

MODELAREA CÂMPULUI MAGNETIC AL MAȘINILOR ASINCRONE HEXAFAZATE NESIMETRICE

Iurie RATA, Ilie NUCA

Universitatea Tehnica a Moldovei

Rezumat: În lucrare se studiază motorul asincron hexafazat nesimetric (M.A.H.N) de puterea $P_n=1kW$, destinat funcționării în acționările electrice reglabile, alimentat de la rețeaua trifazată. Construcția M.A.H.N este elaborată în baza mașinilor trifazate de serie cu excepția înfășurării statorice. Înfășurarea statorică este îndeplinită din două înfășurări trifazate simetrice decalate una față de cealaltă la un unghi $\alpha=90^\circ$. Defazajul respectiv permite alimentarea directă de la rețeaua trifazată prin intermediul unei baterii de condensatoare, astfel încât motorul funcționează de la rețeaua trifazată asemenea mașinii cu condensator pastrandu-și proprietățile sale electromagnetice, având indici energetici și fiabilitate sporită față de mașinile trifazate de serie.

Cuvinte cheie: motor asincron hexafazat nesimetric, baterie de condensatoare, model matematic, înfășurare statorică, frecvență industrial, model FEM, proces tranzitori.

1. Introducere

Scopul acestei lucrări este de a analiza specificul constructiv al mașinilor asincrone hexafazate nesimetrice și de a evidenția performanțele și indicii fiabilității acestora pentru sporirea competitivității lor. Pentru aceasta s-au efectuat calculele și s-a elaborat modelul matematic bifazat al M.A.H.N și modelul circuitului magnetic în baza geometriei motorului trifazat de serie. În lucrare se determină matematic valorile curenților de fază în baza cărora ulterior se determină forțele de magnetizare care acționează în întrefierul mașinii. Lucrarea conține rezultatele modelării circuitului magnetic a mașinii asincrone hexafazate (M.A.H.N) de puterea $P_n=1kW$, care funcționează la tensiunea de 220V cu frecvența industrială 50Hz. Înfășurarea este îndeplinită din conductor de emailat de cupru (fig.1.) cu grosimea de 0.5mm dispus în două straturi, având pasul de bobinare diametral $y=1$ și numărul de crestături $Z = 24$, dar poate fi îndeplinită și buclată conform (fig. 2). Lucrarea conține modelul F.E.M al mașinii respective și rezultatele simulării pe calculator a variației câmpului magnetic, intensităților câmpului magnetic și electric în întrefierul mașinii pe axe longitudinală și transversală..

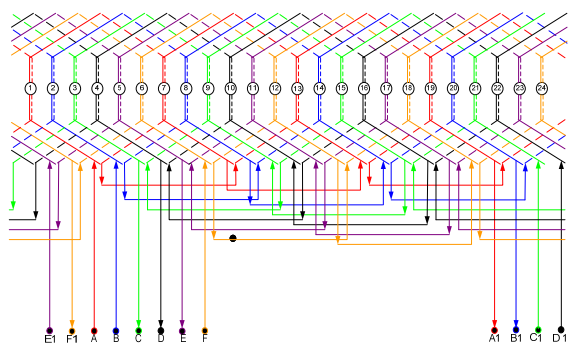


Figura 1: Schema înfășurării statorice concentrice în două straturi $Z=24$, $y=1$, $a=1$, $q=1$

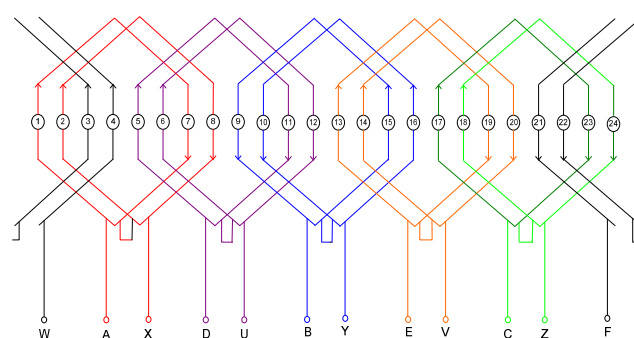


Figura 2: Schema înfășurării statorice buclate într-un strat $Z=24$, $y=1$, $a=2$, $q=2$

2. Ecuațiile circuitului magnetic al M.A.H.N

Analizăm modelul motorului asincron hexafazat, cu axele $A - X$, $B - Y$, $C - Z$, $D - U$, $E - V$, $F - W$, dispuse în crestăturile sistemului magnetic a câte două sisteme trifazate simetrice decalate cu unghiul $\alpha=90^\circ$. Expresile pentru valorile curenților de fază ai înfășurării hexafazate nesimetrice pot fi scrise în forma următoare:

$$\begin{cases}
 i_A = \sqrt{2} \operatorname{Im} \cos \omega t \\
 i_B = \sqrt{2} \operatorname{Im} \cos(\omega t + \pi/6) \\
 i_C = \sqrt{2} \operatorname{Im} \cos(\omega t + 2\pi/3) \\
 i_D = \sqrt{2} \operatorname{Im} \cos(\omega t + 5\pi/6) \\
 i_E = \sqrt{2} \operatorname{Im} \cos(\omega t + 4\pi/3) \\
 i_F = \sqrt{2} \operatorname{Im} \cos(\omega t - 15\pi/10)
 \end{cases} \quad (2.1)$$

Acești curenți parcurgând înfășurarea hexafazată produc forțele magnetizante a căror fundamentală poate fi exprimată analitic astfel:

$$\begin{cases}
 F_A = F_{m1} \cos \omega t \cos x\pi/\tau \\
 F_B = F_{m1} \cos(\omega t + \pi/6) \cos(x\pi/\tau + \pi/6) \\
 F_C = F_{m1} \cos(\omega t + 2\pi/3) \cos(x\pi/\tau + 2\pi/3) \\
 F_D = F_{m1} \cos(\omega t + 5\pi/6) \cos(x\pi/\tau + 5\pi/6) \\
 F_E = F_{m1} \cos(\omega t + 4\pi/3) \cos(x\pi/\tau + 4\pi/3) \\
 F_F = F_{m1} \cos(\omega t + 15\pi/10) \cos(x\pi/\tau + 15\pi/10)
 \end{cases} \quad (2.2)$$

unde, pentru expresiile de mai sus:

$$F_{m1} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi \cdot p} \cdot W_1 \cdot k_{W1} \cdot I \quad (2.3)$$

unde: W_1 – numărul de spire a înfășurării

K_{W1} – factorul de bobinare

I_m – valoarea instantanee a curentului de fază

p – numărul de poli ai motorului

Prin descompunerea produsului cosinusurilor în sumă și însumarea componentelor fazelor obținem formula pentru curba fundamentală a forței de magnetizare a motorului.

$$F_1 = 3 \cdot F_{m1} \cos(\omega t - x\pi/\tau) \quad (2.4)$$

Expresia obținută reprezintă o undă a forței de magnetizare, care produce un câmp magnetic învârtitor circular, cu amplitudinea de trei ori mai mare decât a forțelor de magnetizare a fazelor. Prin programarea expresiilor pentru forțele de magnetizare a fazelor înfășurării hexafazate nesimetrice, se obține interpretarea grafică a acestora, conform (fig. 3).

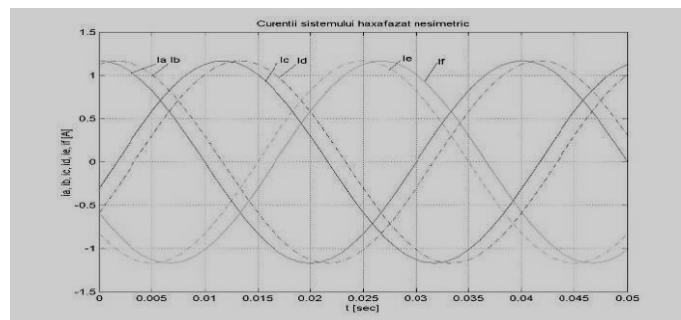


Figura 3: Variația curenților statorici în timp

3. Elaborarea modelului F.E.M al M.A.H.N

Modelarea câmpului magnetic al M.A.H.N se face cunoscând valoarea curentului fiecărei faze și direcția de curgere a acestuia. Astfel este posibil de simulat tabloul închiderii liniilor fluxului magnetic pentru un moment de timp, repartitia inducției magnetice în întrefier, jug sau dinți. Deasemenea cu ajutorul programului software *Finite Element Method Magnetics (FEMM)* este posibil de determinat densitatea curentului prin conductorii fazelor înfășurării, intensitatea câmpului magnetic și electric e.t.c.

4. Ipoteze adoptate pentru simplificare

- Se consideră că mașina asincronă are 6 înfășurări montate pe stator și rotor, iar rotorul mașinii este scurtcircuitat.
- Alimentarea mașinii se face de la un sistem nesimetric de tensiune hexafazat.
- In procesul de studiu al mașinii se neglijează saturația mașinii și efectul refulării curentului în conductori.
- Inductivitățile motorului se consideră mărimi constante.
- Permeativitatea magnetică a sistemului magnetic al mașinii este infinit de mare $\mu = \infty$.
- Crestăturile mașinii se consideră înecate, astfel încât întrefierul mașinii este drept.

Transformările de coordonate, ori elaborarea modelului matematic bifazat al M.A.H se realizează cu ajutorul fazorului spațial reprezentativ. Fazorul spațial reprezentativ reprezintă un vector de generalizat, care descrie concomitent valorile instantanee ale mărimilor de fază atât în timp cât și în spațiu.

Formulele schimbului de bază de la șase faze la două dispuse ortogonal se face cu ajutorul fazorului propriu zis, dacă peste sistemul hexafazat se suprapune un sistem ortogonal de axe d-q, axele A și d fiind suprapuse, atunci acelaș fazor poate fi exprimat și în componentele axelor d și q. Astfel se obține ecuațiile matriciale de trecere de la un sistem hexafazat nesimetric la unul bifazat și invers.

$$\begin{bmatrix} \Phi_d \\ \Phi_q \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \times \begin{bmatrix} 1 & \sqrt{3}/2 & -1/2 & -\sqrt{3}/2 & -1/2 & 0 \\ 0 & 1/2 & \sqrt{3}/2 & 1/2 & -\sqrt{3}/2 & -1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Phi_A \\ \Phi_B \\ \Phi_C \\ \Phi_D \\ \Phi_E \\ \Phi_F \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

5. Rezultatele simulării pe calculator a proceselor tranzitorii

Pentru simularea și analiza proceselor tranzitorii ale M.A.H.N se obțin următoarele caracteristici experimentale ca: dependența curentului, cuplului și vitezei rotorice la pornire.

$M_{em}, I_s, W_r = f(t)$, pentru analiza variației cuplului electromagnetic, curentului statoric și vitezei rotorice la pornirea motorului, fazorii componentelor curenților statorici $I_{sd} = f(I_{sq})$, caracteristicile de funcționare $\eta, \cos\phi = f(P_2)$, caracteristica mecanică dinamică $M_{em} = f(\Omega)$. Rezultatele simulării sunt date în continuare:

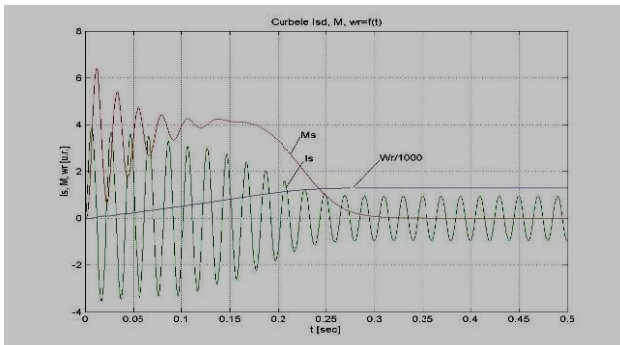


Figura 5: Variația curentului, cuplului și vitezei rotorice la pornirea M.A.H.N. $M_{em}, I_s, W_r = f(t)$

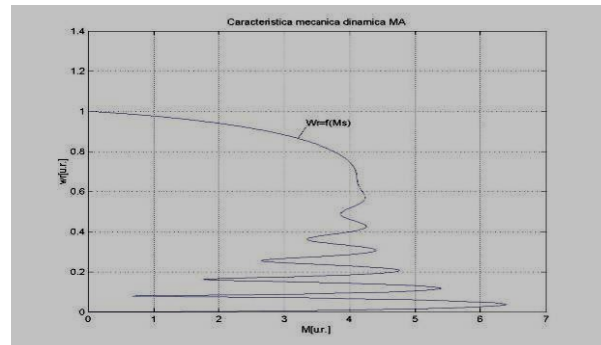


Figura 6: Caracteristica mecanică dinamică $M_{em} = f(W_r)$

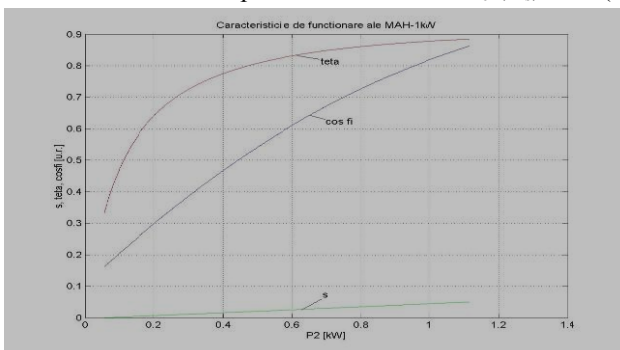


Figura 7: Caracteristicile de funcționare $\cos\phi, \eta = f(P_2)$

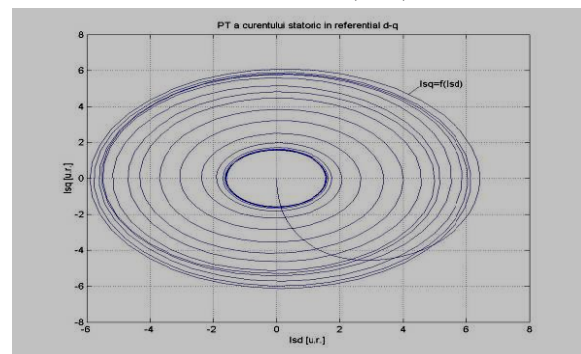


Figura 8: Curenții statoricii în referențial de axe bifazat $I_{sd} = f(I_{sq})$

6. Rezultatele simulării pe calculator a tabloului câmpului magnetic

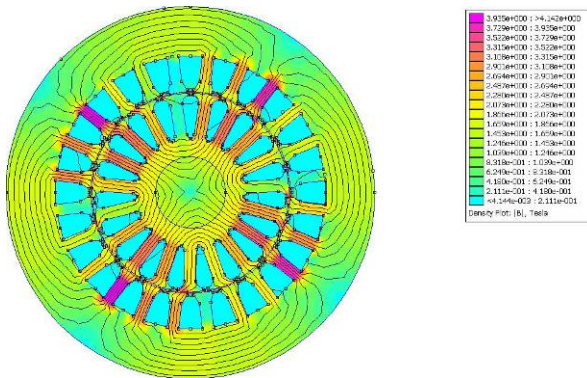


Figura 9: Tabloul câmpului magnetic pentru poziția rotorului când coincid creștăturile statorică și rotorică

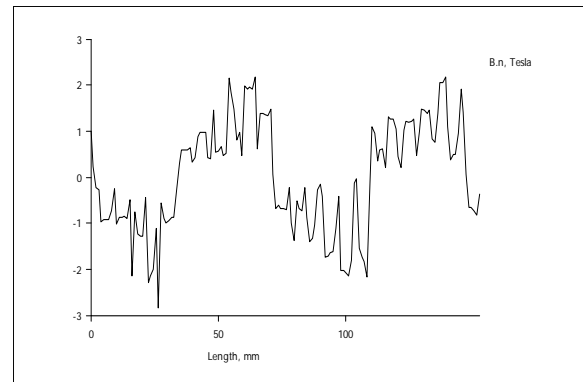


Figura 10: Variația inducției magnetice dealungul întrefierului circuitului magnetic

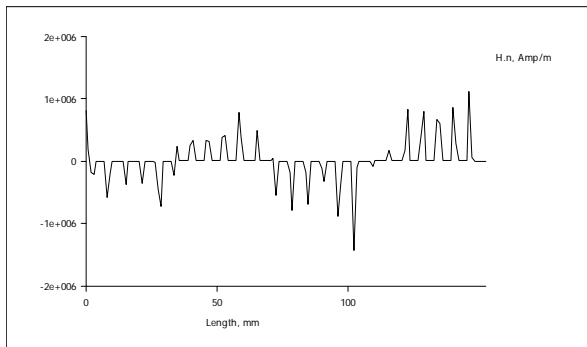


Figura 11: Variația forței de magnetizare din întrefierului circuitului magnetic

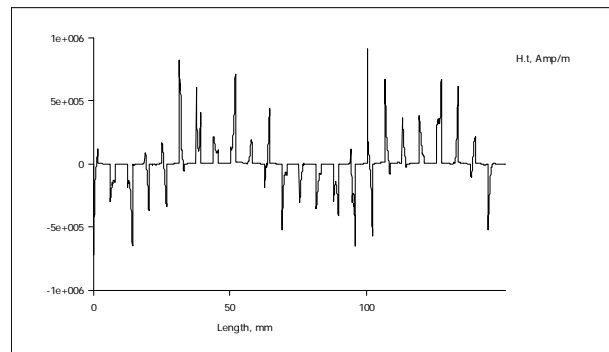


Figura 12: Variația intensității câmpului magnetic în întrefier

Concluzie:

În lucrare s-a descris construcția M.A.H.N-1kW, pentru care s-au dedus ecuațiile circuitului magnetic s-a elaborat modelul matematic bifazat și simulat procesele tranzitorii și variația câmpului magnetic. S-au calculat curenții de fază care produc fluxul magnetic util și cuplul rotitor al motorului. Rezultatele simulării sunt date pentru toată lungimea pachetului statoric și rotoric al M.A.H.N.

Bibliografie

1. V.F. Brajnicov, B. P. Soustin, *Teoria ustanovivshihysya electromagnitnyh procesov v mnogofaznom asinhronnom invertornom electroprivode*, Editura universității din Craiova – 1984, pp 12-32.
2. Iu. Rata, I. Nuca, D. Dimov, *L'étude des priorités du moteur asynchrone hexaphasé déséquilibré*, Proceedings of the 8th International Conference on ELECTROMECHANICAL AND POWER SYSTEMS, october – 2011, pp 451-457.