



HiTECH-HEV

Modular architecture developed for Hardware-in-the-loop platform for TEsting Competitive, Highly-efficient and reliable Hybrid Electric Vehicles

Titlu Proiect:

Hardware-in-the-Loop Modular Platform for TEsting the Energy Management of Competitive & Highly-Efficient Hybrid-Electric Vehicles (HiTECH-HEV)

Număr contract: PCCA 191/2012

Adresă web-site: www.hitech-hev.utcluj.ro

Parteneri consorțiu: Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca (coordonator – CO)

ICPE-SA (primul partener – P1)

SC LMS-International SRL – acum Siemens Industry

Software (al doilea partener – P2)



Echipa managerială: Daniel FODOREAN (director proiect, responsabil CO)

Paul MINCIUNESCU (responsabil P1)

Cristi IRIMIA (responsabil P2)

Raport de activitate (Motorizare și Auxiliare, 2014)

CUPRINS

I.	Rezumatul Etapei	2
1.	Obiectivul și activitățile celei de a III-a etape de implementare a proiectului HiTECH-HEV.....	2
II.	Realizările și rezultatele științifice din proiectul HiTECH-HEV	2
1.	Preambul.....	2
2.	Studiul controlului motorizării de mare viteză	4
3.	Studiu controlului pentru principalele subsisteme auxiliare acționate electric	6
4.	Co-simularea în vederea controlului propulsiei și a axiliarelor.....	8
5.	Studiu asupra surselor folosite la alimentarea VEH.....	11
6.	Diseminare: vizite studiu, participari conferinte internationale si publicare	19
III.	Indicatorii de rezultat și proces în derularea proiectului HiTECH-HEV în anul 2014	20
	Anexa I – Site WEB	20



I. Rezumatul Etapei

1. Obiectivul și activitățile celei de a III-a etape de implementare a proiectului HiTECH-HEV

ETAPA III Controlul motorizării și al sistemelor auxiliare și modelarea sursei.

Activitatea III.1 Limitele controlabilității pentru motorizare, pentru subsistemele auxiliare și validarea experimentală a sistemului studiat.

Activitatea III.2 Modelarea surselor de alimentare pentru motorizare și subsistemele auxiliare.

Activitatea III.3 Diseminare: vizite studiu de lucru, participări conferințe internaționale și publicare rezultate.

II. Realizările și rezultatele științifice din proiectul HiTECH-HEV

1. Preambul

Pe măsură ce activitatea de cercetare înaintează, colaborarea între parteneri este din ce în ce mai strânsă, efortul și rezultatele individuale ajungând se fie asociate cu succes. Pe măsură ce "livrabilele" proiectului au prins contur, trebuie menționat că pe parcursul anului, în cadrul consorțiului, au avut loc mai multe ședințe de lucru (6), pe lângă numeroasele contacte telefonice și prin email. Astfel, la sfârșitul anului de cercetare 2014, se menționează realizarea în totalitate a activităților de cercetare prevăzute la începutul anului, precum și:

- Realizare standuri experimentale pentru testarea sistemului de propulsie electromagnetică de mare viteză, unic la nivel național, și probabil original la nivel internațional, conținând : o mașină sincronă de mare viteză, un reductor magnetic cu raport de transmisie 1/16.
- Realizare stand experimental pentru sistemele auxiliare principale de la bordul vehiculului electric hibrid : sistem de direcție, ventilație și frână.
- Controlul prototipului de mașină sincronă cu magneți permanenți și de mare viteză.
- Studiu a trei subsisteme auxiliare acționate electric (sistem de direcție, sistem de ventilație în habitacul și sistem de frână electromagnetică).
- S-au realizat modele de simulare pentru sistemul de alimentare, cuprinzând baterii de litium-polimer și ultracondensatoare.
- Două din articolele de jurnal, acceptate anul trecut, au fost publicate la începutul acestui an (unul în revistă ISI cu factor de impact 1.3; al doilea articol este de revistă tip B+ și indexată în *Scopus*). În plus, au fost publicate 6 articole de conferință, din care 2 sunt trimise, după modificări semnificative, spre alte jurnale internaționale de impact. Tot la sfârșitul acestui an trebuie menționate pregătirea a altor două lucrări științifice, ce au fost trimise spre recenzie, la două conferințe internaționale ce se desfășoară la începutul anului viitor.

Principalele cheltuieli, pe anul 2014, au fost următoarele:

- Execuție perete despărțitor pentru amenajarea spațiului de testare a propulsiei electromagnetice de mare viteză.
- Execuție încăpere pentru protecție și testarea fonică la funcționarea mașinii de mare viteză.
- Convertizor multifuncțional pentru alimentarea diverselor sisteme auxiliare.
- Sistem mobil de monitorizare a semnalelor electrice și de origine mecanică.



S-a efectuat și o vizită de studiu de 3 săptămâni la Universitățile de Haute-Alsace (Mulhouse, Franța), pentru studiul optimizării controlului sistemelor de acționare electrică și 5 participări la conferințe internaționale din țară și străinătate.

Tot în această etapă a studiului s-au evaluat performanțele așteptate de la principalele subsisteme de acționare electrică instalate la bordul vehiculelor electrice (VE) și hibride (VH). În acest context, s-au considerat următoarele date inițiale, a se vedea Tabelul 1.

Tabelul 1 – Caracteristicile principalelor subsisteme electromecanice dintr-un automobil propulsat electric

Subsistem asistat electric la VE și VH	Valoarea vârf cuplu [Nm]	Viteză nominală [r/min]	Viteză maximă [r/min]	Tip mașină
Subsisteme de confort (geamuri, scaune și oglinzi electrice etc.)	<1	500	2000	CC
Direcție	3..10	500	2000	MCC, MI, MSMP SRM, MSR
Ambreiaj/cutie viteze	<2	3000	6000	
Frânare	1..3	500	2000	
Ventilație	2,5..8	4000	15000	
Starter/generator (numai pt VH)	<300	250	6000	
Tracțiune	40..180	3000	12000	

Notații: MCC – mașină de curent continuu.

MI – mașină de inducție.

MSMP – mașină sincronă cu magneți permanenți.

SRM – "switched reluctance machine", acronimul uzual pentru mașină reluctantă autocomutată.

MSR – mașină sincronă reactivă.

Observații: Pe prima coloană s-au prezentat cu caractere îngroșate aplicațiile considerate în proiectul HITECH-HEV, iar pe ultima coloană s-au indicat cele mai uzuale tipuri de mașini folosite în subsistemele amintite, cele care nu utilizează magneți (SRM și MSR) câștigând din ce în ce mai mult teren în ultimul timp.

Pornind de la caracteristicile cuplu viteză ale acestor subsisteme se poate exprima nivelul de putere al subsistemelor auxiliare ce urmează a fi montate la bordul vehiculului electric hibrid (VEH) studiat. Acești parametri de intrare sunt considerați în definirea aplicațiilor **sistem de ventilație, direcție, frână și propulsie**, cu amendamentul că proiectul nostru dorește exploatarea limitei de viteză.

Fluxul de energie între sistemele amintite la bordul unui VE (sau VEH) este prezentat în Fig.1:

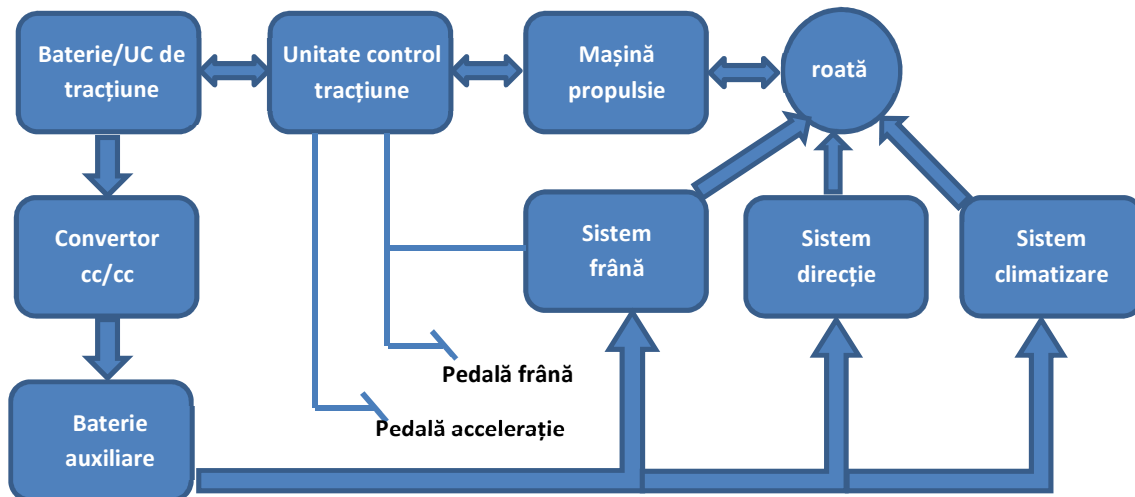


Figura 1. Fluxul de energie între elementele componente ale sistemului de propulsie electric studiat.



În continuare se prezintă rezultatele cercetării elaborate în această etapă, adică studiul și implementarea controlului motorizării și a auxiliarelor considerate precum și studiul surselor corespunzătoare pentru alimentarea VEH.

2. Studiul controlului motorizării de mare viteză

Se recapitulează produsele realizate până în acest moment și elementele principale realizate anul acesta:

- S-a construit un prototip de mașină electrică de mare viteză, de tip sincron fără perii (vezi Fig.2)ș
- Un stand preliminar de testare a fost elaborat (vezi Fig.3), inclus într-o începere metalică pentru protecție (având în vedere viteza la care se rotește mașina) cu izolare fonică (specifică studiourilor de înregistrări de muzică).
- S-a construit un reductor magnetic pentru mașina de mare viteză (vezi Fig.4), iar testul de încercări pentru testarea acestuia a fost elaborat în colaborare cu partenerul P1.
- De asemenea, în acest an s-a definitivat și peretele de separare din termopan pentru stabilirea spațiului de testare a motoarelor electrice de mare viteză. (vezi Fig.5).



Figura 2. Prototip de MSMP de mare viteză : parte inactivă (stânga), activă (mijloc) și ansamblu (dreapta).



Figura 3. Stand experimental inclus în încăperea de testare cu protecție mecanică și izolare fonică pentru testarea MSMP de mare viteză,.



Figura 4. Prototip de reductor magneti cu raport de transmisie 1/16 : componente constructive și ansamblu.



Figura 5. Peretele despărțitor din termopan (dreapta) și intrarea în încăperea de testare fonică a motorizării de mare viteză (stânga).

În vederea implementării controlului MSMP de mare viteză s-au efectuat mai multe studii cu privire la soluțiile de control adecvate: control scalar, control vectorial cu controler PWM și histerezis, cu orientare după fluxul rotoric și cu maximizarea factorului de putere (strategia "factor de putere unitar"). În continuare sunt prezentate două astfel de sisteme elaborate în Simulink (în Fig.6-jos, sunt prezentate rezultatele simulării cu modificarea sarcinii, iar în Fig.7-jos, rezultatele simulării la control vectorial și strategie factor de putere unitar).

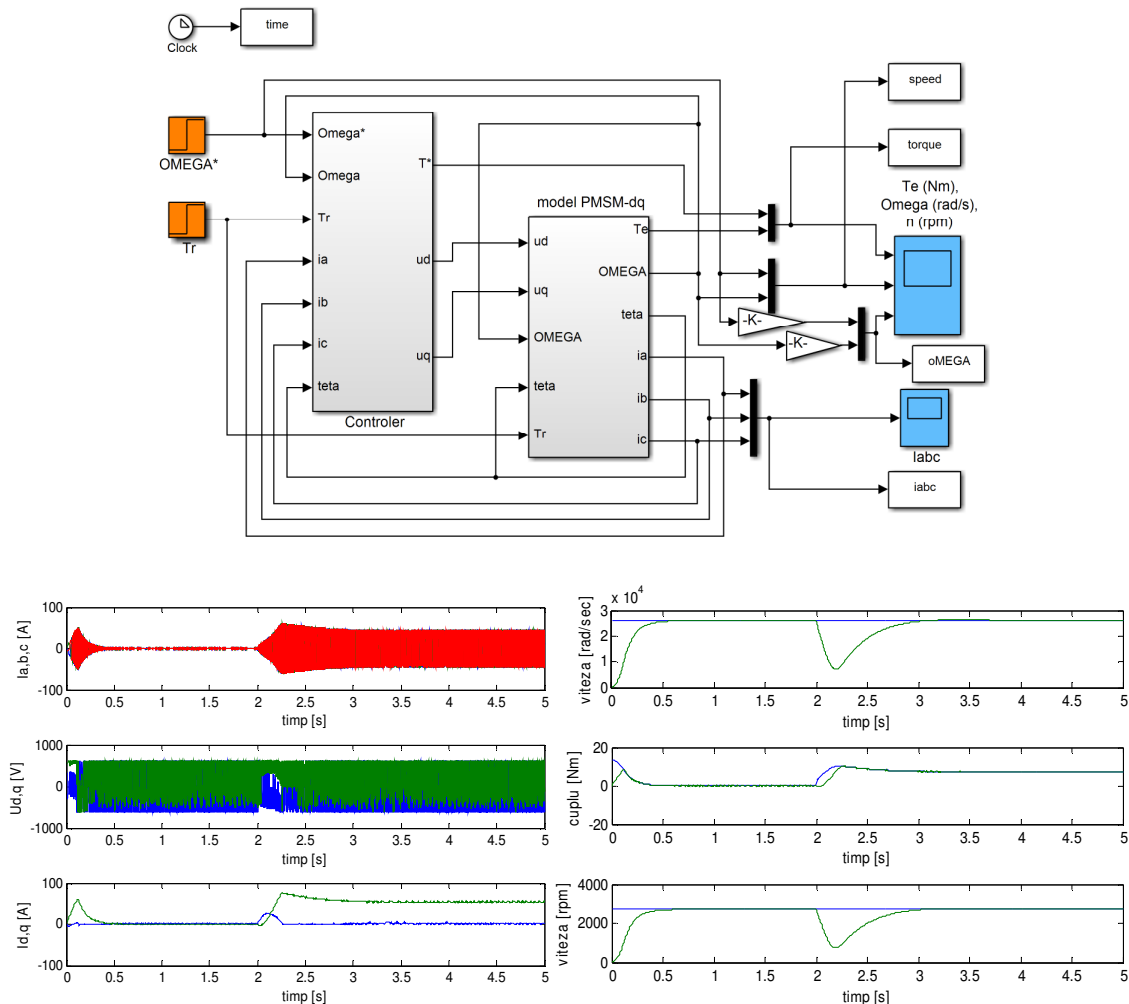


Figura 6 Modelul Simulink pentru studiul controlului (sus) și rezultatele simulării la modificarea sarcinii (jos).

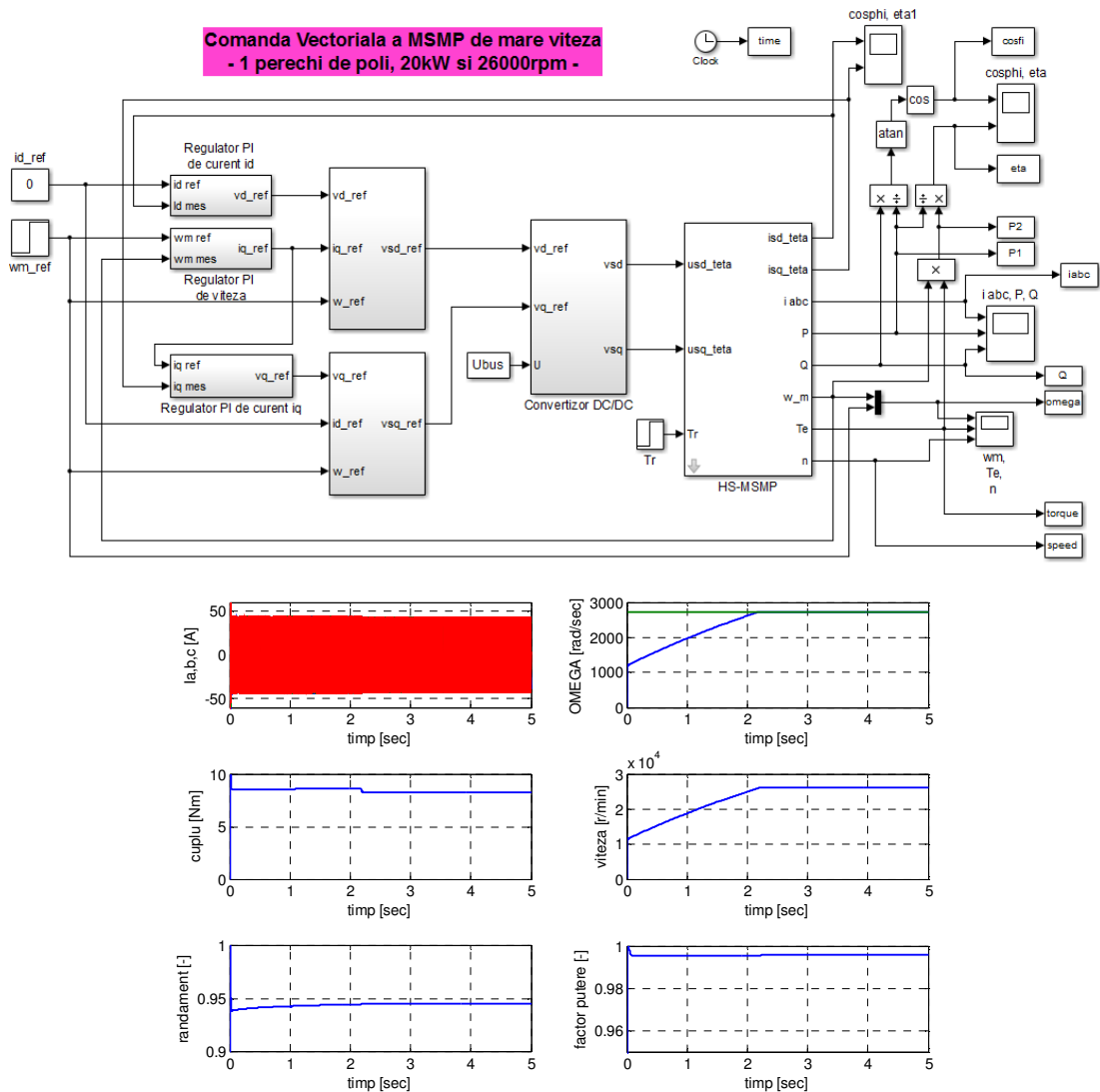


Figura 7 Modelul Simulink pentru comanda vectoriala (sus) și rezultatele simulării în sarcină (jos).

Pentru realizarea controlului, o interfațare specială trebuie considerată pentru detecția poziției – mașina este echipată cu resolver (plăcile electronice și logica de procesare au fost prezentate în etapa a II-a, la sfârșitul celui de-al doilea an al cercetării).

3. Studiu controlului pentru principalele subsisteme auxiliare acționate electric

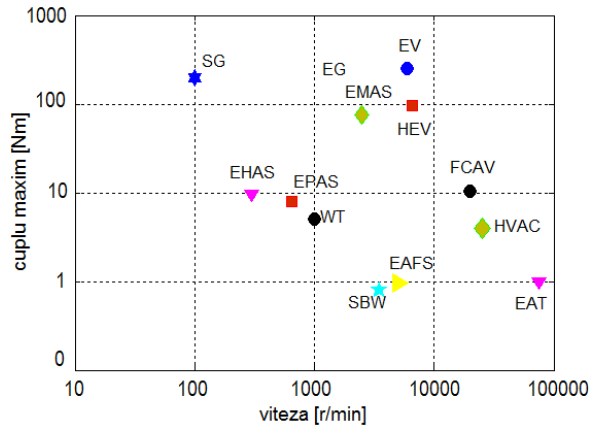
Clasificarea sistemelor electromecanice la bordul vehiculului electric, în funcție de nivelul de cuplu și turație este prezentat în Fig.8. Unul dintre subsistemele auxiliare care influențează decisiv autonomia vehiculului este sistemul de ventilație pentru care propunem un compresor de viteză ridicată (8000r/min). Un moto-compresor pentru această aplicație este prezentat în Fig.9, rezultatele proiectării analitice fiind de asemenea prezentate alăturat, iar în Fig.10 rezultatele simulării controlului aplicației "compresorul". Standul experimental și câteva rezultate ale aplicației compresorul sunt prezentate în Fig.11.

Rezultatele preliminare ale funcționării mașinii pentru aplicația compresor sunt prezentate în figura de mai jos, la funcționarea în gol. S-a folosit schema de control prezentată în Fig.6.



HITECH-HEV

Hardware-in-the-Loop Modular Platform for Testing the Energy Management of Competitive & Highly-Efficient Hybrid-Electric Vehicles



Acr.	Descriere
EPAS	Sistem direcție (spate)
EAFS	Sistem direcție (față)
EMB	Frână electromagnetică
SBW	Transmisie electronică
HVAC	Încălzire, ventilație și aer condiționat
FCAC	Compresor pentru pila de combustie
EG	Cutie de viteză electrică
EHAS	Suspensie activă electro-hidraulică
EMAS	Suspensie activă electromecanică
EAT	Sistem turbo asistat electric
VVT	Valvă cu temporizare variabilă
SG	Starter-generator
EV	Traucțiune vehicul electric
HEV	Traucțiune vehicul electric-hibrid

Figura 8. Nivelul turației și cuplului la subsistemele auxiliare aflate la bordul VEH.

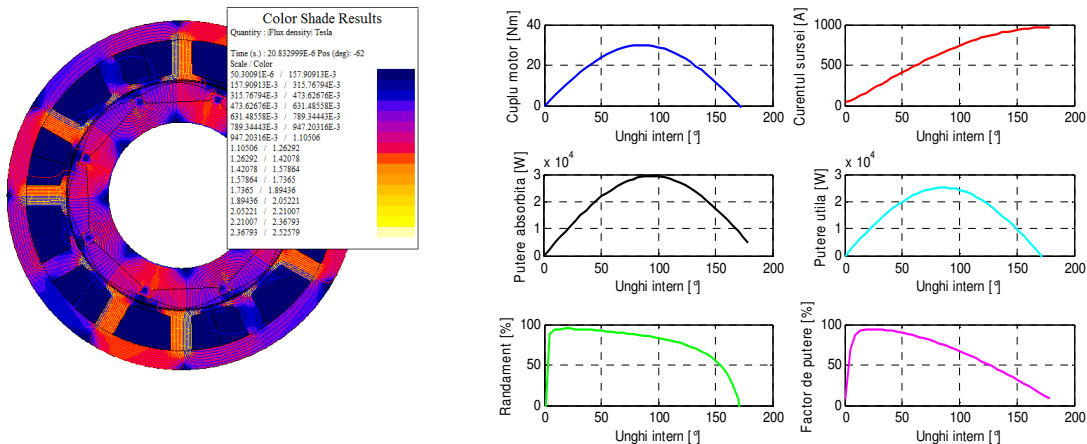


Figura 9 Rezultate simulate la funcționarea în gol a mașinii pentru aplicația "Compresorul".

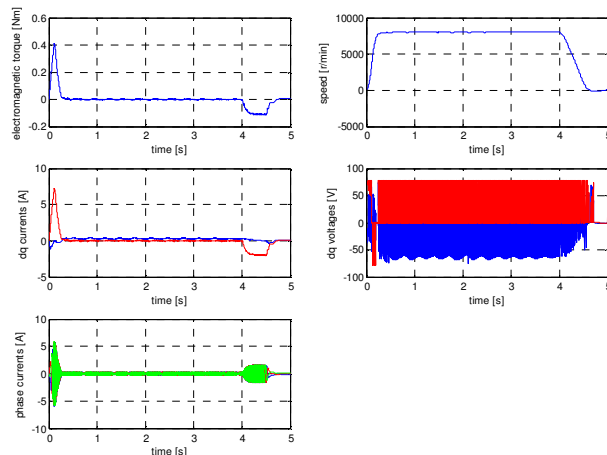


Figura 10 Rezultate simulate la funcționarea în gol a mașinii pentru aplicația "Compresorul".

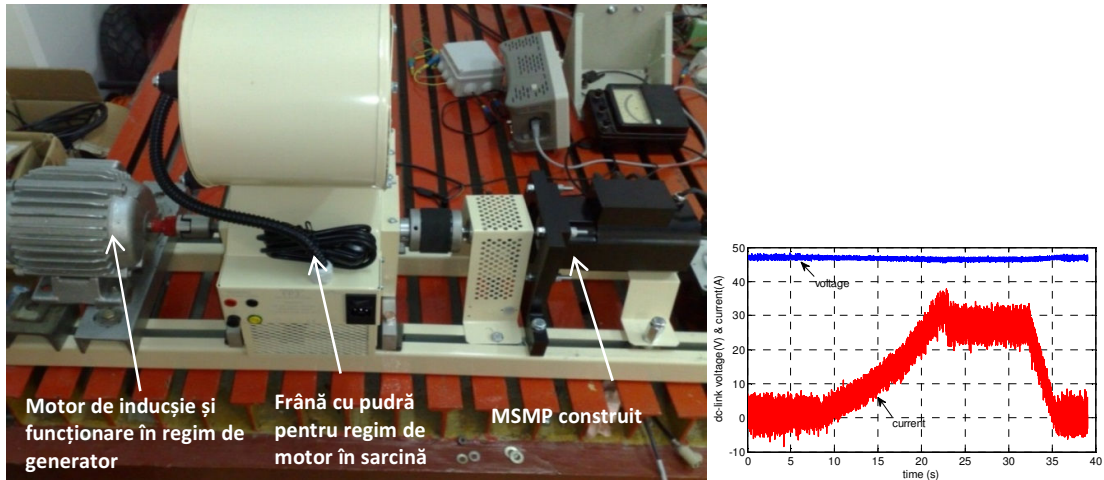


Figura 11 Stand experimental pentru aplicația compresorul pentru aplicația “Compresorul”.

4. Co-simularea în vederea controlului propulsiei și a axiliarelor

În vederea implementării simulării *Hardware-in-the-Loop* (HiL) a întregului ansamblu implicat în propulsia și consumul de energie la bordul VEH s-a folosit o aplicație AMESIM, implementată de către Partenerul P2. Principiul cosimulării, folosind AMESIM și Simulink, este prezentat în Fig.12.

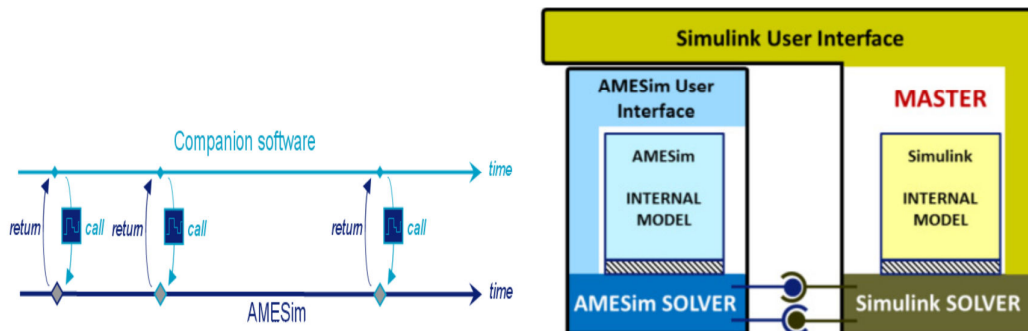


Figura 12 Principiul cosimulării, folosind AMESIM și Simulink.

În această fază controlerul elaborat din Simulink (din schema bloc din Fig.6) a fost elaborat ca și nou element în bibliotecile de lucru ale Partenerului 2. Pînă în acest moment *Amesim* deținea controler pentru mașina cu excitație electromagnetică, dar nu și pentru mașinile cu magneți permanenți. Acest control urmează a fi implementat în platforma de HiL a proiectului, iar mașina reală (propulsia și celelalte auxiliare considerate) vor fi modelate în AMESIM. Platforma de simulare și rezultatele sunt prezentate în Fig.13.

În momentul actual, o preocupare majoră a industriei de autovehicule o reprezintă realizarea și dezvoltarea diferitelor variante de vehicule electrice. Într-o primă etapă, se realizează simulări rapide folosind componente generice. Aceste modele de simulare permit compararea diferitelor soluții constructive în legătură cu consumul și criteriile de performanță stabilite în etapa de concepție. La acest nivel de modelare și simulare nu se urmărește analiza performanțelor dinamice.



HiTECH-HEV

Hardware-in-the-Loop Modular Platform for Testing the Energy Management of Competitive & Highly-Efficient Hybrid-Electric Vehicles

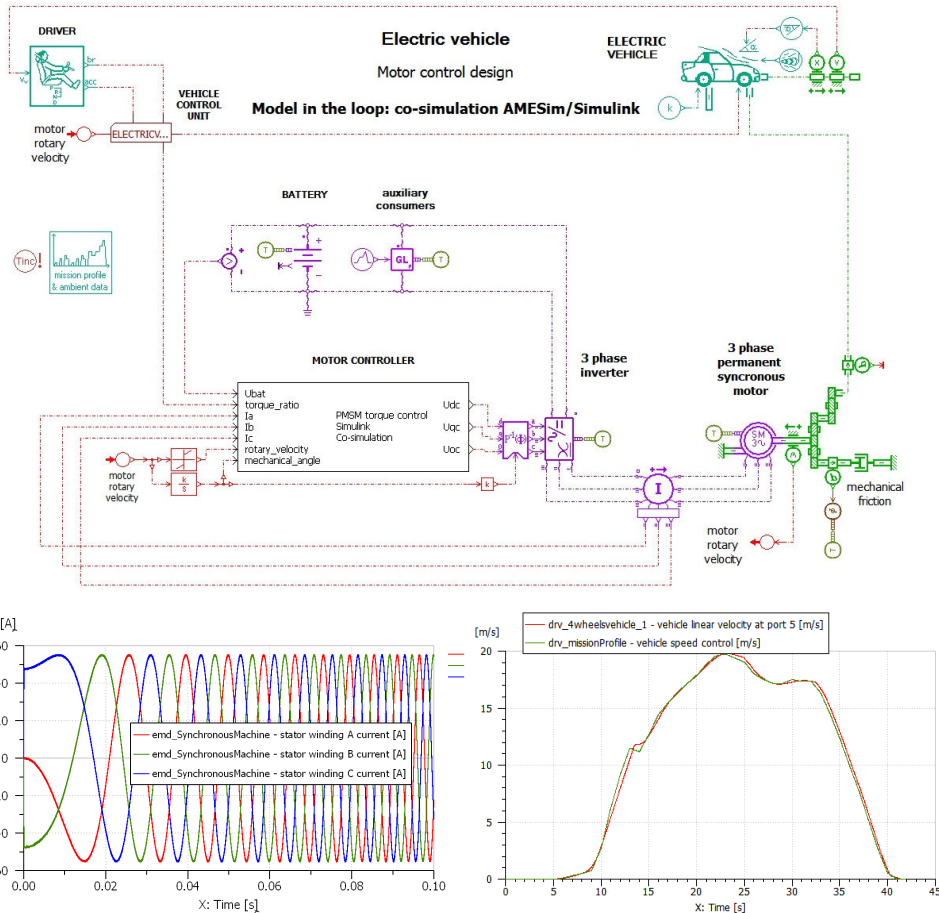


Figura 13 Platforma AMESIM pentru simularea întregului VEH și rezultate preliminare.

În etapa următoare se trece la realizarea unor modele complexe, folosind parametrizarea componentelor. Aceste modele permit studiul comportării dinamice a transmisiei de putere pe un vehicul electric, din punct de vedere al performanțelor și al bilanțului energetic global, pe baza unor interacțiuni suplimentare între componentele modelului.

Fig. 14 prezintă modelul AMESim al unui vehicul electric antrenat cu un motor sincron cu magneti permanenti. Modulul DRIVER calculează parametrii de frânare și de accelerare necesari realizării profilului de viteze selectat. Unitatea de control (CONTROL UNIT) decodifică accelerația necesară în comanda în cuplu a motorului electric. Semnalul de frânare este transmis către mașina electrică în regim de generator (frânare recuperativă) și către dispozitivul de frânare mecanică. Sunt modelate, de asemenea, transmisia electrică de putere, consumatorii auxiliari și echipamentele de comandă și control implicate în realizarea performanțelor.

Mașina electrică este de tip sincron, cu magneti permanenti, de înaltă turație, funcționând ca motor sau ca generator, în funcție de regimul impus prin comandă. Modelul este liniar, saturația materialului magnetic fiind neglijată.

Pentru **baterie** s-a folosit modelul parametrizat a cărui circuitul electric echivalent corespunde unei surse de tensiune variabilă, cu rezistență internă variabilă. Se folosesc fișiere de date experimentale sau expresii consacrate, asociate acestei surse energetice. Variabilele independente sunt *starea de încărcare* (SOC - state of charge), exprimată în procente, și temperatura.

Modelul **inverterului trifazat** utilizează caracteristicile electrice statice ale diodelor, tranzistoarelor și tiristoarelor. Pierderile pot fi evaluate din documentele puse la dispoziție de producător. Comutația dinamică cu frecvența înaltă este mediată. Ciclurile de viteze continute în profilul de drum ales pot fi simulate într-un timp rezonabil la nivel de CPU.

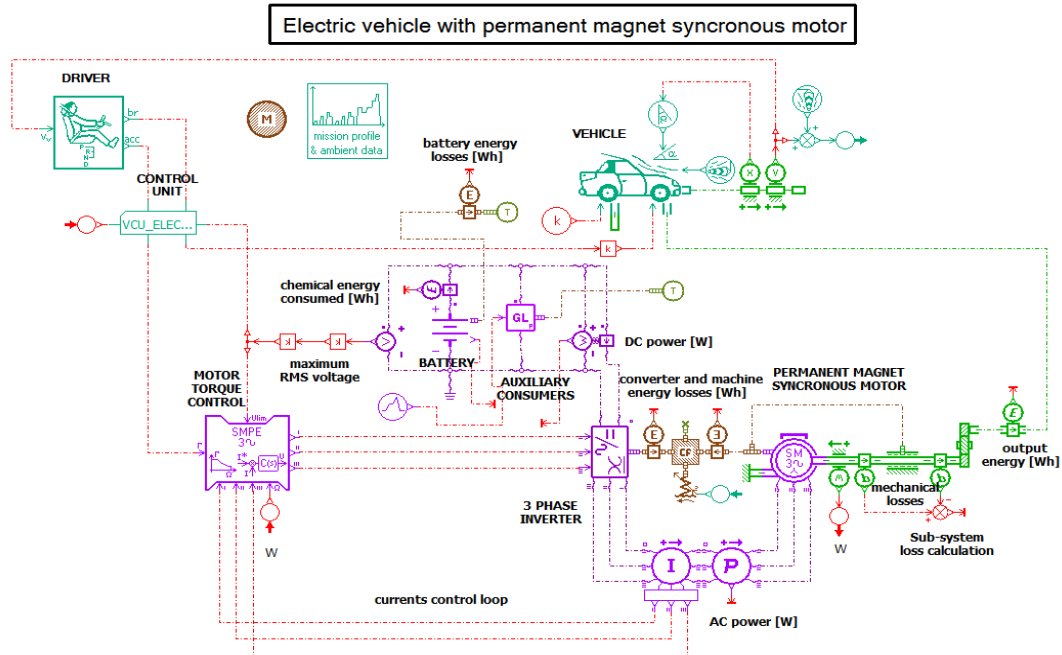


Figura 14 Model complex pentru simularea VEH incluzând noul ciclu rutier european, pierderi mecanice la nivelul transmisiei, modelarea bateriei și a auxiliarelor.

Dispozitivul de control în cuplu al motorului (controlerul) are la bază orientarea vectorială a câmpului magnetic. În funcție de valoarea impusă cuplului la intrare, controlerul calculează tensiunea de comandă pentru inverter. Tensiunea este aplicată mașinii electrice care trebuie să realizeze valoarea cuplului impus. Limitările funcționale sunt determinate de tensiunea bateriei și de curentul maxim.

Principiul de funcționare al acestui controler este prezentat în Fig. 15, grupând etapele funcționale:

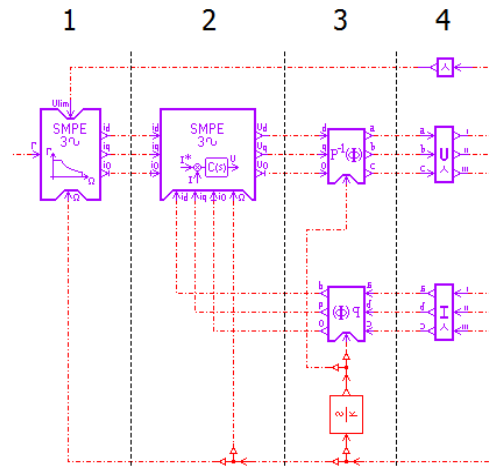


Figura 15 Principiul de funcționare al dispozitivului de control al cuplului

- faza1: transformarea comenzii în cuplu în comandă în curenți raportați în sistemul de coordonate Park. Comanda în curenți depinde de valoarea limită RMS a curentului, de parametrii motorului, de valoarea instantanee a turației motorului și de tensiunea limită RMS pe fază.
- faza 2: convertirea curenților în tensiuni Park. Sunt utilizate 2 controlere PI. Valorile stabilite pentru amplificările din modulele proporțional și integral permit stabilizarea răspunsului prin eliminarea polilor din planul complex.
- faza 3: transformarea Park inversă.
- faza 4: comutator stea / triunghi, în funcție de modul de legare a înfășurărilor statorice ale mașinii.



Unitatea de control este adaptată VE pe care îl comandă, utilizând aceiași parametri. Semnalul generat pentru frânare este divizat către frânarea recuperativă și către frânarea mecanică. Pentru îmbunătățirea confortului în conducerea vehiculului, frânarea recuperativă acționează când conducătorul nu accelerează. Fig. 16 schematizează funcțiile pedalelor de accelerare și de frânare.

Funcția de generator electric în procesul de frânare recuperativ nu este utilizată când se atinge turația minimă a mașinii electrice reversibile. Generatorul nu va produce putere electrică pentru încărcarea bateriilor, iar VE va fi franat mecanic.

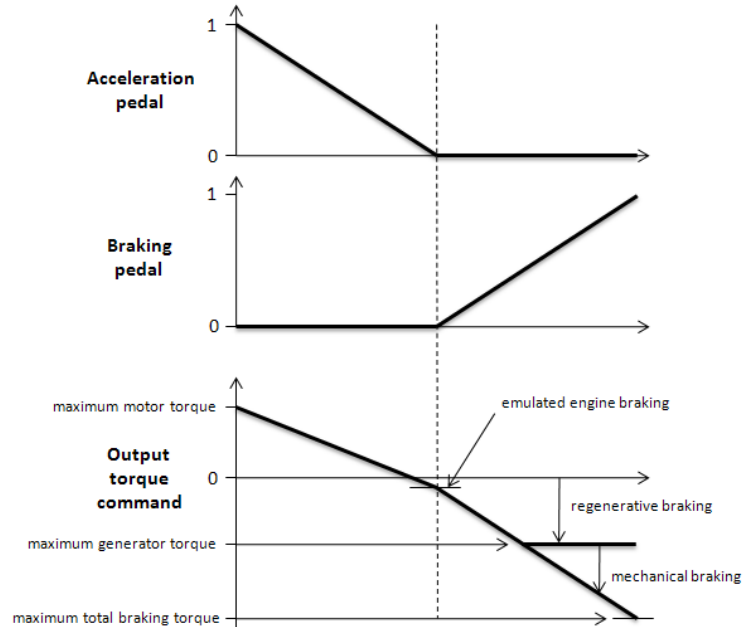


Figura 16 Sincronizarea în funcționarea pedalelor de accelerare și de frânare

Pentru **modelarea pincipalilor consumatori auxiliari** ai VE s-a folosit un model generic care simulează legi de încărcare electrică în curent sau în putere. În procesul de simulare comportarea acestui model este cvasistatică. Variabilele externe ale modelului generic pentru consumatorii auxiliari sunt prezentate în Fig. 8, unde regăsim și evoluția amplitudinii unei încărcări generice (curent sau putere), pe durata procesului de simulare. În exemplul prezentat a fost modelată puterea electrică absorbită de consumatorul generic pe durata simulării.

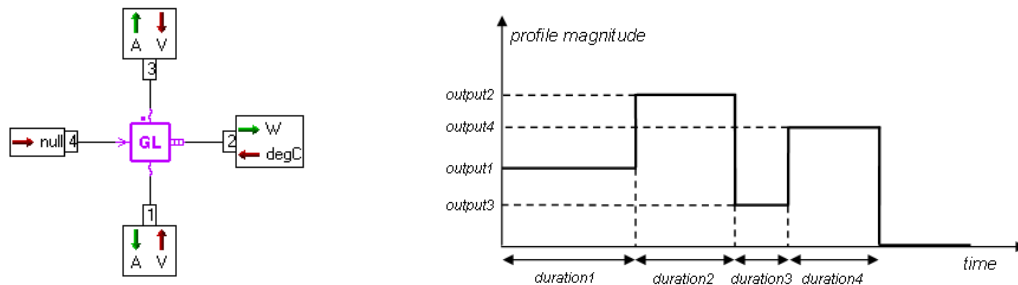


Figura 17 Variabilele externe ale modelului generic pentru consumatorii auxiliari (stânga) și evoluția temporală a unei încărcări generice (dreapta).

5. Studiu asupra surselor folosite la alimentarea VEH

În literatura de specialitate s-au identificat trei surse principale de alimentare, care, funcție de specificitatea lor, pot fi utilizate într-un sistem de antrenare electrică pentru vehiculele electrice. Ele se caracterizează și se diferențiază în principal în funcție de energia specifică pe care sunt capabile să o înmagazineze. Astfel, în Fig.18 se prezintă comparativ soluțiile disponibile la această oră.

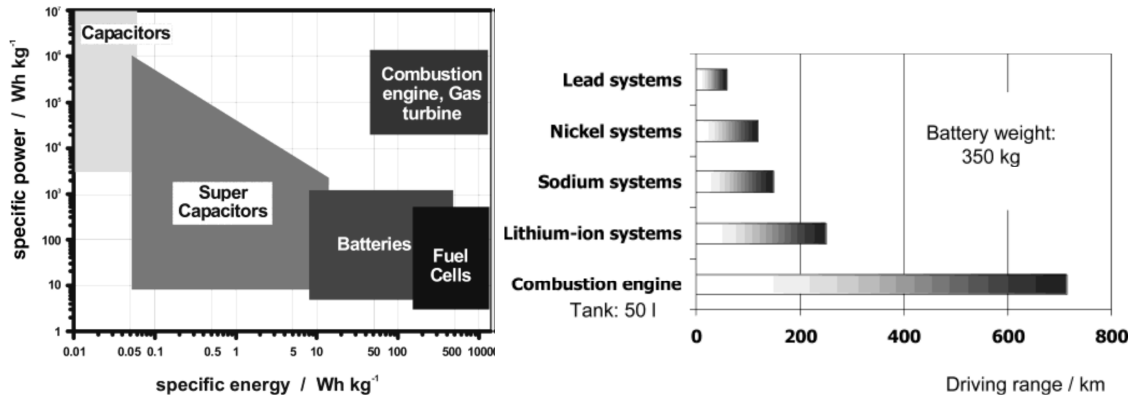


Figura 18 Densitatea de putere și energie pentru sursele actuale folosite în propulsia VEH.

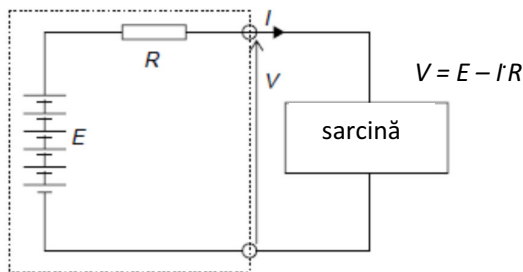
Se poate observa că soluțiile electrice actuale de producere a energiei sunt net inferioare celor clasice, pe bază de combustibili fosili. În termen de energie specifică, doar celulele de combustie pot intra în competiție cu vehiculul termic, și la o distanță considerabilă și bateriile pe bază de litium. În schimb, în privința capacității specifice, doar UC pot intra în competiție (și chiar depăși) capacitatea de stocare a carburanților fosili. Există însă producători ca și firma SAFT din Franța (axată pe industria militară și a mașinilor de curse) care furnizează la această oră baterii performante (în termeni de putere specifică) care pot concura (și chiar depăși) performanțele UC. Prețul lor este practic prohibitiv și producătorul de cele mai multe ori își selectează riguros clienții.

Soluția cu celule de combustie poate fi, într-un viitor apropiat, viabilă, în condițiile în care sistemele auxiliare și costul (2000€/kW) vor fi reduse în mod semnificativ. Până la definitivarea unei soluții alternative competitive, alimentarea cu baterie rămâne soluția ideală pentru antrenarea unui vehicul pur electric.

Parametrii unei baterii.

Pentru a pregăti modelarea unei baterii, s-au identificat parametrii ce o caracterizează, și anume:

a) Tensiunile unei baterii (celule de baterie)



Conform circuitului echivalent (simplificat) al unei baterii formate din mai multe celule, se identifică tensiunea fixă a bateriei, E , precum și tensiunea disponibilă la terminalele bateriei, V , rezultată în urmă căderii de tensiune pe rezistența internă a acesteia. Căderea de tensiune pe rezistența internă este evidențiată de prezența curentului de sarcină; în absența acestuia E fiind egală cu V . Astfel, tensiunea se mai definește și ca tensiunea de circuit deschis (de mers în gol). Pe de altă parte, dacă bateria este încărcată, tensiunea baterie crește cu produsul IR .



b) Capacitatea de sarcină a bateriei

De obicei, pentru baterii de tracțiune, capacitatea (C) a bateriei este specificată pentru cinci ore (5 h) timp de descărcare. Altfel, timpul de descărcare poate fi specificat alături de capacitatea bateriei. Spre exemplificare, notația C_{10} , însemnând timp de descărcare de 10 h. O altă notație legată de capacitatea bateriei se referă la curentul de încărcare sau descărcare a acesteia. Astfel, pentru o baterie de 42 Ah, dacă se notează un curent de descărcare de $2C'$ și un curent de încărcare $0.4C'$, aceasta înseamnă că bateria se descarcă la 84 A și se încarcă la 16.8 A.

c) Energia stocată a bateriei

Energia stocată într-o baterie depinde de tensiunea acesteia și de sarcina stocată: $W = V \cdot C$ [W]. Trebuie reținut faptul că această energie scade rapid dacă din baterie se absoarbe o cantitate importantă de curent. De obicei, pe bateriile comercializate astăzi, această energie este indicată în Ah, dacă se indică capacitatea sarcinii în funcție de o durată de 5 ore de descărcare a bateriei.

d) Energia și puterea specifică a bateriei

Energia specifică a bateriei este cantitatea de energie electrică înmagazinată pe kilogram [Wh/kg]. Odată ce capacitatea energiei este cunoscută, se poate determina masa necesară a bateriei. Prin extensie, puterea specifică este cantitatea de putere electrică per kilogram baterie, [W/kg].

e) Densitatea de energie

Densitatea de energie este cantitatea de energie electrică stocată pe metru cub de volum de baterie [Wh/m^3] - dacă se cunoaște capacitatea energiei, se poate afla volumul de baterie necesar.

f) Randamentul AmperOră (Ah) al bateriei

Este un parametru care variază puternic în funcție de temperatură, de materialul din care este compusă bateria, dar mai ales de nivelul de sarcină al acesteia. Spre exemplu, la o încărcare a bateriei în intervalul de încărcare 20%-80%, randamentul este aproape de 100%. În schimb, în intervalul 80%-100%, randamentul încărcării variază (se reduce) puternic.

g) Rata de auto-descărcare a bateriei

Majoritatea bateriilor se descarcă chiar și dacă sunt lăsate nefolosite, de unde vorbim de fenomenul de auto-descărcare. Acest parametru este esențialmente legat de materialele din care este constituită bateria.

h) Temperatura bateriei

Chiar dacă majoritatea bateriilor funcționează la temperatura ambientală, unele baterii operează la temperaturi mult mai ridicate, având nevoie de încălzire auxiliare pentru punere în funcțiune. Sunt unele baterii care își pierd capacitatea de stocare a energiei la temperaturi joase, deci necesită încălzire suplimentară pentru a funcționa normal. Deci, proiectantul sistemului de antrenare a unui vehicul pur electric trebuie să țină cont de condițiile de funcționare în temperatură a diverselor tipuri de baterii existente pe piață.

i) Număr de cicluri de viață de viață a bateriei

Majoritatea bateriilor reîncărcabile suportă doar câteva sute de cicluri la 20% din capacitatea de încărcare a bateriei. Numărul exact de cicluri de încărcare-descărcare este specific fiecărui tip de material folosit la constituirea bateriei și definește durata de viață a unei baterii.



Tipuri de baterii

În Tabelul 2 de mai jos se prezintă comparativ bateriile de tracțiune existente la această oră pe piața de profil, punându-se în evidență parametrii semnificativi ai acestora.

Tabelul 2 – Tipuri de baterii de tracțiune.

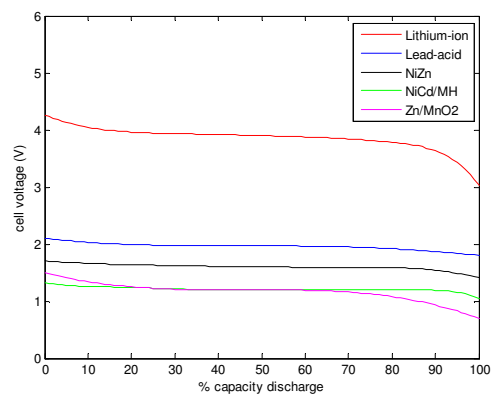
Tip Parametru	Plumb-acid	Nichel- Cadmium/ Metal Hibrid	Sodiu- Sulf/ Metal	Litium-Ion/ Polimer	Aluminiu/ Zinc-Aer
Energie specifică (Wh/kg)	20...35	40...55 / ~ 65	100 / 100	110 / 100	225 / 230
Densitate de energie (Wh/L)	54...95	70...90 / ~ 150	150 / 150	150 / 150	195 / 270
Putere specifică (W/kg)	~ 250	~ 125 / 200	200 / 150	300 / 300	10 / 105
Tensiune nominală pe celulă (V)	2	1.2 / 1.2	2 / ~ 2	3.6 / 3.6	1.4 / 1.2
Randament AmperOră – Ah (%)	~ 80	> 80 / > 80	> 90 / > 95	> 95 / > 95	(nu e cazul)
Rezistență internă (ohm)	~ 0.022	0.06 / 0.06	0.06 / 0.02	<0.02 / <0.02	(mare)
Comercializare	din 1970	1950 / 1990	NU / NU	1991 / 1999	(doar pentru sisteme staționare)
Curent de încărcare (A): vârf/optim	5 C / 0.2 C	20C/1C și 5C/0.5C	?	2C/1C și 2C/ 1C	?
Temperatură optimă de funcționare (°C)	20 (performanțe reduce la temperaturi joase)	20	350 / 350	20 / 20	20
Autodescărcare (%/lună la 20°C)	30	20 / 30	redușă/redușă	<10 / <10	! 10%/zi !
Număr cicluri de viață	800	1200 / 1000	1000/>1000	800 / 500	>1000/>1000
Timp de reîncărcare (h)	8	1 / 1	8 / 8	2..3 / 2...3	1/6
Cost (\$, US / 7.2 V)	25	50 / 60	-	100 / 100	?

Se remarcă faptul că bateria cu timpul cel mai scurt de încărcare este pe bază de aluminiu sau zinc-aer, care folosesc material consumabil (practic, încărcarea unei astfel de baterii coincide cu încărcarea unui rezervor de combustibil). De asemenea, bateriile de tip litium-ion oferă un timp de reîncărcare foarte scurt, cu un nivel de tensiune pe celulă foarte ridicat (la fel și pentru energia specifică), de unde și utilizarea lor din ce în ce mai mult pe piața de profil. Deși sunt dintre cele mai scumpe, bateriile de litium polimer oferă o cantitate de energie importantă pe unitatea de volum (și masă), motiv pentru care par a fi soluția de viitor la antrenarea vehiculelor electrice. Bateriile pe bază de nichel sunt cele mai folosite la această oră în tracțiunea electrică, deoarece oferă, la un preț bun, posibilitatea reîncărcării mai rapide, și la curenți destul de importanți (pentru capacitatea nominală a bateriei).

Curbele de descărcare ale bateriilor

După modelarea tipurilor de baterii amintite, s-au obținut următoarele curbe de descărcare, care stau la baza implementării modelului bateriei dorite în aplicația de antrenare de simulat în Matlab-Simulink.

Așadar, există două elemente componente care formează sursa sistemului hibrid: ultracondensatoarele (UC), folosite pentru tranzitoriile din sistem (apeluri de curent, la demaraj și accelerații) și sursa principală de alimentare, care poate fi bateria sau pila de combustie





(celula de combustie). În acest moment s-a realizat un model de alimentare a VE (antrenat prin motor sincron cu magneți permanenți), folosind o baterie de tip Litium-polimer (48Vcc, 60Ah) și inverter trifazat:

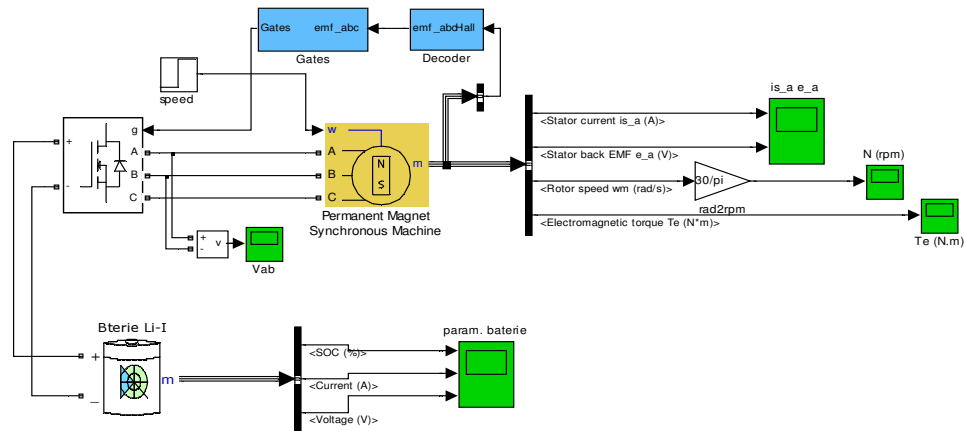


Figura 19 Model Simulink pentru simularea propulsiei VEH, incluzând bateria.

Prin impunerea unei turații constante la arborele mașinii se verifică capabilitatea MSMP de a asigura cuplul la arbore, fără a depăși curentul nominal al mașinii.

În urma simulării ansamblului baterie-inverter-motor, s-au obținut următoarele rezultate:

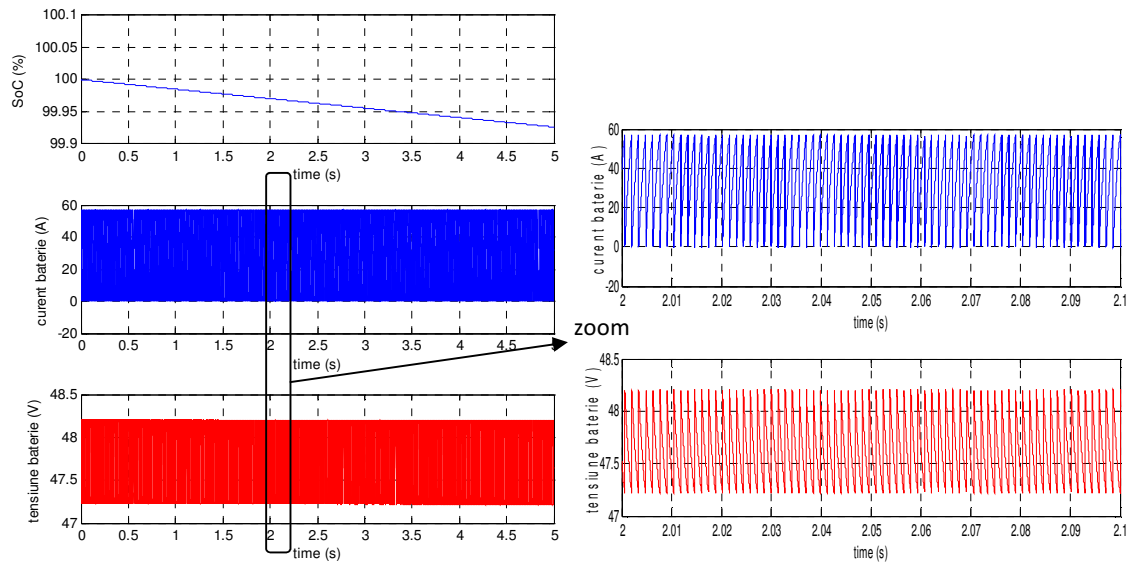


Figura 20 Rezultate Simulink pentru simularea propulsiei VEH, incluzând bateria.

Studiul UltraCondensatoarelor.

Pentru a pregăti modelarea unei UC, se amintește parametrul esențial ce diferențiază un UC de baterii și celule de combustie: energia înmagazinată.

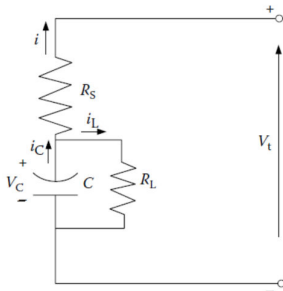
Energia înmagazinată a unui UC, este notată cu E_{cap} și are următoarea expresie:

$$E_{cap} = \frac{1}{2} CV^2$$



unde C este capacitatea în F (farazi), iar V este tensiunea exploatabilă a UC, măsurată în V (volți). Această ecuație evidențiază faptul că un nivel ridicat al tensiunii este de dorit pentru densități de energie importante (energia fiind proporțională cu pătratul tensiunii). În funcție de tehnologia de construcție a UC, o celulă de UC poate avea între 0.9 V și 3.3 V. Se deduce astfel faptul că pentru a obține tensiuni ridicate, mai multe UC trebuie inseriate. Înserierea UC duce în schimb la reducerea capacității echivalente, și implicit a energiei înmagazinate în pachetul de UC. În aceste condiții, o atenție sporită trebuie acordată.

Modelul echivalent al unui UC este prezentat în figura următoare:



Tensiunea la bornele UC, în faza de descărcare, poate fi exprimată

astfel: $V_t = V_C - iR_S$

Potențialul electric al UC poate fi scris ca: $\frac{dV_C}{dt} = -\left(\frac{i + i_L}{C}\right)$

Pe de altă parte curentul de scăpări poate fi exprimat ca: $i_L = \frac{V_C}{R_L}$

Astfel, se obține ecuație ce modelează un UC:

$$\frac{dV_C}{dt} = -\left(\frac{V_C}{CR_L} + \frac{i}{C}\right)$$

având soluția:

$$V_C = \left[V_{C0} - \int_0^t \frac{i}{C} e^{t'/CR_L} dt' \right] e^{-(t/CR_L)}$$

Pentru un ultracondensator se pot prezenta următoarele caracteristici:

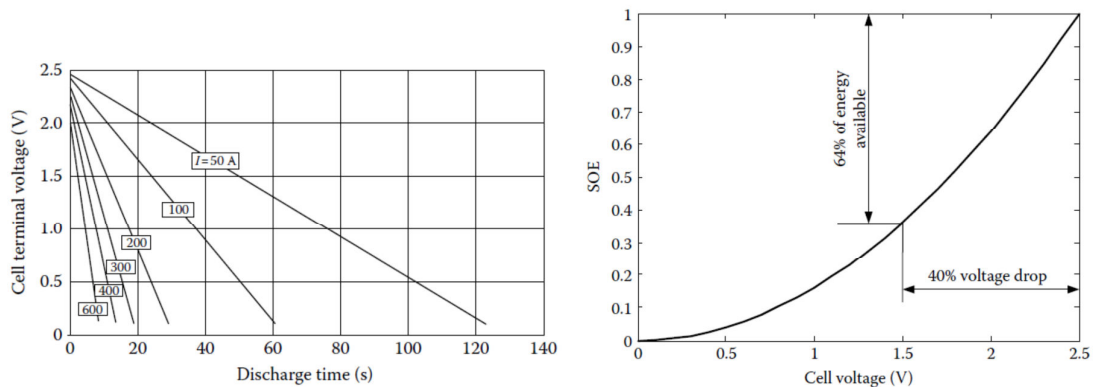


Figura 21 Caracteristică teoretică descărcare (stânga) și încărcare (dreapta) a unui UC.

Pornind de la acestea, randamentul UC în fazele de descărcare și încărcare sunt date prin expresiile:

$$\eta_d = \frac{V_t I_t}{V_C I_C} = \frac{(V_C - I_t R_S) I_t}{V_C (I_t + I_L)}$$

$$\eta_c = \frac{V_C I_C}{V_t I_t} = \frac{V_C (I_t - I_L)}{(V_C + I_t R_S) I_t}$$

sau, în formă simplificată (neglijând curentul de scăpări):



$$\eta_d = \frac{V_C - R_S I_t}{V_C} = \frac{V_t}{V_C}$$

$$\eta_c = \frac{V_C}{V_C + R_S I_t} = \frac{V_C}{V_t}$$

Energia înmagazinată în UC poate fi obținută de asemenea, pornind de la energia necesară încărcării acestuia la un anumit nivel de tensiune:

$$E_C = \int_0^t V_C I_C dt = \int_0^V C V_C dV_C = \frac{1}{2} C V_C^2$$

unde V_C este tensiunea unei celule de UC.

În general, la un UC este indicată nivelul tensiunii minime la care UC încetează să furnizeze energie, și este notată cu V_{Cb} . Reprezentarea grafică a zonei active de furnizare a energiei este prezentată în figura următoare:

Energia disponibilă a unui UC este dată de expresia:

$$E_u = \frac{1}{2} C (V_{CR}^2 - V_{Cb}^2)$$

unde V_{CR} este tensiunea nominală a celulei de UC.

Energia exploatabilă a UC poate fi exprimată în funcție de „starea de energie” (State Of Energy):

$$SOE = \frac{0.5 C V_C^2}{0.5 C V_{CR}^2} = \left(\frac{V_C}{V_{CR}} \right)^2$$

Variantele de UC nu sunt foarte numeroase. Practic cele produse de Maxwell sunt aproape exclusiv utilizate la nivel mondial. Alți producători, din Rusia sau China, nu au soluții industriale fiabile, cu stabilizatoare de tensiune, ei furnizând produse specifice, care nu pot fi ușor adaptabile.

Echipamentele folosite la teste preliminare de caracterizare a surselor reale sunt, vezi Fig.22 :

- Baterii pe bază de litium-polimer: celule de 60 Ah și 3,2 V/celulă.
- Ultracondensatoare Maxwell: 28 pachete (6 celule, cu 16,2 V și 58 F pe pachet).

Pentru realizarea unui demonstrator de sursa mixtă s-au parcurs următoarele etape:

- Pe baza regimului de funcționare a vehiculului electric s-au stabilit, consultând producătorii de echipamente de achiziționat și în baza cerințelor aplicației, dimensiunile și caracteristicile surselor de alimentare;
- Bateria de tip litium-polimer (având o mai bună stabilitate cu temperatura decât cele de tip litium-ion), a fost aleasă în baza dimensionării inițiale, astfel capacitatea bateriei este 60 Ah; s-au achiziționat mai multe celule, pentru a asigura o tensiune adecvată; pentru celulele achiziționate, furnizorul garantează 3000 cicluri de încărcare/descărcare;
- Pentru limitarea consumului de curent în regim de accelerare, care ar limita durata de exploatare a bateriei, se vor folosi ultracondensatoare; în urma consultărilor și a dimensiunilor impuse de aplicație, furnizorul a propus ca pachetul de ultracondensatoare (UC) de 48V, c.c., să fie compus din 4 pachete înseriate de UC, puse în paralel câte 7, fiecare pachet având următoarele caracteristici: 58 F, 16.2 V, c.c., acceptând curenți de 80 A; în sarcină, pachetul de UC poate asigura, pentru o durată de 10 s, o capacitate mare sau egală cu 85 % din capacitatea inițială;



- Monitorizarea și testarea bateriei și a UC s-a făcut folosind un model elaborat în Simulink, și apoi Control Desk, având la bază un sistem dSPACE1103.

În continuare se prezintă imagini ale demonstratorului folosit la testarea sursei de alimentare mixte; standul de încercări este dezvoltat în laboratorul de mașini electrice al UTCN.



Grup de 4 celule de baterii litium-polimer de 3.2 Vcc și 60 Ah pe celulă.



Grup de ultracondensatoare de 16.2 Vcc și 58 F pe celulă.

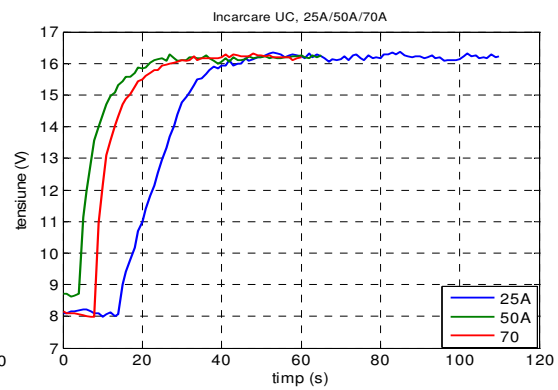
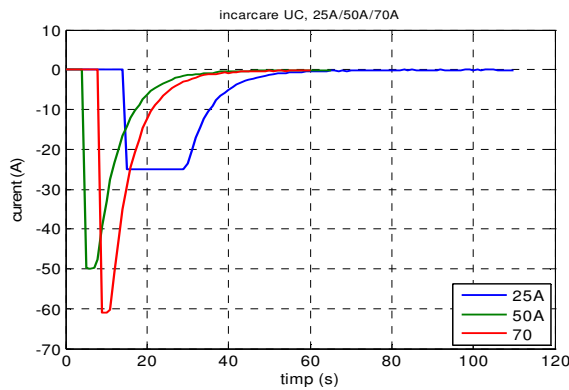
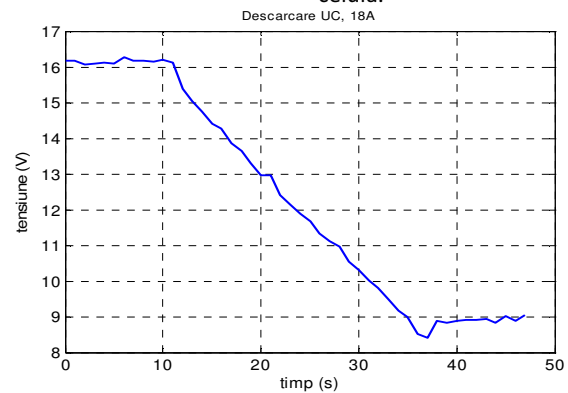
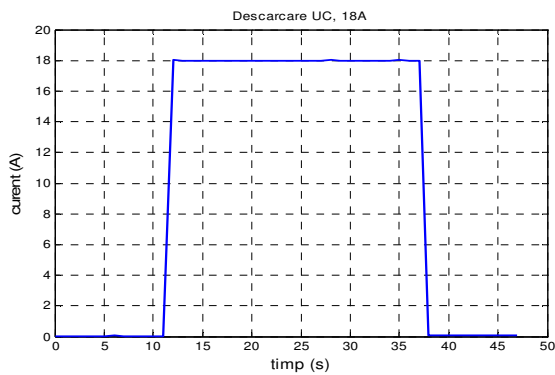


Figura 22 Bateria și UC folosite și rezultatele încărcărilor și descărcărilor ale (pentru caracterizare).

Rezultate preliminare ale simulării întregului ansamblu de subsisteme auxiliare și propulsie ale VEH sunt prezentate în Fig.23, unde se indică și nivelul randamentului întregului lanț de antrenare. Îmbunătățiri ale performanțelor energetice sunt așteptate după ameliorarea modelului și a modelării pierderilor de natură mecanică și electrică.

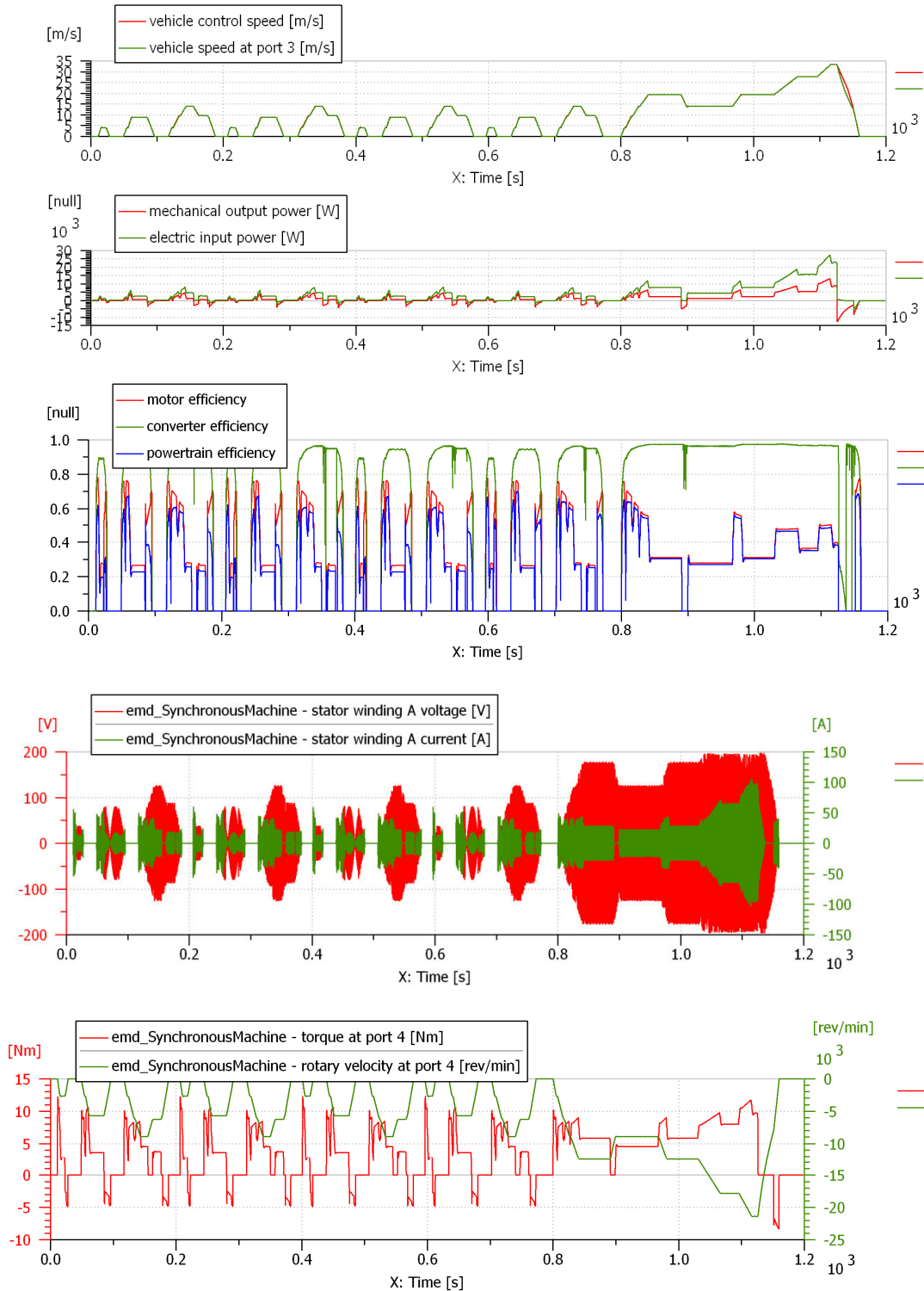


Figura 23 Rezultatele simulării propulsiei și auxiliarelor VEH.

6. Diseminare: vizite studiu, participări conferințe internaționale și publicare

În cadrul proiectului HiTECH-HEV a fost efectuată o vizită de studiu în vederea realizării optimizării controlului propulsiei și principalelor sisteme auxiliare acționate electric, folosind algoritmi evolutivi. Totodată, două din publicațiile acceptate spre publicare anul trecut au văzut lumina tiparului; este



vorba de un articol de revistă ISI și al doilea de revistă B+, publicată în țară. Au avut loc 5 deplasări și au fost publicate 6 articole de conferință internațională, 2 dintre acestea fiind în proces de recenzie pentru publicare în reviste de tip ISI.

Nr. crt.	Referință articol	Tip publicație	Status articol
1	D. Fodorean, "Study of a High Speed Motorization with Improved Performances dedicated for an Electric Vehicle", IEEE Transactions on Magnetics, vol.50, n°2, pp.921-924, Feby 2014, ISSN 0018-9464, paper no.7022804.	Revistă ISI	publicat
2	B-D. Vărățiceanu, P. Minciunescu, D. Fodorean, Mechanical design and analysis of a permanent magnet rotors used in high-speed synchronous motor, <i>Electrotehnica, Electronica, Automatica</i> , vol. 62 (2014), nr.1, pp.9-16, ISSN 1582-5175.	Revistă BDI	publicat
3	M. Ruba, V. Chindris, D. Fodorean, <i>Design and experimental validation of a low voltage high current SRM for light electric vehicles</i> , SPEEDAM 2014 - Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion - Ischia (Italy) - June 18-20 th , 2014, pp.118-123, ISBN: 978-1-4799-4750-8.	Conferință internațională (IEEE)	publicat
4	D.C. Popa, D. Fodorean, <i>Design and performances evaluation of a high speed induction motor used for the propulsion of an electric vehicle</i> , SPEEDAM 2014 - Ischia (Italy) - June 18-20 th , 2014, pp.88-93, ISBN: 978-1-4799-4750-8.	Conferință internațională (IEEE)	publicat
5	D. Fodorean, D.C. Popa, P. Minciunescu, C. Irimia, L. Szabó, <i>High-Speed Motorization for Electric Vehicle based on PMSM, IM and VRSM</i> , ICEM 2014, 2-5 September 2014, Berlin, Germany, pp.2565-2570, ISBN: 978-1-4799-4775-1.	Conferință internațională (IEEE)	publicat/trimis spre revistă ISI
6	D. Fodorean, M Sarrazin, Claudia Steluta Martis, J. Anthonis, H. Van der Auwerear, <i>Characterizing the Motorization of a Light Electric Vehicle through FEM and NVH Tests</i> , ICEM 2014, 2-5 September 2014, Berlin, Germany, pp.2398-2403, ISBN: 978-1-4799-4775-1.	Conferință internațională (IEEE)	publicat/trimis spre revistă ISI
7	V. Chindris, M. Ruba, D. Fodorean, <i>Design and testing of a low voltage high current drive for SRMs in light electric vehicles</i> , PEMC 2014, 21-24 September 2014, Antalya, Turkey, pp.137-142, ISBN: 978-1-4799-2062-4	Conferință internațională (IEEE)	publicat
8	P.C. Irimia, M. Grovu, C. Husar, D. Fodorean, <i>Control Analysis through Co-Simulation approach of a High-Speed Electrical Machine</i> , International Conference on Electrical and Power Engineering (EPE), 16-18 Oct., 2014, Iasi Romania, ISBN: 978-1-4799-5848-1.	Conferință internațională (IEEE)	publicat

Notă: autorii subliniați sunt membrii ai echipei de implementare a proiectului HiTECH-HEV.

III. Indicatorii de rezultat și proces în derularea proiectului HiTECH-HEV în anul 2014

Tip Indicatori	Denumire Indicator	UM/an
Indicatori de Proces	Mobilități internaționale	CO – 5 / P2 - 4
	Valoarea investițiilor în echipamente pentru proiecte	192 111,96 lei
	Numărul de întreprinderi participante	2
Indicatori de Rezultat	Propunere de brevet național	1
	Numărul de articole publicate/propuse spre publicare în fluxul științific principal internațional	8/2
	Prototipuri realizate	3
	Ponderea contribuției financiare private la proiecte	21,1% / 2014
	Valoarea contribuției financiare private la proiecte	155 880lei / 2014

Anexa I – Site WEB

Situl web actualizat se găsește la adresa: www.hitech-hev.utcluj.ro.