

ELIMPUS

Efficient LIghtweight Electro-
Magnetic PropUlsion System for
Electric Vehicles

Titlu Proiect: Sistem de Propulsie Electromagnetică Lejer si Eficient Energetic pentru Vehicule Electrice (in engleză: Efficient LIghtweight Electro-Magnetic PropUlsion System for Electric Vehicles)

Număr contract: TE 30/2015

Adresă web-site: www.elimpus.utcluj.ro

Organism implementare: Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca

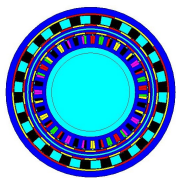


Echipă proiect: Daniel FODOREAN (director)
Dan Cristian POPA (cercetător)
Petre Dorel TEODOSESCU (cercetător)
Claudia Violeta POP (doctorand)
Aron Attila POPP (doctorand)
Tamas GYORGY (doctorand)

Raport de activitate (Arhitectură sistem propulsie electromagnetice, 2015)

CUPRINS

I.	Rezumatul Etapei	2
1.	Obiectivul și Activitățile primei etape de implementare a proiectului ELIMPUS	2
2.	Rezumatul realizărilor semnificative în primele luni de implementare a proiectului ELIMPUS	2
II.	Implementarea activităților de cercetare în proiectul ELIMPUS	2
1.	Studiul stadiului actual al reductoarelor magnetice.....	2
2.	Studiu arhitecturi propulsie electromagnetice și structuri de comandă/monitorizare.....	5
3.	Referințe Bibliografice: selecție	8
III.	Rezumat rezultate/realizări	8
	Anexa I – Site WEB	9



I. Rezumatul Etapei

1. Obiectivul și Activitățile primei etape de implementare a proiectului ELIMPUS

ETAPA I Obiectiv : Studiul soluțiilor cu propulsie electromagnetică (configurații, materiale, estimare performanțe).

Activitatea I.1 Studiul stadiului actual al reductoarelor magnetice.

Activitatea I.2 Studiu de arhitecturi pentru propulsie electromagnetică și structuri de comandă/monitorizare.

2. Rezumatul realizărilor semnificative în primele luni de implementare a proiectului ELIMPUS (perioada Octombrie-Decembrie 2015)

Scopul principal al primului trimestru de implementare a proiectului ELIMPUS a fost de elabora un studiu detaliat asupra soluțiilor existente de reductoare magnetice, găsite în literatura de specialitate doar la nivel de concept, cât și dintre cele realizate practic. Pornind de la acestea, echipa de implementare a proiectului a urmărit să evalueze soluțiile de propulsie pur electromagnetică, inclusiv posibilitățile de modificare a raportului de transmisie și găsirea de soluții optimale din punctul de vedere al densității de putere. Cu siguranță această evaluare a soluțiilor existente și a posibilităților de modificare a raportului de transmisie va continua, acoperind cel puțin primele 12 luni de derulare a proiectului. Totodată, pornind de la structurile existente de reductoare magnetice, s-au stabilit și principalele arhitecturi care pot fi abordate în perspectiva implementării în realitate a propulsiei electromagnetice.

Studiul teoretic a fost acompaniat de studiu numeric, folosind puterea de calcul a PC-ului, prin și folosind analiza prin metoda elementelor finite care permit o evaluarea precisă a comportamentului electromagnetic al reductoarelor magnetice (RM) aflate în studiu.

Nu în ultimul rând, în baza studiului efectuat până în prezent, s-a început redactarea unui articol de conferință internațională, fiind vizate conferințele SPEEDAM2016 și ICEM2016.

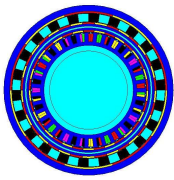
Având în vedere că perioada de derulare a primei etape de studiu este destul de redusă, printre achizițiile semnificative ale proiectului se poate nota doar achiziționarea unei platforme de control și monitorizare pe baza de FPGA, produsă de compania dSPACE și numită MicroLabBox.

II. Implementarea activităților de cercetare în proiectul ELIMPUS

1. Studiul stadiului actual al reductoarelor magnetice

Încă din faza propunerii de proiect s-a subliniat importanța exploatării mașinilor electrice la turații ridicate [1]-[4]. Acest lucru este justificat prin îmbunătățirea densității de putere a propulsiei, care afectează decisiv autonomia vehiculului electric (VE). Mai mult, acest avantaj este și mai evident atunci când transmisia este intermediată de reductoare magnetice (RM). Pe lângă lipsa contactului mecanic la nivelul dinților (care presupune încălzire și pierderi prin frecări mecanice) și a lubrifierii, aceste RM permite obținerea de rapoarte de transmisie ridicată, fără sa fie necesară cascada mai multor unități, ca și în cazul reductoarelor mecanice.

Printre soluțiile de RM existente, majoritatea sunt cu raport fix de transmisie [5]-[8]. Cele cu raport variabil sunt de tip planetar, deci tot o cascadare de elemente de transmisie, [9]-[10], la care



avantajul densității de putere este diminuat. Pentru evaluarea performanțelor soluțiilor existente, s-au considerat soluțiile propuse de Atalah [5] și Rasmussen [8].

Secțiunea trasversală a structurilor studiate până în prezent sunt arătate în Fig.1.

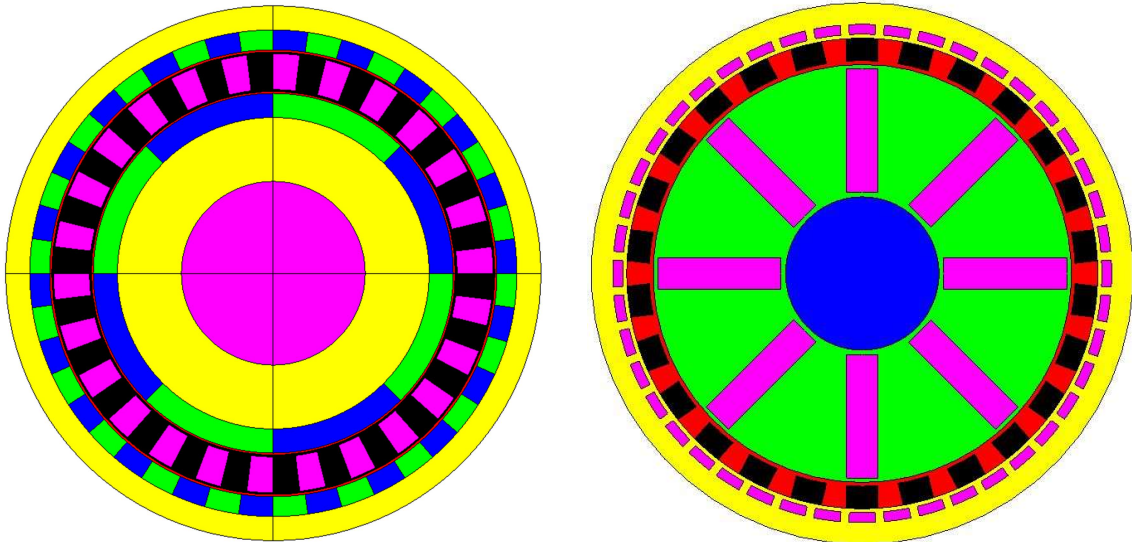
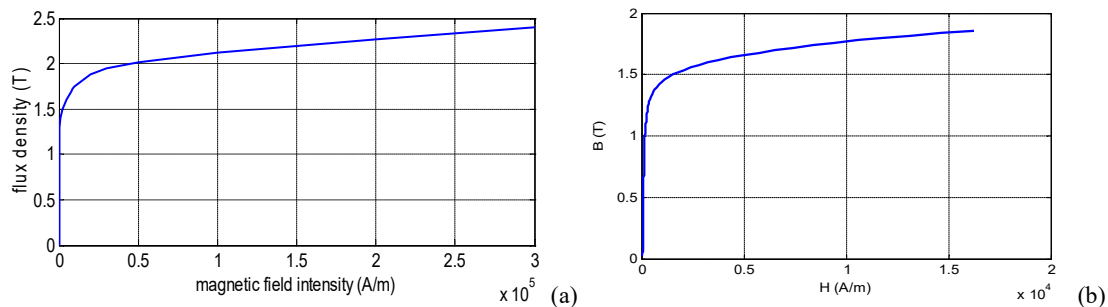


Fig.1 Structuri de RM studiate și propuse în literatură științifică: Atalah (stânga) și Rasmussen dreapta.

Pentru evaluare, s-a simulat o structură similară cu cea propusă de Atalah, pentru care s-au folosit 3 tipuri de materiale pentru excitație, Nd-Fe-B, Alnico și Ferite, și 3 tipuri de oțel feromagnetic, M400, M330 și Vacoflux48 [11]. Pentru o imagine asupra caracteristicilor magnetice ale oțelurilor feromagnetice se prezintă Fig.2.

Pentru studiul performanțelor RM, în funcție de tipurile de materiale, s-a folosit analiza numerică prin metoda elementelor finite (FEM), utilizând software-ul Flux2D. Simulările au fost realizate în regim tranzitoriu, la turație constantă, atât pentru rotorul de viteză ridicată, cât și pentru cel de viteză redusă. Performanțele RM echipat cu magneți permanenți din pământuri rare, Nd-Fe-B și oțel M400-50A, sau excitat cu Ferite și același oțel feromagnetic, sunt prezentate în Fig.3, respectiv Fig.4. Aici sunt arătate nivelurile de cuplu, putere și pierderi fier în părțile statice sau aflate în mișcare ale RM considerat.



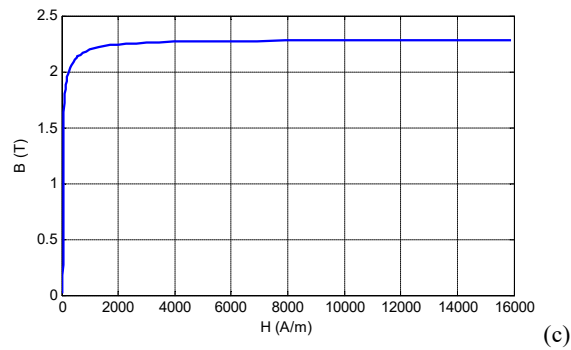
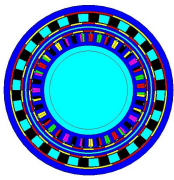


Fig.2 Caracteristici magnetice pentru oțelurile de considerat: a) M400-50A; b) M335-35A; c) Vacoflux48.

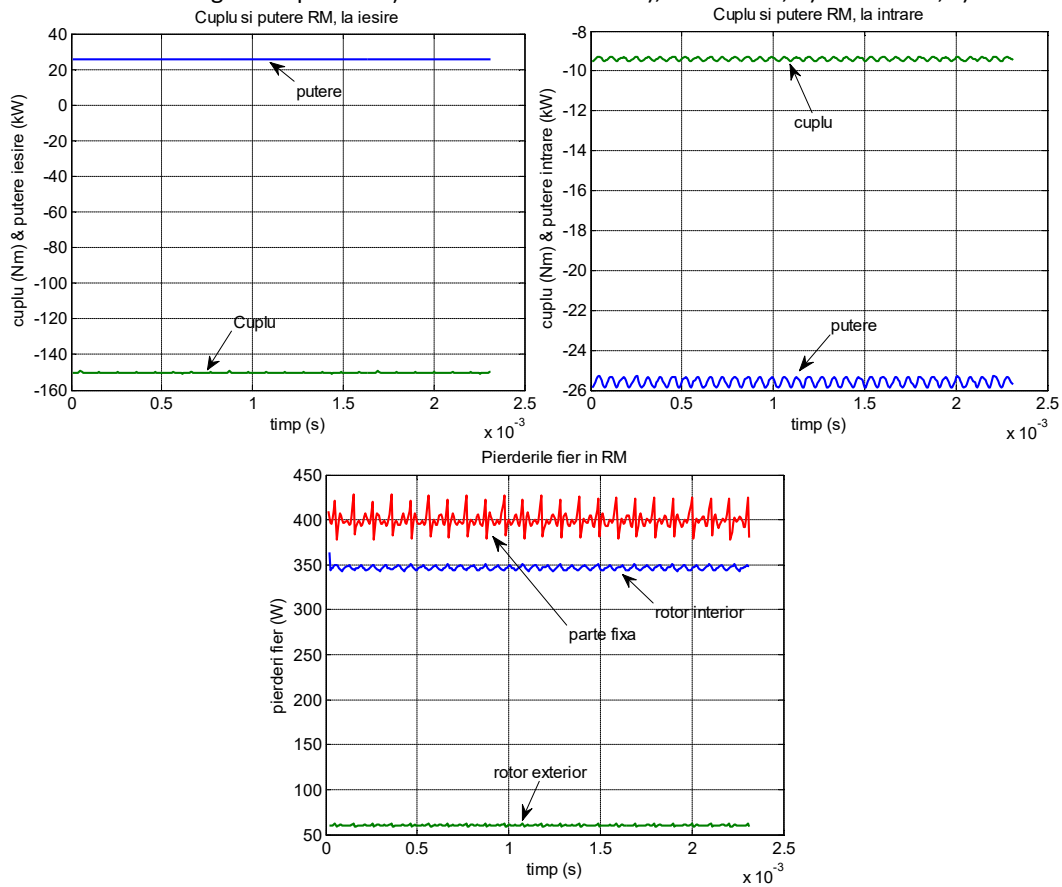
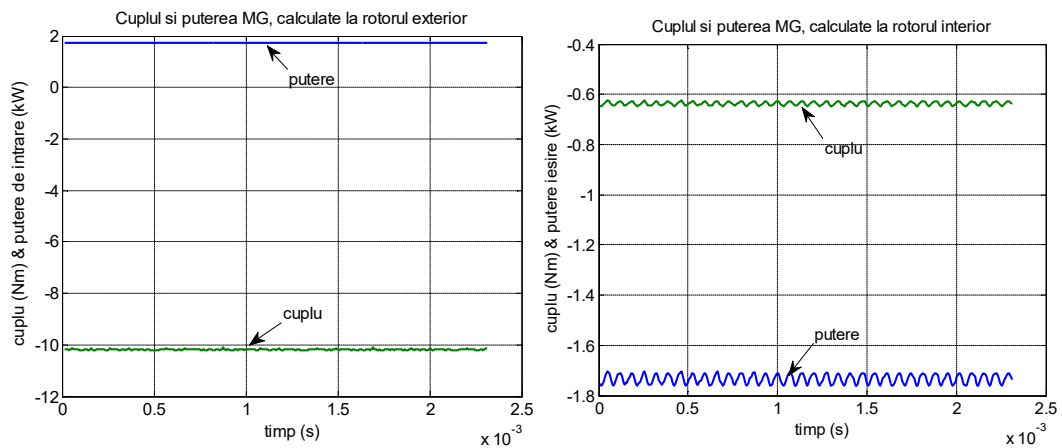


Fig.3 Performanțe pentru RM cu MP din Nd-Fe-B și oțel M400-50A.



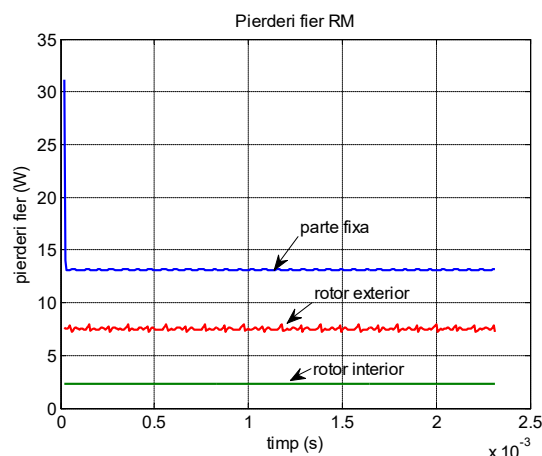
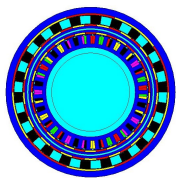


Fig.4 Performanțe pentru RM cu MP din Ferite și oțel M400-50A.

În Tabelul 1 sunt prezentate proprietățile de material pentru oțelul ferromagnetic și magneții permanenți. Comparații ale performanțelor RM în cazul folosirii a diferite materiale sunt prezentate în Tabelul 2.

Tabel 1 - Proprietățile materialelor folosite la confecționarea RM

Proprietăți	Magnet Permanent			Oțel Ferromagnetic		
	Nd-Fe-B	Alnico	Ferrite	M400 (0.5mm)	M335 (0.35mm)	Vacoflux48 (0.2mm)
Inducție remanentă	1.35 T	1.27 T	0.45 T			
Permeabilitate relativă	1.05	1	16	~4000	~4000	~4000
Intensitate câmp coercitiv	-930 kA/m	-51.5 kA/m	-300 kA/m	50 kA/m	5 kA/m	1.9 kA/m
Inducție de saturație				2 T	1.6 T	2.25 T

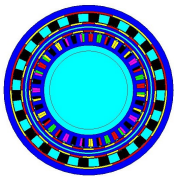
Tabel 2- Performanțele în cuplu, la turație constantă, în funcție de materialele folosite

Material	Cplu intrare (Nm)	Cuplu ieșire (Nm)	Ripluri cuplu intrare (%)	Ripluri cuplu ieșire (%)	Pierderi fier totale (W)
Nd-Fe-B + M400	9.34	150.3	2.14	0.79	806.9
Alnico + M400	0.82	13.14	1.82	0.68	51.9
Ferrite + M400	0.637	10.18	3.3	0.98	22.9
Nd-Fe-B + M335	9.34	150.3	2.35	0.86	870
Nd-Fe-B + Vacoflux48	9.34	150.3	1.68	0.84	396.6

S-a constata că pentru variantele cu Ferite sau Alnico, performanțele nu sunt satisfăcătoare. Probabil că o altă structură (cu concentrare de flux sau matrice Halback) ar fi mai potrivită în acest caz. Această posibilitate va fi studiată ulterior, ținând cont de investiția redusă pe care o oferă utilizarea Feritelor.

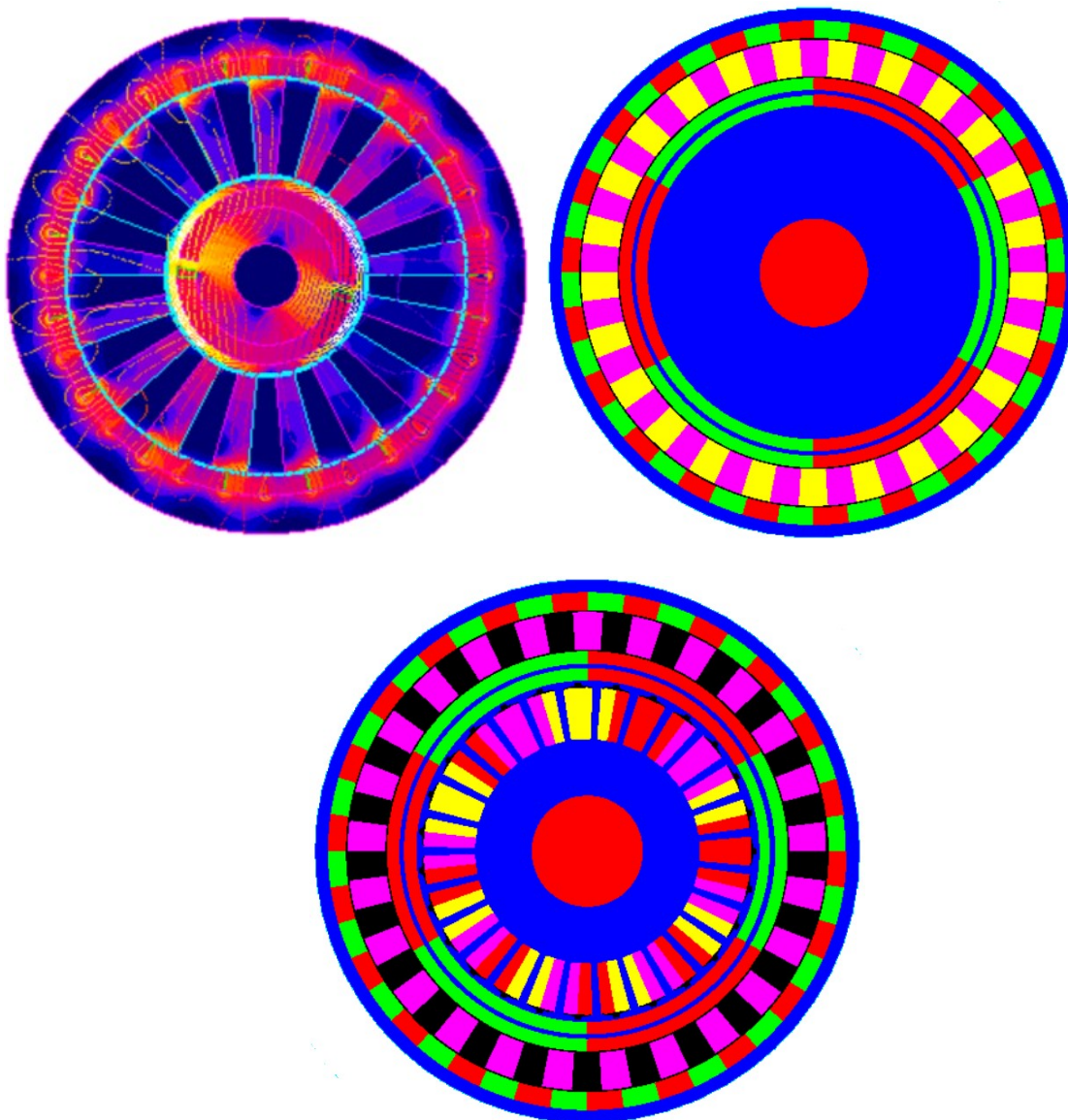
2. Studiu arhitecturi propulsie electromagnetice și structuri de comandă/monitorizare

Pornind de la analiza soluțiilor existente, și a performanțelor acestora, echipa de implementare a proiectului ELIMPUS a propus mai multe variante de RM, în diverse configurații, cu parte statică la



exterior sau interior, cu magneți îngropați sau în mai multe straturi, și cu stator interior (numit RM cu raport de transmisie cvasi-variabil – practic modificarea raportului transmisiei este natural în acest caz, deoarece viteza rotorului de mare viteză este controlată de statorul interior), care poate fi numit și motor-roată cu reductor integrat. Această ultimă variantă poate fi interesantă în contextul studiului nostru, deoarece se elimină o mare parte din elementele pasive (nemagnetice) folosite pentru transmisie. Secțiunea transversală și parțial rezultatele numerice (linii de câmp și inducții în părțile active) Structurile studiate până acum sunt prezentate în Fig.5.

Distribuția cuplului, pentru cazul unei analize magnetostatice, pentru cazul în care se modifică, în trepte, raportul de transmisiei al RM propus spre brevetare [12] sunt prezentate în Fig.6. Aici se poate observa că, deși cuplul interior este cu ripluri semnificative (rotorul de mare viteză având doar 2 poli magnetici), la ieșire aceste ripluri nu se regăsesc, fiind puternic atenuate de configurația corespunzătoare de poli statorici (partea fixă a RM) și poli magnetici ai rotorului exterior (de mică viteză) a RM.



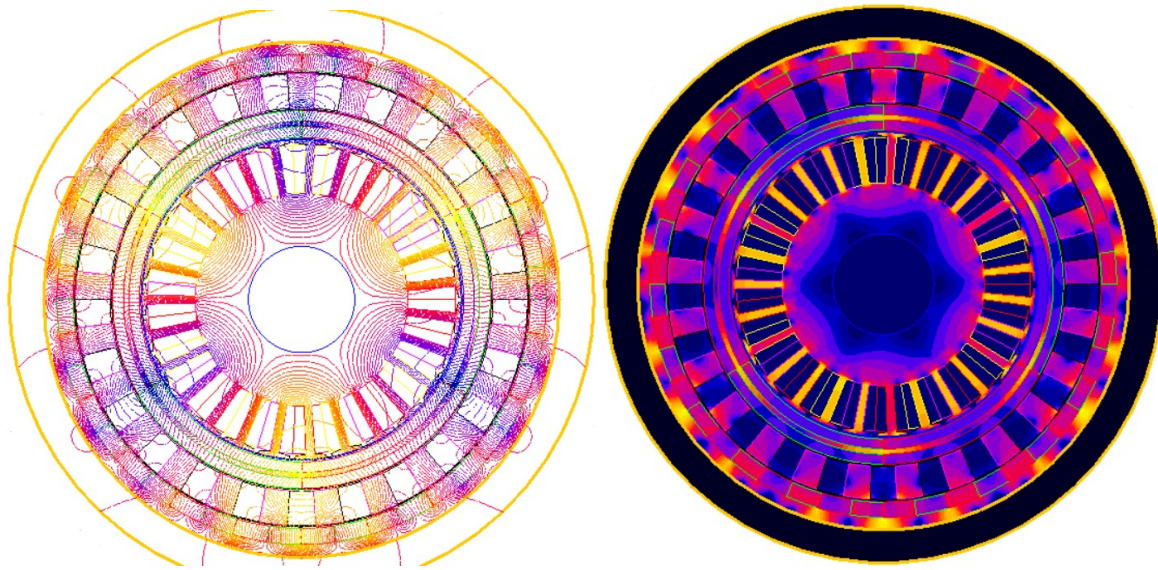
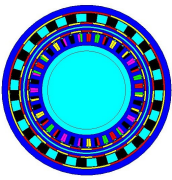
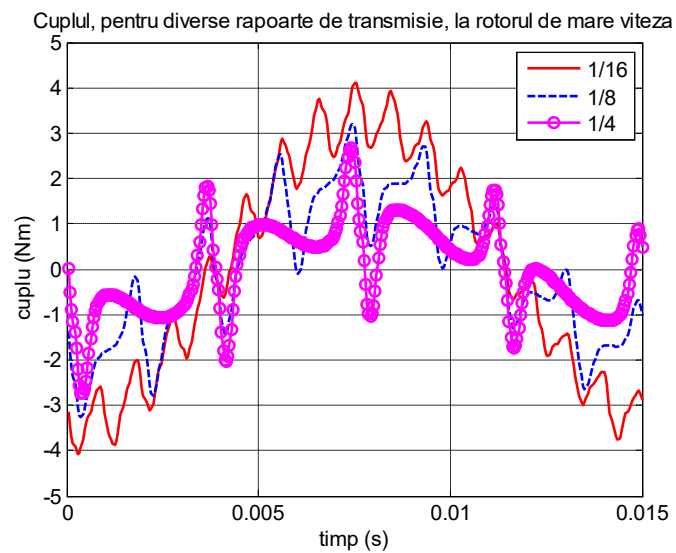
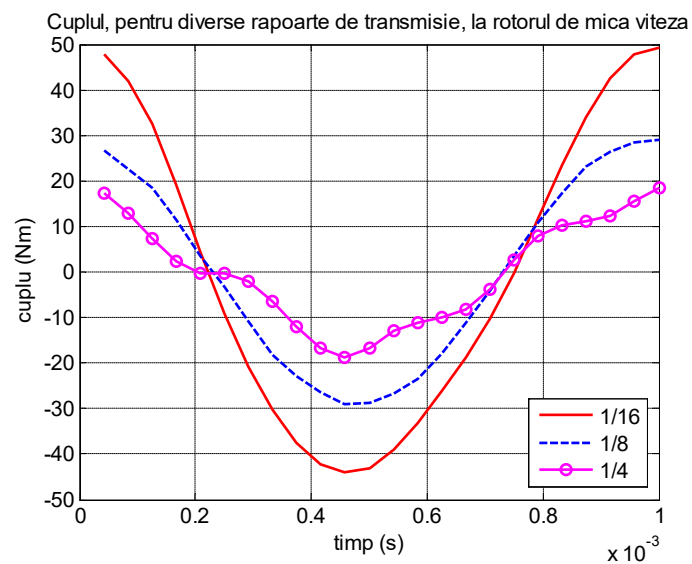


Fig.5 Soluții propuse și studiate de RM, cu raport de transmisie fix și cvasi-variabil.



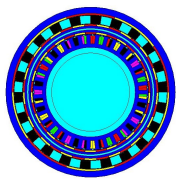


Fig.6. Performanțe în cuplu ale RM cu raport de transmisie variabil – rezultate ținute pe un RM propus spre brevetare.

Fiind vorba de o structură de motor-roată, cu stator de mașină sincronă cu MP, comanda ce se pretează a fi realizată este de tip vectorial cu undă sinusoidală, sau în curenți trapezoidali (mai multe despre acest subiect în etapele următoare ale proiectului).

(Ca și unitate de control, achiziții și monitorizare performanțe se va folosi sistemul dSPACE achiziționat din proiect, MicroLabBox, urmând ca inverterul corespunzător să se studieze/construiască într-o etapă ulterioară.)

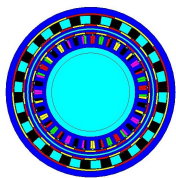
Din rezultatul prezentat anterior se constată viabilitatea RM cu transmisie în trepte, lucru ce ne motivează pentru studierea problemei, optimizarea ei și construirea unui prototip de RM cu transmisie variabilă (prevăzut pentru cel de-al doilea an de implementare a proiectului ELIMPUS).

3. Referințe Bibliografice: selecție

- [1] James R Hendershot tutorial at ICEM conference, Berlin, 2-5 September, 2014: Electric Machine Design Strategies to Achieve IE2, IE3 & HEM (IE4) Efficiencies.
- [2] F. Luise, et al, "Design and Technology Solutions for High-Efficiency High-Speed Motors", ICEM 2012, Marseille, France, Sep.2012, pp.157-163.
- [3] A. Tenconi, S. Vaschetto and A. Vigliani, "Electrical Machines for High-Speed Applications: Design Considerations and Tradeoffs", IEEE Trans.on Ind.El, vol.61, no.6, pp.3022-3029, 2014.
- [4] D. Gerada, A. Mebarki, N.L. Brown, K.J. Bradley, C. Gerada, "Design Aspects of High-Speed High-Power-Density Laminated-Rotor Induction Machines", IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol.58, no.9 pp.4039-4047, September 2011.
- [5] K. Atallah, and D. Howe, "A novel high-performance magnetic gear", IEEE Transactions on Magnetics, vol.37, n.4, pp.2844-2845, Jul.2001.
- [6] D. Fodorean, "Study of a High Speed Motorization with Improved Performances dedicated for an Electric Vehicle", IEEE Trans. on Magnetics, vol.50, n°2, Feb.2014, paper no.7022804.
- [7] M. Aubertin, A. Tounzi, and Y. Le Mach, "Study of an electromagnetic gearbox involving two permanent magnet synchronous machine using 3-D-FEM", IEEE Transactions on Magnetics, vol.44, n.11, pp.4381-4384, Nov.2008.
- [8] P.O. Rasmussen, T.O. Andersen, F.T. Jørgensen, and Orla Nielsen, "Development of a High-Performance Magnetic Gear", IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL. 41, NO. 3, MAY/JUNE 2005.
- [9] M. Fukuoka, K. Nakamura, and O. Ichinokura, "Dynamic analysis of planetary type magnetic gear based on reluctance network analysis", IEEE Transactions on Magnetics, vol.47, n.10, pp.2414-2417, Oct.2011.
- [10] E. Gouda, S. Mezani, L. Baghli, and A. Rezzoug, "Comparative study between mechanical and magnetic planetary gears", IEEE Transactions on Magnetics, vol.47, n.2, pp.439-450, Feb.2011.
- [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, pp.627-631.
- [12] D. Fodorean, "Reductor magnetic cu raport de transmisie în trepte", A/00869/17.11.2014.

III. Rezumat rezultate/realizări

Indicatorii de rezultat și de proces nu pot fi detaliați în acest moment, având în vedere că proiectul tocmai a demarat (începând cu data de 1 Octombrie). Se specifică doar că în vederea realizării lor practice ale proiectului s-a achiziționat un sistem MicroLabBox de la dSPACE, în valoare de 60772lei (din bugetul total de 89999lei pe anul 2015, iar 15% din acest buget fiind considerate pentru regia



ELIMPUS

Efficient Lightweight Electro-
Magnetic Propulsion System for
Electric Vehicles

universității) și că se dorește pregătirea unui articol ce urmează a fi propus pentru conferința SPEEDAM2016 și un altul pentru conferința ICEM2016.

Anexa I – Site WEB

Situl web actualizat se găsește la adresa: www.elimpus.utcluj.ro.