

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/home

Organism implementare: Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca



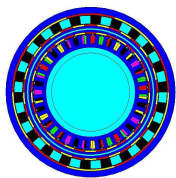
Echipă proiect: Daniel FODOREAN (director)
Dan Cristian POPA (cercetător)
Petre Dorel TEODOSESCU (cercetător)
Claudia Violeta POP (doctorand)
Aron Attila POPP (doctorand)
Tamas GYORGY (doctorand)

Raport de activitate 2017 – Raport Final

Costrucția, testarea și validarea Sistemului de Propulsie Electro-magnetică cu Raport de Transmisie Variabil (2 trepte)

CUPRINS

I.	Rezumatul Etapei	2
1.	Obiectivul și Pachetele de Lucru din a 3-a etapă de implementare a proiectului ELIMPUS.....	2
2.	Preambul al cercetării implementate pe anul 2017 în proiectul ELIMPUS.....	2
II.	Implementarea activităților de cercetare în proiectul ELIMPUS	2
1.	Metode de optimizare în dimensionarea motorizărilor electrice	2
1.1	Algoritmi de optimizare studiați	3
1.2	Interfață Matlab pentru dimensionare/optimizare mașini electrice	5
2.	Analiză structurală a propulsiei pur-electromagnetice cu transmisie în trepte	7
2.1	Modelare.....	7
2.2	Măsurători experimentale	10
3.	Testarea și validarea motoreductorului magnetic cu transmisie în trepte	13
4.	Utilizarea motorului roată în propulsia unui scuter electric.....	14
III.	Rezumat rezultate/realizări în etapa a 3-a	15
IV.	Rezumat rezultate proiect ELIMPUS	17
	Anexa I – Site WEB	20



I. Rezumatul Etapei

1. Obiectivul și Pachetele de Lucru din a 3-a etapă de implementare a proiectului ELIMPUS

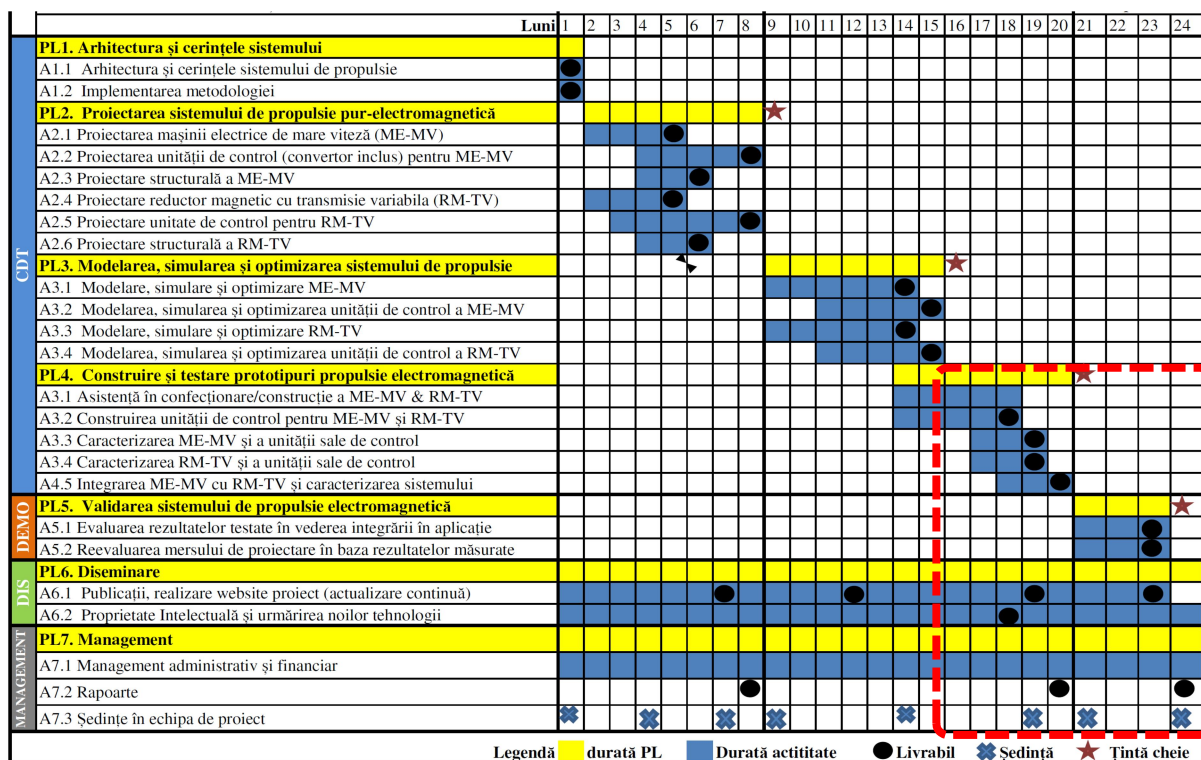
ETAPA a 3-a: Construcția și testarea sistemului de propulsie pur-electromagnetică

Pachet de lucru IV : Construcție și testare prototip sistem de propulsie pur-electromagnetică

Pachet de lucru V : Validarea sistemului de propulsie pur-electromagnetică

2. Preambul al cercetării implementate pe anul 2017 în proiectul ELIMPUS

Activitatea de cercetare în anul 2017 s-a derulat între lunile a 16-a și a 24 de implementare a proiectului ELIMPUS, corespunzător pachetelor de lucru PL4 și PL5. Pentru situarea muncii de cercetare efectuate în proiect se reamintește distribuția de activități și obiective pe durata celor 24 de luni propusă inițial (cu decalajul aferent, datorat faptului că, contractarea s-a demarat în luna Septembrie a anului 2015).

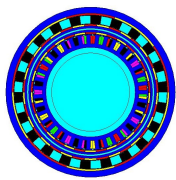


Obiectivele și activitățile din proiectul ELIMPUS pe durata ultimelor 9 luni de derulare a proiectului ELIMPUS.

II. Implementarea activităților de cercetare în proiectul ELIMPUS

1. Metode de optimizare în dimensionarea motorizărilor electrice

Studiul optimizării dimensionării motoarelor electrice de propulsie, studiate în proiectul ELIMPUS, a fost realizat cu ocazia unei vizite la Universite de Haute-Alsace, din Mulhouse-Franța, sub tutela profesorului Lhassane Idoumghar de la laboratorul de Matematici și Informatică Aplicată al universității franceze. Pe lângă implementarea optimizării, s-a elaborat și o interfață Matlab pentru



facilitarea proiectării mai multor tipuri de motoare și implementarea mai multor algoritmi de optimizare.

1.1 Algoritmi de optimizare studiați

(Acest studiu a fost integrat în articolul de revistă ISI publicat anul acesta.)

Algoritmul de optimizare evolutiv diferențial (differential evolution, DE) este de tip evolutiv simplu și puternic, care poate rezolva o gamă largă de probleme de optimizare teoretică și reală. Orice algoritm bazat pe DE este compus din trei operatori evolutivi (mutație, încrucișare și selecție), aplicați iterativ unei populații de soluții pentru a se converti către cea mai bună soluție globală din generație în generație. Mutăția este de obicei formulată ca o ecuație în care diferențele ponderate sunt adăugate unui individ de referință, pentru a crea un individ mutant nou. Apoi, crossover-ul generează un nou studiu individual de la acest individ mutant și de la un individ curent. În cele din urmă, operatorul de selecție decide dacă persoana în cauză este înlocuită sau nu în populație de către persoana respectivă. Ecuația mutației corespunzătoare este:

$$Mut_{i,j} = P_{i,j} + F_1 \times (P_{best,j} - P_{i,j}) + F_1 \times (P_{r1,j} - P_{r2,j}) \quad (1)$$

unde Mut se referă la populația mutantă, P la populația actuală, i, j la elementul j al i -lea individ cel mai bun individ al lui P , $r1$ și $r2$ la două persoane alese aleatoriu ale lui P astfel încât $r1 \neq r2 \neq i$, și $F_1 \in [0,1]$ la factorul DE de scalare. Dacă un element (adică o dimensiune) a unui individ mutant rezultat este în afara spațiului de căutare, datorită (1), atunci o nouă valoare este generată aleator în limitele inferioare și superioare corespunzătoare. În al doilea rând, se utilizează așa-numitul clasic binomial. În al treilea rând, în operatorul de selecție, pentru toți i , evaluarea individuală este evaluată și înlocuiește persoana i a lui P dacă are o mai bună calitate. Din acest punct de pornire, proiectăm un algoritm hibrid folosind următoarea strategie de mutație DE / best / 1:

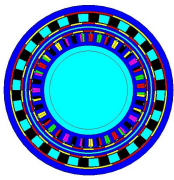
$$Mut_{i,j} = P_{best,j} + F_2 \times (P_{r1,j} - P_{r2,j}). \quad (2)$$

unde $F_2 \in [0,1]$ se referă la factorul de scalare al DE.

După fiecare generație a algoritmului de bază DE de mai sus, un individ rău de P este selectat aleator pentru a fi optimizat cu strategia DE / best / 1 mutație (2) și crossover binomial. Această strategie de mutație tinde, de obicei, să accelereze convergența DE, dar algoritmul poate fi ușor blocat în optim local; astfel, se aplică aici numai pe un individ al lui P . În plus, propunem modificarea algoritmului de bază DE de mai sus pentru a folosi mecanismul de memorie definit în algoritmul de optimizare a căutării backtracking (BSA). O populație Mem dintr-o generație aleatoare anterioară este stocată și apoi utilizată în ecuația de mutație, pentru a ghida algoritmul spre optimul global. Această memorie este actualizată cu probabilitatea 0.5 chiar înainte de mutație: dacă da, Mem este înlocuită de o permutare aleatorie a lui P . În contextul algoritmului nostru hibrid, sugerăm următoarea ecuație de mutație care profită atât de memorie, cât și de DE / strategia actuală / cea mai bună / 1:

$$Mut_{i,j} = P_{i,j} + F^{DE} \times (P_{best,j} - P_{i,j}) + F_i^{MEM} \times (Mem_{i,j} - Mem_{r1,j}) \quad (3)$$

unde $r1$ se referă la un individ P ales aleator P astfel încât $r1 \neq i$, $F^{DE} \in [0,1]$ la factorul de scalare DE și F_i^{MEM} dedicate memoriei mecanismului. Pentru fiecare individ i a lui P , fie $F_i^{MEM} = 0.5$ cu probabilitatea $1/16$, ori F_i^{MEM} valoare reală descrescând de la 3 la 1 cu o lege geometrică la $1/3$ a evaluării funcției obiectiv. Această setare permite algoritmului să exploateze spațiul de soluții și mai apoi permite exploatarea suplimentară.



În cele din urmă, încrucișarea binomică a algoritmului pe bază de DE sus este înlocuită cu operatorul de crossover mai complex. Astfel, două mecanisme de crossover diferite sunt aplicate aleatoriu cu probabilitatea 0.5. Primul construiește procesul individual prin luarea unui singur element al individului mutant, în timp ce cel de-al doilea permite luarea mai multor elemente ale individului mutant, conform unui așa numit parametru mixat care controlează câte elemente vor muta în individul procesului. Pentru a rezuma, Fig.1 prezintă întreaga structură a algoritmului hibrid propus, care folosește două strategii de mutație DE împreună cu un mecanism de memorie.

1	Initialize P with random solutions
2	While stopping condition is not met do
3	Update Mem with probability 0.5
4	Apply mutation equation (3)
5	Apply crossover from [16]
6	Apply basic DE selection operator
7	Select 1 bad individual of P
8	Optimize the selected individual with mutation equation (2), the binomial crossover, and the basic DE selection operator
9	EndWhile

Fig. 1. Structura algoritmului de optimizare hibrid de tip DE&BSA (prezentat în lucrarea ISI publicată anul acesta).

Problema optimizată în această lucrare constă în maximizarea densității de putere a motorului electroic de propulsie (pentru o anumită putere, masa mașinii trebuie minimizată). O astfel de problemă de proiectare este obiectul unei optimizări multi-obiectiv, care poate fi formulată, în termeni matematici, după cum urmează:

$$\min J(x) = [j_1(x), j_2(x), \dots, j_m(x)]^T \quad (4)$$

cu $x_i^{LB} \leq x_i \leq x_i^{UB}, i = 1, 2, \dots, n$

$$g_r(x) \leq 0, r = 1, 2, \dots, p$$

$$h_l(x) = 0, l = 1, 2, \dots, k$$

unde întregul $m \geq 2$ este unui numărul de obiective, iar x este vectorul variabilei de decizie. Fezabilitate este definite de funcțiile de constrângere ($g_r(x)$ și $h_l(x)$).

Pentru a rezolva problema studiată în această lucrare, agregăm cele două funcții obiective pentru a crea o funcție compozită unică obiectiv pentru a minimiza și apoi a utiliza un nou algoritm metaheuristic hibrid pentru a obține o singură soluție optimă.

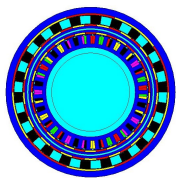
- Prima funcție obiectivă j_1 se referă la minimizarea masei părților active ale mașinii, m_{atot} (m_{atot} este suma masei cuprului, m_{copper} , a fierului statoric, m_{stat} , a fierului rotor, m_{rot} , și a magnetilor, m_{PM}):

$$m_{atot} = m_{copper} + m_{stat} + m_{rot} + m_{PM} \quad (5)$$

- A doua funcție obiectivă j_2 constă în maximizarea puterii de ieșire P_{out} (păstrând-o la valoarea maximă admisă) care este egală cu diferența dintre puterea de intrare și pierderile, adică,

$$P_{out} = P_{in} - \sum Losses \quad (6)$$

Funcția obiectivă, care trebuie optimizată prin algoritmul de optimizare hibrid, este prezentată de următoarele:



$$\min J(x) = -P_{out}/m_{atot} + penalty \quad (7)$$

unde $penalty = 10^4 \times \sum_{i=1}^7 C_i$, și $C_i = 0$ dacă constrângerile i este satisfăcută, sau 1 altfel. (Toate constrângerile C_i sunt date în tabelul de mai jos.)

În continuare se prezintă rezultatele implementării algoritmului hibrid considerat în comparație cu alți algoritmi prezentați în literatură.

TABEL 1 – PROBLEMELE FOLOSITE LA TESTAREA CALITAȚII ALGORITMULUI

Nr.	Funcție	Interval	D	Best
F1	Schwefel 1.2	[-100, 100]	30	0
F2	Rastrigin	[-5.12, 5.12]	30	0
F3	Schaffer f6	[-100, 100]	2	0
F4	Shifted rotated high conditioned elliptic	[-100, 100]	10	-450
F5	Shifted Rosenbrock	[-100, 100]	10	390

TABEL II – CARACTERISTICILE ALGORITMILOR COMPARAȚI

Algoritm	Parametrii
basic DE	$N = 30, F_1 = 0.7, C_r = 0.5$
BSA	$N = 30, mixrate = 1$
HBD	$N = 30, mixrate = 1, F_2 = 0.8, C_r = 0.9$
HA	$N = 30, F^{DE} = 0.5, mixrate = 1, F_2 = 0.8, C_r = 0.9$

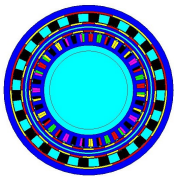
TABEL III – REZULTATELE STUDIULUI COMPARATIV

ID	Statistica	DE de bază	BSA	HBD	Algoritmul hibrid dezvoltat
F1	Mean	5.0248e-8	3.4533e-1	4.6922e-5	9.1002e-19
	Std	5.2899e-8	3.5621e-1	4.8779e-5	2.9661e-18
F2	Mean	8.1505e+1	3.3165e-2	1.6582e-1	2.8421e-15
	Std	9.9491e+0	1.8165e-1	5.2799e-1	1.1442e-14
F3	Mean	6.5290e-4	2.7325e-3	2.6024e-3	1.0943e-6
	Std	2.4636e-3	4.0466e-3	4.3631e-3	5.9939e-6
F4	Mean	2.6184e+4	1.5827e+4	4.6782e+3	2.2007e+2
	Std	1.7560e+4	2.6310e+4	6.8912e+3	8.9950e+2
F5	Mean	390.3997	390.2320	390.0006	390.0000
	Std	1.2160e+0	5.8625e-1	3.0137e-3	1.9653e-14

Se poate observa că algoritmul hibrid propus depășește în performanțe rezultatele celorlalți algoritmi discutați testați pe funcțiile standard selectate (prezentate în Tabel 1).

1.2 Interfață Matlab pentru dimensionare/optimizare mașini electrice

Utilizând soft-ul Matlab, s-a creat o interfață pentru vizualizarea rezultatelor obținute în urma dimensionării și a optimizării mașinii, într-o formă interactivă. În vederea afișării rezultatelor optimizării, algoritmul utilizat a fost Hooke-Jeeves, algoritm menit să găsească minimumul unei funcții cu variabile multiple. Această metodă utilizează, în prima fază, o cercetare locală, paralelă cu axele de coordonate, în puncte aflate la o anumită distanță de punctul de bază. Următorul pas presupune



o deplasare mai mare, după o direcție evaluată în cercetarea anterioară. În momentul în care deplasarea prezintă un succes și în punctul respectiv de explorare dovedește că deplasarea s-a făcut pe direcția bună și se efectuează o nouă deplasare. Procesul de cercetare începe rezervat, cu etape de deplasare scurte. Lungimea deplasărilor crește numai după repetarea succesului cercetării anterioare. Dacă funcția obiectiv nu se îmbunătățește pe o anumită direcție, în continuare, va utiliza etape scurte de cercetare pe o altă direcție. Structura algoritmului de optimizare folosit, este prezentată în Fig.2.

Utilizând acest algoritm de optimizare, se dorește minimizarea masei structurii. În urma optimizării, variațiile anumitor parametri geometrici (diametrul interior, dimensiune întrefier), a masei active, a randamentului și a factorului de putere pot fi observate în Fig.3.

Interfața construită oferă posibilitatea de a vizualiza datele și rezultatele dorite, prin accesarea comenzilor de tip buton. Primul pas, este alegerea tipului de mașină. Apoi, se pot urmări parametrii motorului, Fig.4, împărțiți pe categorii: datele principale ale mașinii, caracteristici de material și valorile parametrilor obținuți în urmă dimensionării structurii. Butonul de optimizare, arată valorile minime și maxime ale celor 12 variabile folosite pentru optimizarea mașinii. În ultimă fază, rezultate obținute după optimizare, sunt afișate în interfața sub forma grafică, sub accesarea butonului "Results".

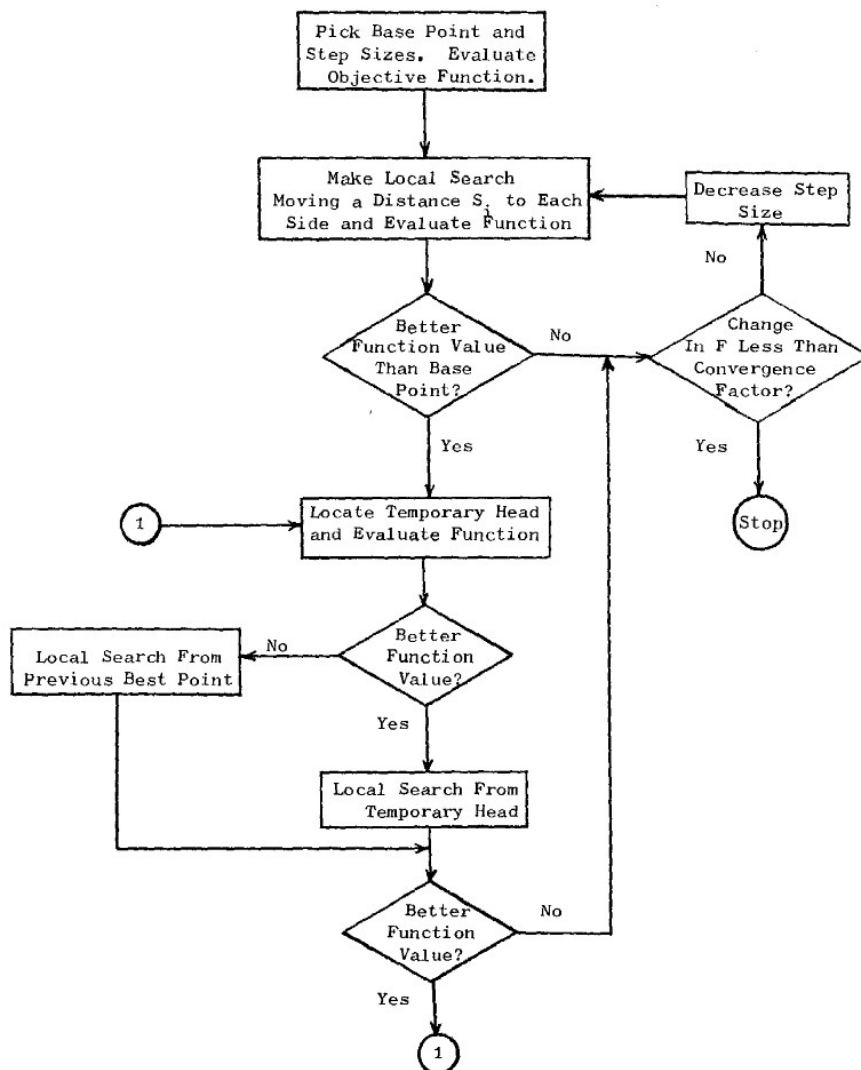
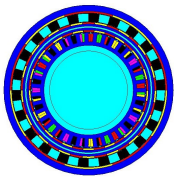


Fig.2. Diagrama algoritmului de optimizare Hooke-Jeeves.



ELIMPUS

Efficient Lightweight Electro-Magnetic Propulsion System for Electric Vehicles

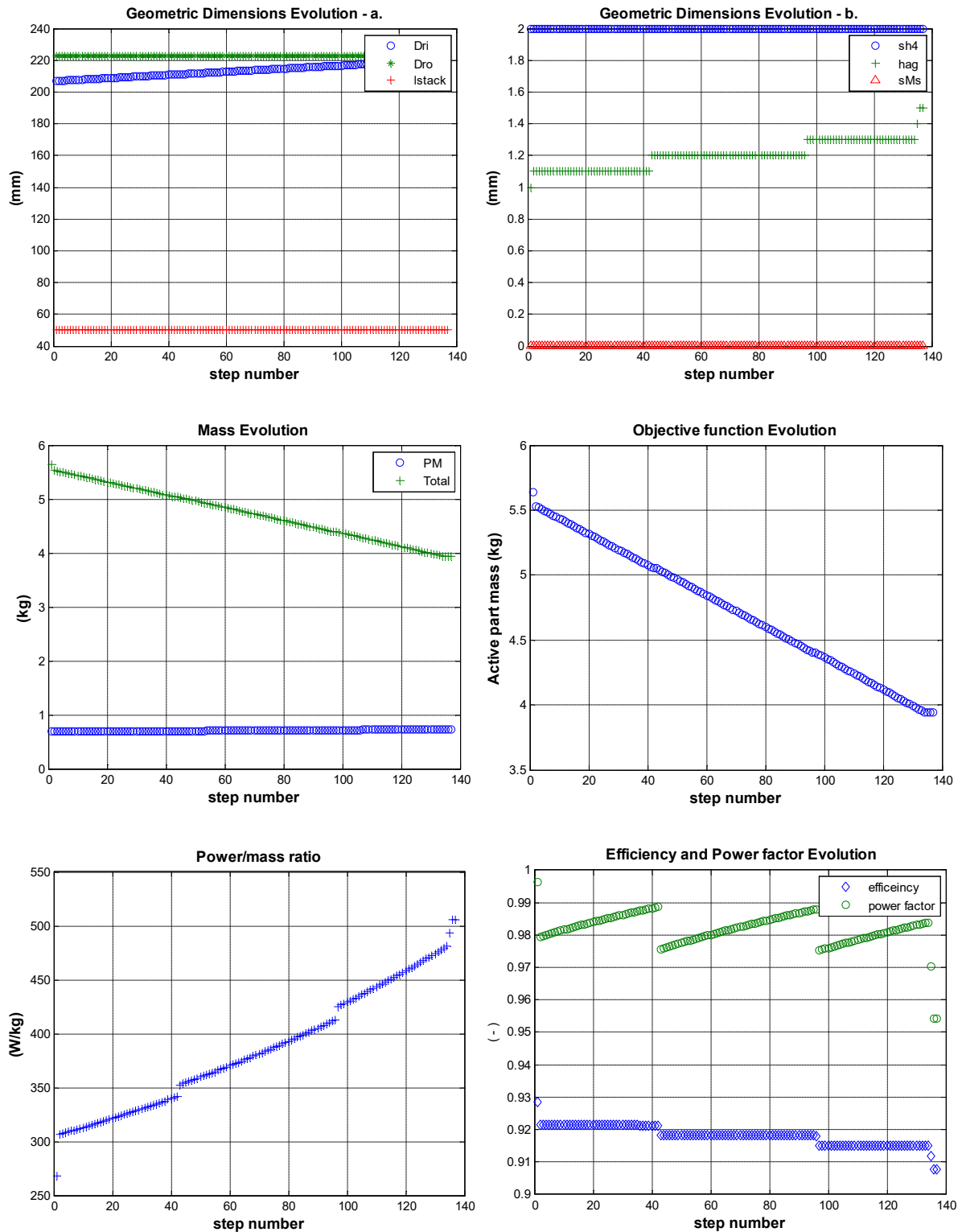
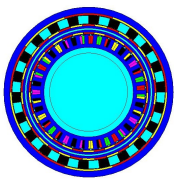


Fig.3. Rezultate obținute în urma optimizării

1. Analiză structurală a propulsiei pur-electromagnetice cu transmisie în trepte

1.1 Modelare

În vederea analizei acustice, s-au utilizat 2 tipuri de software pentru a determina numeric



Type of machine
PMSM

Motor's parameters Optimization Results

Main Data Material Parameters Sizing

Output power [W] 1500

Supplying voltage [V] 60

Pole pairs 34

Supplying frequency [Hz] 119

Number of slots 39

Phase number 3

Rated speed [rpm] 420

Reset

Type of machine
PMSM

Motor's parameters Optimization Results

	Min Value	Max Value
Inner rotor diameter	150	220
Outer rotor diameter	250	250
Tooth isthmus height	0.5	3
Stator yoke height	3	10
Tooth width	4	12
Airgap height	0.5	1.5
Permanent magnet height	2	7
Axial length	25	80
Stator Slot Opening	1	10
Torque	33.9	35
Mechanical Power	1490	1510
Source current	15	26

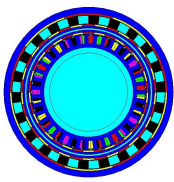
Fig.4. Interfata Matlab de dimensionare si optimizare masina.

modurile de deformare a structurii și pentru a determina nivelul de zgomot produs. În vederea construirii geometriei structurii, ambele programe folosite oferă cadrul necesar, atât pentru construcție cât și pentru importul geometriei. Forțele de excitare a structurii sunt exportate din programul Flux 2D și atașate structurii, în programul LMS Virtual Lab, unde este derulată analiza acustică, până la obținerea modurilor structurii, nivelului de vibrații și de zgomot.

În urma analizei numerice modale, deformările rezultate atunci când excitația structurii coincide cu frecvențele naturale ale sistemului, pot fi observate în Fig.5. Dinamica structurii studiate poate fi observată prin procesul de analiză modală, care ne permite să facem o evaluare cu privire la perturbațiile care pot apărea din cauza vibrațiilor și a zgomotului.

Puterea acustică sau zgomotul produs de forțele electromagnetice în structură, este reprezentat în Fig.6, cu culoarea portocaliu. Cu culoarea albastră, este reprezentată funcția de răspuns în frecvență (FRF) a structurii, care reprezintă un raport între o forță aplicată structurii și răspunsul acesteia. Cele mai mari valori acustice au fost detectate la valori de catev ori mai mari decât frecvența de alimentare a mașinii.

În jurul mesh-ului structural, a fost construit un mesh acustic, pentru a calcula transferul acustic. Mesh-ul acustic a fost construit cu o raza de 1 metru în jurul structurii și materialul utilizat este aer. Răspunsul acustic este înregistrat la marginea mesh-ului acustic. Fig.7. reprezintă răspunsul acustic calculat în jurul structurii, respectiv deformarea apărută în momentul de translație a structurii, pentru două din frecvențele cu cel mai mare impact asupra studiului vibro-acustic. Cea mai mare valoare a zgomotului acustic a fost înregistrată la o frecvență de 31.8 dB, corespunzătoare la o frecvență de 238 Hz (Fig.7, dreapta), urmată de valoarea obținută de 23.7 dB, pentru o frecvență de 1097 Hz.



ELIMPUS

Efficient Lightweight Electro-Magnetic Propulsion System for Electric Vehicles

Mode number	1	2	3	4	5	6	7	8
Frequency (Hz)	1743	4016	4060	5115	6363	6380	7593	7800
Front view								
Lateral view								

Fig.5. Modurile de deformare ale statorului

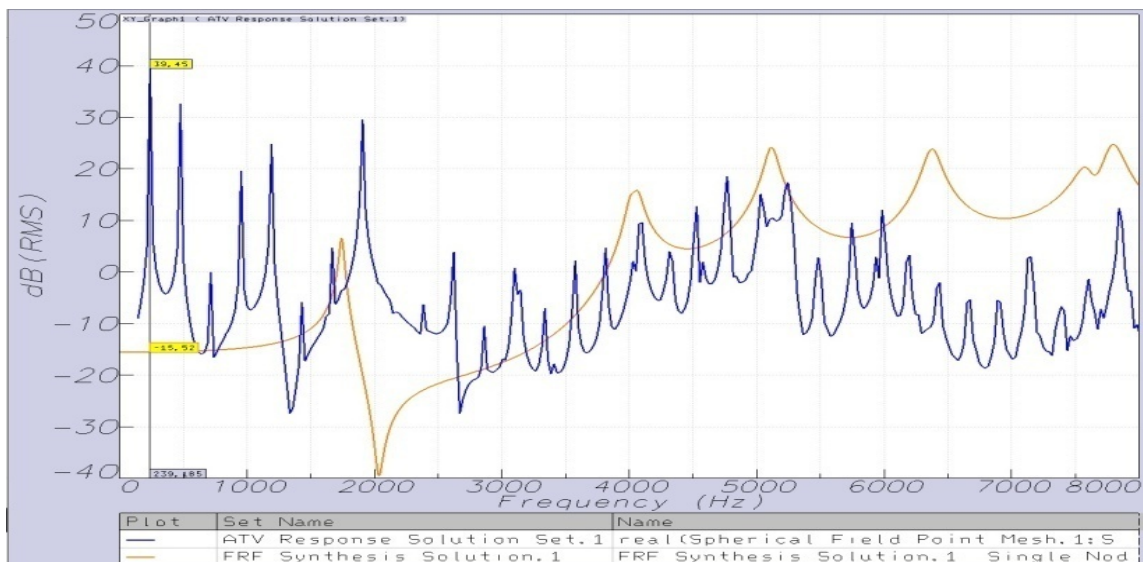


Fig.6. Puterea acustică și FRF ale structurii

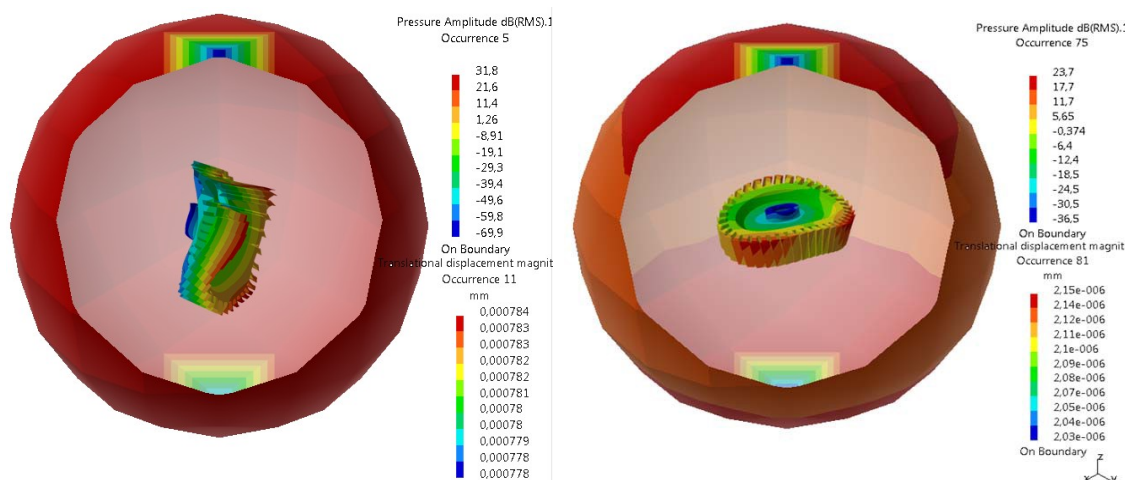
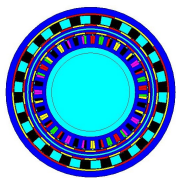


Fig.7. Raspunsul acustic al structurii studiate



1.2 Măsurători experimentale

Validarea experimentală a studiului vibro-acustic a fost realizată prin metoda testului de impact. Analiza a fost făcută pentru fiecare componentă activă a mașinii, fiind realizate 4 studii pentru stator, rotor interior, partea statică cu poli alternanți metal-aer și rotor exterior. Studiul experimental se desfășoară urmărind pașii prezentați în Fig.8.

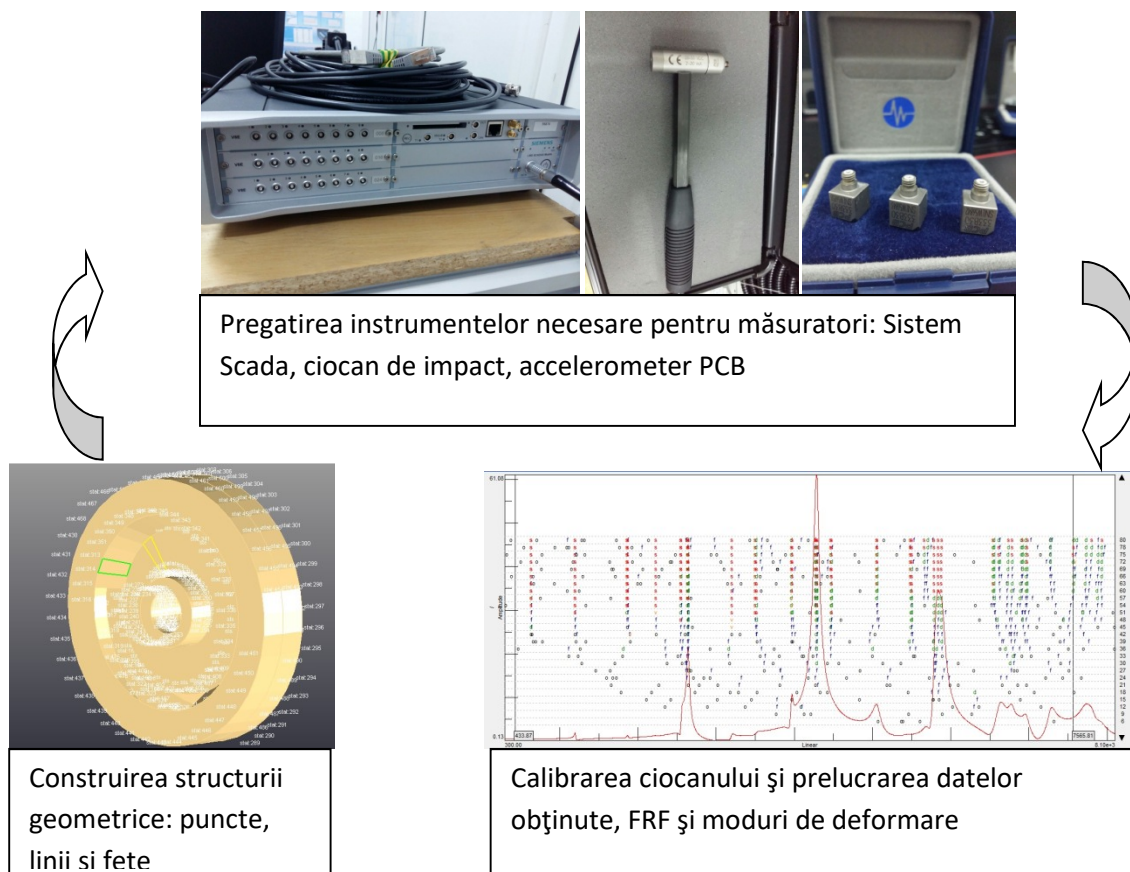


Fig.8. Pregătirea părții experimentale și a instrumentelor necesare.

În vederea desfășurării măsurătorilor, au fost necesari o serie de accelerometre, pentru a transmite sunetul, unui sistem de achiziție Siemens Scada, menit să înregistreze în vederea analizei, vibrațiile provocate de excitarea structurii cu ajutorul ciocanului de impact. Pentru prelucrarea datelor, s-a folosit soft-ul LMS Test.Lab, utilizat pentru măsurători de vibrații și rezonanțe acustice. Fiecare structură a fost suspendată cu o funie elastică, pentru a evita interferențele altor structuri de susținere. Cu ajutorul ciocanului de impact, au fost aplicate lovituri în diferite puncte dispuse pe circumferința structurii analizate. Cele patru componente a structurii au fost analizate separat, Fig.10, pentru a vedea aportul adus de fiecare componentă la nivelul acustic total, al structurii întregi. Fiecare structură a fost supusă testului de impact și analizată în softul LMS Test.Lab. În Fig.11 se poate observa analiza modală a rotorului exterior al multiplicatorului magnetic, forma ce corespunde modului triunghi de deformare. De asemenea, semnalul FRF măsurat într-un punct oarecare al geometriei este prezentat în Fig.12.

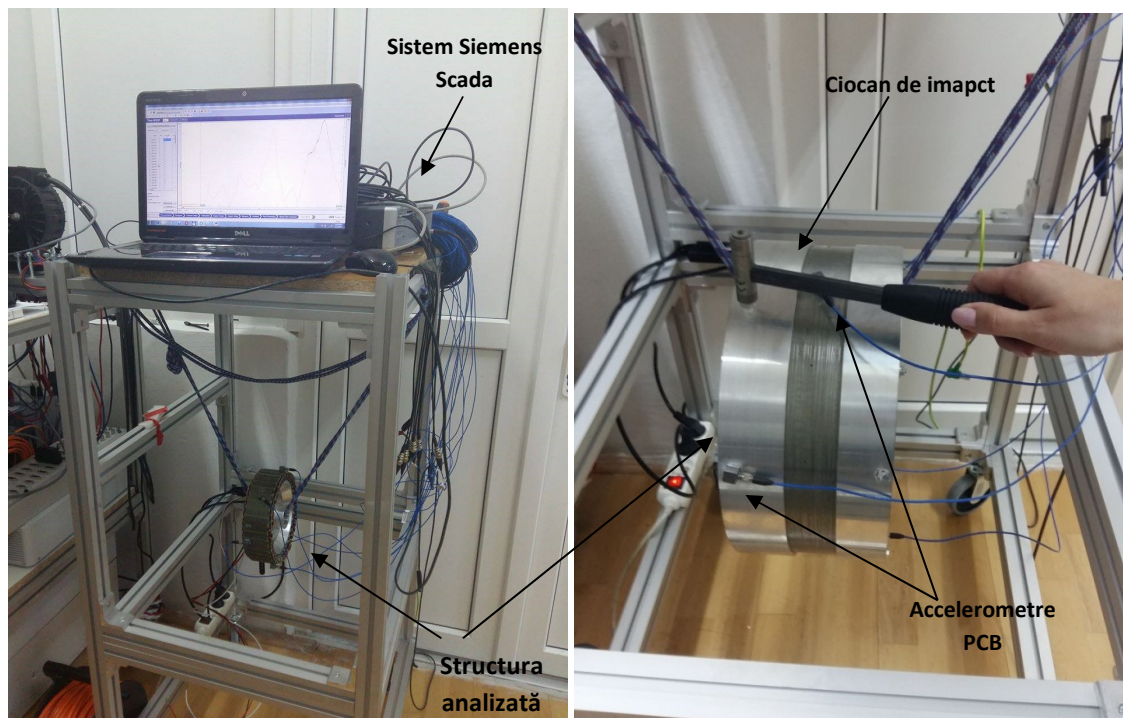
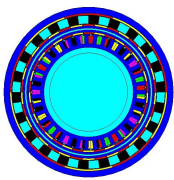


Fig. 9. Standul de lucru pentru testarea structurilor



Fig.10. Modalitate măsurători efectuate pe structurile moto-reductorului magnetic cu transmisie în trepte (în imagine este prezentat rotorul reductorului magnetic – stânga – și partea fixă interioară a acestuia – dreapta).

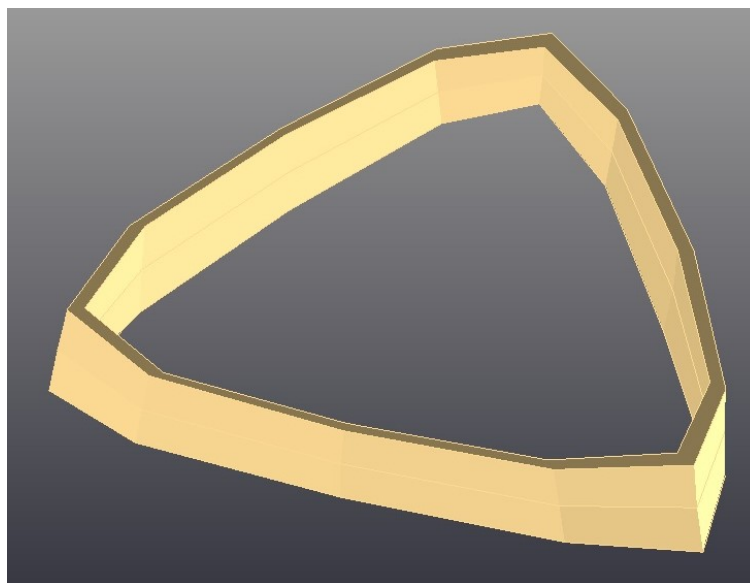
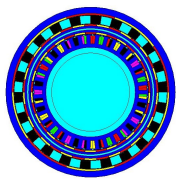


Fig.11. Mod de deformare triunghiular al rotorului exterior

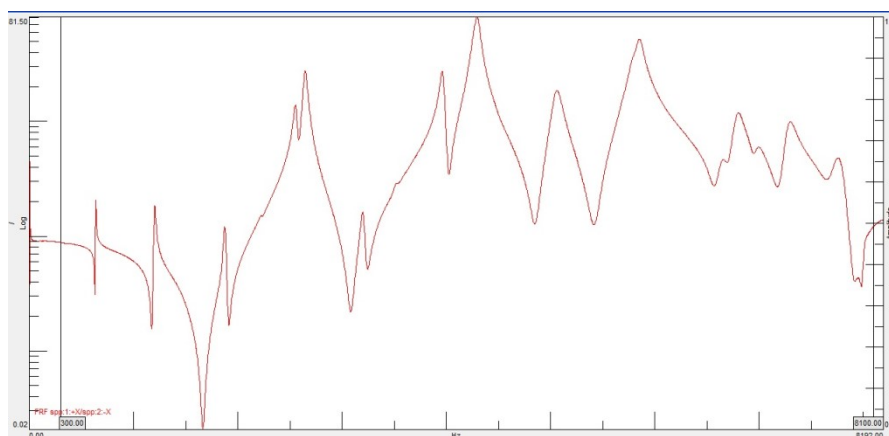


Fig.12. FRF al părții statice cu poli alternanti oțel-aer

După prelucrarea datelor obținute în urma testului de impact, s-au obținut modurile de deformare prezentate în Fig.13, pentru fiecare structură.

Mode 1 : 432.585 Hz, 0.29 % AMPS s	Mode 1 : 637.962 Hz, 0.34 % AMPS s	Mode 1 : 786.919 Hz, 0.97 % AMPS s	Mode 1 : 1386.986 Hz, 3.03 % AMPS s
Mode 2 : 633.088 Hz, 0.50 % AMPS s	Mode 2 : 1197.550 Hz, 0.66 % AMPS s	Mode 2 : 790.288 Hz, 1.05 % AMPS s	Mode 2 : 1407.890 Hz, 3.06 % AMPS s
Mode 3 : 1203.996 Hz, 0.37 % AMPS s	Mode 3 : 1201.818 Hz, 0.63 % AMPS s	Mode 3 : 1751.017 Hz, 1.17 % AMPS s	Mode 3 : 1408.151 Hz, 3.07 % AMPS s
Mode 4 : 1732.425 Hz, 0.68 % AMPS s	Mode 4 : 1874.247 Hz, 0.80 % AMPS s	Mode 4 : 2667.979 Hz, 0.32 % AMPS s	Mode 4 : 2479.310 Hz, 7.13 % AMPS s
Mode 5 : 2236.719 Hz, 0.60 % AMPS s	Mode 5 : 2228.950 Hz, 0.60 % AMPS s	Mode 5 : 2876.910 Hz, 1.21 % AMPS s	Mode 5 : 2614.205 Hz, 6.55 % AMPS s
Mode 6 : 3011.945 Hz, 1.31 % AMPS s	Mode 6 : 2555.641 Hz, 0.66 % AMPS s	Mode 6 : 4050.491 Hz, 0.70 % AMPS s	Mode 6 : 2999.156 Hz, 4.86 % AMPS s
Mode 7 : 3399.468 Hz, 0.96 % AMPS s	Mode 7 : 2648.558 Hz, 0.75 % AMPS s	Mode 7 : 4126.140 Hz, 0.41 % AMPS s	Mode 7 : 3039.330 Hz, 4.51 % AMPS s
Mode 8 : 3623.482 Hz, 0.73 % AMPS s	Mode 8 : 3200.132 Hz, 0.64 % AMPS s	Mode 8 : 5346.594 Hz, 0.51 % AMPS s	Mode 8 : 3265.519 Hz, 5.35 % AMPS s
Mode 9 : 3787.102 Hz, 2.15 % AMPS s	Mode 9 : 3516.496 Hz, 1.02 % AMPS s	Mode 9 : 5449.699 Hz, 1.33 % AMPS s	Mode 9 : 3977.825 Hz, 4.62 % AMPS s
Mode 10 : 4348.350 Hz, 1.64 % AMPS s	Mode 10 : 3972.906 Hz, 0.52 % AMPS s	Mode 10 : 5793.403 Hz, 0.37 % AMPS s	Mode 10 : 4589.798 Hz, 3.97 % AMPS s
Mode 11 : 4736.079 Hz, 1.63 % AMPS s	Mode 11 : 4294.943 Hz, 0.67 % AMPS s	Mode 11 : 6288.092 Hz, 1.01 % AMPS s	
Mode 12 : 5170.562 Hz, 1.51 % AMPS s	Mode 12 : 4476.456 Hz, 1.03 % AMPS s	Mode 12 : 6912.789 Hz, 0.85 % AMPS s	
Mode 13 : 5629.530 Hz, 1.61 % AMPS s	Mode 13 : 5058.168 Hz, 1.00 % AMPS s		
Mode 14 : 5957.290 Hz, 1.28 % AMPS s	Mode 14 : 5503.290 Hz, 1.14 % AMPS s		
Mode 15 : 6055.159 Hz, 1.67 % AMPS s	Mode 15 : 5842.311 Hz, 0.79 % AMPS s		
Mode 16 : 6546.103 Hz, 1.03 % AMPS s	Mode 16 : 6786.235 Hz, 0.82 % AMPS s		
Mode 17 : 6844.692 Hz, 1.56 % AMPS s	Mode 17 : 7568.063 Hz, 1.32 % AMPS s		
Mode 18 : 7836.088 Hz, 0.62 % AMPS s			

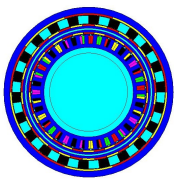
a

b

c

d

Fig.13. Modurile de deformare a structurilor: a. rotor exterior, b. partea cu poli alternanti, c. rotor interior, d. stator



2. Testarea și validarea motoreductorului magnetic cu transmisie în trepte

Standul pentru testarea moto-reductorului magnetic este prezentat mai jos și conține: prototipul de moto-reductor construit în proiectul ELIMPUS, traductorul de cuplu, motorul de același nivel de putere (folosit și la propulsia unui scuter electric) folosit ca sarcină, bateria pentru alimentarea mașinii, cutia de comandă elaborată în proiect, traductorii de tensiune și curenți, controlerul folosit (de tip Kelly-Keb, achiziționat anterior), PC conectat la platforma de control și achiziții în timp real, de tip dSPACE1103.

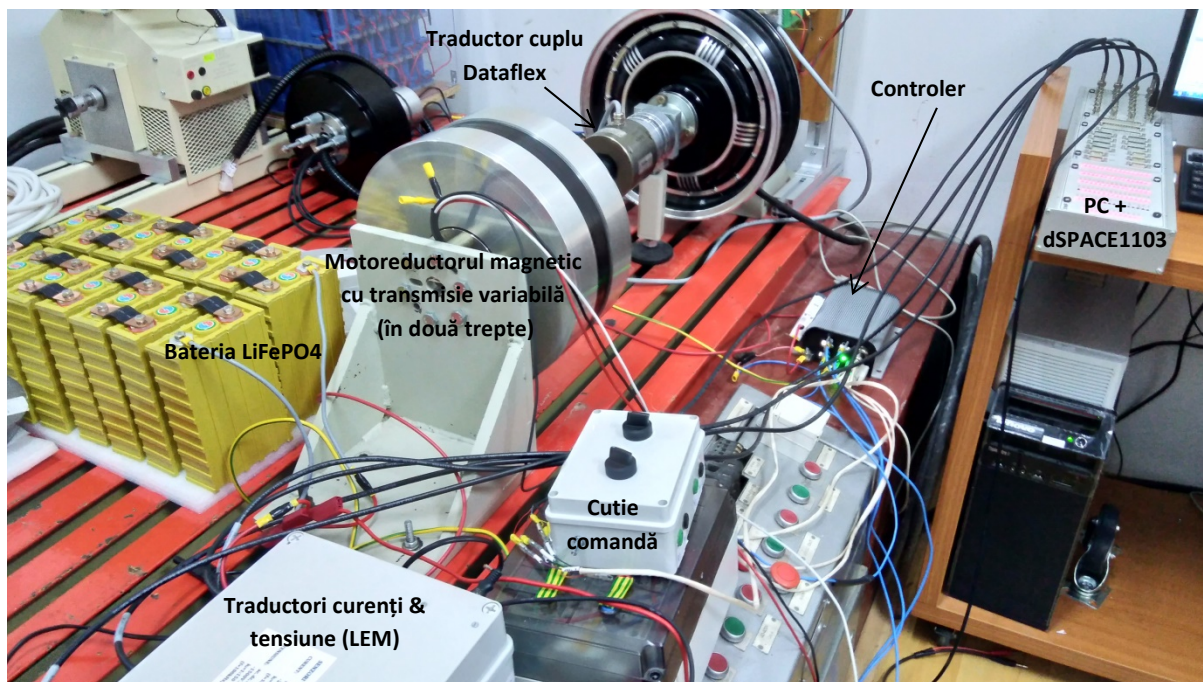
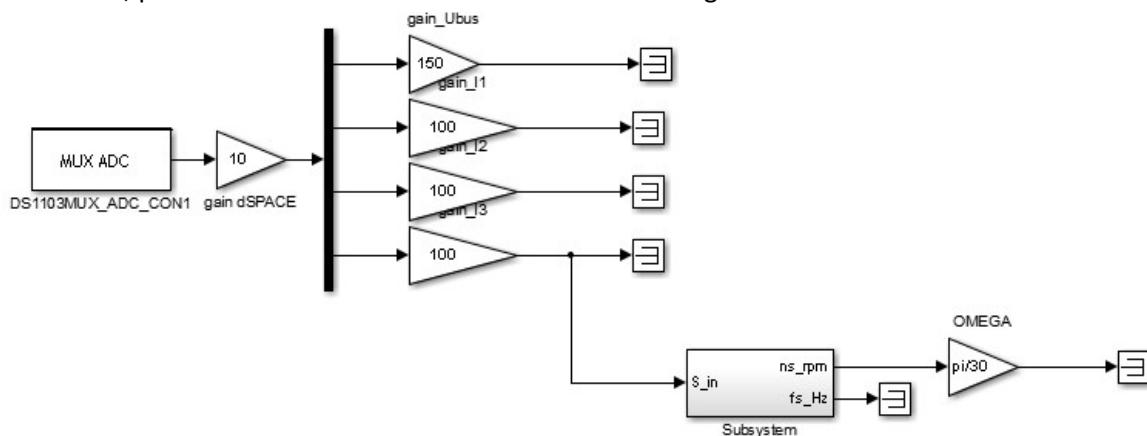


Fig.14 Standul experimental folosit la testarea și validarea moto-reductorului magnetic cu două trepte de viteză.

Schema bloc pentru alimentarea și monitorizarea funcționării moto-reductorului, elaborată în Simulink și apoi încărcată în platforma dSPACE – prezentată parțial în figura Fig.15, unde achiziția curenților de fază, a tensiunii bateriei și blocul pentru estimarea vitezei sunt prezentate. De asemenea, parte din rezultatele măsurate sunt arătate în figura 16.



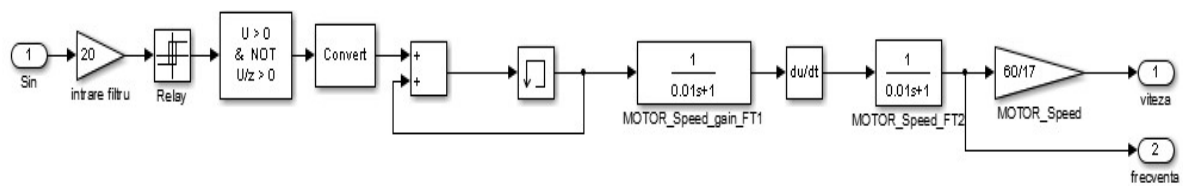
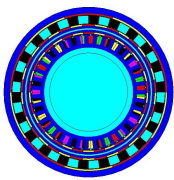


Fig. 15. Schema bloc elaborată în Simulink

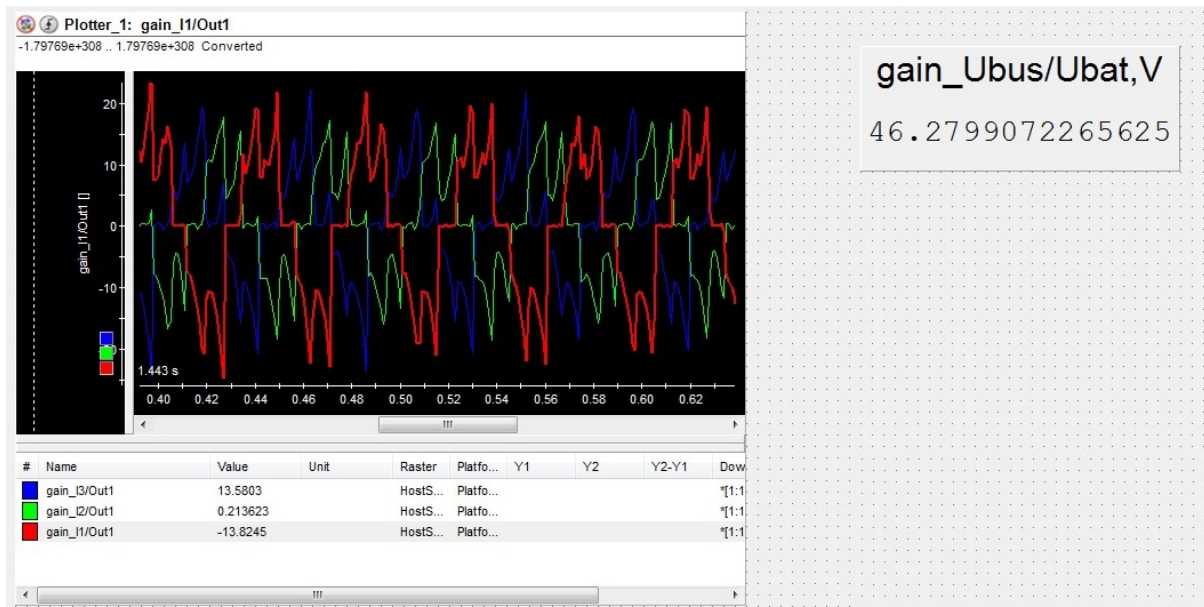
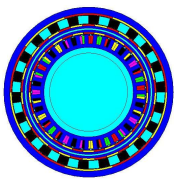


Fig.16. Rezultate măsurate în ControlDesk (dSpace1103).

3. Utilizarea motorului roată în propulsia unui scuter electric

Cercetarea implementată în proiectul ELIMPUS a presupus și evaluarea posibilității folosirii moto-reductorului magnetic la propulsia unui vehicul electric. Pentru aceasta, s-a achiziționat un scuter termic, cu motor pe benzină, rezervor și alte elemente specifice, care s-a convertit în scuter electric având aceleași caracteristici de putere și alimentare la nivelul propulsiei (controlerul folosit de motorul roată instalat la scuterul electric este identic cu cel folosit la alimentarea moto-reductorului magnetic). S-a considerat și un traseu rutier în vederea evaluării autonomiei unui astfel de scuter. S-a constatat că pentru bateria de 48Vcc/60Ah instalată la bordul scuterului, autonomia este de 250km, ceea ce este foarte optimist pentru un scuter dedicat transportului urban. Imagini cu scuterul inițial, apoi cel convertit, precum și și profilul de viteză măsurat pe un tronson de 5km sunt prezentate în figurile de mai jos.



ELIMPUS

Efficient Lightweight Electro-Magnetic Propulsion System for Electric Vehicles



Fig.17a Scuterul Benelli Velvet 150 înainte de conversie.



Fig.17b Eliminarea propulsiei termice și echiparea scuterului cu motorul electric roată (stânga) și bateria (dreapta).

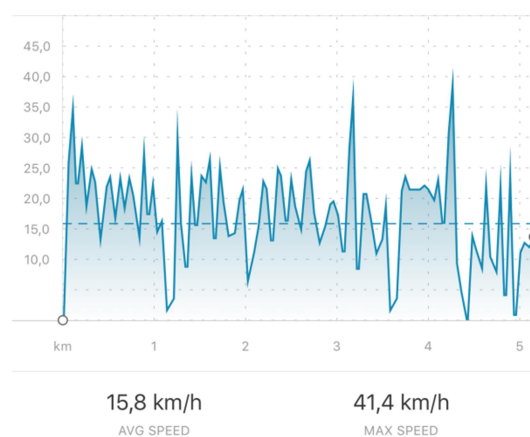
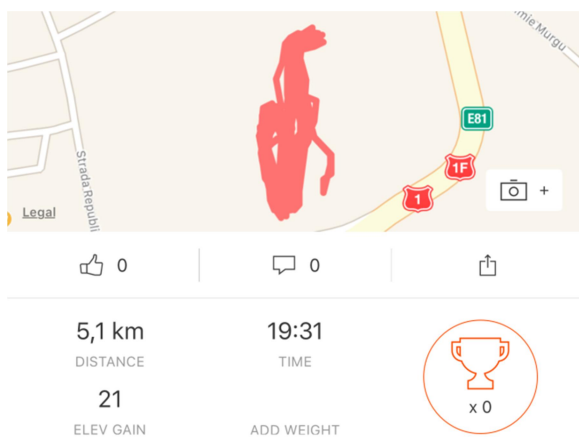
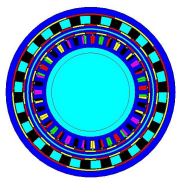


Fig.18 Traseul (circuitul) rutier, distanța și profilul de viteză înregistrat pe un tronson pe parcursul evaluării autonomiei scuterului electric dezvoltat în proiectul ELIMPUS.

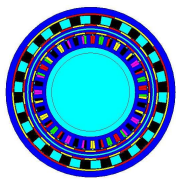
III. Principalele realizări ale cercetării din etapa a 3-a

În decursul anului 2017, un doctorand (Claudia POP) a efectuat un stagiu de pregătire referitor la optimizarea structurilor folosite în propulsia vehiculelor electrice (timp de două



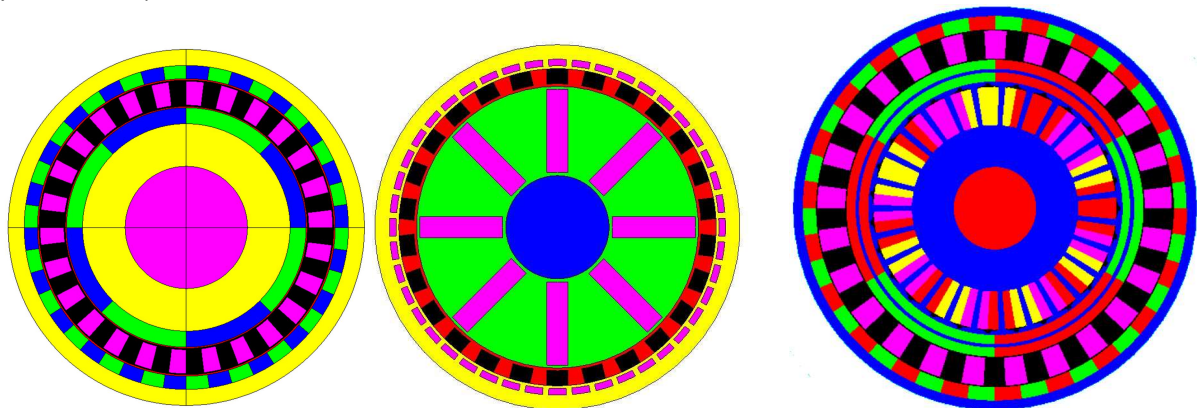
săptămâni, la Universite de Haute-Alsace, Mulhouse, Franța), s-a testat cu succes moto-reductorul magnetic cu două trepte de viteză, s-a achiziționat și un scuter termic care a fost convertit în scuter electric folosind motor de propulsie în roată și baterii achiziționate în cadrul proiectului; autonomia acestui vehicul a fost măsurată la 250 km.). Ca și publicații, s-au publicat 2 articole de conferință internațională (IEEE) idenxată în BDI, un articol de revistă a BDI (Scopus) a fost acceptat, plus un articol de revistă ISI (revistă plasată în prima poziție din zona roșie în domeniul Instruments & instrumentation)

1. Claudia V. Pop, D. Fodorean, “*Noise and Vibrations Analysis of a Permanent Magnet Synchronous Machine for Light Electric Vehicle*”, UPEC 2017 52nd International Universities' Power Engineering Conference, Heraklion, Greece, 29 August – 1 September 2017.
2. D. Fodorean, “*Study of electric propulsion by using virtual reality software*”, UPEC 2017 52nd International Universities' Power Engineering Conference, Heraklion, Greece, 29 August – 1 September 2017.
3. Claudia V. Pop, D. Fodorean, “*Review of Magnetic Gear Topologies and their Applications in Electric Vehicles*”, ELECTROTEHNICĂ, ELECTRONICĂ, AUTOMATICĂ, 65 (2015), nr. XII, pp.1-9, ISSN 1582-5175.
4. D. Fodorean, L. Idoumghar, M. Brevilliers, P. Minciunescu, C. Irimia, “*Hybrid Differential Evolution Algorithm employed for the Optimum Design of a High-Speed PMSM used for EV Propulsion*”, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2017, DOI: 10.1109/TIE.2017.2701788, ISSN 0278-0046, Impact Factor 7.168.

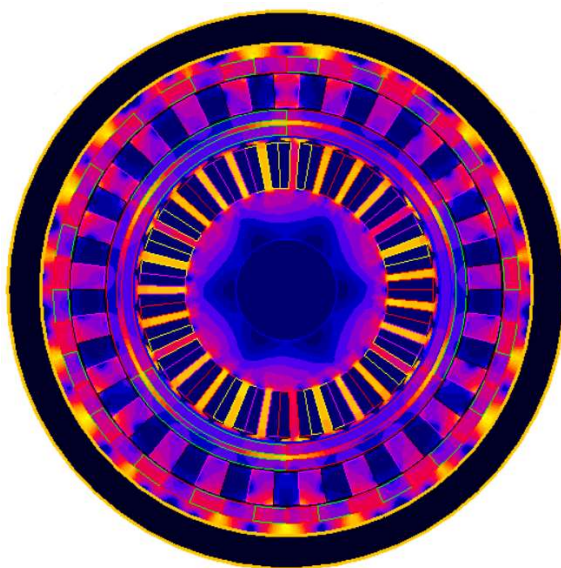


IV. Rezumat rezultate proiect ELIMPUS

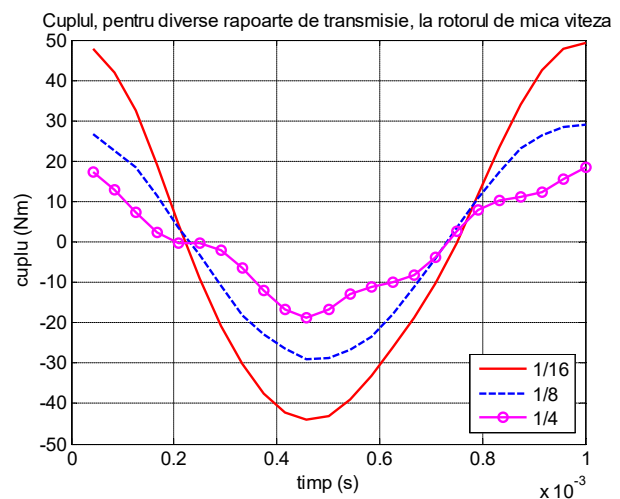
Dupa cum se poate observa din diagrama Gantt a proiectului Elimpus, scopul primei etape a cercetării a fost să se evalueze potențialul soluțiilor de propulsie pur-electromagnetică existente, în vederea definitivării unei structuri de studiat și construit în etapele următoare ale cercetării. Astfel, în baza unui studiu bibliografic, s-au evaluat structurile clasice de reductoare magnetice (RM), s-a evaluat aportul materialelor în performanțele structurilor și s-a stabilit caietul de sarcini pentru soluția de propulsie pur-electromagnetică ce oferă posibilitatea modificării raportului de transmisie. În figura de mai jos se prezintă cateva din structurile studiate, precum și modalități de analiză a performanțelor acestora folosind metoda elementului finit.



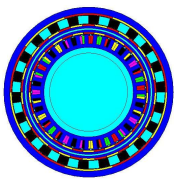
Structuri de RM propuse în literatură și studiate (cele două din stânga) și moto-multiplicatorul magnetic propus (dreapta).



Analiza numerică și validarea conceptului de transmisie cvasi-variabilă (în trepte) a motoreductorului magnetic.

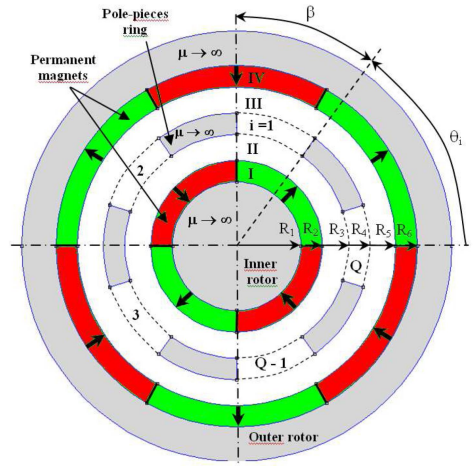
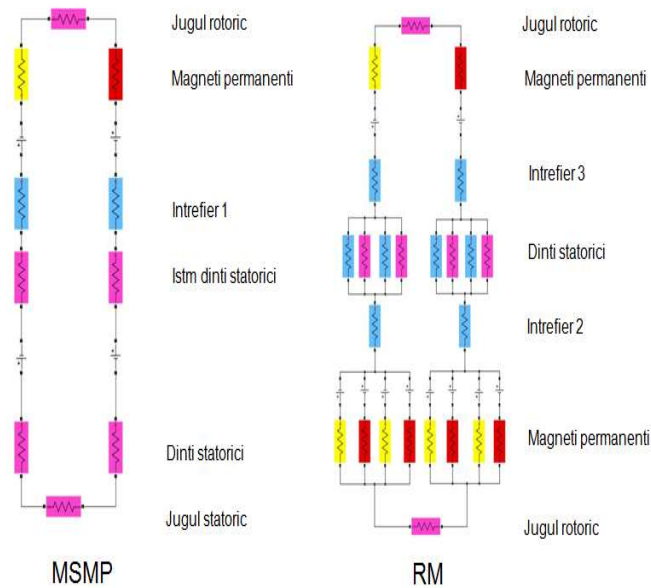


În etapa a doua de studiu, s-a decis cu privire la o soluție de propulsie pur electromagnetică, pornind de la un motor roată, rotorul acesteia fiind conectat la un reductorul magnetic. Originalitatea structurii constă în obținerea unui moto-reductor magnetic, defapt moto-multiplicator magnetic (deoarece viteza propulsiei poate fi marită) cu două trepte de transmisie. S-au dezvoltat în principal două metode analitice de proiectare a acestui dispozitiv, s-a realizat și optimizarea acestuia, s-a studiat comanda moto-reductorului și s-a demarat analiza structurală pentru determinarea amprentei vibro-acustice a dispozitivului. Prototipul a fost lansat în execuție la sfârșitul acestei etape. Imagini ale realizărilor principale din etapa a doua sunt prezentate mai jos.

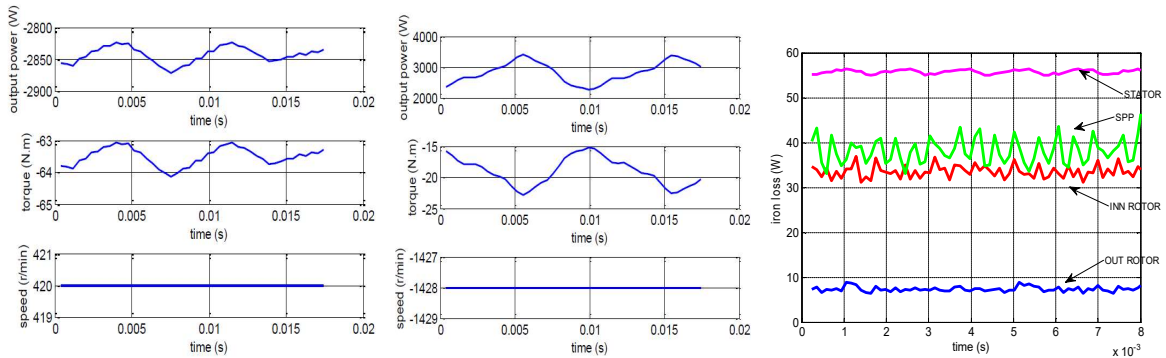


ELIMPUS

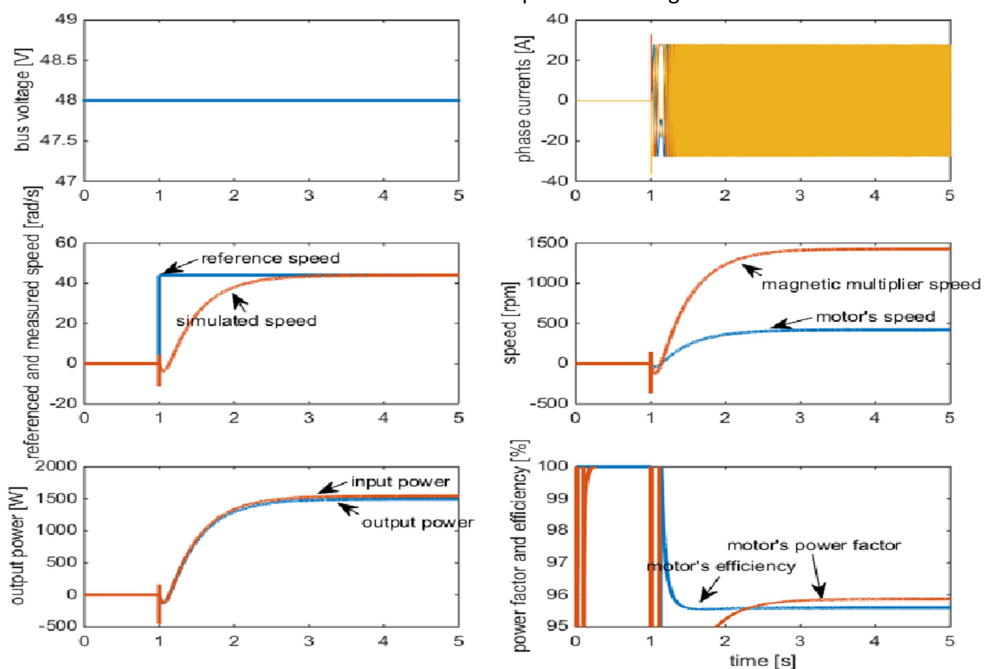
Efficient Lightweight Electro-Magnetic Propulsion System for Electric Vehicles



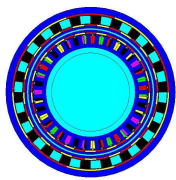
Proiectarea moto-multipliatorului magnetic folosind circuitul magnetic echivalent cu reluctanțe (stânga) și metoda potențialului vector (dreapta).



Caracteristicile moto-multipliatorului magnetic.



Rezultate simulate (Simulink) în timpul controlului moto-reductorului magnetic cu transmisie în trepte.

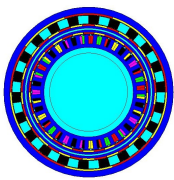


ELIMPUS

Efficient Lightweight Electro-Magnetic Propulsion System for Electric Vehicles

Rezumatul rezultatelor principale din proiectul ELIMPUS, obținute pe durata celor 24 de luni de implementare este prezentat în tabelul de mai jos, iar în perspectivă se dorește dezvoltarea conceptului de transmisie în trepte și implmenarea acestuia pentru vehiculele electrice de dimensiuni/puteri mai mari.

Publicații	
Articol revistă ISI factor impact 7.168	<u>D. Fodorean</u> , L. Idoumghar, M. Brevilliers, P. Minciunescu, C. Irimia, "Hybrid Differential Evolution Algorithm employed for the Optimum Design of a High-Speed PMSM used for EV Propulsion", IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2017, DOI: 10.1109/TIE.2017.2701788, ISSN 0278-0046.
Articol revistă BDI	<u>Claudia V. Pop</u> , <u>D. Fodorean</u> , "Review of Magnetic Gear Topologies and their Applications in Electric Vehicles", Electrotehnică, Electronică, Automatică (EEA), 65 (2015), nr. XII, pp.1-9, ISSN 1582-5175.
Articole conferințe indexate (IEEE)	<u>D. Fodorean</u> , "Study of electric propulsion by using virtual reality software", UPEC 2017 52nd International Universities' Power Engineering Conference, Heraklion, Greece, 29 August – 1 Sept.2017. <u>Claudia V. Pop</u> , <u>D. Fodorean</u> , "Noise and Vibrations Analysis of a Permanent Magnet Synchronous Machine for Light Electric Vehicle", UPEC 2017 52nd International Universities' Power Engineering Conference, Heraklion, Greece, 29 August – 1 September 2017. <u>Claudia V. Pop</u> , <u>D. Fodorean</u> , "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. <u>Claudia V. Pop</u> , <u>D. Fodorean</u> , "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.
Capitol carte editură internațională	<u>D. Fodorean</u> , "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.
Articol conferința națională de acționări electrice	<u>Claudia V. Pop</u> , <u>D. Fodorean</u> , "Magnetic multiplier for EV transmission – analytical and numerical aspects", CNAE 2016, Cluj-Napoca, 13-14 October, 2016, S-ME, pp.1-5.
Prototipuri	
Moto-reductor magnetic cu transmisie în trepte	
Sistem alimentare propulsie electrică (panou – stânga – și brat convertor în lucru – dreapta)	
Demonstrator	



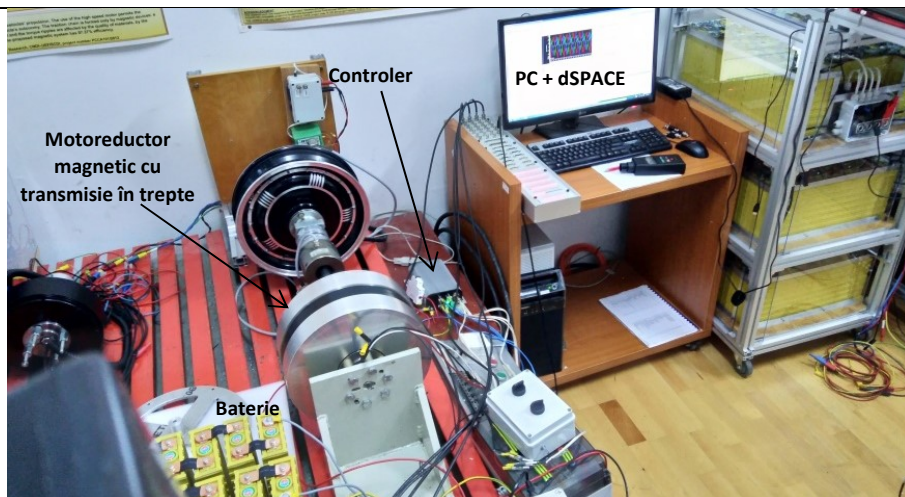
ELIMPUS

Efficient Lightweight Electro-Magnetic Propulsion System for Electric Vehicles

Stand testare structural (modală) electromecanice structuri



Stand testare propulsie pur-electromagnetică



Scuter electric cu motor roată



Anexa I – Site WEB

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