



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)

Siemens Industry Software (fostă LMS Romania SRL: partener –P2)



SIEMENS

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

Paul MINCIUNESCU (responsabil P1)

Cristi IRIMIA (responsabil P2)

Anexă la Raportul Final – 2016 Platforma Modulară HiL pentru studiul VEH

BILANȚUL REALIZĂRILOR ÎN PROIECTUL HITEC-HEV

Produse				Publicații		
Hardware	Software	Demonstrator	Altele	Brevet	Articole jurnal (ISI+BDI)	Articole conferință
12	3	9	2	1	3+3	21



Bilanțul rezultatelor Propuse și Realizate în proiect este prezentat în tabelul următor (subliniind faptul că aceste obiective au fost preluate din platforma EVOC a proiectului, precum și din planul de realizare al acestuia – de menționat că ultimele 5 rezultate au fost obținute suplimentar!):

Obiectiv/rezultat proiect HiTECH-HEV	Propus	Realizat
1.Realizarea unei platforme modulare de testare a motorizarii si diverselor subsisteme de actionare electrica din VEH, la frecvente ridicate de lucru.	✓	✓
2.Constructie prototipuri de motorizare cu racire fortata si frecvente de alimentare ridicate.	✓	✓
3.Dezvoltare de modele complete pentru principalele subsisteme VEH.	✓	✓
4.Dezvoltare algoritmi de optimizare noi pentru dimensionare si comanda subsistemelor din VEH experimental studiat.	✓	✓
5.Optimizare management energie al VEH experimental, pe platforma implementata.	✓	✓
6.Dezvoltarea unui pachet software pentru subsistemele si motorizarea VEH studiate.	✓	✓
7.Realizare platforma modulara completa pentru testarea VEH prin conceptul HiL.	✓	✓
8.Demonstrator Management Energie și Hibridizare Sursă (Ultracondensator + Baterie)	✓	✓
9.Demonstrator Implementare Concept HiL pentru VEH.	✓	✓
10.Publicații (conferință și jurnal) cu privire la studiul motorizării de mare viteză și auxiliarelor din VEH considerat (proiectare, optimizare, control).	✓	✓
11.Publicații (conferință și jurnal) cu privire la studiul managementului de energie din VEH considerat (strategii comandă, hibirdizare sursă).	✓	✓
12.Publicații (conferință și jurnal) cu privire la studiul software pentru modelarea susbsistemelor VEH considerat (co-simulare).	✓	✓
13.Publicații (conferință și jurnal) cu privire la evaluarea și validarea rezultatelor studiului aplicând conceptul HiL la un VEH.	✓	✓
Reductor magnetic.	-	✓
Brevet reductor magnetic în trepte.	-	✓
Convertor resolver-encoder de mare viteză și precizie	-	✓
Software pentru programare vizuală FPGA	-	✓
Încăpere pentru testare vibro-acustică a subsistemelor VEH.	-	✓



HiTECH-HEV

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

Reamintim faptul că scopul inițial al proiectului HiTECH-HEV a fost de a realiza o platformă modulară pentru testarea vehiculelor electrice hibride folosind conceptul Hardware-in-the-Loop. Structura acestei platforme precum și responsabilitățile partenerilor consorțiului HiTECH-HEV în dezvoltarea ei sunt prezentate în Fig.A1 – reamintim că acronimele semnifică: CO = Univ.Tehnică din Cluj-N., P1=ICPE, P2=SISW (fostă LMS).

Modularitatea la nivelul propulsiei rezultă din posibilitatea platformei HiTECH-HEV de a utiliza:

- fie antrenare directă, fără transmisie mecanică;
- fie motor-roată (pentru două roți motoare);
- fie propulsie de mare viteză (s-au studiat mai multe motorizări de până la 40000rot/min, dar s-a realizat un motor sincron cu magnet permanent de 26000rot/min, 22kW, la care s-a atașat un reductor magnetic.

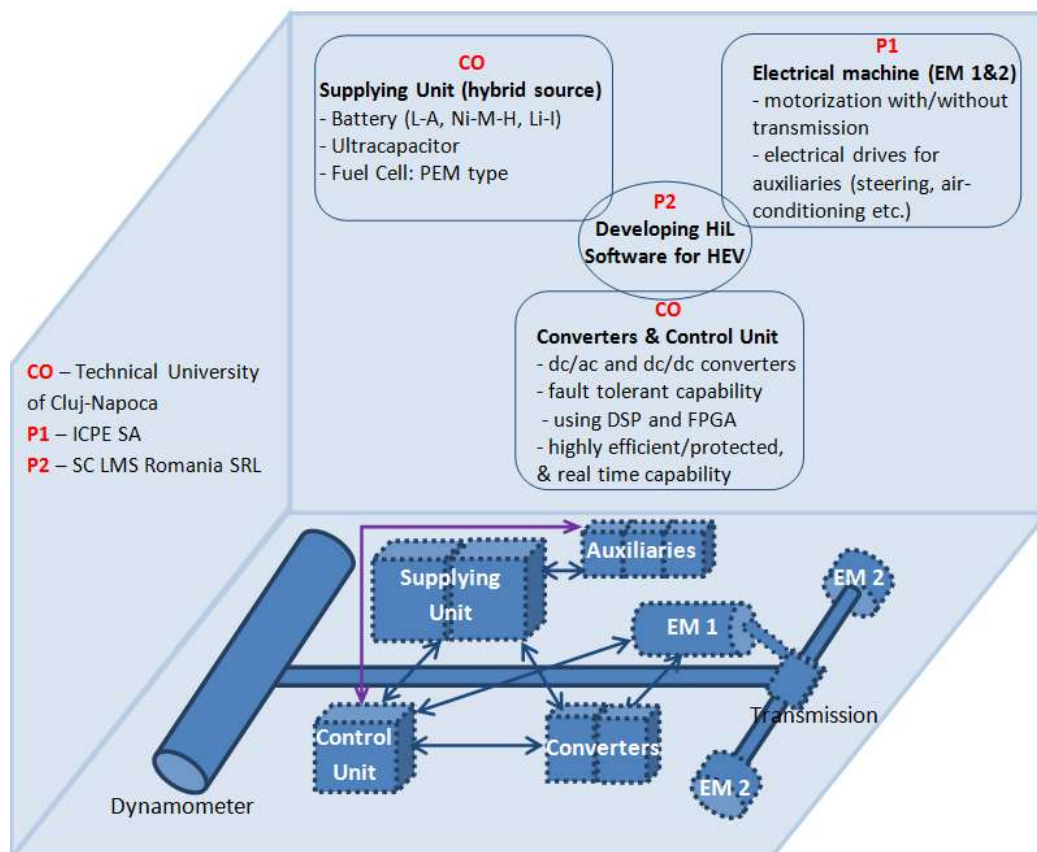


Fig. A1 – Platforma modulară de realizat, avută în obiectiv la începutul demarării proiectul HiTECH-HEV.

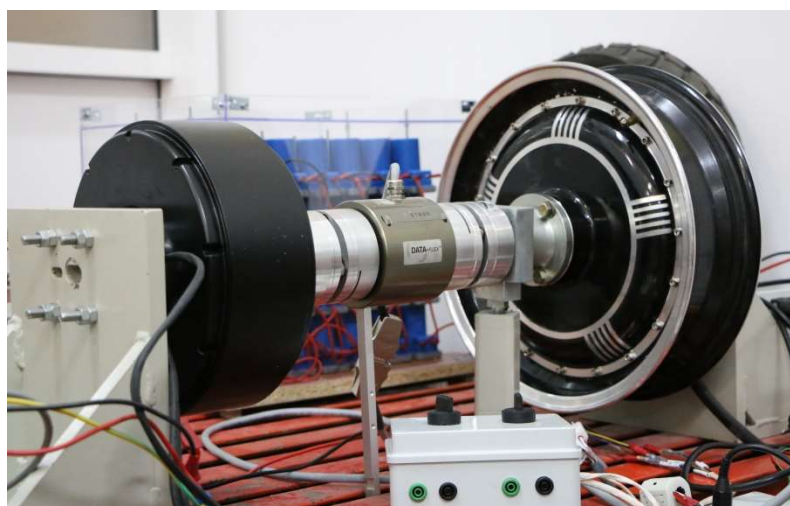


Fig.A2. Propulsie electrică: cu moto-reductor de mare viteză (stânga), cu/fără transmisie mecanică, sau motoare-roată (dreapta).



Principalii consumatori care au fost luați în discuție (și pentru care s-au construit demonstratoare) sunt:

- propulsia (de mare/mică viteză) cu reductor magnetic, cu /fără transmisie mecanic, sau cu motor-roată;
- sistemul de direcție (cu MSMP), de 12Vcc;
- sistemul de aer condiționat (compresor), de 12Vcc.
- sistemul de frânare asistată electric, 12Vcc.

Modularitate la nivelul convertizorului static:

- permite alimentarea oricărui tip de mașină electrică (c.c./c.a)
- pentru mașinile polifazate există opțiunea alimentării a nouă faze concomitent, sau câte trei faze în paralel (3x3);
- toleranța la defecte a convertizorului a fost verificată și validată (fiind de asemenea echipat și cu senzori termici și de curent pentru depistarea scurt-circuitului pe fiecare întrerupător).

În plus, datorită unității de comandă considerate (FPGA și dsPIC dedicat controlului de motor) se pot alimenta la frecvențe ridicate sisteme de conversie a energiei (s-a testat până la 62kHz frecvență de comutație, 30A pe întrerupător).

S-au elaborat și o serie de circuite electronice de condiționare/procesare semnal, printre care:

- unitate ADC de înaltă frecvență pe 10 canale;
- unitate de detecție a poziției de semnal provenită de la resolver și prelucrarea semnalului pe 10 biți pentru o precizie superioară a unghiului/vitezei rotorice;

O realizare importantă a proiectului HiTECH-HEV o reprezintă **managementul de energie din sistem folosind una sau două surse diferite, baterie și ultracondensator**. S-a realizat:

- o sursă de stocare a energiei de 22kWh, 380Vcc, folosind celule de tip LiFePO4, fiecare celulă fiind echipată cu câte un circuit electronic de echilibrare, iar o unitate BMS monitorizează starea de încărcare din celule și determină echilibrarea corespunzătoare a tensiunii din celule;
- s-a realizat o sursă de energie hibridă, pe bază de același tip de baterie și ultracondensatoare (sau supercondensatoare) de tip Maxwell, pentru propulsia în roată a VEH.

S-au elaborat o serie de modele analitice și numerice pentru:

- proiectarea și optimizare mașinilor folosite la propulsia și auxiliarele VEH (în principal trei tipuri: sincrone cu magneți permanenți, de inducție și sincrone reactive);
- proiectarea convertizoarelor statice folosite la alimentare (variatoare de tensiune, continuă, redresoare și invertoare);
- **modelele optime de control și gestiune a energiei, atât la nivelul consumatorului cât și la nivelul transferului de putere de la baterie sau ultracondensator (în vederea maximizării factorului de putere și al randamentului VEH);**

- **librării și bibliotecii de componente și tehnici de comandă (scalară-sensorless, vectorială cu orientare după câmp și control direct de cuplu, cu sau fără senzori mecanici, cu regulator PI(D) și anti-windup, MPT pentru managementul de energie etc.).**

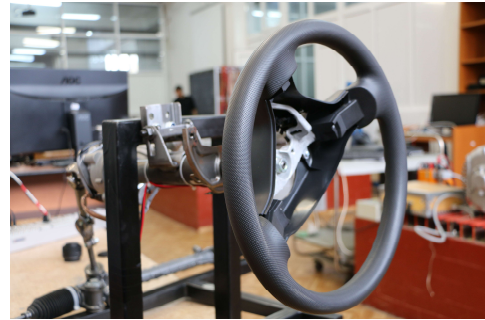


Fig.A3 Sistem direcție asistată electric.

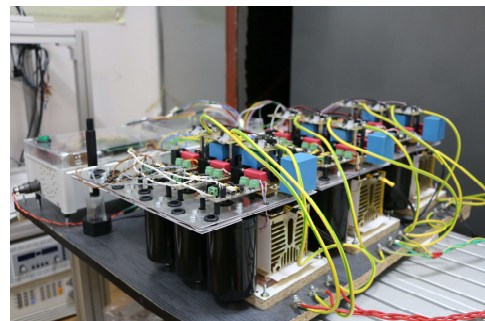


Fig.A4 Convertizor static modular 3x3.

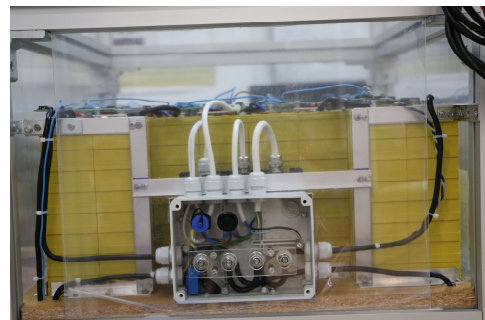


Fig.A5 Bateria principală de 22kWh.



Fig.A6 Sursă hibridă: baterie-ultracondensatori.



Fig.A7 Electronică detecție/afișare poziție rotor.



HITECH-HEV

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

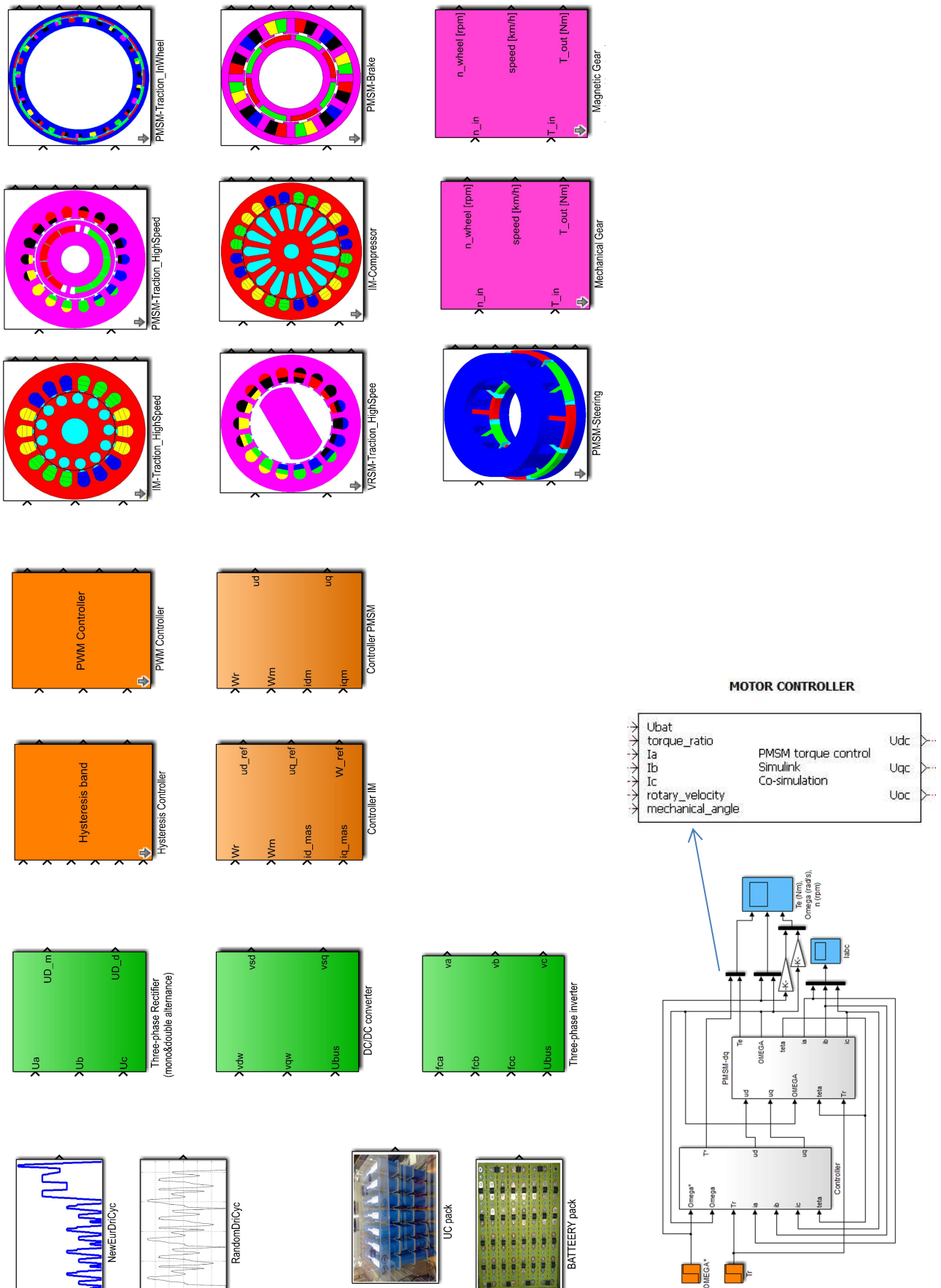


Fig.A8. Biblioteca de modele elaborate în Simulink în proiectul HITECH-HEV pentru testare modulară a VEH.



- s-a elaborat și o aplicație de simulare sistemică, folosind principiul co-simulării (cuplând software Simulink și LMS Imagine.Lab), în vederea evaluării managementului energetic al VEH folosind conceptul HiL.
- s-a realizat și o interfață software originală pentru programarea FPGA-urilor, parametrizarea semnalelor de comandă PWM de frecvență ridicată și comunicarea cu unitățile de resolver, monitorizarea termică și a curenților și afișarea semnalelor de comandă, poziție și turație pe ecran display.

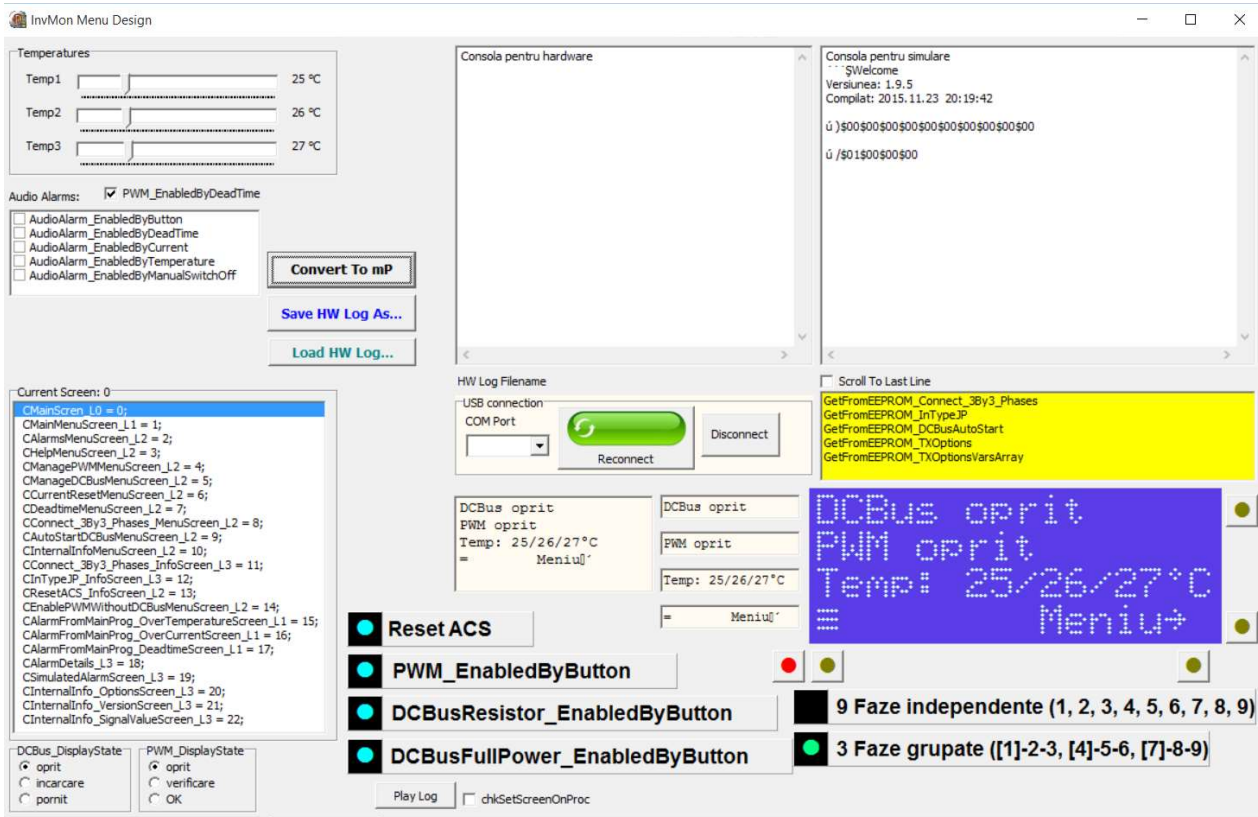
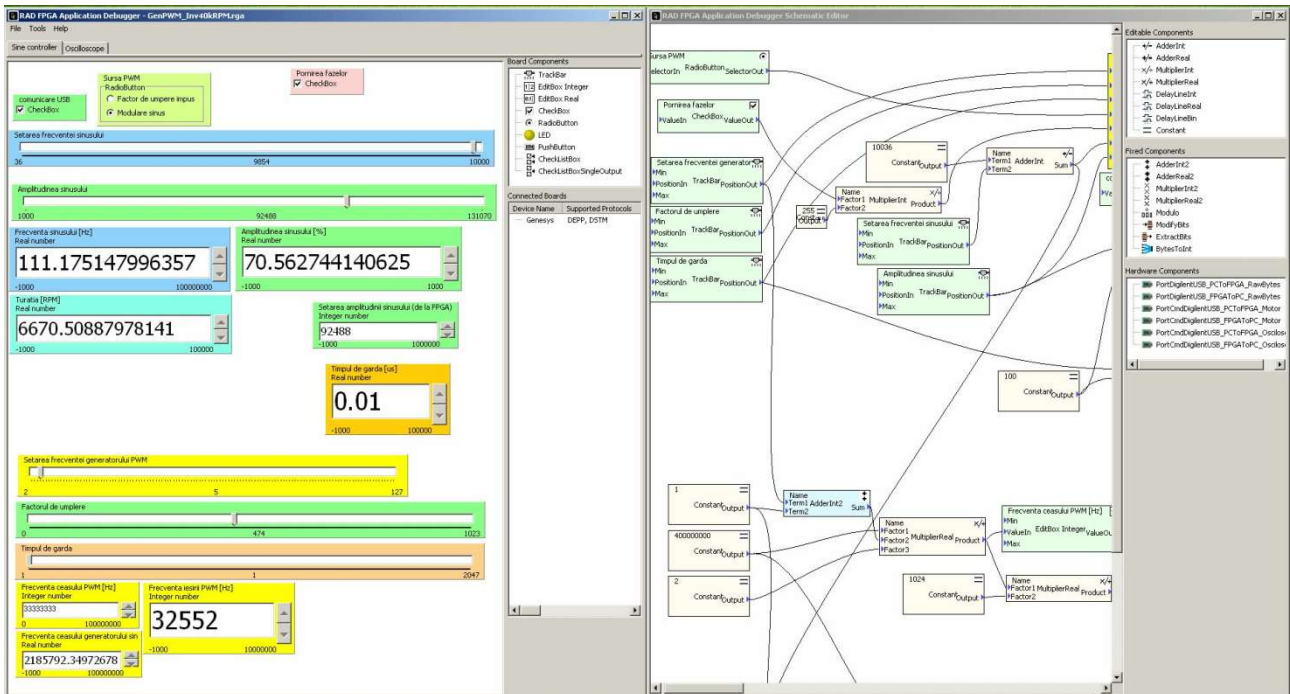


Fig.A9. Interfața software de programare (folosind blocuri specifice care conțin modelele elaborate) și de parametrizare a FPGA.

S-a pus la punct și o încăpere pentru testarea la mare viteză a motorizării electrice, dar și pentru testarea (adecvată) vibro-acustică a sistemelor electromecanice.



HiTECH-HEV

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

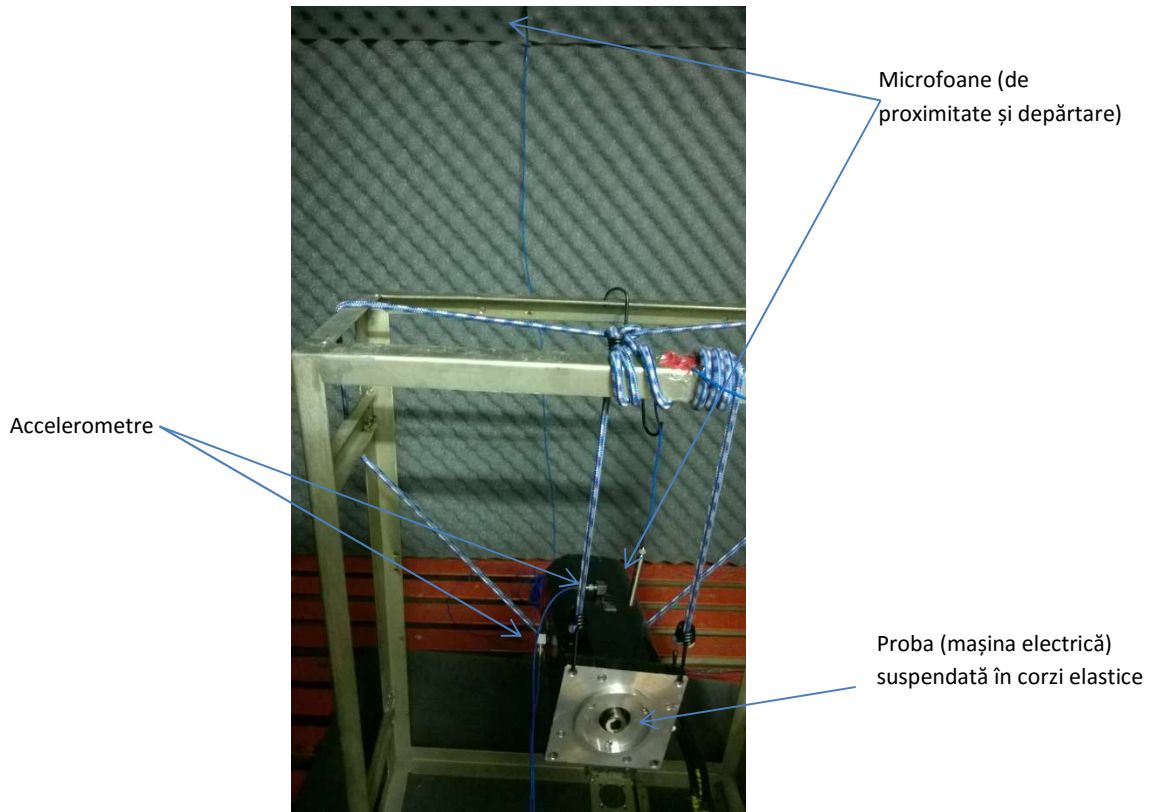
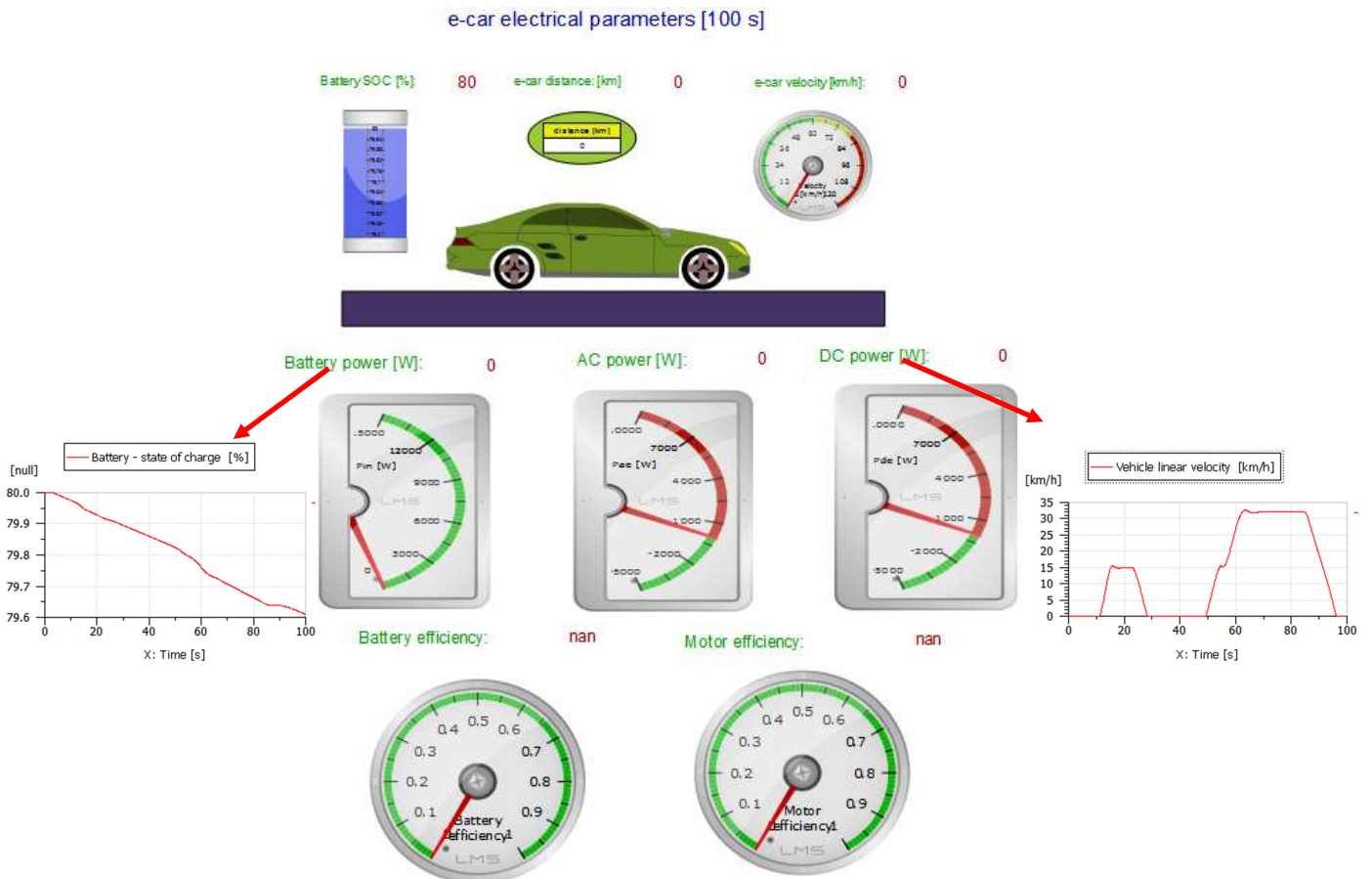


Fig.A10. Stand experimental pentru testarea vibro-acustică a sistemelor de antrenare electrică.

S-a realizat un bilanț energetic complet, inclusiv prin evaluarea transferului termic în sistemul vehiculului.





HiTECH-HEV

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

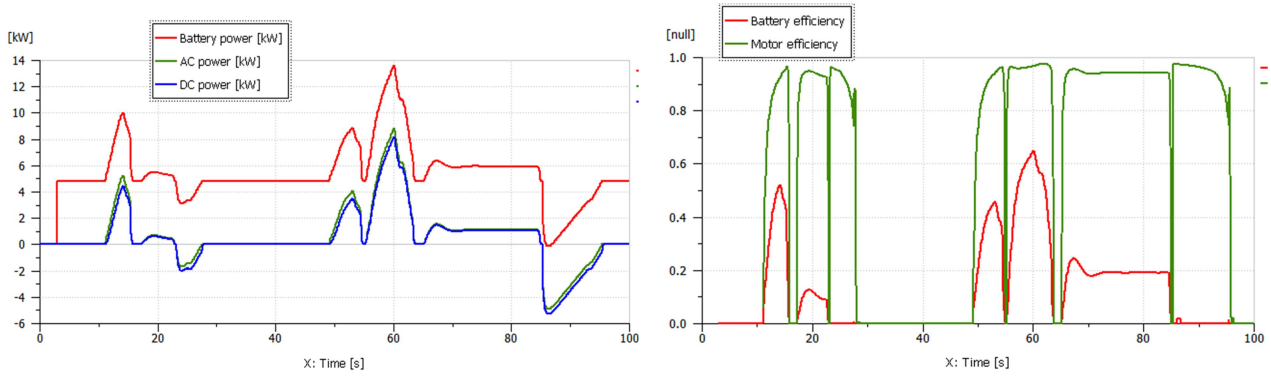


Fig.A11: Bilanț energetic vehicul studiat.

e-car thermal parameters [100 s]

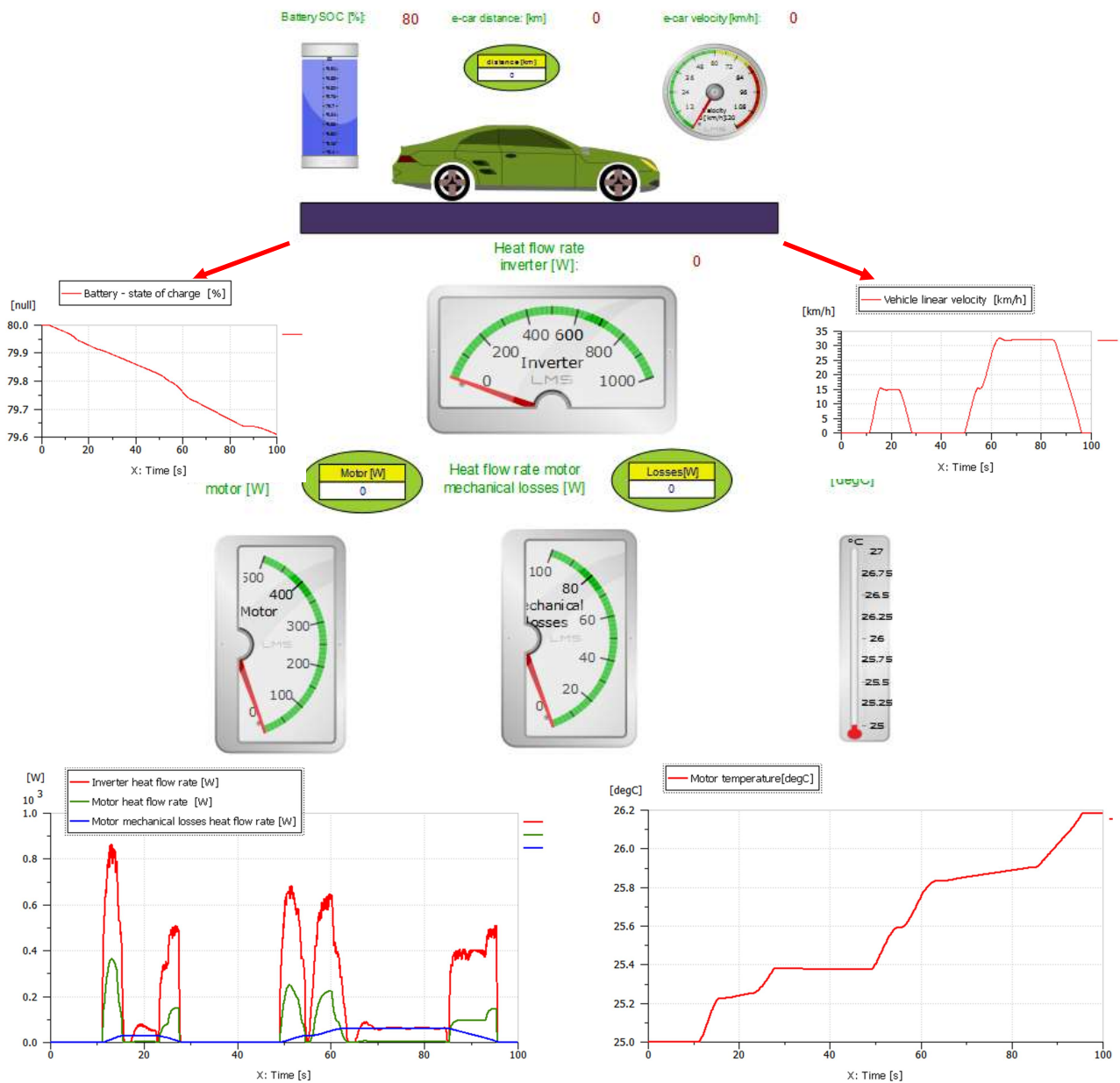


Fig.A12 Bilanț termic vehicul studiat.



HiTECH-HEV

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

Platforma modulară obținută în proiect este prezentată în Fig.A13 (de aici lipsesc subsistemele de compresor și frână, prezentate în etapa a doua a proiectului). În acest moment această platformă modulară permite explorarea proiectării și testării unei game largi de motoare-convertoare electrice, utilizate atât pentru propulsia cât și pentru antrenarea echipamentelor auxiliare ale automobilelor electrice sau hibride, testarea diverselor tehnologii de surse de alimentare pentru vehicule hibrid-electrice (hibridizarea sursei electrice de alimentare) și stabilirea bilanțului energetic la transferul energiei între diverse componente ale vehiculului electric-hibrid considerat.



Fig. A2 – Platforma modulară realizată în proiectul HiTECH-HEV.



CONCLUZIILE CERCETĂRII ÎN PROIECTUL HiTECH-HEV

1. Toate obiectivele proiectului HiTECH-HEV au fost îndeplinite în procent de 100%.
2. Proiectul HiTECH-HEV a propus cadrul avantajos pentru începerea/consolidarea unei colaborări științifice cu parteneri industriali de la noi din țară. Cu unul dintre aceștia s-a depus o altă cerere de finanțare, un proiect de tip Bridge, demarat anul acesta (Bridge38).
3. Ar fi mai multe realizări particulare/unice ale proiectului HiTECH-HEV, dar dintre acestea, cel mai reprezentativ, prin unicitate la nivel internațional dar și ca produs ce poate fi aplicat în diverse industrii, ar fi Reductorul Magnetic cu Transmisie în Trepte, existând un brevet național pe această structură (D. Fodorean, "Reductor magnetic cu raport de transmisie în trepte", A/00869/17.11.2014.).
4. S-au publicat 3 articole în reviste ISI (din zona roșie și galbenă) și 3 articole de revistă BDI (SCOPUS).
5. Din punct de vedere tehnic, avantajul propulsie de mare viteză este clar: **motorul (18kg) cu reductorul magnetic (33kg) cântăresc în total 51kg, spre deosebire de soluția clasică, fără transmisie și la același nivel de putere care cântărește 256kg; chiar și un servomotor special conceput pentru propulsie electrică cântărește 130kg la care trebuie adăugat reductorul mecanic pentru transferul cuplului/vitezei la roată (soluțiile actuale de propulsie electrică aproximativ 200kg)!**

Nr. crt.	Referințe publicație	Tip	Stare
Brevet			
1	<u>D. Fodorean</u> , Magnetic gear with transmission ratio in steps (Original Title in Romanian: "Reductor magnetic cu raport de transmisie în trepte"), A/00869/17.11.2014.	National patent	aprobat
Articole Jurnal			
1	<u>D. Fodorean</u> , M. Sarrazin, <u>Claudia Steluța Martis</u> , J. Anthonis & H. Van der Auweraer, Electromagnetic and Structural Analysis for a Surface Mounted PMSM used for Light-EV , propus pentru IEEE Transactions on Industry Appl., vol.52, n.4, pp.2892-2899, Jul-Aug.2016, ISSN 0093-9994.	ISI (Thomson Reuters)	publicat
2	<u>D. Fodorean</u> , 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.	ISI (Thomson Reuters)	publicat
3	<u>D.C. Popa</u> , D-D.Micu, Olivia-Ramona Miron, and <u>L. Szabó</u> , Optimized Design of a Novel Modular Tubular Transverse Flux Reluctance Machine , IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, VOL. 49, NO. 11, pp.5533-5542, NOV.2013.	ISI (Thomson Reuters)	publicat
4	<u>D.C. Popa</u> , <u>B. Vărățiceanu</u> , <u>Daniel Fodorean</u> , P. Minciunescu, <u>Claudia Martis</u> , High Speed Induction Motor used in an Electric Vehicle , <i>Electrotehnica, Electronica, Automatica(2016)</i> , vol.64, nr.3, pp.5-11, ISSN:1582-5175.	BDI (Scopus)	publicat
5	<u>L. Szabo</u> , <u>M. Ruba</u> , <u>D. Fodorean</u> , P. Rafajdus, P. Dubravka, P., Torque smoothing of a fault tolerant segmental stator switched reluctance motor , <i>Komunikacie</i> , vol.17, n.1A, 2015, pp.95-101, ISSN 1335-4205.	IDB (Scopus)	publicat
6	<u>B-D. Vărățiceanu</u> , P. Minciunescu, <u>D. Fodorean</u> , 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.	IDB (Scopus)	publicat
Articole Conferință			
1	<u>M. Ruba</u> , <u>D. Fodorean</u> , Motor-drive solution for light electric vehicles based on a switched reluctance machine , IEEE AQTR'16 Conference, Cluj-Napoca, Romania, 19-22 May, 2016, paper 97, ISBN 978-1-4673-8691-3.	internațională (IEEE)	publicat
2	<u>D. Fodorean</u> , Călin Husar, <u>Cristi Irimia</u> , Noise and Vibration Behavior Evaluation of DC Motor and PMSM in Electric Traction Application , IEEE SPEEDAM, Capri-Italy, June'16, pp.1186-1191, ISBN978-1-5090-4181-7	internațională (IEEE)	publicat



3	L.Szabo, D. Fodorean, Alexandra Vasilache, Bearing Fault Detection of Electrical Machines Used in Automotive Applications , IEEE ICEM 2016, Lausanne, Switzerland, 2016, pp. 2186-2192, ISBN 978-1-5090-2537-4.	internațională (IEEE)	publicat
4	D.C. Popa, D. Fodorean, Electrical Machines Solutions for Air Conditioning System in Automotive Industry , IEEE EPE 2016, Iasi, Romania, 20-22 Oct.2016, paperr 1788, pp.1-6, ISBN978-1-5090-6128-0.	internațională (IEEE)	publicat
5	D. Fodorean, L. Idoumghar, Hybrid Optimization Design of a High-Speed Permanent Magnet Machine Used for EV Traction , IEEE EPE 2016, Iasi, Romania, 20-22 Oct.2016, paper 1707, pp.1-6, ISBN 978-1-5090-6128-0.	internațională (IEEE)	publicat
6	M. Ruba, D. Fodorean, Development of a Complete Motor-Drive Solution for Light EV Based on a SRM , IEEE EPE 2016, Iasi, Romania, 20-22 Oct.2016, paper 1514, pp.1-8, ISBN 978-1-5090-6128-0.	internațională (IEEE)	publicat
7	Gyorgy Tamas, Karoly.A. Biro, Co-Evolutionary Optimization Design of a ThreePhase Induction Machine with External Rotor , IEEE ICEM 2016, Lausanne, Switzerland, 2016, pp. 1396-1400, ISBN 978-1-5090-2537-4.	internațională (IEEE)	publicat
8	S. Breban, F. Maes, F. Boutoille, D. Fodorean, Experimental analysis of a hybrid energy source used in vehicular applications , CNAE 2016, Cluj-Napoca, 13-14 October, 2016, Sectiunea Actionari Electrice pp.1-4.	națională	publicat
9	M. Ruba, D. Fodorean, Investigation of Switched Reluctance Machine for EV Propulsion Unit with Torque Smoothing Strategy , Progress In Electromagnetics Research Symposium, Prague, Czech Republic, 06-09 July, 2015.	internațională (IEEE)	publicat
10	F. Jurca, D. Fodorean, Steady-state Analysis of Permanent Magnet Synchronous Machine for Integrated Starter-alternator Applications , Progress In Electromagnetics Research Symposium, Prague, Czech Republic, 06-09 July, 2015.	internațională (IEEE)	publicat
11	D. Fodorean, C. Irimia, P. Minciunescu, Performances Evaluation of a Magnetic Gear with High Transmission Ratio Used for High Speed Applications , Progress In Electromagnetics Research Symposium, Prague, Czech Republic, 06-09 July, 2015.	internațională (IEEE)	publicat
12	D. Fodorean, A. Popp, O. Birte, C. Martis, M. Sarrazin, H. van der Auweraer, Noise and vibration behavior and analysis conditions of a 45kW induction motor , IEEEIC, Rome, Italy, 10-13 June, 2015, pp. 2147-2152, ISBN: 978-1-4799-7992-9.	internațională (IEEE)	publicat
13	C. Irimia, C. Husar, M. Grovu, D. Fodorean, Overall performances of a high-speed propulsion system through simulation approach , Side, Turkey, 2-5 September 2015, pp. 482-487, DOI10.1109/OPTIM.2015.7427019.	internațională (IEEE)	publicat
14	D. Fodorean, L. Idoumghar, Improved performances of a PMSM with reduced torque ripples, optimized based on hybrid algorithm, dedicated for light EV , VPPC-2015, Montreal, Canada, 19-22 October 2015, pp.1-6, 10.1109/VPPC.2015.7352965.	internațională (IEEE)	publicat
15	P.C. Irimia, M. Grovu, C. Husar, D. Fodorean, Control Analysis through Co-Simulation approach of a High-Speed Electrical Machine , International Conference on Electrical and Power Engineering (EPE), 16-18 Oct., 2014, Iasi Romania, ISBN: 978-1-4799-5848-1.	internațională (IEEE)	publicat
16	V. Chindris, M. Ruba, D. Fodorean, Design and testing of a low voltage high current drive for SRMs in light electric vehicles , PEMC 2014, 21-24 September 2014, Antalya, Turkey, pp.137-142, ISBN: 978-1-4799-2062-4	internațională (IEEE)	publicat
17	D. Fodorean, M Sarrazin, Claudia Steluta Martis, J. Anthonis, H. Van der Auweraer, Characterizing the Motorization of a Light Electric Vehicle through FEM and NVH Tests , ICEM 2014, 2-5 September 2014, Berlin, Germany, pp.2398-2403, ISBN: 978-1-4799-4775-1.	internațională (IEEE)	publicat
18	M. Ruba, V. Chindris, D. Fodorean, Design and experimental validation of a low voltage high current SRM for light electric vehicles , 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.	internațională (IEEE)	publicat
19	D.C. Popa, D. Fodorean, Design and performances evaluation of a high speed induction motor used for the propulsion of an electric vehicle , SPEEDAM 2014 - Ischia (Italy) - June 18-20 th , 2014, pp.88-93, ISBN: 978-1-4799-4750-8.	internațională (IEEE)	publicat
20	D. Fodorean, Study of a High Speed Motorization with Improved Performances dedicated for an Electric Vehicle , 19th Conference on the Computation of Electromagnetic Fields, Budapest, Hungary, June 30 – July 4, 2013, PA6-22.	internațională (IEEE)	prezentat
21	D.C. Popa, D. Fodorean, Analysis of a High Speed Induction Machine used for the Propulsion of an Electric Vehicle , 19th Conference on the Computation of Electromagnetic Fields, Budapest, Hungary, June 30 – July 4, 2013, PA6-12.	internațională (IEEE)	prezentat