de stocare a energiei.

Capitolul se încheie cu o prezentare sumară a două tipuri de grupuri motopropulsoare hibride actuale, precum și cu o listă de autovehicule electrice și hibride, în care sunt evidențiate arhitectura utilizată, unele caracteristici tehnice, precum și prețul minim de achiziție, scopul principal fiind acela de a facilita procesul de selecție pentru potențialii cumpărători, în cazul în care aceștia vor aplica metodologia prezentată în cadrul Capitolului 3, în vederea achiziției unui autoturism.

Capitolul 5 se referă la proiectarea grupurilor motopropulsoare hibride și propune o metodă de măsurare în timp real a parametrilor motorului termic, cu ajutorul unei interfețe dedicate diagnozei computerizate a erorilor. Mai departe, această metodă este validată de calcule matematice și simulări asistate de calculator, în vederea confirmării rezultatelor obținute.

În continuare, Capitolul 6 propune dezvoltarea unui grup motopropulsor plug-in hibrid, de tip serie, pe baza metodologiei prezentate anterior, precum și implementarea unui algoritm care are drept scop gestionarea consumului de energie. Astfel, prin măsurarea unor parametri ai motorului cu ardere internă care echipează un autoturism convențional, în timpul deplasării pe drumurile publice a acestuia, au putut fi determinate caracteristicile de bază ale grupului motopropulsor hibrid propus, dimensionându-se în mod corespunzător componentele principale, cu scopul de a păstra performanțele propulsorului clasic original, de la care s-au prelevat măsurătorile.

În cadrul Capitolului 7 au fost propuse două grupuri motopropulsoare hibride de tip paralel, a căror dezvoltare și dimensionare s-a realizat tot pe baza metodologiei propuse în Capitolul 5. Astfel, primul grup motopropulsor propus este capabil să echivaleze performanțele unui motor cu ardere internă de capacitate cilindrică mai mare, iar cel de-al doilea permite, în plus, deplasarea autovehiculului în regim complet electric, cu scopul de a reduce atât consumul de combustibil, cât și emisiile poluante.

În Capitolul 8, accentul a fost pus pe dezvoltarea unui sistem analogic activ și independent de echilibrare a nivelului de încărcare pentru celulele cu litiu, conectate în serie, care se regasesc în componența bateriilor de acumulatori cu care sunt echipate atât autovehiculele hibride, cât și cele complet electrice.

În Capitolul 9 s-a pus accentul și pe proiectarea și realizarea unui sistem auxiliar de stocare a energiei captate din diferite surse, care poate fi utilizat, în special, pentru reducerea atât a consumului de carburant, cât și a emisiilor poluante, prin intermediul sistemelor Start-Stop.

În cadrul Capitolului 10 sunt rezumate concluziile acestei teze, începând cu rezultatele obținute, continuând cu prezentarea contribuțiilor originale, precum și lista lucrărilor originale, pentru ca la final să fie prezentate perspectivele de dezvoltare ulterioară.

10.2 Contribuții originale

1. S-a realizat o analiză asupra emisiilor poluante, produse, în special, de autovehicule, precum și asupra surselor de energie disponibile pe Pământ. Mai mult decât atât, au fost prezentate principalele forme regenerabile de energie, alături de potențialul acestora de a satisface consumul actual, împreună cu modalitățile, respectiv instalațiile de conversie asociate [Capitolul 2].
2. S-a realizat o analiză cu privire la evoluția prețului țițeiului pe piața internațională, precum și a prețului carburanților din România, în ultimii ani. În plus, au fost prezentate statistici cu privire la producția și consumul de energie electrică din țara noastră, din ultima perioadă. În contextul tranziției către autovehicule mai puțin poluante, s-au efectuat calcule pentru a stabili necesarul de energie electrică, în vederea reînnoirii unei fracțiuni din parcul auto actual din România. Mai mult, a fost analizată distribuția pe categorii de vârstă, respectiv norme de poluare ale autovehiculelor înmatriculate în prezent în țara noastră, pentru a se putea estima durata necesară tranziției către autovehicule complet electrice [Subcapitolul 3.1].
3. S-a realizat un studiu de fezabilitate în vederea alegerii tipului optim de grup motopropulsor în funcție de anumite criterii, cum ar fi durata de exploatare a autovehiculului, respectiv bugetul disponibil. În acest sens au fost efectuate calcule pentru a determina quantumul aferent achiziției, reparațiilor, plății taxelor, întreținerii, etc., pentru diferite scenarii de exploatare a autovehiculului, luând în calcul și tipul de combustibilul utilizat. Mai mult decât atât, a fost realizată o comparație atât în ceea ce privește gabaritul, cât și costul de achiziție pentru un potențial autoturism hibrid echipat cu un grup motopropulsor care a fost propus în această teză [Subcapitolul 3.2].
4. A fost realizată o prezentare a principalelor tipuri de grupuri motopropulsoare hibride întâlnite în literatura de specialitate, împreună cu strategiile de control ale acestora [Subcapitolul 4.1].
5. Au fost propuse o serie de îmbunătățiri ale consumului de energie pentru autovehicule, care pot fi realizate prin reproiectarea componentelor majore ale grupurilor motopropulsoare de tip hibrid, și care pot conduce, de asemenea, la

reducerea emisiilor poluante, produse, în special, de motoarele cu ardere internă [Subcapitolul 4.2].

6. A fost realizată o prezentare succintă a două grupuri motopropulsoare de tip hibrid-paralel care echipează modele de autovehicule produse recent, precum și o listă cu diverse modele hibride și electrice comercializate în anul 2021, în Europa, pentru a evidenția diversitatea arhitecturilor disponibile pe piața auto [Subcapitolul 4.3].
7. A fost prezentată o metodă de măsurare în timp real și determinare a unor parametri importanți ai motoarelor termice, în vederea dezvoltării grupurilor motopropulsoare. Această metodă a fost validată atât prin intermediul calculelor matematice, cât și prin intermediul simulărilor asistate de calculator. De asemenea, au fost propuse câteva metode generale de proiectare, care permit îmbunătățirea consumului de energie al autovehiculelor [C3], [J3], [R5], [Capitolul 5].
8. A fost propus un grup motopropulsor plug-in hibrid de tip serie, proiectat pe baza informațiilor colectate de la un autoturism convențional în timpul deplasării pe drumurile publice, pe durata diferitelor anotimpuri, prin utilizarea metodologiei prezentate la punctul anterior. În afară de dimensionarea principalelor părți componente ale grupului motopropulsor hibrid-serie, a fost dezvoltat și un algoritm capabil să gestioneze, în principal, puterea livrată de către motorul cu ardere internă generatorului electric, în vederea stocării energiei necesare în interiorul bateriei de acumulatori de înaltă tensiune [C4], [J3], [R5], [Capitolul 6].
9. Au fost efectuate o serie de măsurători în timp real care au contribuit la dimensionarea componentelor unui grup motopropulsor plug-in hibrid de tip paralel, care este capabil să echivaleze performanțele unui motor cu ardere internă de cilindree mai mare. De asemenea, a fost dezvoltat și un algoritm pe baza căruia energia stocată în bateria de acumulatori de înaltă tensiune poate fi livrată către motorul electric de tracțiune, în vederea satisfacerii necesarului de putere din timpul deplasării autovehiculului pe drumurile publice [C1], [R1], [Subcapitolul 7.1].
10. Tot pe baza metodologiei de măsurare a parametrilor în timp real cu ajutorul unei interfețe de diagnosticare, a fost propus un grup motopropulsor plug-in, de tip hibrid-paralel, capabil să echivaleze performanțele unui propulsor convențional de capacitate cilindrică mai mare, dar totodată să și permită deplasarea vehiculului în regim complet electric. Și în acest caz, a fost dezvoltat un algoritm dedicat gestionării energiei electrice stocate în bateria de acumulatori de înaltă tensiune, pe baza căruia au fost dimensionate subansamblurile principale din componența grupului motopropulsor hibrid propus [C2], [R2], [Subcapitolul 7.2].
11. S-a dezvoltat și realizat un circuit analogic activ, autonom, de echilibrare a încărcării celulelor cu litiu conectate în serie, aflate în componența bateriilor de acumulatori care echipează atât autovehiculele hibride, cât și pe cele

electrice. În afară de calcule matematice și simulări asistate de calculator, a fost realizat și un montaj experimental, cu ajutorul căruia a fost validat conceptul propus în această teză [J1], [R3], [Capitolul 8].

12. A fost propus, dezvoltat și realizat parțial, un sistem auxiliar de stocare a energiei captate din diferite surse, pe baza căruia pot fi reduse atât consumul de carburant, cât și cantitatea de gaze de eșapament emise, prin intermediul utilizării unor sisteme Start-Stop inteligente. Captarea energiei poate fi realizată cu ajutorul unor dispozitive plasate în diferite zone predefinite ale autovehiculului [J2], [R4], [Capitolul 9].

10.3 Lista lucrărilor originale

10.3.1 Articole prezentate la conferințe internaționale

[C1] **B. Anton**, A. Florescu, *Matching the Performances of a Diesel Engine with a Mild-Hybrid Driving System, based on Telemetry Data*, in Proceedings of the 10th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE 2017), March 23-25, 2017, Bucharest, România, pp. 159-U941, ISBN: 978-1-5090-5160-1, ISSN: 1843-8571, Web of Science Categories: Engineering, Electrical & Electronic, Accession Number: WOS: 000403399400032 [ISI Web of Knowledge].

[C2] **B. Anton**, A. Florescu, *Simple power management control for a plug-in mild-hybrid Diesel powertrain*, Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI) 2017 – International Conference – 9th Edition, 29 June - 01 July, 2017, Targoviste, România, ISBN: 978-1-5090-6457-1, DOI: 10.1109/ECAI.2017.8166408, WOS: 000425865900024 [ISI Web of Knowledge].

[C3] **B. Anton**, A. Florescu, *Measuring vehicle's powertrain parameters using diagnostics interface*, 2020 12th International Conference on ECAI, Bucharest, România, 2020, ISBN: 978-1-7281-6843-2, ISSN: 2378-7147, Web of Science Categories: Engineering, Electrical & Electronic, Accession Number: WOS: 000627393500132 [ISI Web of Knowledge].

[C4] **B. Anton**, A. Florescu, *Design guidelines for series-hybrid powertrains*, 2020 12th International Conference on ECAI, Bucharest, România, 2020, ISBN: 978-1-7281-6843-2, ISSN: 2378-7147, Web of Science Categories: Engineering, Electrical & Electronic, Accession Number: WOS: 000627393500088 [ISI Web of Knowledge].

10.3.2 Articole publicate în jurnale științifice internaționale

[J1] **B. Anton**, A. Florescu, S. G. Roșu, *Standalone analog active cell-balancing circuit for automotive Battery Management Systems*, Revue Roumaine des Sciences Techniques – Serie Electrotechnique et Energetique, vol. 63, 3, pp. 306–313, 2018, Bucharest, Jul-Sept. 2018,

ISSN: 0035-4066, Web of Science Categories: Engineering, Electrical & Electronic, Accession Number: WOS: 000454752800012 [ISI Web of Knowledge].

[J2] **B. Anton**, A. Florescu, L. A. Perișoară, A. Vasile, R. C. Constantinescu, S. G. Roșu, *Methods of maximizing power efficiency for hybrid vehicles*, Revue Roumaine des Sciences Techniques – Serie Electrotechnique et Energetique, vol. 64, no. 1, pp. 57– 62, 2019, Published: Jan-Mar 2019, WOS: 000464302300010 [ISI Web of Knowledge].

[J3] **B. Anton**, A. Florescu, *Design and development of series-hybrid automotive powertrains*, IEEE Access, Volume: 8, Pages: 226026-226041, Published: 2020, Web of Science Categories: Computer Science, Information Systems; Engineering, Electrical & Electronic; Telecommunications, ISSN: 2169-3536, DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3044500, WOS: 000603731500001 [ISI Web of Knowledge] (**articol Q1, premiat UEFISCDI în anul 2021**).

10.3.3 Rapoarte de cercetare științifică

[R1] **B. Anton**, *Echivalarea performanțelor unui motor Diesel cu un sistem de propulsie microhibrid, bazată pe date de telemetrie*, Iunie 2017.

[R2] **B. Anton**, *O strategie simplă de control al puterii pentru un propulsor Diesel hibrid care permite încărcarea acumulatorilor de la rețeaua electrică*, Decembrie 2017.

[R3] **B. Anton**, *Circuit analogic autonom pentru echilibrarea celulelor din sistemele de încărcare a bateriilor de acumulatori utilizate în industria auto*, Iunie 2018.

[R4] **B. Anton**, *Metode de optimizare a consumului de energie pentru automobile*, Decembrie 2018.

[R5] **B. Anton**, *Considerente de proiectare pentru un sistem de propulsie de tip hibrid-serie*, Iunie 2019.

10.3.4 Proiecte și contracte

[P1] Programul *Excellence Research Grants*, UPB – GEX 2017. Identificator: UPB – GEX2017, Număr contract: 33/25.09.2017.

[P2] Proiectul *Dezvoltarea competențelor de antreprenoriat ale doctoranzilor și postdoctoranzilor – cheie a succesului în carieră (A-Succes)*, Număr contract: 51675/09.07.2019 POCU/380/6/13 – Cod SMIS: 125125.

10.4 Perspective de dezvoltare ulterioară

Având în vedere faptul că grupurile motopropulsoare hibride reprezintă alegerea cea mai potrivită pentru tranziția către autovehicule mai puțin poluante, iar acest lucru se va desfășura pe parcursul câtorva decenii, dezvoltarea lor este foarte importantă.

Astfel, referitor la sistemele propuse și discutate în această teză, se pot identifica următoarele direcții de dezvoltare ulterioară:

1. Studiile de fezabilitate realizate în cadrul Capitolului 3 pot fi îmbunătățite, prin actualizarea permanentă a datelor statistice privitoare la producția, respectiv consumul de energie electrică din țara noastră, precum și a ponderii fiecărui tip de combustibil utilizat pentru generarea acesteia. Pe de altă parte, actualizările prețurilor combustibililor fosili, precum și cel al energiei electrice, în funcție de distribuitori, respectiv consumul anual sau puterea livrată, ar trebui incluse în aceste statistici. Mai mult decât atât, evoluția parcului auto din România poate fi monitorizată în mod continuu, în vederea obținerii unor date concludente, în ceea ce privește alegerea tipului optim de grup motopropulsor pentru autovehiculul care urmează să fie achiziționat. Tot în acest scop ar putea fi extins și studiul referitor la cheltuielile aferente achiziționării, exploatării, respectiv vânzării unui autovehicul, prin includerea unui număr extins de mărci și modele, dar și prin adăugarea sau detalierea unor operațiuni specifice fiecărei categorii de cheltuieli.
2. Metoda de măsurare propusă în cadrul Capitolului 5 poate fi aplicată pentru diverse modele de mașini sau pentru alt tip de autovehicule dezvoltate de diferiți producători și poate fi utilizată pentru a colecta alți parametri din numeroase module de control instalate pe vehicul, care pot contribui la îmbunătățirea managementului energiei.
3. Oricare dintre grupurile motopropulsoare hibride propuse și prezentate în Capitolulele 6 și 7 ar putea fi implementat practic pe un autovehicul, urmând ca după o validare în condiții reale de deplasare, atât dimensionarea componentelor de bază ale sistemelor, cât și algoritmi care gestionează transmiterea energiei să fie ajustate, în vederea obținerii unor rezultate îmbunătățite față de modelele inițiale.
4. Sistemul analogic autonom de echilibrare a încărcării celulelor pe bază de litiu, care a fost prezentat în Capitolului 8, poate fi extins pentru mai multe elemente conectate în serie și validat, respectiv îmbunătățit, în cadrul unei baterii de acumulatori de înaltă tensiune care echipează un autovehicul hibrid sau complet electric.
5. Sistemul auxiliar de stocare a energiei, care a fost prezentat în Capitolul 9, ar putea fi realizat sub formă de prototip și validat, respectiv îmbunătățit, în urma implementării sale pe un autovehicul convențional, hibrid sau chiar complet electric (cu modificările corespunzătoare).

Bibliografie

- [1] Z. Tan, *Air Pollution and Greenhouse Gases – From Basic Concepts to Engineering Applications for Air Emission Control*, Editura Springer, Singapore, 2014, ISBN: 978-981-287-211-1.
- [2] M. Ehsani, Y. Gao, S. Longo, K. M. Ebrahimi, *Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cells Vehicles – Third Edition*, Editura Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida, Statele Unite ale Americii, 2018, ISBN: 978-1-4987-6177-2.
- [3] X. L. Yue, Q. X. Gao, *Contributions of natural systems and human activity to greenhouse gas emissions*, Advances în Climate Change Research, Volume: 9, Issue: 4, Pages: 243-252, December 2018.
- [4] <https://ourworldindata.org/ghg-emissions-by-sector>
- [5] E. E. (Stathis) Michaelides, *Alternative Energy Sources*, Editura Springer, Germania, 2012, ISBN: 978-3-642-20950-5.
- [6] <https://www.macrotrends.net/1369/crude-oil-price-history-chart>
- [7] <https://sandbag.be/wp-content/uploads/2020/10/Valorificarea-Potentialului-Regenerabil-al-Romaniei-RO.pdf>
- [8] https://www.transelectrica.ro/widget/web/tel/sen-grafic/-/SEN_Grafic_WAR_SENGrafic_portlet
- [9] <https://insse.ro/cms/ro/tags/comunicat-inmatriculari-noi-de-vehicule-rutiere>
- [10] <https://www.plugshare.com/location/210744>
- [11] Self-study Programme 537, *The Golf GTE*, After Sales Qualification, Service Training VSQ-2, Volkswagen AG, Wolfsburg, pp. 8, 12, 16, 23, 45, 46, 48-50, November 2014.
- [12] **B. Anton**, A. Florescu, *Matching the Performances of a Diesel Engine with a Mild-Hybrid Driving System, based on Telemetry Data*, 10th International Symposium on ATEE, Bucharest, România, 2017.
- [13] **B. Anton**, A. Florescu, *Simple power management control for a plug-in mild-hybrid Diesel powertrain*, 9th International Conference on ECAI, Targoviste, România, 2017.
- [14] **B. Anton**, A. Florescu, *Measuring vehicle's powertrain parameters using diagnostics interface*, 2020 12th International Conference on ECAI, Bucharest, România, 2020.
- [15] **B. Anton**, A. Florescu, *Design guidelines for series-hybrid powertrains*, 2020 12th International Conference on ECAI, Bucharest, România, 2020.

- [16] **B. Anton**, A. Florescu, *Design and development of series-hybrid automotive powertrains*, IEEE Access, Volume: 8, Pages: 226026-226041, Published: 2020.
- [17] <https://www.ross-tech.com/vag-com/product.html>
- [18] Robert Bosch GmbH, *Bosch Automotive Handbook*, 10th Edition, SAE International, 2018, pp. 940–945, ISBN: 978-0-7680-9567-8.
- [19] C. Cubito, F. Millo, G. Boccardo, G. Di Pierro, B. Ciuffo, G. Fontaras, S. Serra, M. Otura Garcia, G. Trentadue, *Impact of Different Driving Cycles and Operating Conditions on CO2 Emissions and Energy Management Strategies of a Euro-6 Hybrid Electric Vehicle*, Energies, vol. 10, no. 10, Oct. 2017.
- [20] Y. Liu, J. Li, Z. Lei, W. Li, D. Qin, Z. Chen, *An Adaptive Equivalent Consumption Minimization Strategy for Plug-In Hybrid Electric Vehicles Based on Energy Balance Principle*, IEEE Access, vol. 7, pp. 67589-67601, May 2019.
- [21] Self-Study Programme 067, *The 2.0TDI/125kW Diesel Engine with Common Rail Injection System*, After Sales Qualification, Service Training VSQ-1, Volkswagen AG, Wolfsburg, p. 5, June 2008.
- [22] Self-Study Programme 442, *The 1.6Ltr.TDI Engine with Common Rail Injection System*, After Sales Qualification, Service Training VSQ-1, Volkswagen AG, Wolfsburg, p. 7, June 2009.
- [23] **B. Anton**, A. Florescu, Ș. G. Roșu, *Standalone analog active cell-balancing circuit for automotive Battery Management Systems*, Rev. Roum. Sci. Techn.– Électrotechn. et Énerg., vol. 63, 3, pp. 306–313, 2018.
- [24] **B. Anton**, A. Florescu, L. A. Perișoară, A. Vasile, R. C. Constantinescu, Ș. G. Roșu, *Methods of maximizing power efficiency for hybrid vehicles*, Rev. Roum. Sci. Techn.– Électrotechn. et Énerg., vol. 64, no. 1, pp. 57–62, 2019.