

2D TRANSIENT THERMAL ANALYSIS OF A PERMANENT MAGNET BRUSHLESS DC MOTOR

PESCARU Vlad¹

¹Facultatea: Inginerie Industrială și Robotică, Specializarea: Robotică, Anul de studii: II, e-mail: radu_vlad.pescaru@stud.fiir.upb.ro

Conducător științific: As. Drd. Ing. Tudor George ALEXANDRU

REZUMAT: Brushless DC Motors are widespread throughout mechatronic systems due to their high efficiency and low maintenance requirements. Even so, the increase of temperatures due to the flow of electricity through the windings represents a source of performance reduction, being also responsible for the unpredictable failure of drives. To overcome such issues, numerical simulations are deployed to capture the thermal gradients, considering working conditions. The present paper proposes a 2D approach for the modeling and simulation of brushless DC motors by applying simplifying heat transfer assumptions. Finite element modeling is carried out by using ANSYS Workbench interface, while the input data is processed using Microsoft Excel. A practical example is provided for a drone application.

CUVINTE CHEIE: thermal analysis, brushless DC motor, ANSYS Workbench.

1. Introducere

În cadrul sistemelor mecatronice și robotice, motoarele de curent continuu fără perii colectoare sunt cele mai răspândite sisteme de acționare rotative, datorită mulțimii de avantaje pe care le prezintă în exploatare. Generarea forțelor motoare în astfel de soluții este guvernată de mai multe discipline, din care amintim: electromagnetice, electrică, mecanică și transfer de căldură. Existența unor multiple surse care disipă energie în timpul funcționării unor astfel de motoare este o principală cauză a apariției unor gradienti de temperatură pe stator și rotor. În ultimii 20 de ani, proiectanții de sisteme de acționare electrice au pus accentul pe îmbunătățirea caracteristicilor termice ale acestora în vederea creșterii duratei lor de exploatare și a performanțelor operaționale. La baza unor astfel de proiecte stă ingineria asistată, o disciplină care are ca scop îmbunătățirea concepției produselor sau verificarea criteriilor tehnico-economice impuse utilizând programe de simulare. Complexitatea problemei a impus reducerea dimensiunilor modelelor prin aplicarea unor ipoteze simplificatoare și a unor proceduri de modelare.

2. Stadiul actual

Abordări privind utilizarea programelor de inginerie asistată pentru simularea comportării termice a motoarelor electrice sunt răspândite în cadrul literaturii de specialitate. Modele cuplate electromagnetice-termice sunt prezentate în [1,2]. Simulările realizate surprind câmpul magnetic iar prin cuplarea analizei cu o analiză termică, se poate calcula distribuția de temperaturi. O altă abordare aproximativă este cea a modelelor reduse bazate pe convecție și conducție [3]. Metoda oferă un bun fundament pentru realizarea studiilor de optimizare.

Lucrarea de față prezintă o abordare 2D de modelare și simulare. Statorul și rotorul sunt considerate structuri de plăci compuse din mai multe materiale. Transferul de căldură este generat pe bază de conducție prin solide, radiație între stator și magneții permanenți, respectiv convecție forțată datorată curgerii aerului printre lamelele înfășurărilor și a caracsei rotorului. Activitatea bobinelor este studiată utilizând Microsoft Excel. Aproximarea căldurii cedate în volum este realizată raportând caracteristicile variabile din sistem la date de catalog. Rezultatele obținute sunt distribuția de temperaturi și evoluția acestora în timp.

3. Modelul de simulare

Motoarele de curent continuu au fost concepute pentru a rezolva problematica fiabilității creată de sistemul inel colector – perii colectoare. Periile fiind realizate din grafit se tocesc în timp, iar uzura acestora (combinată în cazuri nefericite cu aplicarea unui lubrifiant în acea zonă) ducea treptat la distrugerea motorului dacă acestea nu erau schimbate regulat. Soluția „salvatoare” a fost introducerea unui traductor de poziție pe rotor și implicit trecerea de la o comutație dinamică la una statică realizată electronic, nu mecanic. Motorul despre care vom discuta astăzi se încadrează în tipologia menționată mai sus, cu precizarea că poate fi numit „ciudatul grupului” deoarece rotorul este de fapt carcasa, această concepție purtând numele de „out-runner”. El este folosit preponderent la drone. Ca structură internă acesta posedă 10 bobine dispuse radial. Magneții permanenți sunt amplasați pe carcasa rotitoare cu polul S așezat către stator (vezi figura 1).

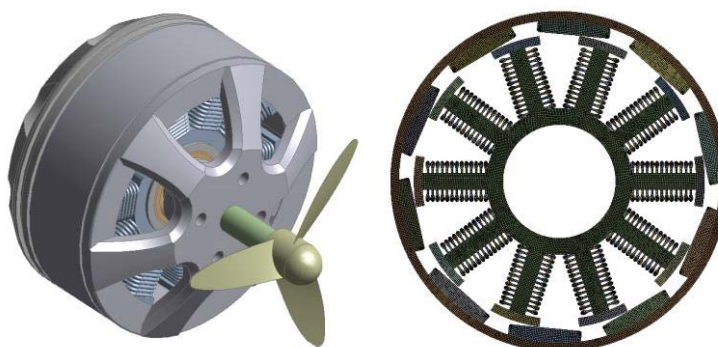


Fig. 1 Modelul geometric 3D și modelul 2D discretizat

Bobinele diametral opuse funcționează în pereche pentru a genera forța motoare care va învârti carcasa. S-a studiat comportarea termică a acestui motor folosind software-ul ANSYS pentru a face două tipuri de analize: în regim staționar și în regim tranzitoriu. Pentru modelarea datelor (ex. modul în care se „aprind” bobinele) s-a utilizat Microsoft Excel. Mai jos este realizată o scurtă descriere a simulărilor realizate:

- **Simularea în regim staționar:**

Datele de intrare pentru acest tip de analiză sunt: geometria, datele din Excel și prospectul dronei. Datele de ieșire sunt reprezentate de variația temperaturii în raport cu căldura cedată prin efect Joule de la bobine. Această variație se prezintă sub forma unei funcții de transfer. De menționat este că acest tip de simulare utilizează doar conductivitatea termică. La ieșire se obține o funcție de transfer liniară între căldura cedată în volum și creșterea temperaturii maxime (vezi figura 2).

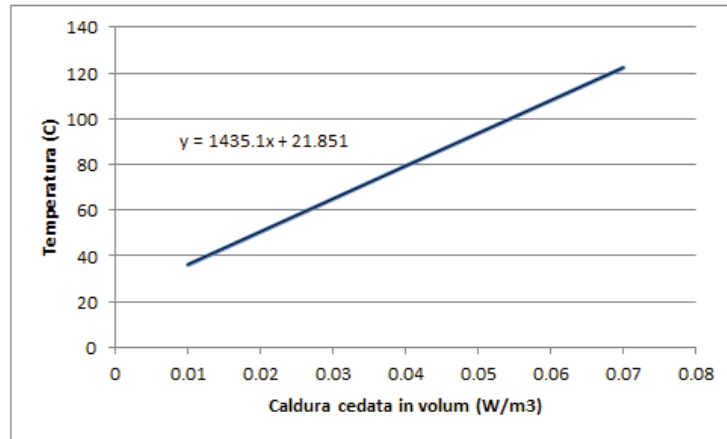


Fig. 2 Funcția de transfer generată pe baza analizei termice în regim staționar

- **Simularea în regim tranzitoriu**

Datele de intrare pentru acest tip de analiză sunt: Convecția în raport cu temperatură și variația caldurii cedate pe bobine: Convecția este fenomenul de transmitere a căldurii între o suprafață solidă și un fluid aflat în mișcare. Aceasta apare între lamelele statorului și fluidul din interiorul carcsei, respectiv între carcasă și fluidul din mediul ambiant. Deși fluidul are în practică o curgere turbulentă am considerat în simulare că acesta are o curgere laminară. Ipoteze simplificatoare convecției (analogie carcasa exterioară - arbore strung [4], toate înfășurările – placa plană, fluid care curge laminar, nu turbulent [5]), convecția în raport cu temperatură, variația caldurii cedate pe bobine.

Pentru a modela acest fenomen s-a pornit de la următoarele ipoteze simplificatoare: înfășurările ca fiind plăci plane. Cât despre carcasă, putând fi încadrată aproximativ într-un cilindru, s-a făcut analogia cu arborele unui strung, folosind formulele dintr-o lucrare de specialitate.

Din acest tip de simulare pot fi studiate două rezultate importante:

- Distribuția de temperaturi pe structura statorului și a rotorului la un anumit pas de timp (vezi figura 3)

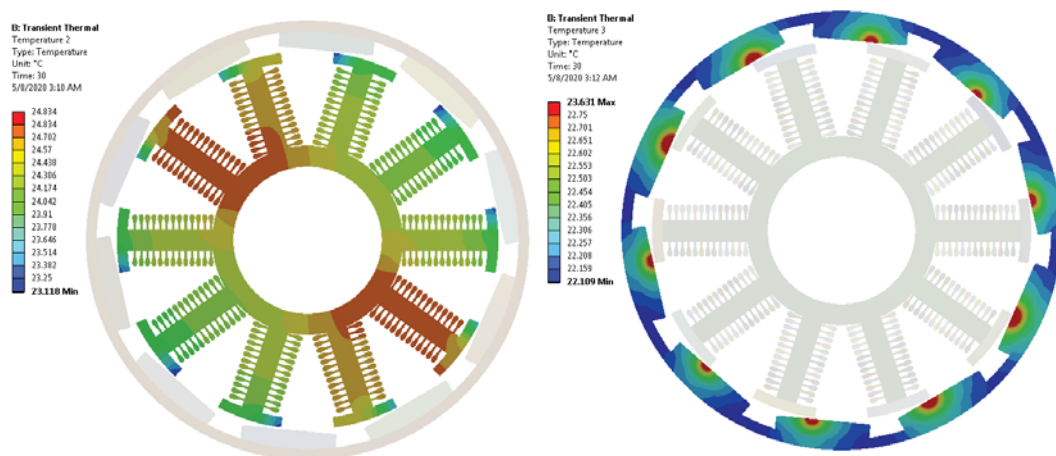


Fig 3 Distribuția de temperaturi observată la nivelul statorului și al rotorului

- Variația temperaturilor în raport cu timpul pe întreg motorul (vezi figura 4).

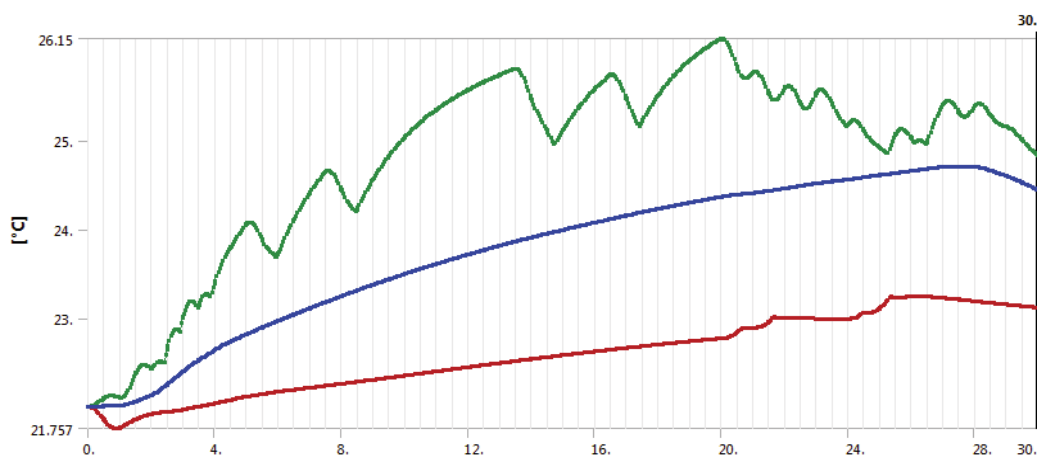


Fig. 4 Graficul evoluției temperaturii în raport cu timpul pentru un ciclu de funcționare dat

4. Concluzii

Lucrarea a prezentat o abordare pentru modelarea și simularea 2D a motoarelor de curent continuu fără perii colectoare. Rezultatele obținute surprind stocarea căldurii în sistem prin integrarea timpului în analiza termică. Temperaturile maxime se concentrează la nivelul bobinelor nr. 9 și 4. Valorile cele mai reduse ale temperaturii se obțin pentru carcasa rotorului unde schimbul de căldură prin radiația de la stator nu este suficient de pronunțat (acesta fiind și un dezavantaj al acestui tip de motor).

8. Bibliografie

- [1]. Xiaowei, W., Tiecai, L. (2011) "A 3-D Electromagnetic Thermal Coupled Analysis of Permanent Magnet Brushless DC Motor" In 2011 First International Conference on Instrumentation, Measurement, Computer, Communication and Control, 15-18.
- [2]. Sun, J. X., Sun, Y. X., și Wang, Y. B. (2013). "Two-Dimensional Steady Temperature Field Analysis of Interior Permanent Magnet Synchronous Motor". Small & Special Electrical Machines, 6.
- [3]. Li, Y., Huang, X., și Fang, Y. (2013). "Thermal analysis of a brushless DC motor for aerospace application using thermal network models". In 2013 International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), 855-859.
- [4]. Haitao, Z., Jianguo, Y., și Jinhua, S. (2007). „Simulation of thermal behavior of a CNC machine tool spindle” International Journal of Machine Tools and Manufacture, 47(6), 1003-1010.
- [5]. Ghiaasiaan, S. M. (2018). „Convective heat and mass transfer”, Editura CRC Press.