

Contractor: INCDIE ICPE-CA

Cod fiscal : RO 13827850

(anexa la procesul verbal de avizare interna nr.)

De acord,
DIRECTOR GENERAL,
Dr.ing. Sergiu NICOLAIE

Avizat,
DIRECTOR DE PROGRAM
Dr.ing. Georgeta ALECU

RAPORT DE ACTIVITATE AL FAZEI

Contractul nr.: 35N/2018
Proiectul: PN18240202 - Sisteme de actionare, analiza si control pentru cresterea eficientei energetice a echipamentelor si instalatiilor industriale utilizate in inginerie electrica, mecatronica si fluidica.
Faza: 1/2018 - Stabilire soluție constructivă, breviar de calcul, modelare cu element finit și elaborare proiect model experimental de mașină electrică polifazăată. Breviar de calcul și model numeric pentru dezvoltarea algoritmilor de procesare prin metoda de măsurare cu bobine rotitoare.
Termen: 15.04.2018

1. Obiectivele proiectului:

- O1. Dezvoltarea unui **electromagnet ultrarapid**, destinat să echipeze electrovalvele utilizate în domeniul hidraulicii digitale, domeniu de cercetare emergent la nivel național, dar de mare interes și la nivel internațional.
- O2. Studiul și realizarea unui **modul de translație pentru robotică**, caracterizat printr-o precizie mare de poziționare și prin realizarea cu ajutorul actuației piezoelectrice atât a poziționării liniare, cât și a blocării/deblocării poziției comandate.
- O3. Elaborarea unei **metode performante pentru caracterizarea rapidă și completă a câmpului magnetic** creat în apertura electromagneților pentru acceleratoare de particule, metodă bazată pe principiul bobinelor rotitoare.
- O4. Dezvoltarea unei **mașini electrice multifazate** (număr de faze mai mare de 3), destinată acționării electrice a mijloacelor de transport rutier, construcția polifazăată permițând atât obținerea unor cupluri ridicate la turații mici, cât și utilizarea la performanțe maxime a invertorului utilizat pentru alimentarea motorului.
- O5. Realizarea unor **instalații pentru caracterizarea curgerilor bifazice prin tehnica PIV**, în vederea optimizării proiectării, realizării și funcționării echipamentelor hidraulice.

2. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivelor:

- R1. breviar de calcul al mașinilor polifazate;
- R2. proiect model experimental de mașină electrică polifazăată;
- R3. breviar de calcul pentru postprocesarea datelor masurate cu sistemul cu bobine rotitoare;

- R4. model numeric pentru un electromagnet FAIR caracterizat prin metoda cu bobine rotitoare.
- R5. studiu privind analiza și modelarea soluțiilor constructive specifice electromagneților pentru hidraulică digitală;
- R6. studiu privind analiza și modelarea soluțiilor constructive specifice modulelor de translație cu acționare piezoelectrică.
- R7. documentația de execuție a instalației experimentale pentru studiul amestecurilor bifazice.
- R8. model experimental de mașină electrică polifazăată;
- R9. instalație experimentală destinată studiului curgerii bifazice.
- R10. metodă și pachet software pentru prelucrarea datelor primare obținute cu sistemul de măsurare cu bobine rotitoare;
- R11. proiect model experimental de modulul de translație cu acționare piezoelectrică;
- R12. un articol trimis spre evaluare și publicare către o revistă BDI sau ISI, referitor la analiza soluției constructive adoptate pentru modulul de translație cu acționare piezoelectrică;
- R13. cerere de brevet de invenție privind soluția constructivă a modulului de translație cu acționare piezoelectrică.
- R14. proiect model experimental de electromagnet ultrarapid pentru hidraulică digitală;
- R15. un articol trimis spre evaluare și publicare către o revistă BDI sau ISI, referitor la soluția adoptată pentru realizarea electromagnetului ultrarapid pentru hidraulică digitală;
- R16. cerere de brevet de invenție referitoare la soluția adoptată pentru realizarea electromagnetului ultrarapid pentru hidraulică digitală;
- R17. bază de date cu măsurători pentru diferite stadii de dezvoltare cavitațională în curgerile cu vârtej.
- R18. un articol trimis către o conferință internațională, referitor la caracterizarea curgerilor bifazice prin tehnica PIV;
- R19. un capitol de carte publicată într-o editură internațională, referitor la caracterizarea curgerilor bifazice prin tehnica PIV.

3. Obiectivul fazei:

- OF1. Stabilire soluție constructivă, breviar de calcul, modelare cu element finit și elaborare proiect model experimental de mașină electrică polifazăată.
- OF2. Breviar de calcul și model numeric pentru dezvoltarea algoritmilor de procesare prin metoda de măsurare cu bobine rotitoare.

4. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului fazei:

- R1. breviar de calcul al mașinilor polifazate;
- R2. proiect model experimental de mașină electrică polifazăată;
- R3. breviar de calcul pentru postprocesarea datelor măsurate cu sistemul cu bobine rotitoare;
- R4. model numeric pentru un electromagnet FAIR caracterizat prin metoda cu bobine rotitoare.

5. Rezumatul fazei:

5.1. Stabilire soluție constructivă, breviar de calcul, modelare cu element finit și elaborare proiect model experimental de mașină electrică polifazăată

În această fază s-a dorit realizarea unei comparații (obținută prin simulare funcțională) a caracteristicilor tehnico-fizice ale unei mașini polifazate cu o mașină trifazăată similară. Pentru acuratețe în rezultate, mașina electrică trifazăată a fost proiectată prin respectarea aceluiași caracteristici constructive (pachet tole, bobine, dimensiuni geometrice, putere de ieșire (cuplu mecanic). Mașina polifazăată care răspunde cel mai bine acestor deziderate este mașina cu șase faze.

Mașina trifazată fiind, de fapt, o variantă particulară a mașinii cu șase faze. Prin conectarea în serie a bobinelor aflate în opoziție de fază se obține, dintr-o mașină cu șase faze, o mașină cu trei faze. Obiectivul acestei lucrări constă în realizarea unui proiect de execuție model experimental pentru o mașină electrică rotativă hexafazăată. Proiectul are la bază breviarul de calcul și modelarea numerică bazată pe metoda elementului finit expuse în capitolele anterioare proiectului. Configurația propusă spre studiu permite realizarea unei mașini electrice care sa poate fi alimentată atât în regim trifazat cât și în regim hexafazat.

5.1.1. Tema de proiectare

Mașina electrică ce urmează a fi proiectată are o configurație a înfășurărilor statorice care permite alimentarea acesteia atât în sistem trifazat cât și în sistem hexafazat. Acest lucru permite a se observa o serie de avantaje ale mașinii electrice polifazate în comparație directă cu o mașina trifazată având aceeași construcție și aceiași parametri de ieșire. Datele inițiale ale mașinii studiate cu funcționare în regim de generator sunt: $S_n = 5.5 \text{ kVA}$; $n_n = 1500 \text{ rpm}$ și $U_n = 400 \text{ V}$

5.1.2. Breviar de calcul

Inițial se va predimensiona o mașina sincronă trifazată cu magneți permanenți atașați pe suprafața rotorului (SPM) ce funcționează în regim de generator, plecând de la anumite performanțe și dimensiuni impuse, apoi se vor determina parametrii funcționali și performanțele finale ale mașinii prin analiză numerică, utilizând un instrument de investigație numerică care are la bază metoda elementului finit.

Tabelul 1. Repartiția înfășurării în creștăturile statorice

Z1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+

Faza U	
Faza V	
Faza W	

În tabelul 1 este prezentată repartiția înfășurării în creștăturile statorice, prin simbolurile “+” și “-” se evidențiază sensul de realizare a bobinelor înfășurării. În tabelul 2 sunt prezentați parametrii principali ai mașinii electrice.

Tabelul 2. Listă de parametri

Tensiunea de fază	$U_{1N} = 230.94 \text{ [V]}$
Curentul de fază	$I_N = 7.94 \text{ [A]}$
Turația nominală	$n_n = 1500 \text{ rpm}$
Inducția magnetică în întrefier	$B_g = 0.9 \text{ [T]}$
Diametru interior stator	$D = 125 \text{ [mm]}$
Diametru exterior rotor	$D_r = 121 \text{ [mm]}$
Lungimea pachetului de tole	$l_t = 0.21 \text{ [m]}$
Numărul de conductoare în paralel	$a_p = 2$
Numărul de spire pe fază	$w_1 = 198$
Diametrul conductorului de cupru neizolat	$D_{Cu} = 0.95 \text{ [mm]}$

5.1.3. Calculul analitic pentru mașina hexafazată

Înfășurarea trifazată echilibrată impune ca numărul de creștături, Z_1 , să fie un multiplu de 3, iar numărul de creștături pe pol și fază, q , să fie minim 1. Pentru ca înfășurarea mașinii să fie reversibilă între cele două configurații, trifazat și hexafazat, se recomandă evitarea unui număr de creștături pe pol și fază fracționar.

Valoarea maximă a forței magnetomotoare se determină utilizând relația de mai jos:

$$F_{s\max} = \frac{4Z_1N_1 \cdot I \cdot l}{2\pi p} = 684.4 \left[\frac{\text{Amperu}}{\text{pol}} \right]$$

Valoarea de vârf a forței magnetomotoare (MMF) rezultate este:

$$F_s = \frac{3}{2} F_{s\max} = 1026.6 \left[\frac{\text{Amperu}}{\text{pol}} \right]$$

Utilizând relația de mai jos, putem calcula valoarea maximă analitică a cuplului:

$$T_{\max} = \frac{\pi}{2} \cdot p^2 \cdot \Phi_m \cdot F_s \cong 37 \text{ [Nm]}$$

Deoarece mașina dezvoltă același cuplu și are aceeași inducție magnetică în întrefier, vom utiliza relația următoare pentru a determina valoarea de vârf a forței magnetomotoare:

$$F_{s\text{ef}} = \frac{T_{\max} \cdot 2}{p^2 \cdot \Phi_m} = 1026.6 \left[\frac{\text{Amperu}}{\text{pol}} \right]$$
$$F_{s\max b} = \frac{2}{m_s} \cdot F_{s\text{ef}} = 342.2 \left[\frac{\text{Amperu}}{\text{pol}} \right]$$

Datorită simetriei, distribuția puterii pe fiecare fază va fi identică. Se pot distinge două cazuri de alimentare a înfășurărilor:

- Primul caz constă în utilizarea aceleiași tensiuni de alimentare, caz în care valoarea curentului de fază se reduce, (a);
- Al doilea caz constă în păstrarea valorii curentului pe fază, caz în care tensiunea de fază va avea o valoare redusă (b).

Cum puterea mașinii electrice rămâne constantă, avem relația 2.21 din care rezultă cele două cazuri descrise mai sus:

$$m \cdot U \cdot I = m_s \cdot U_s \cdot I_s$$
$$I_s = \frac{m \cdot U \cdot I}{m_s \cdot U_s} = \frac{I}{2} = 4 \text{ [A]} \quad [U = U_s] \quad (a)$$

$$U_s = \frac{m \cdot U \cdot I}{m_s \cdot I_s} = \frac{U}{2} = 115 \text{ [V]} \quad [I = I_s] \quad (b)$$

Din cele două cazuri am ales soluția b în care valoarea curentului se păstrează, iar tensiunea sistemului hexafazat devine 115 V, pentru ca numărul de conductoare din creștătura să nu se modifice și să se poată utiliza același conductor în înfășurarea statorică. Astfel mașina electrică poate fi alimentată în cele două sisteme, trifazat și hexafazat, fără a modifica componentele fizice ale mașinii electrice (în acest caz bobinele statorice).

5.1.4. Modelarea mașinii electrice prin metoda elementului finit

Modelul numeric al mașinii studiate

Pentru determinarea geometriei finale a rotorului mașinii, aceasta a fost analizată simultan din punct de vedere al cuplului de agățare și al tensiunii electromotoare. Pentru determinarea tensiunii electromotoare, mașina funcționează în regimul de generator. Geometria finală a mașinii este prezentată în figura 1.

Cuplul de agățare sau CT (Cogging Torque) al mașinilor electrice apare datorită interacțiunii dintre magneții permanenți ai rotorului și dinții statorului. Cuplul de agățare este un fenomen nedorit care apare în funcționarea mașinii și influențează comportamentul acesteia foarte mult la turații mici. Valoarea maximă a cuplului de agățare este de 0.224 Nm, iar valoarea RMS este de 0.112 Nm. Cuplul util estimat este de aproximativ 36 Nm, astfel cuplul de agățare reprezintă mai puțin de 1% din cuplul util nominal.

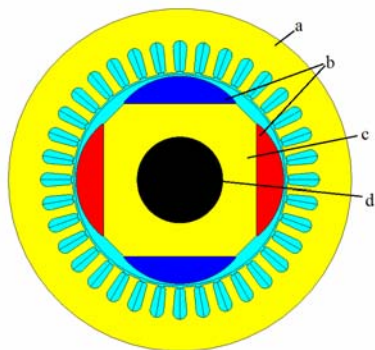


Fig. 1. Forma geometrică a mașinii studiate
a- tola statorică; b- magneți permanenți; c- tolă rotorică; d- ax

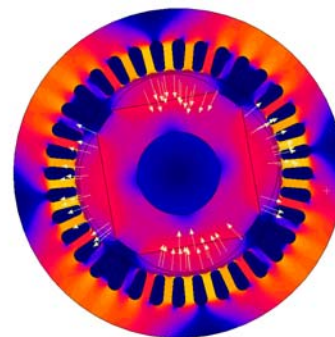
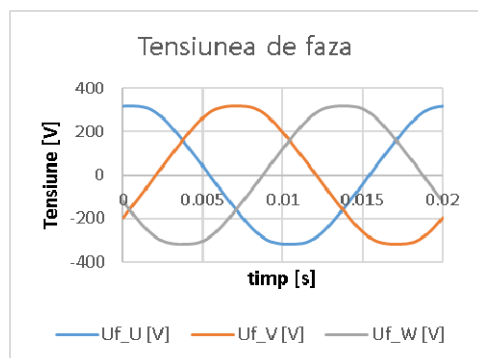


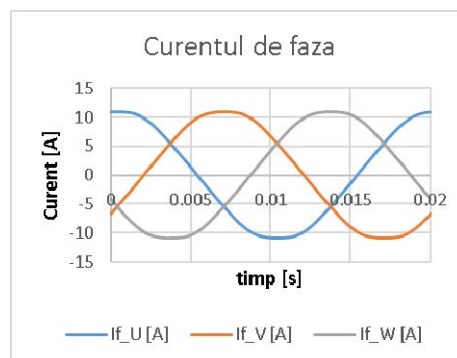
Fig. 2. Direcția de magnetizare a
magneților permanenți

Modelarea numerică a mașinii sincrone trifazate în regim de generator

Modelarea funcționării în regim de generator a mașinii sincrone presupune atribuirea unei valori nominale a rezistenței de sarcină. Variația tensiunii de fază, respectiv a curentului, este prezentată în figura 4.



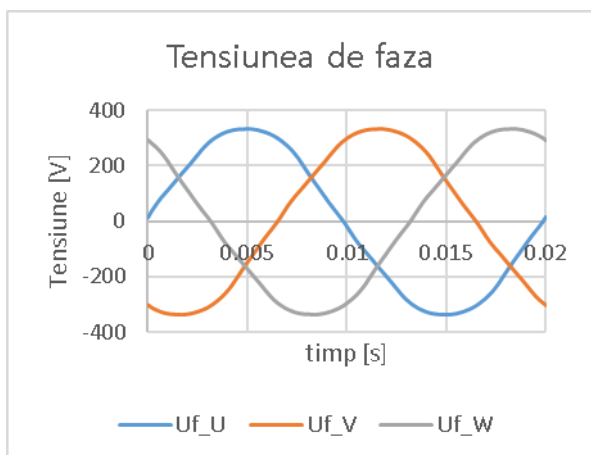
a.



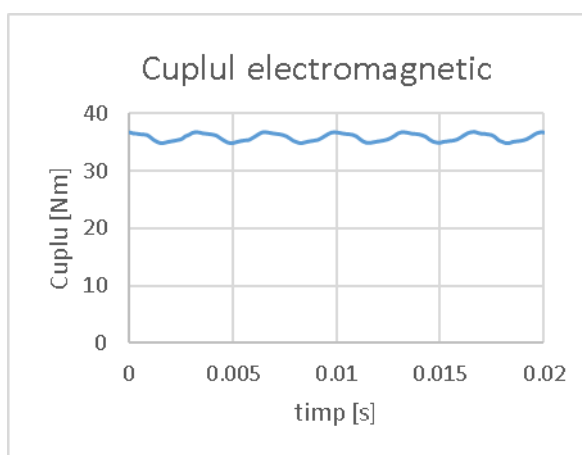
b.

Fig. 4. Variația în timp a tensiunilor de fază (a) și a curentilor (b)

Modelarea numerică a mașinii sincrone trifazate în regim de motor



a.



b.

Fig. 5. Variația în timp a tensiunilor de fază (a) și variația cuplului electromagnetic (b)

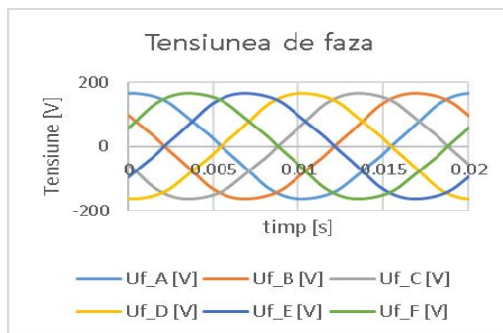
Modelarea numerică a mașinii hexafazate în regim de generator

În tabelul 3 este prezentată repartizarea înfășurării hexafazate în creștăturile statorice, fiecare fază fiind reprezentată de câte o culoare.

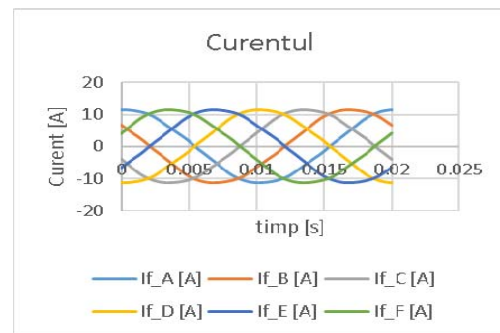
Tabelul 3. Repartiția înfășurării în creștăturile statorice

Z1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+

Faza A	
Faza B	
Faza C	
Faza D	
Faza E	
Faza F	



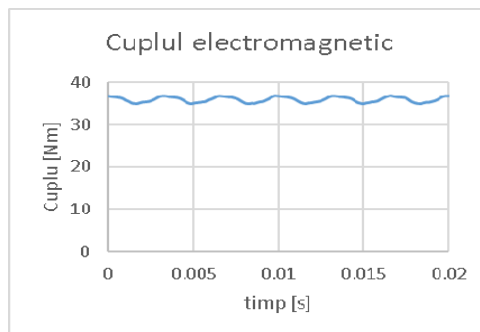
a.



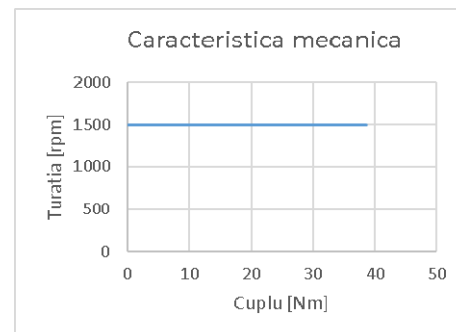
b.

Fig. 7. Variația în timp a tensiunilor de fază (a) și a curenților (b)

Modelarea numerică a mașinii hexafazate în regim de motor



a.



b.

Fig. 8. Variația cuplului electromagnetic (a) și caracteristica mecanică a motorului hexafazat(b)

Modelarea numerică a unui tip de defect pentru mașina electrică

Un tip de defect ce poate apărea în timpul funcționării unei mașini electrice constă în întreruperea alimentării uneia sau a mai multor faze. În acest subcapitol se va analiza cuplul electromagnetic dezvoltat de cele două tipuri de mașini. Comparând mașina trifazată cu cea hexafazată se observă că nu există diferențe semnificative în ceea ce privește cuplul dezvoltat. În figura 11 este reprezentat cuplul electromagnetic dezvoltat de cele două mașini în absența tipului de defect analizat. În figura 12 este comparat cuplul dezvoltat de fiecare mașină în prezența unui defect, întreruperea alimentării unei singure faze. În figura 13 este comparată variația cuplului dezvoltat de mașina trifazată alimentată cu două faze, cu variația cuplului dezvoltat de mașina hexafazată alimentată cu patru faze.

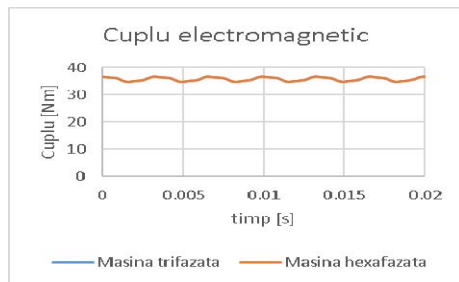


Fig. 11. Variația cuplului electromagnetic

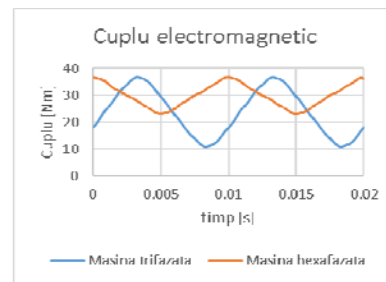


Fig. 12. Variația cuplului electromagnetic

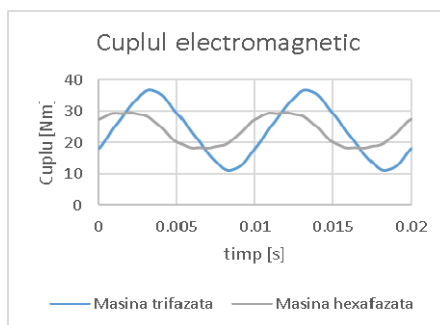


Fig. 13. Variația cuplului electromagnetic

5.1.5. Elaborare proiect model experimental de mașină electrică polifază

Pe baza configurației geometrice a elementelor active ale mașinii analizată în capitolele anterioare a fost elaborat proiectul pentru modelul experimental al mașinii electrice polifazate. Acesta se regăsește în anexa 1. În anexa 1/MPOL – 0 este prezentat ansamblul modelului experimental al mașinii electrice polifazate și cuprinde următoarele subansamble și elemente:

- MPOL - 1 cuprinde subansamblul stator bobinat;
 - o MPOL - 1.1.0 reprezintă pachetul de tole prelucrat;
 - o MPOL - 1.1.1.0 reprezintă pachetul de tole montat;
 - o MPOL - 1.1.1.1 prezintă tola statorului împreună cu detaliile creștăturii;
- MPOL – 2.0 arată subansamblul rotoric;
 - o MPOL – 2.1.0 prezintă pachetul de tole rotorice;
 - o MPOL – 2.2 constă în descrierea detaliilor axului rotoric;
 - o MPOL – 2.3 descrie dimensiunile magnetului de pe suprafața rotorului;
 - o MPOL – 2.4 prezintă piulița de fixare a pachetului rotoric;
- MPOL – 3 descrie inelul de fixare a rulmentului.

5.2. Breviar de calcul și model numeric pentru dezvoltarea algoritmilor de procesare prin metoda de măsurare cu bobine rotitoare

Pentru facilitarea îndeplinirii **Obiectivului 3**, care constă în *elaborarea unei metode performante pentru caracterizarea rapidă și completă a câmpului magnetic creat în apertura electromagneților pentru acceleratoare de particule, metodă bazată pe principiul bobinelor rotitoare*, s-a realizat un breviar de calcul care conține formule matematice utile obiectivului propus, precum și un model numeric detaliat al unui electromagnet FAIR pentru acceleratoare de particule. Acest model va fi folosit pentru a obține date de câmp magnetic ideale necesare etapei de dezvoltare a programelor de post-procesare.

5.2.1. Breviar de calcul

Câmp magnetic 2D, armonic

$$B_r(r, \theta) = \sum_{n=1}^{\infty} [B_n \sin(n\theta) + A_n \cos(n\theta)] \left(\frac{r}{R_{ref}} \right)^{n-1} \quad \text{- componenta radială}$$

$$B_\theta(r, \theta) = \sum_{n=1}^{\infty} [B_n \cos(n\theta) - A_n \sin(n\theta)] \left(\frac{r}{R_{ref}} \right)^{n-1} \quad \text{- componenta tangențială}$$

$$B_y + iB_x = \sum_{n=1}^{\infty} (B_n + iA_n) \left(\frac{x + iy}{R_{ref}} \right)^{n-1} \quad \text{- complex}$$

Bobine armonice (rotative)

$$\Phi = NL \operatorname{Re} \left[\int_{z_1}^{z_2} \mathbf{B}(z) dz \right] = \operatorname{Re} \left[\sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{NLR_{ref}}{n} \right) \left[\left(\frac{z_2}{R_{ref}} \right)^n - \left(\frac{z_1}{R_{ref}} \right)^n \right] (B_n + iA_n) \right]$$

$$\Phi(\theta) = \operatorname{Re} \left[\sum_{n=1}^{\infty} K_n e^{in\theta} (B_n + iA_n) \right], \quad \text{- fluxul la poziția unghiulară } \theta$$

$$K_n = \left(\frac{NLR_{ref}}{n} \right) \left[\left(\frac{z_{2,0}}{R_{ref}} \right)^n - \left(\frac{z_{1,0}}{R_{ref}} \right)^n \right] \quad \text{- sensibilitatea armonice } n$$

Transformata Fourier

$$\text{Ecuația de sinteză:} \quad x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} X(j\omega) e^{j\omega t} d\omega \quad (\text{transformarea inversă})$$

$$\text{Ecuația de analiză:} \quad X(j\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{j\omega t} dt \quad (\text{transformarea directă})$$

$$\text{Forma complexă:} \quad X(j\omega) = A(\omega) + jB(\omega)$$

unde:

$$A(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \cos \omega t dt \quad ; \quad B(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \sin \omega t dt \quad ;$$

5.2.2. Model numeric pentru dezvoltarea algoritmilor de procesare prin metoda de măsurare cu bobine rotitoare

Un aspect dificil în realizarea modelului numeric a fost realizarea fidelă a curbei polului, o hiperbolă definită de ecuația:

$$x = \pm \sqrt{\frac{y^3 \pm R^3}{3 \cdot y}}.$$

Astfel, s-a realizat un program in Matlab care să genereze această hiperbolă din puncte echidistante. Cu cât punctele sunt mai apropiate cu atât aproximarea hiperbolei este mai bună, dar crește mult numărul de elemente ale rețelei de discretizare - ceea ce este un dezavantaj peste o anumită valoare. În Figura 1 este dat un exemplu de rezultat al programului, în care punctele sunt la 0,5 mm pentru vizibilitate.

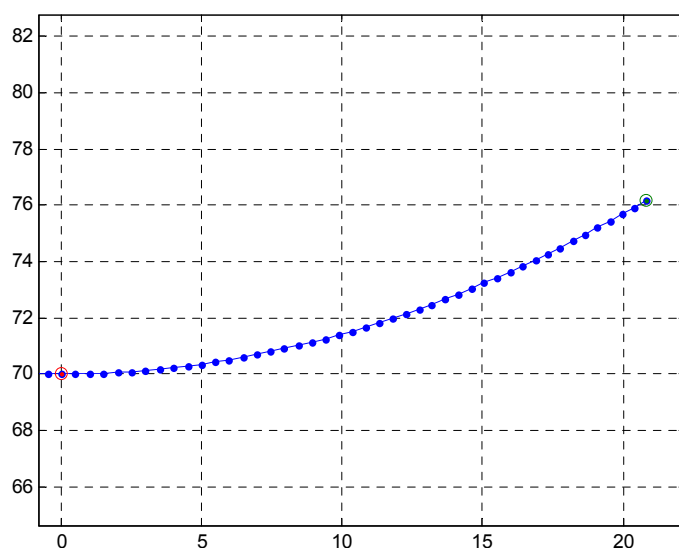


Figura 1. Punctele pe hiperbolă obținute cu Matlab la o distanță de 0.5 mm (demonstrativ)

Modelul numeric a fost implementat cu COMSOL, in 2D, modulul *Perpendicular Induction Currents, Vector Potential (AC/DC Module)*.

Următoarele constante și variabile globale au fost definite:

Nume	Expresie	Valoare	Descriere
I0	300[A]		curentul de excitatie
Nspire	15		numar spire per bobina
arie	1289.168033[mm^2]		aria unei laturi de bobina
J0	I0*15/arie	A/m^2	densitatea de curent

A fost considerată întreaga geometrie a electromagnetului, fără a se face reducerea datorită simetriei pentru analiza ulterioară a erorilor produse de asimetrie sau alte defecte. Toate colturile au fost teșite cu 0,5 mm pentru a reduce erorile de calcul. Distanța dintre două puncte pe hiperbola polului este de 0,1 mm. Domeniul de calcul se compune din următoarele subdomenii: 1 - aer exterior, 2 - jug feromagnetic, 3 - aer interior, 4-15 bobine, 16 - subdomeniu asimptotic pentru simularea spațiului deschis.

Rețeaua de discretizare are 238200 noduri de rețea și 476194 elemente triunghiulare. În Figura 2 se poate observa un detaliu al rețelei de discretizare pentru frontiera hiperbolică a polului.

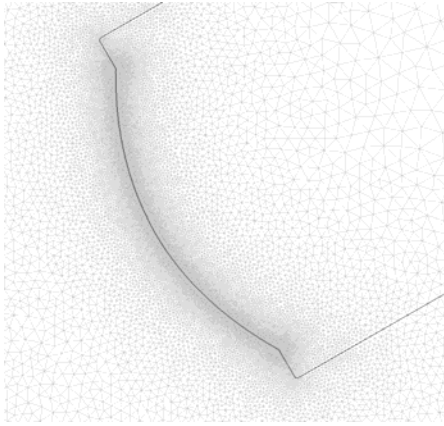


Figura 2. Detaliu rețea de discretizare la frontiera polului

Pentru miezul feromagnetic s-a utilizat următoarea curbă de histerezis, dată de producător - Figura 3.

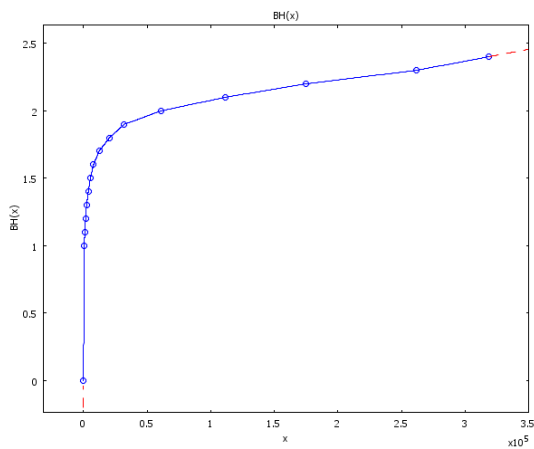


Figura 3. Relația $B=f(H)$ pentru jugul magnetic

Rezolvarea problemei de câmp magnetic s-a realizat cu *solver*-ul direct UMFPACK.

Următoarele figuri reprezintă rezultatele obținute în urma rezolvării problemei de câmp magnetic.

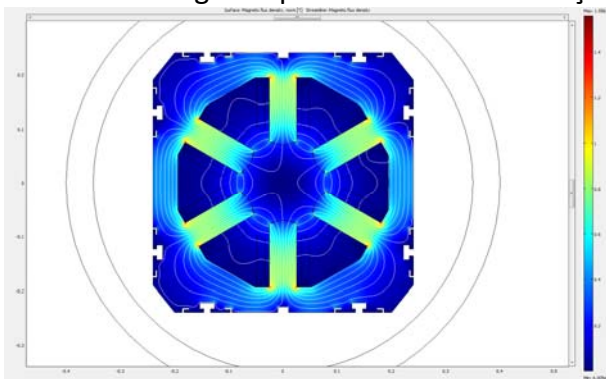


Figura 4. Inducția magnetică și linii de câmp în electromagnet.

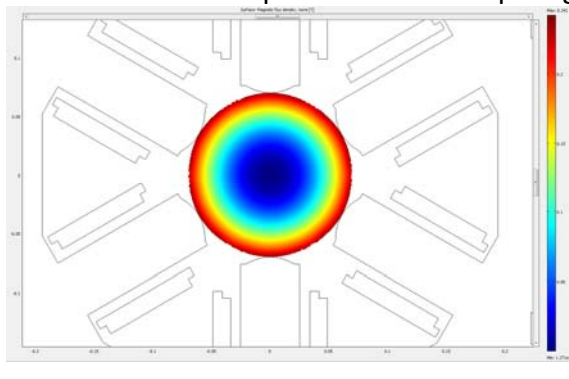


Figura 5. Câmpul magnetic în centrul electromagnetului

5.3. Concluzii

- S-a realizat un breviar de calcul al mașinilor polifazate detaliat în primele trei capitole;
- A fost elaborat proiectul modelului experimental de mașină electrică polifazată, acesta este prezentat în capitolul patru. Anexa 1 cuprinde desenele tehnice de execuție;
- Evaluarea posibilităților de realizare a unei mașini polifazate a condus la alegerea proiectării unei mașini sincrone hexafazate cu magneți permanenți;
- Geometria finală a rotorului a fost stabilită astfel încât valoarea RMS a cuplului de agățare să fie minimă. Cuplul de agățare rezultat în această configurație a rotorului reprezintă mai puțin de 1% din cuplul util nominal. Acest procent corespunde recomandărilor regasite în literatura de specialitate;
- Au fost descrise două cazuri de alimentare a înfășurărilor mașinii hexafazate, descrise în breviarul de calcul, primul caz constă în utilizarea aceleiași tensiuni de alimentare, caz în care valoarea curentului de fază se reduce, iar al doilea caz constă în păstrarea valorii curentului pe fază, caz în care tensiunea de fază va avea o valoare redusă. Din cele două cazuri am ales cazul al doilea în care valoarea curentului se păstrează, iar tensiunea sistemului hexafazat devine 115 V, pentru ca numărul de conductoare din creștătura să nu se modifice și să se poată utiliza același conductor în înfășurarea statorică. Astfel mașina electrică poate fi alimentată în cele două sisteme, trifazat și hexafazat, fără a modifica componentele fizice ale mașinii electrice (în acest caz bobinele statorice);
- Din subcapitolul 3.3.7 reiese faptul că la întreruperea alimentării uneia sau a mai multor faze ale mașinii hexafazate, performanțele acesteia sunt afectate într-un ritm mai lent. De exemplu, la întreruperea alimentării a două faze ale mașinii hexafazate, valoarea RMS a cuplului dezvoltat este similară cu cea a cuplului dezvoltat de mașina trifazată, alimentată cu două faze;
- Din figura 3.38 „Variația cuplului electromagnetic” se constată faptul că valoarea maximă a cuplului dezvoltat de mașina hexafazată cu două faze de alimentare întrerupte este mai mică față de valoarea maximă a cuplului dezvoltat de mașina trifazată cu o fază de alimentare întreruptă, respectiv valoarea minimă a cuplului este mai mare, în cazul mașinii hexafazate, față de valoarea minimă a cuplului mașinii trifazate. Acest aspect conduce la o variație a cuplului mai mică în cazul mașinii hexafazate cu defect, vibrațiile produse de mașină fiind reduse;
- În timpul funcționării mașinii electrice putem monitoriza curentul pe fiecare bobină/fază și întrerupe alimentarea pe bobină/fază dacă valoarea curentului crește peste o anumită limită, astfel putem avea o situație de defect locală și controlată, care nu va necesita oprirea alimentării întregii mașini. Deși performanțele acesteia vor fi afectate, mașina va putea funcționa până la remedierea defecțiunii, astfel va crește timpul de exploatare;
- S-a realizat un breviar de calcul pentru post-procesarea datelor măsurate cu sistemul cu bobine rotitoare;
- S-a realizat un model numeric pentru un electromagnet FAIR pentru testarea programului de prelucrare a măsurătorilor prin metoda cu bobine rotitoare;
- Pentru breviarul de calcul s-au considerat aspecte matematice, de prelucrarea semnalelor și de câmp magnetic specifice bobinelor armonice (rotitoare);
- Modelul numeric al electromagnetului FAIR consideră în mare detaliu geometria și materialele utilizate;
- Se consideră că s-au îndeplinit premisele realizării următoarei etape, și anume dezvoltarea programelor de post-procesare și elaborarea metodei de caracterizare rapidă și completă a câmpului magnetic cu bobine rotative.

- 6. Rezultate, stadiul realizării obiectivului fazei, concluzii și propuneri pentru continuarea proiectului** (se vor preciza stadiul de implementare a proiectului, gradul de indeplinire a obiectivului cu referire la tintele stabilite si indicatorii asociati pentru monitorizare si evaluare).
- Obiectivele fazei 1/2018 au fost indeplinite, respectiv au fost realizate urmatoarele activitati: (1) *Stabilire soluție constructivă, breviar de calcul, modelare cu element finit și elaborare proiect model experimental de mașină electrică polifazăată* si respectiv (2) *Breviar de calcul și model numeric pentru dezvoltarea algoritmilor de procesare prin metoda de măsurare cu bobine rotitoare*, obtinandu-se urmatoarele rezultate : R1 - breviar de calcul al mașinilor polifazate; R2 - proiect model experimental de mașină electrică polifazăată; R3 - breviar de calcul pentru postprocesarea datelor masurate cu sistemul cu bobine rotitoare si R4 - model numeric pentru un electromagnet FAIR caracterizat prin metoda cu bobine rotitoare.
 - Pentru indeplinirea obiectivelor specifice O1 – O5 ale proiectului, pe parcursul anului 2018 au fost planificate urmatoarele faze, cuprinzand activitati stiintifice specifice, care vor conduce la obtinerea rezultatelor R5 – R19, conform planificarii din tabelul prezentat mai jos:

Nr. fază	Denumire fază	Rezultate estimate	Valoare - lei -	Termen de predare
1	Stabilire soluție constructivă, breviar de calcul, modelare cu element finit și elaborare proiect model experimental de mașină electrică polifazăată. Breviar de calcul și model numeric pentru dezvoltarea algoritmilor de procesare prin metoda de măsurare cu bobine rotitoare (Realizat).	R1. breviar de calcul al mașinilor polifazate (Realizat); R2. proiect model experimental de mașină electrică polifazăată (Realizat); R3. breviar de calcul pentru postprocesarea datelor masurate cu sistemul cu bobine rotitoare (Realizat); R4. model numeric pentru un electromagnet FAIR caracterizat prin metoda cu bobine rotitoare (Realizat).	326.180	20.04.2018
2	Analiza, modelarea și simularea de configurații posibile pentru realizarea electromagnetului ultrarapid pentru hidraulică digitală. Alegerea soluției constructive a modelului experimental. Concepția, modelarea și simularea soluției constructive a modului de translație cu acționare piezoelectrică.	R5. studiu privind analiza și modelarea soluțiilor constructive specifice electromagneților pentru hidraulică digitală; R6. studiu privind analiza și modelarea soluțiilor constructive specifice modulelor de translație cu acționare piezoelectrică.	264.200	31.05.2018
3	Proiectarea instalației experimentale pentru studiul amestecurilor bifazice, adaptată pentru măsurători cu tehnica PIV.	R7. documentația de execuție a instalației experimentale pentru studiul amestecurilor bifazice.	351.030	15.06.2018
4	Realizarea modelului experimental	R8. model experimental de	269.590	14.09.2018

	de mașină electrică polifazăată. realizarea instalației experimentale pentru studiul amestecurilor bifazice, adaptată pentru măsurători cu tehnica PIV.	mașină electrică polifazăată; R9. instalație experimentală destinată studiului curgerii bifazice.		
5	Elaborare algoritm de procesare a măsurătorilor cu bobine rotative. Proiect de execuție model experimental de modul de translație cu acționare piezoelectrică.	R10. metodă și pachet software pentru prelucrarea datelor primare obținute cu sistemul de măsurare cu bobine rotitoare; R11. proiect model experimental de modulul de translație cu acționare piezoelectrică; R12. un articol trimis spre evaluare și publicare către o revistă BDI sau ISI, referitor la analiza soluției constructive adoptate pentru modulul de translație cu acționare piezoelectrică; R13. cerere de brevet de invenție privind soluția constructivă a modulului de translație cu acționare piezoelectrică.	338.680	31.10.2018
6	Proiectarea modelului experimental de electromagnet ultrarapid pentru hidraulică digitală. Concepția și realizarea electronicii de comandă pentru electromagnetul ultrarapid.	R14. proiect model experimental de electromagnet ultrarapid pentru hidraulică digitală; R15. un articol trimis spre evaluare și publicare către o revistă BDI sau ISI, referitor la soluția adoptată pentru realizarea electromagnetului ultrarapid pentru hidraulică digitală; R16. cerere de brevet de invenție referitoare la soluția adoptată pentru realizarea electromagnetului ultrarapid pentru hidraulică digitală;	349.740	30.11.2018
7	Configurarea instalației experimentale adaptată pentru curgerile cavitaționale; Măsurători sincrone de câmpuri de viteze, presiuni, debite.	R17. bază de date cu măsurători pentru diferite stadii de dezvoltare cavitațională în curgerile cu vârtej. R18. un articol trimis către o conferință internațională,	330.780	10.12.2018

		referitor la caracterizarea curgerilor bifazice prin tehnica PIV; R19. un capitol de carte publicată într-o editură internațională, referitor la caracterizarea curgerilor bifazice prin tehnica PIV.		
--	--	--	--	--

- Fazele si activitaile stiintifice au fost planificate pentru o desfasurare in paralel, cu termene diferite de finalizare, astfel ca lucrarile in fazele 2-7 au fost demarate inca de la inceputul proiectului.

Responsabil proiect

Dr.ing. Ionel CHIRITA