

ELIMPUS

Efficient Lightweight Electro-
Magnetic Propulsion System for
Electric Vehicles

Titlu Proiect: Sistem de Propulsie Electromagnetică Lejer și Eficient Energetic pentru Vehicule Electrice (în engleză: Efficient Lightweight Electro-Magnetic Propulsion System for Electric Vehicles)

Număr contract: TE 30/2015

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

Organism implementare: Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca



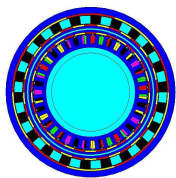
Echipă proiect: Daniel FODOREAN (director)
Dan Cristian POPA (cercetător)
Petre Dorel TEODOSESCU (cercetător)
Claudia Violeta POP (doctorand)
Aron Attila POPP (doctorand)
Tamas GYORGY (doctorand)

Raport de activitate 2016

Proiectare-Modelare Sistem Propulsie Electro-magnetică

CUPRINS

I.	Rezumatul Etapei	2
1.	Obiectivul și Pachetele de Lucru din a 2-a etapă de implementare a proiectului ELIMPUS.....	2
2.	Preambul al cercetării pe anul 2016 implementate în proiectul ELIMPUS.....	2
II.	Implementarea activităților de cercetare în proiectul ELIMPUS	2
1.	Continuarea studiului privind stadiul actual al cercetării reductorilor magnetice	2
2.	Soluții de transmisie magnetică în trepte propuse în proiectul ELIMPUS.....	5
3.	Proiectare a moto-reductorului magnetic cu două trepte de transmisie	8
3.1	Proiectarea motor-reductorului magnetic folosind rețea de reluctanțe magnetice	8
3.2	Proiectarea motor-reductorului magnetic folosind ecuațiile lui Maxwell	9
4.	Simularea motor-reductorului magnetic cu două trepte de transmisie	11
4.1	Simularea electromagnetică a motor-reductorului magnetic	11
4.2	Simularea structurală a motor-reductorului magnetic.....	13
4.3	Simularea controlului motor-reductorului magnetic.....	13
4.4	Optimizarea motor-reductorului magnetic	15
III.	Rezumat rezultate/realizări	16
	Anexa I – Site WEB.....	17



I. Rezumatul Etapei

1. Obiectivul și Pachetele de Lucru din a 2-a etapă de implementare a proiectului ELIMPUS

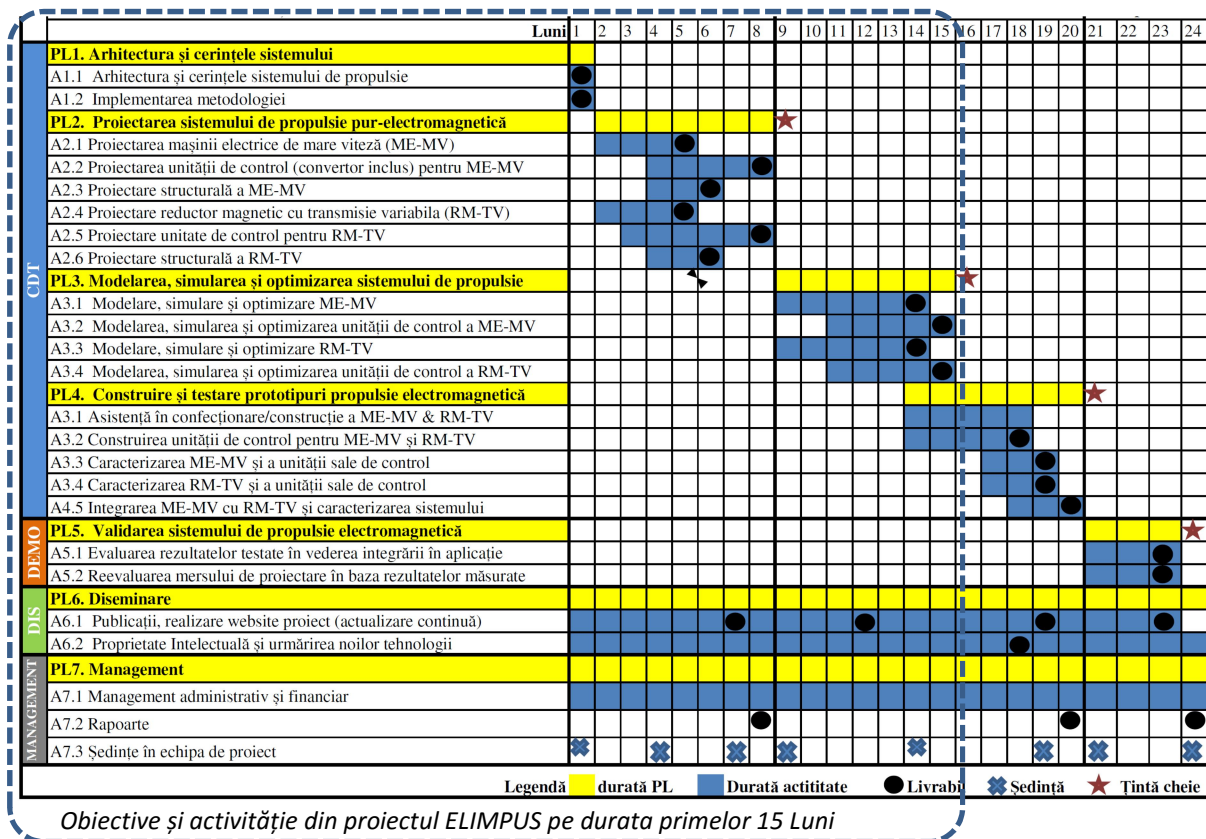
ETAPA a 2-a: Proiectarea și modelarea sistemului de propulsie electromagnetă

Pachet de lucru II : Proiectarea sistemului de propulsie pur-electromagnetă

Pachet de lucru III : Modelarea, simularea și optimizarea sistemului de propulsie pur-electromagnetă

2. Preambul al cercetării pe anul 2016 implementate în proiectul ELIMPUS

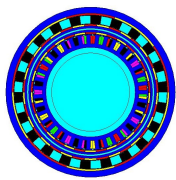
Activitatea de cercetare în anul 2016 s-a derulat între lunile a 4-a și a 15 de implementare a proiectului ELIMPUS, corespunzător pachetelor de lucru PL2 și PL3, pachetul PL4 fiind demarat doar inițiat (motiv pentru care construcția unui prototip de motor-reductor magnetic în trepte este în fază incipientă, fără ca pe dispozitivul construit să fi fost executate teste preliminare). Pentru evaluarea stadiului implementării cercetării se va readeuce în dicuție diagrama Gantt a proiectului propus inițial:



II. Implementarea activităților de cercetare în proiectul ELIMPUS

1. Continuarea studiului privind stadiul actual al cercetării reductoarelor magnetice

În cazul utilizării magneților permanenți, reductoarele mecanice nu mai reprezintă un oponent la fel de puternic și sunt, din ce în ce mai puțin folosite, în comparație cu reductoarele



magnetice. Comparativ cu reductoarele mecanice, cele magnetice prezintă câteva avantaje majore și anume:

- nu este necesară lubrifierea.
- nu există încălzire locală, deci nici pierderi suplimentare prin frecări.
- nu există risc de rupere al elementelor care mediază transferul de putere.
- zgomot acustic și vibrații reduse.
- nu este necesară cascada pentru a obține un raport de transmisie ridicat.

1.1 Reductoare magnetice clasice, cu flux radial

Reductorul magnetic coaxial, Fig.1a, utilizează modelul de câmp magnetic modulant, pentru a realiza transmiterea cuplului și pentru a obține valori similare de cuplu. De altfel, multe tipuri de reductoare magnetice au la baza principiul câmpului magnetic modulant. În Fig.1b. a fost adoptată o magnetizare tangențială a magneților permanenți, pentru a evidenția valorile concentrării de flux și robust din punct de vedere mecanic. Pentru a reduce costurile utilizării magneților permanenți, s-a dezvoltat un model cu o concentrare a magneților în partea interioară a rotorului exterior, ca în Fig.1c. Modelul cu reductor magnetic cu dispunerea magneților după sistemul Halbach, Fig.1d, este utilizat pentru a reduce riplurile de cuplu.

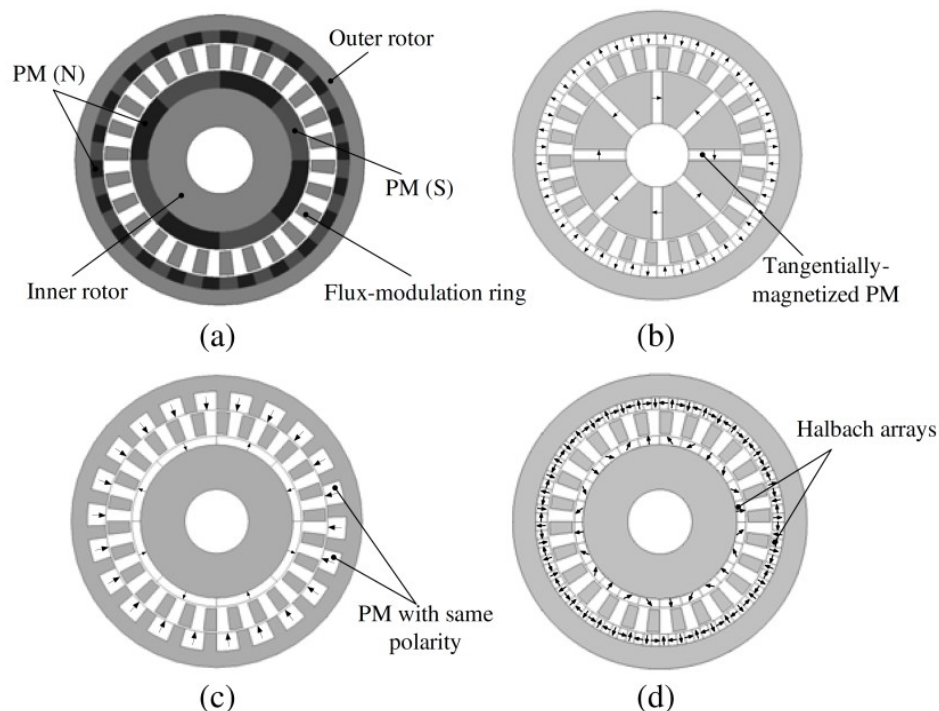


Fig.1. Tipuri de reductoare magnetice [M. Chen, K.T. Chau, C.H.T. Lee, and C. Liu, "Design and analysis of a new axial-field magnetic variable gear using pole-changing permanent magnets", Progress in Electromagnetics Research, Vol. 153, 2015, pp.23-32]

În literatură, magneții permanenți au fost amintiți prima dată în 1920, așa cum se poate observa în Fig.2. Pe lângă ferite, AlNiCo, SmCo și NdFeB alcătuiesc cele 4 mari categorii de magneți permanenți. În prezent, NdFeB și SmCo sunt cele mai utilizate, datorită energiei mari pe care o produc, câmp remanent și coercitiv mari. Din nefericire, pe lângă faptul că aceste materiale sunt foarte costisitoare, resursele actuale nu pot să acopere necesarul solicitat în industrie. Tabelul din Fig.3 prezintă sumar proprietățile magnetice ale celor mai uzuale categorii de material magneti.

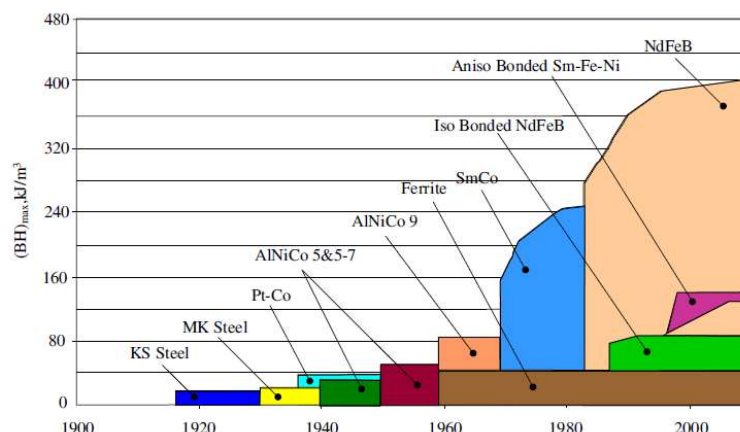
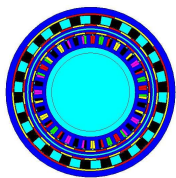


Fig.2. Dezvoltarea magneților permanenți *

PM	B_r (T)	H_c (kA/m)	BH_{max} (kJ/m ³)	T_c (°C)
NdFeB	1.0–1.4	750–2000	200–400	310–400
SmCo	0.8–1.2	600–2000	150–240	720
AlNiCo	0.6–1.35	38–140	10–88	700–860
Ferrite	0.2–0.4	120–300	10–40	450

Fig.3. Proprietăți magnetice ale magneților permanenți *

* M. Chen, K.T. Chau, C.H.T. Lee, and C. Liu "Design and analysis of a new axial-field magnetic variable gear using pole-changing permanent magnets", Progress in Electromagnetics Research, Vol. 153, 2015, pp.23-32]

1.2. RM cu flux axial

În Fig.4. este prezentat un model de reductor magnetic cu flux axial. Pentru această structură, statorul a fost bobinat pe ambele parti, toroidal și plasat între două rotoare, câte unul pe fiecare parte. Partea statică a mașinii o constituie statorul și segmentele din fier, iar părțile mobile sunt reprezentate de cele două rotoare și de magneții permanenți.

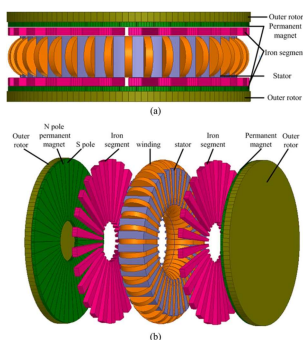


Fig.4. Mașina cu flux axial a. asamblată; mașinii b. vedere cu detalii. *

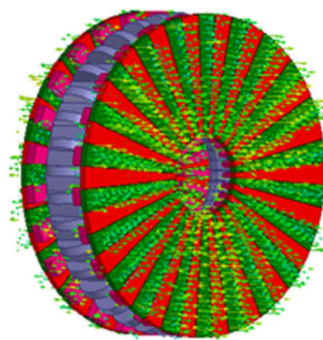
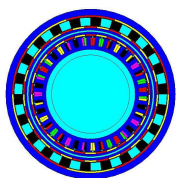


Fig.5. Inducția magnetică pe suprafața.*

* L. Li, W. Fu, S. Ho, S. Niu, Y. Li, "A quantitative comparison study of power-electronic-driven flux-modulated machines using magnetic field and thermal field co-simulation", IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol.62, no.10, pp.6076-6084, October 2015.

Raportul de transmisie este obținut prin relația dintre numărul de poli magnetic de pe rotoare, 22 și numărul de segmente din fier, 25. S-au utilizat magneți permanenți cu o grosime de 3.9 mm, iar segmentele de fier au 6.5 mm grosime. Intrefierul dintre magneții permanenți și segmentele din fier, respectiv dintre segmentele din fier și stator au dimensiunea de 0.6 mm. Materialele utilizate, pentru segmentele de fier și magneții permanenți sunt, table de oțel silicate, respectiv NdFeB.



Inducția magnetică a fost obținută utilizând FEM și poate fi observată în Fig.5. Pentru rezultate mai bune, au fost luate în considerare și pierderile în convertor. Valorile obținute pentru pierderile în fier, sunt prezentate în tabelul de mai jos.

Pierderi în fier	98.5 W
Pierderi cupru	223.3 W
Pierderi în convertor	32.7 W
Pierderi totale	354.5 W

1.3. RM cu raport de transmisie în trepte

Pentru a păstra cât mai multe avantaje ale reductoarelor magnetice cu câmp axial și pentru a păstra viteza variabilă a angrenajului, s-a ajuns la structura din Fig.6.a, a reductorului magnetic variabil. Topologia aplicației constă în adăugarea unui inel de magneți permanenți, cu magnetizare axială, pe rotorul de intrare și pe rotorul de ieșire. Între inelele de magneți, se așează un alt inel modulant din piese feromagnetice, staționare, bobinate pe ambele părți, cu înfășurări conectate la curent continuu, Fig.6.b. Diferența față de alte topologii, este dată de folosirea inelului modulant, cu piesele având bobinaj pe ambele părți, fapt ce conduce la obținerea raportului de transmisie variabil.

Atunci când rotorul de intrare funcționează la o viteză mai mare, dar cu număr mai mic de perechi de poli magnetici, iar rotorul de ieșire funcționează la o viteză mai mică dar cu număr mai mare de perechi de poli magnetici, se ajunge la amplificarea cuplului. Când, din contră, rotorul de intrare folosește un număr mai mare de perechi de poli magnetici, iar cel de ieșire, un număr mai mic de poli, crește viteza.

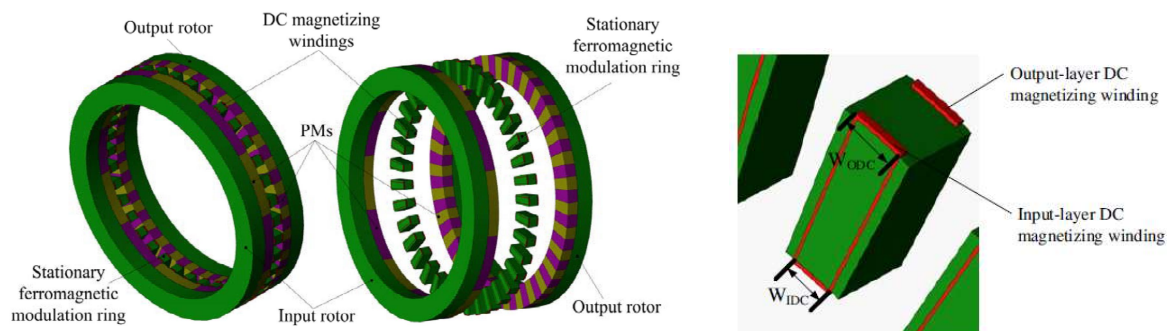
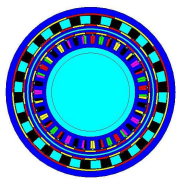


Fig.6.a. Reductor magnetic cu raport de transmisie în trepte; b. bobinajul inelului feromagnetic [M. Chen, K.T. Chau, C.H.T. Lee, and C. Liu, "Design and analysis of a new axial-field magnetic variable gear using pole-changing permanent magnets", Progress in Electromagnetics Research, Vol. 153, 2015, pp.23-32].

Rolul bobinajului este de a schimba polaritatea magnetică a polilor magnetici. Astfel, la injectarea unui curent de 5A, polaritatea magnetică se modifică, astfel se pot obține rapoarte de transmisie de 6/31 și 31/6, pentru care în Fig.7. se pot vedea valorile de cuplu și ale inducției magnetice. Această topologie poate genera un număr de 8 combinații de rapoarte de transmisie.

1.4. RM tubular

Structura reductorului magnetic tubular poate fi observată în Fig.8. Aceasta are un număr diferit de perechi de poli, între care există o dispunere flexibilă de perechi de poli magnetici, care are



rolul de a modula câmpul produs de magneții permanenți, pentru a facilita transmiterea cuplului și acționarea angrenajului.

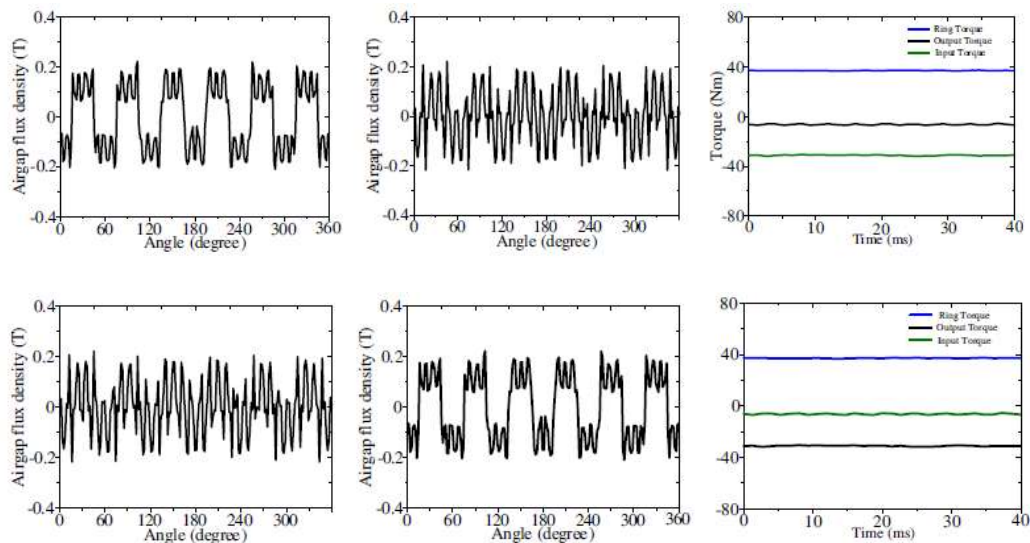


Fig.7. Caracteristici la nivelul celor 2 nivele de întrefier, pentru raport de transmisie 6/31 și 31/6.

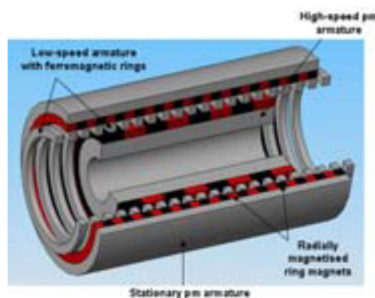


Fig.8. Reductor magnetic tubular *

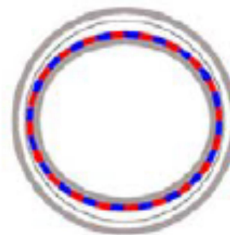
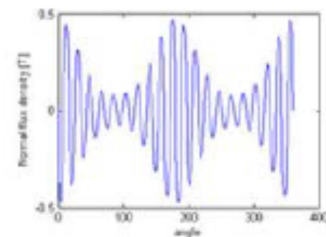


Fig.9. Forma de undă a inducției magnetice *



J.Rens, R.Clark, S.Calverley, K.Atallah, D.Howe, "Design, Analysis and Realization of a Novel Magnetic Harmonic Gear", Proceedings of the 2008 International Conference on Electrical Machines

Principiul de funcționare se bazează pe acționarea rotorului de mare viteză, care deformează rotorul flexibil de mică viteză, care, la rândul lui, se mișcă în interiorul statorului. În Fig.9. este prezentată forma de undă a inducției magnetice. Aplicația studiată poate ajunge până la valori de 110kNm/m^3 .

1. Soluții de transmisie magnetică în trepte propuse în proiectul ELIMPUS

S-a utilizat o mașină sincronă cu magneți permanenți ca aplicație de pornire pentru structura mașinii în roată, cu reductor magnetic integrat. Mașina sincronă propusă, corespunde unui scuter electric ce poate atinge o viteză maximă de 50 km/h, o putere de 3 kW și este alimentat la o baterie de 48 Vcc. Structura mașinii sincrone cu magneți permanenți, așa cum este prezentată în Fig. 10, prezintă o structură inversată, cu rotorul la exterior, având 17 perechi de poli magnetici și 39 dinți statorici. Materialul utilizat pentru partea magnetică este NdFeB și rotorul prezintă o viteză de rotație de 420 rot/min.

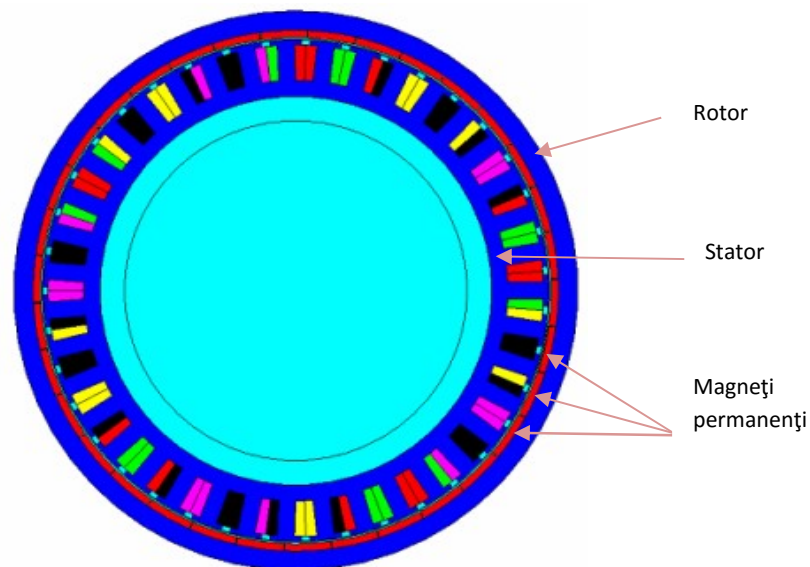
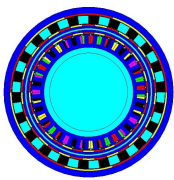


Fig.10. Structura masinii sincrone cu magneti permanenti

2.1. Structura reductorului magnetic integrat

Reductorul magnetic este plasat deasupra mașinii sincrone, Fig.11., ajungând, împreună, la un diametru de 302 mm. Rotorul interior al mașinii este alcătuit din partea magnetică a mașinii sincrone, peste care este amplasat un strat de oțel, având dimensiunea de 8 mm și un nou strat de poli magnetici, păstrându-se numărul de perechi de poli, anume 17. Un strat de întrefier de 1 mm grosime, delimitează rotorul interior de partea statică, formată din 22 dinți de oțel, alternând cu cavități cu aer, și rotorul exterior al mașinii. Pentru rotorul exterior s-au folosit 5 perechi de poli magnetici, de care este atașat un strat de oțel; acestea împreună formând rotorul exterior, cu o viteză de rotație de 1428 rot/min. Prin utilizarea celui de-al 2 lea rotor, se obține o viteză de rotație de 1428 rot/min, mai mare decât cea a rotorului interior de 3.4 ori.

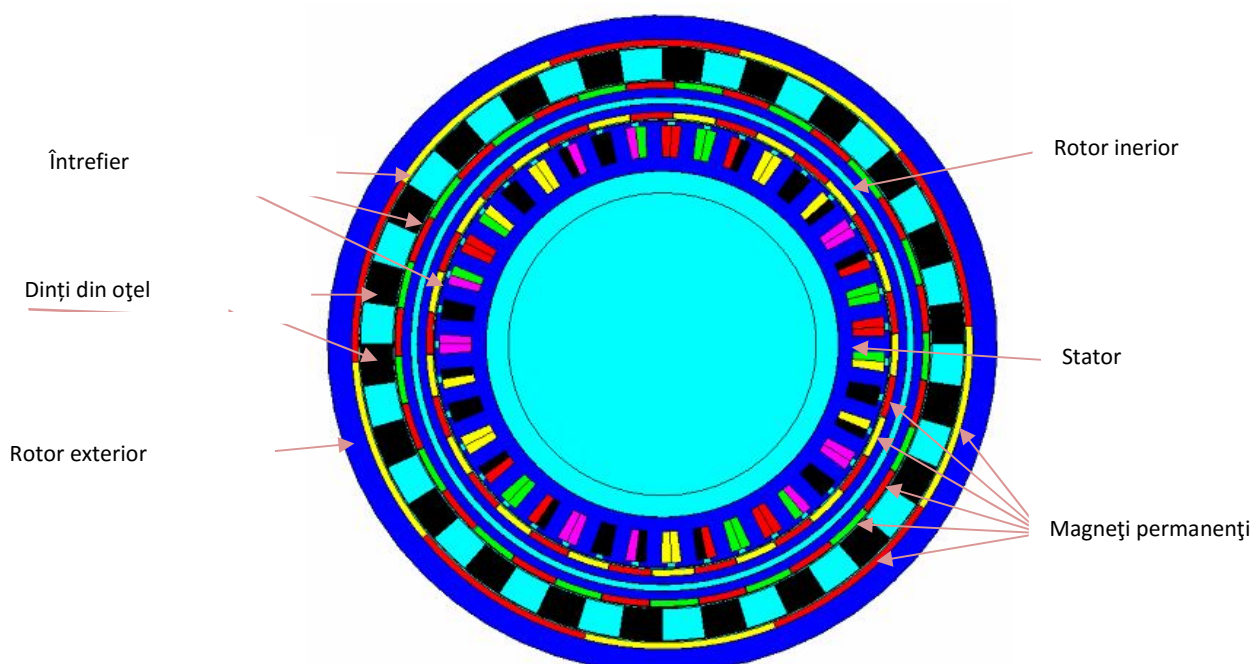
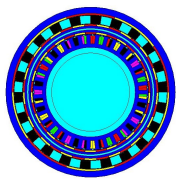


Fig.11. Structura mașinii în roată, cu reductor magnetic.



2. Proiectarea motor-reductorului magnetic cu două trepte de transmisie

2.1 Proiectarea motor-reductorului magnetic folosind rețea de reluctanțe magnetice

Pentru dimensionarea mașinii, a fost folosit circuitul echivalent de reluctanțe magnetice, urmărind calculul inducției magnetice. Pentru calculul reluctanțelor, s-a folosit relația (1), unde l_m reprezintă lungimea mașinii (50 mm).

$$R = \frac{1}{\mu} * \frac{l_m}{S} \quad (1)$$

Circuitul magnetic a fost împărțit, din cauza complexității mașinii, în 2 circuite, aferente mașinii sincrone și a reductorului magnetic. În Fig.15, circuitul pentru mașina sincronă este construit pentru 1 pas polar, echivalent a 2 magneți de pe rotorul interior. Pentru reductorul magnetic, circuitul magnetic conține 1 pas polar, reprezentând 2 magneți de pe rotorul exterior. Ținând cont de faptul că polii magnetici de pe rotorul exterior au dimensiuni mai mari, este acoperită o suprafață egală cu suma a 4 dinți metalici și a 8 polii magnetici de pe rotorul interior.

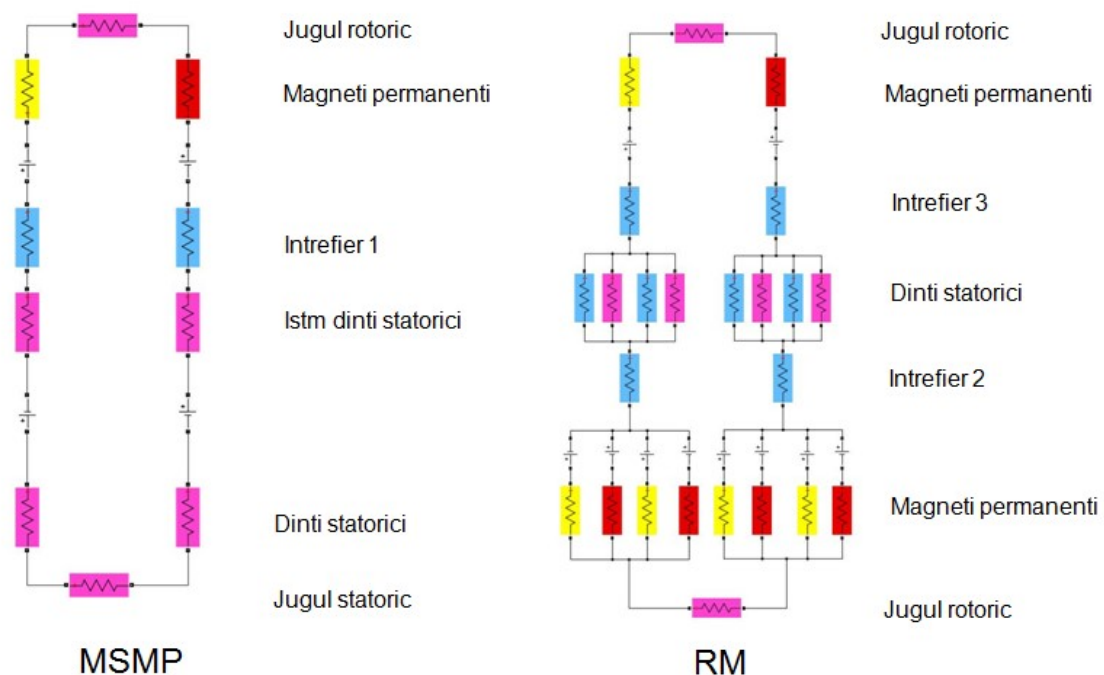
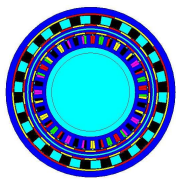


Fig. 15. Circuitul magnetic echivalent cu reluctanțe

Principalele pierderi ce apar într-o mașină sincronă cu magneți permanenți sunt pierderile în fier și pierderile prin efect Joule. Astfel, cunoscând pierderile, se poate determina randamentul mașinii.

$$P_{fe_x} = \underbrace{k_{hyst} \cdot B_x^2 \cdot f_s}_{hysteresis\ loss} + \underbrace{\pi \cdot \sigma_{iron} \cdot \frac{d_{lam}^2}{6} \cdot (B_x \cdot f_s)^2}_{eddy\ current\ loss} + \underbrace{k_{exc} \cdot (B_x \cdot f_s)^3 \cdot 8.67}_{excess\ loss} \quad (2)$$

$$P_{Joule} = n_{ph} * R_{ph} * (I_{ph})^2 \quad (3)$$



2.2 Proiectarea motor-reductorului magnetic folosind ecuațiile lui Maxwell

Unul dintre modelele analitice folosite în studiul mașinilor electrice este cel realizat implementând ecuațiile lui Maxwell. În cele ce urmează se va prezenta principiul folosit pentru elaborarea acestui model în cazul reductorului magnetic, a cărei structură este prezentată în Fig. 13.

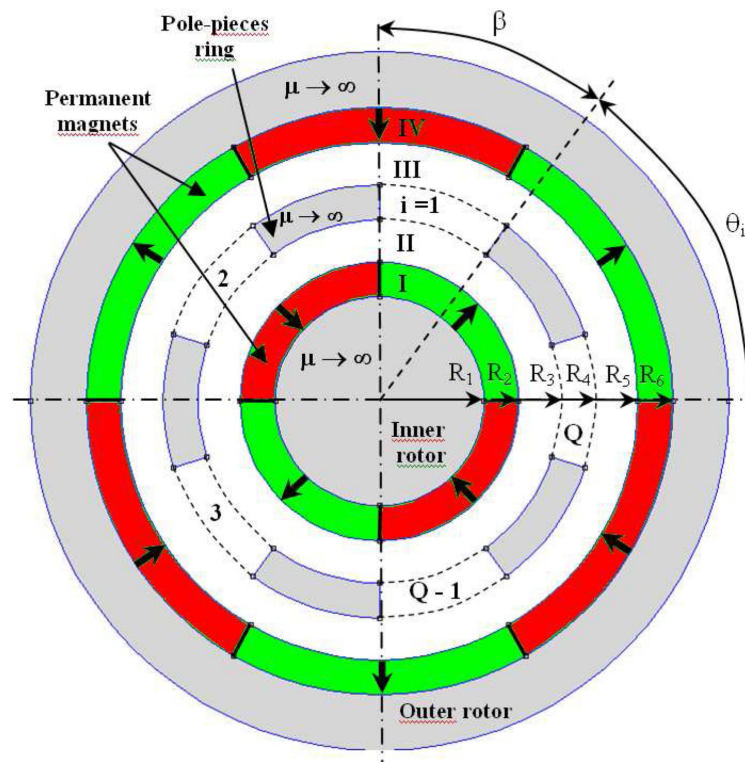


Fig. 13. Geometrie și regiunile reductorului magnetic radial. [Thierry Lubin, Smail Mezani, Abderrezak Rezzoug. Analytical Computation of the Magnetic Field Distribution in a Magnetic Gear. IEEE Transactions on Magnetics, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2010, 46 (7), pp.2611-2621.]

Rezolvarea cu ajutorul ecuațiilor lui Maxwell presupune câteva ipoteze simplificatoare, și anume:

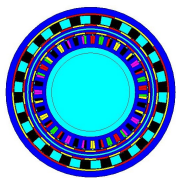
- Rezistivitatea magneților permanenți este infinită
- Magnetizarea magneților permanenți este strict radială
- Densitatea volumică a sarcinilor electrostatice este nulă
- Tolele feromagnetice ale miezului magnetic au permeabilitate relativă și rezistivitate infinită

Potențialul magnetic vector A se poate scrie în coordonate cilindrice ca o funcție de două variabile, r și ϕ , întrucât componenta sa după axa z este constantă. Ținând cont că pentru rezolvarea ecuațiilor lui Maxwell se va folosi metoda separării variabilelor, se poate scrie

$$A(r, \phi) = R(r) \cdot \Psi(\phi) \quad (4)$$

Soluția ecuației lui Maxwell va fi scrisă pentru fiecare dintre cele cinci regiuni considerate în această analiză, în speță:

1. Domeniul magneților situați la interior I
2. Domeniul primului întrefier (între magneții interiori și coroana de piese feromagnetice) II
3. Domeniul de creștăturilor dintre piesele feromagnetice III



4. Domeniul celui de-al doilea întrefier (între coroana de piese feromagnetice și magneții exteriori) IV
5. Domeniul magneților situați la exterior V

Trebuie subliniat că scrierea ecuațiilor lui Maxwell pentru aceste domenii conduce la ecuație de tip Laplace în cazul domeniilor II, III, IV unde sursa de câmp nu există, respectiv ecuație de tip Poisson în rest, unde magneții permanenți reprezintă sursa de câmp.

Astfel, ecuațiile se scriu în felul următor:

- Pentru domeniul I

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 A_I}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 A_I}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial A_I}{\partial r} = \frac{\mu_0}{r} \cdot \frac{\partial M_r}{\partial \varphi} \quad (5)$$

- Pentru domeniul II

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 A_{II}}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 A_{II}}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial A_{II}}{\partial r} = 0 \quad (6)$$

- Pentru domeniul III

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 A_{III}}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 A_{III}}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial A_{III}}{\partial r} = 0 \quad (7)$$

- Pentru domeniul IV

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 A_{IV}}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 A_{IV}}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial A_{IV}}{\partial r} = 0 \quad (8)$$

- Pentru domeniul V

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 A_V}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 A_V}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial A_V}{\partial r} = \frac{\mu_0}{r} \cdot \frac{\partial M_r}{\partial \varphi} \quad (9)$$

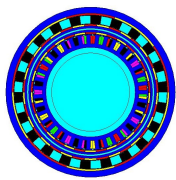
Cu excepția domeniului III, al creștăturilor, relațiile de mai sus sunt valabile pe întreg inelul corespunzător fiecărui domeniu. În cazul menționat mai sus însă, această ecuație este valabilă doar pentru unghiurile corespunzătoare creștăturilor.

Soluția generală a unei astfel de ecuații este

$$A(r, \varphi) = A + B \cdot \ln r + \sum_{n \neq 0} \left\{ [C \cdot r^n + D \cdot r^{-n}] + [E \cdot \cos(n\varphi) + F \cdot \sin(n\varphi)] \right\} \quad (10)$$

Rezolvarea acestor ecuații este dificilă, ele prezentând un nivel de complexitate ridicat. Pentru acest lucru este nevoie de scrierea condițiilor la limită din fiecare regiune (spre exemplu, în domeniul III condiția la limită este reprezentată de valoarea nulă a componentei tangențiale la intersecția cu mediul feromagnetic). În plus, problema poate fi rezolvată doar după formularea condițiilor Dirichlet și Neumann (privind egalitatea funcției, respectiv a derivatei ei în funcție de variabila considerată) la trecerea din fiecare domeniu în celălalt.

Rezolvarea sistemului rezultat va conduce la obținerea coeficienților A, B, C, D, E, F corespunzători fiecărei regiuni. În acest fel, pentru o mașină ale cărei dimensiuni geometrice principale sunt cunoscute, se vor putea determina valorile inducției în fiecare regiune considerată.



3. Simularea motor-reductorului magnetic cu două trepte de transmisie

3.1 Simularea electromagnetice a motor-reductorului magnetic

Ca și primul rezultat luat în considerare, valoarea inducției magnetice, în părțile active ale mașinii, ilustrate în Fig.14. Tot în această figură, poate fi observată distribuția liniilor de flux, atingând o valoare maximă de 2.299 T.

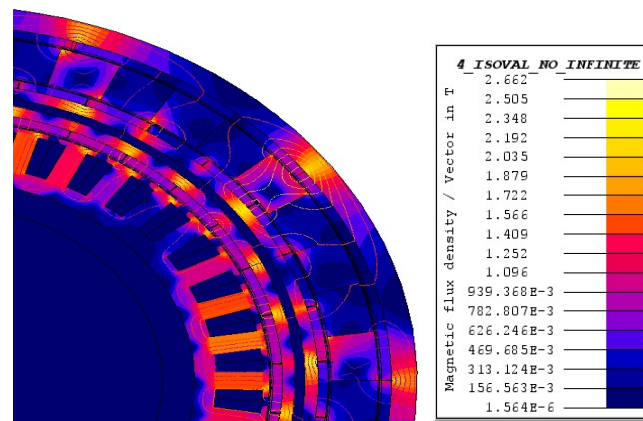


Fig.14. Harta inducției magnetice și a liniilor de flux.

Este realizată o evaluare a inducției magnetice la nivelul întrefierului, pe cele 3 nivele de întrefier ale mașinii, pentru un pas polar, adică pentru 2 magneti de polaritate diferită, Fig.15.

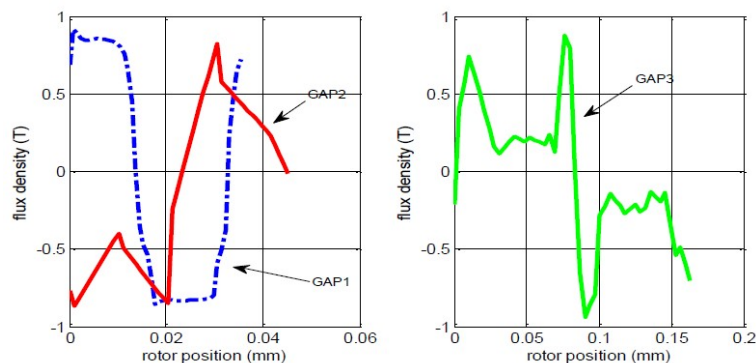
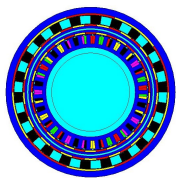


Fig. 15. Inducția magnetică la nivelul întrefierului

La nivelul celui de-al 2-lea și al 3-lea întrefier, se pot observa anumite perturbări, ce ar trebui să producă ripluri de cuplu și putere, și având în vedere că este folosit un rotor cu strat dublu de magneti, este de așteptat să avem o valoare dublată a cuplului. Pe de altă parte, rotorul interior, cel de viteză mică, se comportă ca un generator.

În Fig.16. sunt redate caracteristicile de funcționare, pentru cele 2 rotoare ale mașinii. În partea stângă, sunt reprezentate valorile puterii și a cuplului (valoare negativă), pentru rotorul interior, funcționând la o viteză constantă de 420 rot/min. Din moment ce rotorul exterior se rotește în sens opus celui interior, se obțin valori pozitive ale cuplului. Valorile puterii și a cuplului, pentru rotorul exterior, 1428 rot/min, sunt afișate în partea dreaptă a imaginii.

Pentru calculul pierderilor în fier, folosind ca bază relația (2), s-a folosit software-ul Flux2D, obținându-se graficele din Fig. 17.



ELIMPUS

Efficient Lightweight Electro-Magnetic Propulsion System for Electric Vehicles

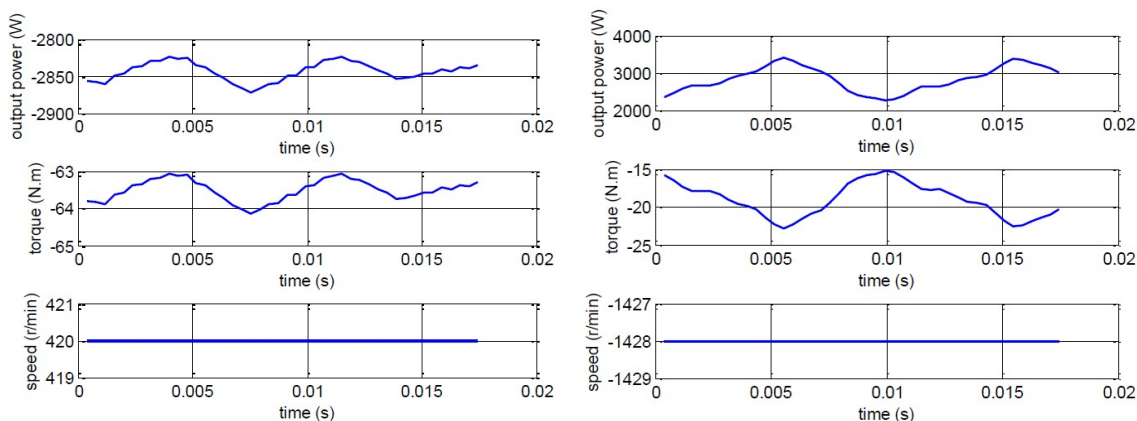


Fig. 16. Caracteristicile reductorului integrat.

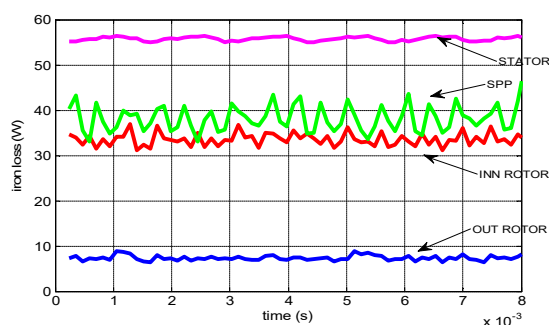


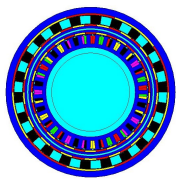
Fig.17. Pierderile in fier.

Valoarea medie a pierderilor in fier, conforme cu Fig.17, sunt prezentate in tabelul de mai jos, impreuna cu valoarea pierderilor prin efect Joule, calculate cu ajutorul expresiei (3).

pFe stator [W]	55.76
pFe rotor interior [W]	33.56
pFe parte statica [W]	38.22
Pfe rotor exterior [W]	7.36
P Joule [W]	163.4
Total	298.3 W

Cunoscand valoare totala a pierderilor masinii, se poate spune ca masina are un randament de 80.11 %, tinand cont ca nu s-au luat in considerare pierderile mecanice, deoarece rotoarele functioneaza la nivele destul de scazute de viteza. Rezultate obtinute in urma rezolvarii circuitului magnetic de reluctante si a pierderilor, au fost comparate cu rezultatele obtinute prin utilizarea softului Flux 2D si prezentate in tabelul de mai jos.

Parametrii	RNA	FEA
Inductia magnetica in jugul rotorului interior (T)	0.28	0.34
Inductia magnetica in dintii de otel (T)	1.13	1.16
Inductia magnetica in jugul rotorului exterior (T)	0.15	0.17
Pierderi in fier in rotorul interior (W)	3.94	2
Pierderi in fier in rotorul interior (W)	38.1	38
Pierderi in fier in rotorul interior (W)	6.02	7



3.2 Simularea structurală a motor-reductorului magnetic

Două programe informatice au fost folosite pentru această analiză: Flux2D pentru determinarea forțelor care determină deformarea (și sunt sursa producerii vibrațiilor de origine electromagnetice) structurală a motor-reductorului magnetic în trepte; VirtualLab, pentru analiza modală pentru evaluarea amprentei vibroacustice a structurii. Câteva imagini de analiză numerică structurală sunt prezentate în Fig.18.

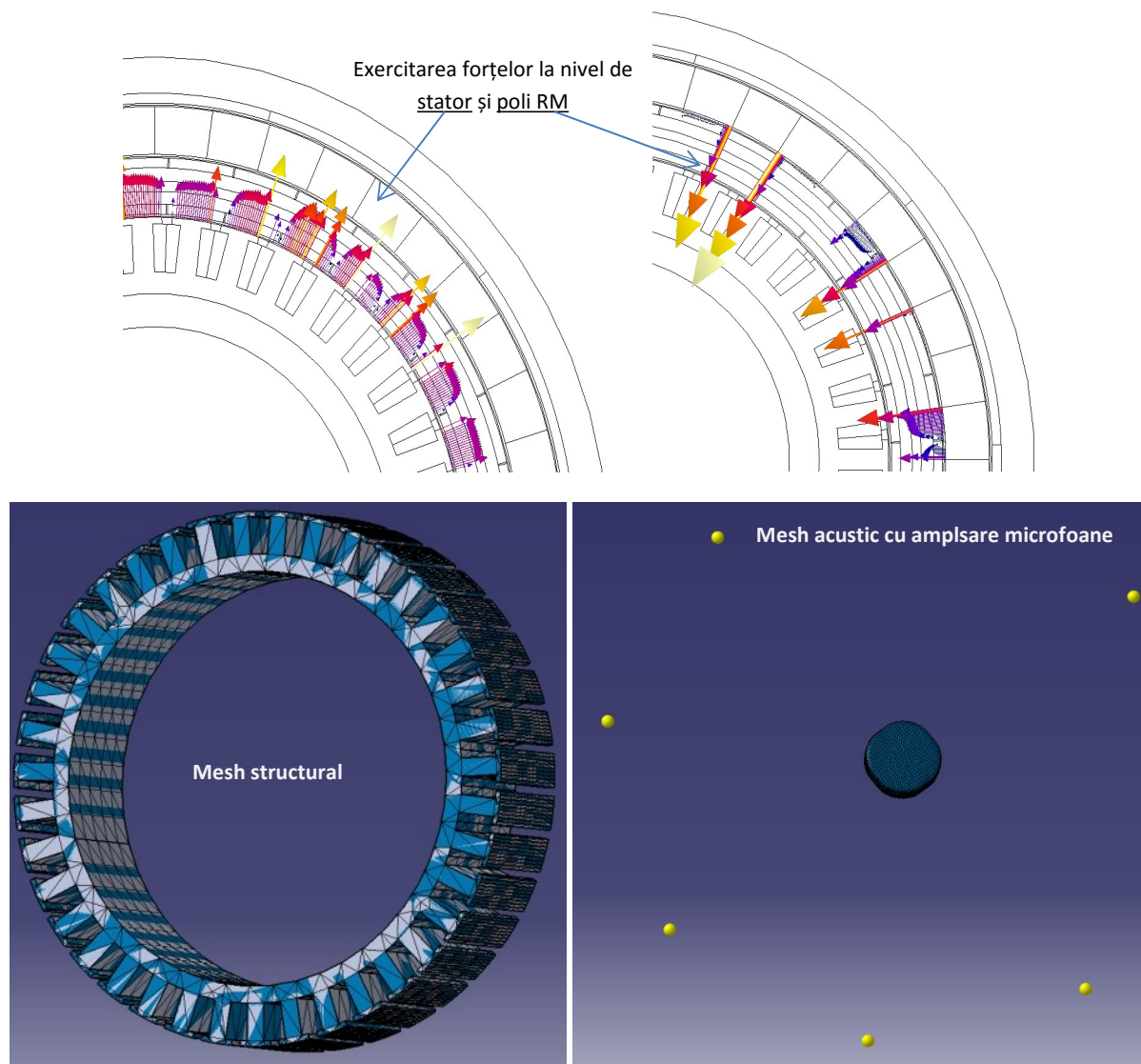
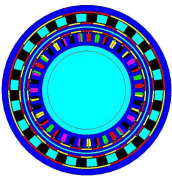


Fig.18. Analiză structurală folosind Flux2D și VirtualLab pentru structura motor-reductorului cu transmisie în trepte.

3.3 Simularea controlului motor-reductorului magnetic

Controlul motor-reductorului a fost simulat în Matlab/Simulink, implementând o schemă de control vectorial cu orientare după fluxul, folosind regulatoare PI pentru determinarea curenților și tensiunilor de referință în model ortogonal. Implementarea motelului MSMP și a RM în Simulink este prezentată în Fig.19, iar rezultatele simulării în Fig.20.



ELIMPUS

Efficient Lightweight Electro-Magnetic Propulsion System for Electric Vehicles

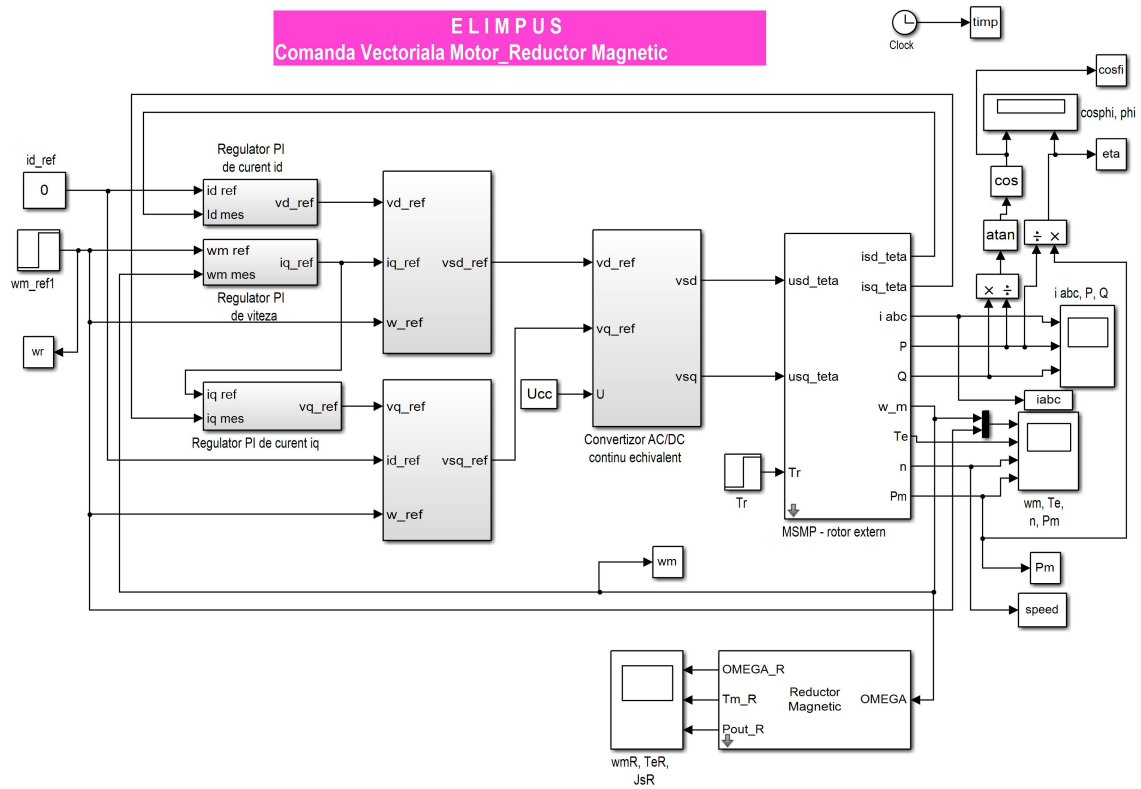


Fig.19. Schema bloc Simulink pentru simularea controlului motor-reductorului magnetic cu transmisie în trepte.

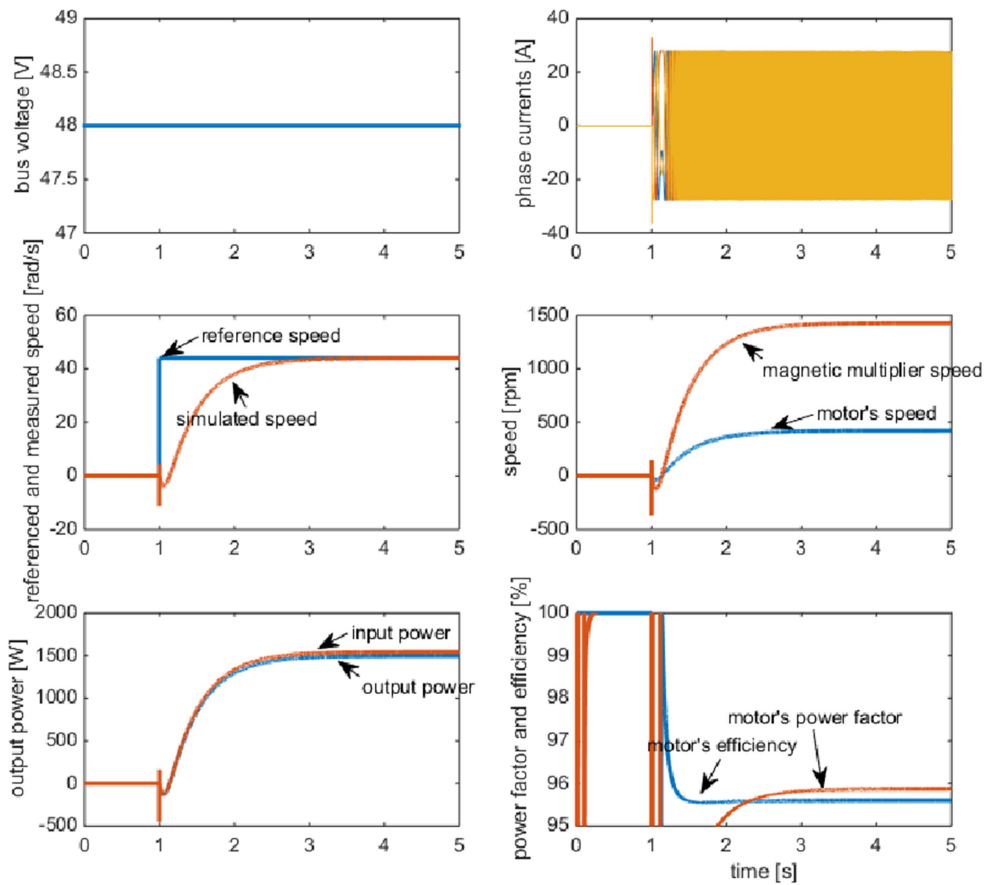
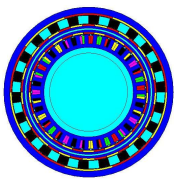


Fig.19. Rezultate simulate în timpul controlului motor-reductorului magnetic cu transmisie în trepte.



3.4 Optimizarea motor-reductorului magnetic

S-a considerat un algoritm de optimizare hibrid, folosind tehnicile Particle Swarm Optimization și Simulated Annealing, care combină avantajele a doi algoritmi evolutivi: unul (PSO) fiind rapid în execuție, iar celălalt (SA) permițând evitarea minimelor locale. Structura algoritmului de optimizare folosit este prezentată în Fig.21. Reamintim că funcția obiectiv a algoritmului este densitatea de putere, care se dorește a fi maximizată, prin menținerea nivelului de putere dorit și minimizarea masei (părții active) a structurii în studiu. Din rezultatele obținute în urmă optimizării se rețin variațiile anumitor parametri geometrici (înălțime jug statoric, lățime dinte, înălțime magnet permanent, înălțime istm dinte și întrefier), a masei active, randamentului și factorului de putere pentru MSMP (doar o rezultatele a o mie de iterații este prezentat), Fig.22.

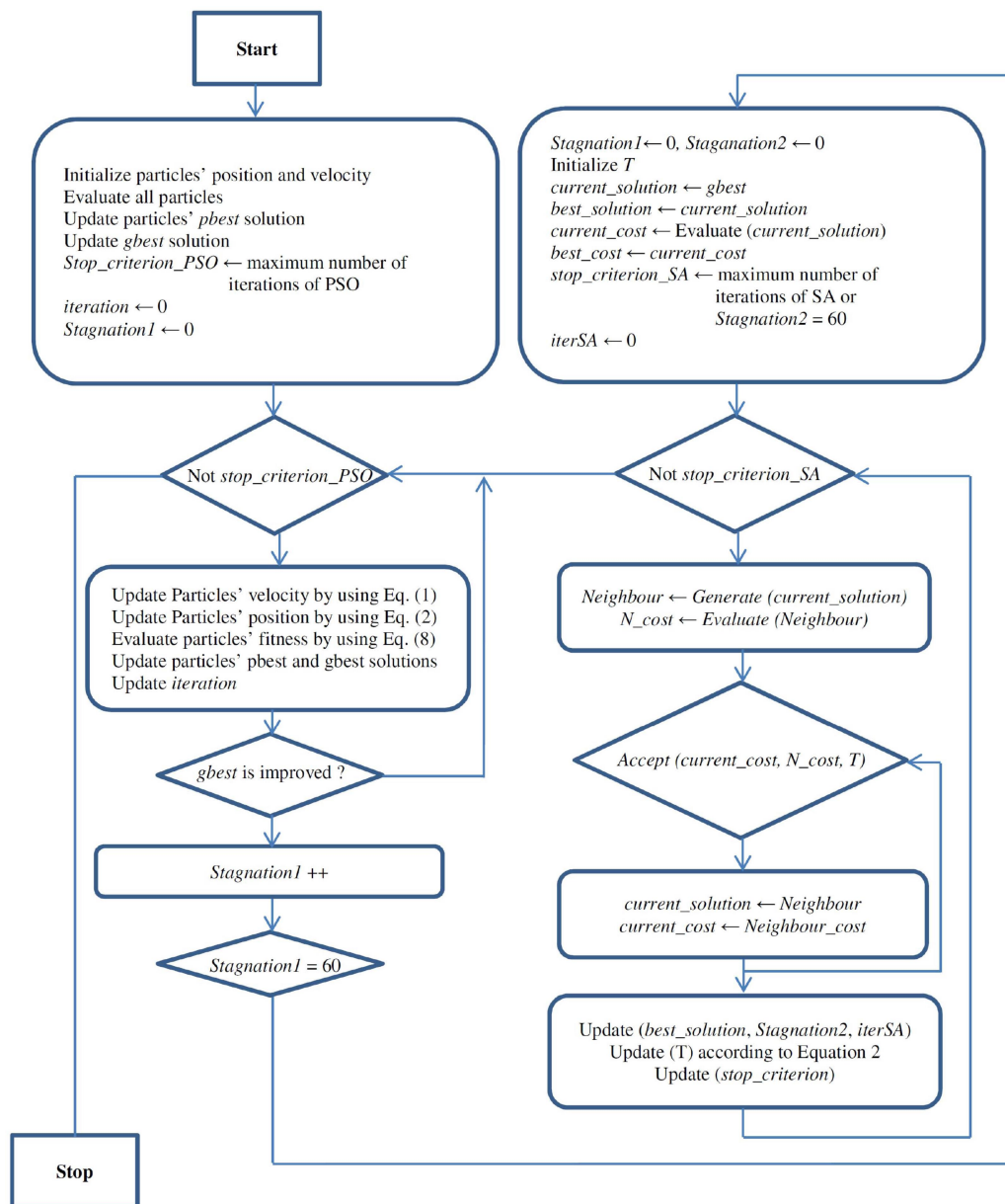


Fig.21. Diagrama algoritmului de optimizare hibridă. [D. Fodorean, L. Idoumghar, *Improved performances of a PMSM with reduced torque ripples, optimized based on hybrid algorithm, dedicated for light EV*, VPPC-2015, Montreal, Canada, 19-22 October 2015, pp.1-6, 10.1109/VPPC.2015.7352965]

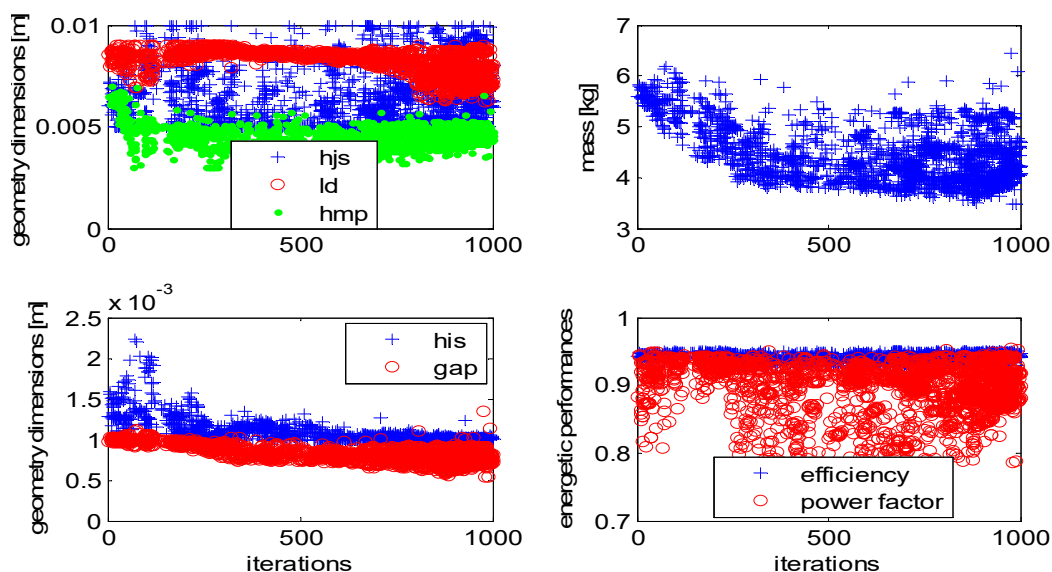
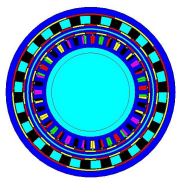


Fig.22. Rezultate optimizare.

III. Rezumat rezultate/realizări

În decursul anului 2016, un doctorand (Claudia POP) a efectua un training referitor la analiza termică folosind soluțiile numerice ale companiei Cedrat, flux2D și Flux3D, s-a participat la trei conferințe cu 3 articole științifice și s-au publicat un capitol de carte în editură internațională și 3 articole științifice.

1. D. Fodorean, **State of the art of Magnetic Gears, their design and characteristics with respect to EV application**, INTECH book chapter (volume Modeling and Simulation for Electric Vehicle Applications), 2016, ISBN 978-953-51-2637-9.
2. Claudia V. Pop, D. Fodorean, **In-Wheel Motor with Integrated Magnetic Gear for Extended Speed Applications**, IEEE SPEEDAM 2016, Capri, Italy, 22-24 June 2016, pp.413-418, ISBN978-1-5090-4181-7.
3. Claudia V. Pop, D. Fodorean, **Modelling of an In-Wheel Motor with Integrated Magnetic Gear for Electric Vehicle Applications**, IEEE EPE 2016, Iasi, Romania, 20-22 October 2016, paper 1703, pp.1-5, ISBN 978-1-5090-6128-0.
4. Claudia V. Pop, D. Fodorean, **Magnetic multiplier for EV transmission – analytical and numerical aspects**, CNAE 2016, Cluj-Napoca, 13-14 October, 2016, Sectiunea Masini Electrice pp.1-5.

S-a demarat construcția motor-reductorului magnetic, astfel că se pot prezenta componente din structura acestuia (în acest moment încă nu ne dorim asamblarea finală a dispozitivului motor-reductor magnetic deoarece se dorește testarea modală a fiecărei componente în parte pentru a vedea influența fiecăreia în aportul de vibrații și zgomote al structurii).

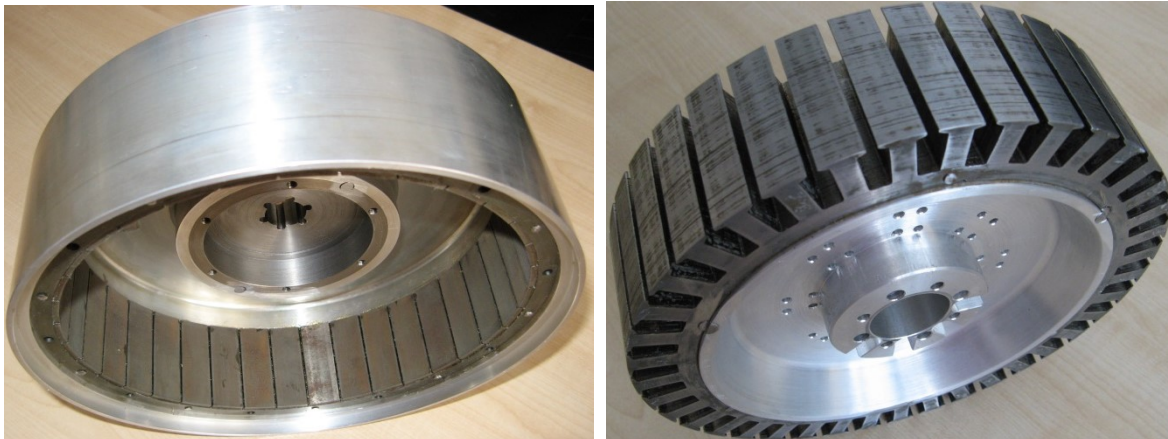
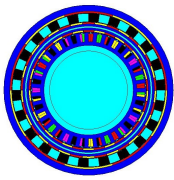


Fig.23. Imagini constructive motor-reductor magnetic (stânga: rotor MSMP; dreapta: stator: MSMP).

Anexa I – Site WEB

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