

CONTROLUL FĂRĂ SENZOR DE POZIȚIE AL MOTOARELOR ELECTRICE DE CURENT CONTINUU FĂRĂ PERII, CU MAGNEȚI PERMANENȚI, MONOFAZATE

Rezumatul tezei de doctorat

Teza de față este dedicată studiului motoarelor electrice de curent continuu fără perii, cu magneți permanenți și întrefier variabil, monofazate.

Dezvoltarea electronicii de putere, a tehnologiei de obținere a magneților permanenți, precum și apariția de microcontrolere sau procesoare de semnal mai performante și la un cost din ce în ce mai rezonabil au dus la un interes crescut acordat motoarelor de curent continuu, fără perii cu magneți permanenți. Acest tip de motoare electrice este folosit în prezent într-o arie largă de aplicații precum cele rezidențiale, cele din automobil, echipamente medicale etc.. O parte însemnată din energia electrică folosită în astfel de aplicații este cauzată de motoarele cu puteri mici. Producția de masă și concurența pe piața acționărilor de puteri reduse impun reducerea costurilor, dar cu păstrarea aceluiași caracteristici de performanță sau chiar cu îmbunătățirea acestora. Se pare că motoarele monofazate cu magneți permanenți și fără perii (*single phase PM brushless DC motor*) sunt tot mai frecvent utilizate în acționările electrice de mică putere în mediul industrial, în automobile și în aparatura casnică. Dezvoltarea lor dinamică a catalizat și exigențele față de performanțele acestor mașini electrice: preț redus, posibilitate de fabricație în masă, randament mare, pulsațiile de cuplu mici și caracteristici dinamice bune. Chiar dacă au performanțe inferioare față de variantele trifazate, prezintă avantajele costurilor de fabricație reduse, simplității constructive, alimentării cu număr minim de componente electronice de putere și unui singur senzor Hall necesar pentru comutația curentului.

Recenta extindere a nișei de piață pentru aplicațiile cu motoare de curent continuu fără perii monofazate se asociază inevitabil cu exigențe sporite în ceea ce privesc performanțele oferite de acționările care includ un astfel de motor. Pentru acționările cu turație variabilă, cu cost scăzut și cuplu de pornire redus (pompe, ventilatoare), controlul fără senzor de poziție pentru motoarele de curent continuu fără perii cu magneți permanenți monofazate prezintă un interes din ce în ce mai mare. Aici informațiile de poziție și viteză sunt obținute prin calcul online, folosind curentul prin înfășurări și/sau tensiunea electrică de alimentare.

Având în vedere cele de mai sus, lucrarea de față se dorește a fi un studiu cuprinzător al acestui tip de motor, abordând problematici ca analiza cu metoda elementului finit a unei topologii cu întrefier variabil, realizarea unui model avansat de simulare al comportamentului în regimuri staționare și tranzitorii și implementarea de strategii de control fără senzor de poziție pentru astfel de motoare.

Analiza bazată pe calculul de câmp cu metoda elementului finit și a măsurătorilor de laborator are rolul de a evidenția particularitățile acestui tip de motor electric, esențiale pentru elaborarea unui control fără senzor de poziție și de a furniza parametrii mașinii, necesari pentru realizarea de simulări și soluții de control.

Implementarea unui model dinamic precis al unui astfel de motor, inclus într-un model de simulare avansat al întregului sistem de control (motor, inverter și control), este detaliată în această lucrare. Existența unui model dinamic de simulare este necesar pentru testarea și implementarea strategiilor de control propuse.

Deasemenea, în teza se propun două metode de control fără senzor de poziție, având la bază estimarea fluxului magnetului permanent, pentru un motor electric de curent continuu fără perii, cu magneți permanenți, cu întrefier variabil, monofazat. Prima metodă folosește variația fluxului magnetului permanent cu poziția, obținută din rezultatele calcului de câmp efectuat în prealabil, combinat cu o metodă de corecție a poziției estimate. A doua metodă de

control fără senzor de poziție se bazează pe un sistem ortogonal de fluxuri obținut prin întârzierea fluxului estimat al magnetului permanent cu un sfert de perioadă electrică. Ambele metode de control sunt validate experimental.

Organizarea tezei

Teza este organizată pe 8 capitole după cum urmează:

În primul capitol se trec în revistă cele mai importante variante constructive și principalele domenii de utilizare ale motoarelor monofazate cu magneți permanenți și fără perii.

În capitolul 2, este prezentată analiza numerică de câmp, utilizând metoda elementului finit, a unui motor de curent continuu fără perii cu magneți permanenți monofazat comercial (ebm-Papst), validată prin caracterizarea experimentală extensivă și testarea performanțelor de pornire și de cuplu la curent zero ale motorului cu întrefier neuniform considerat. Sunt descrise detaliat etapele alcătuirii modelului, de la desenarea secțiunii mașinii până la alegerea materialelor, evidențierea particularităților acestui tip de motor și determinarea principalelor caracteristici electromagnetice necesare mai departe pentru implementarea de noi strategii de control fără senzor de poziție.

Capitolul 3 conține elaborarea a două modele dinamice cu programele aferente: primul în Matlab Simulink și al doilea, mai complet, în Matlab Simulink combinat cu PSIM, pentru o simulare mai completă a invertorului. Pentru o modelare cât mai aproape de realitate sunt folosite informațiile obținute din analiza cu element finit (variația cuplului la curent zero, a inductivității și tensiunii induse cu poziția). În acest capitol sunt date o serie de rezultate ale simulărilor efectuate cu cele două programe de simulare menționate anterior. Capitolul se termină cu detalierea calculării vitezei și a poziției motorului din semnalele obținute de la senzorii Hall montați în interiorul mașinii.

În capitolul 4, se propune și se dezvoltă controlul fără senzor Hall al motoarelor de curent continuu fără perii cu magneți permanenți monofazate, bazat pe estimarea fluxului magnetic și cunoașterea a priori a caracteristicii flux / poziție rotorică. Se adoptă un algoritm de autocorecție pentru creșterea robusteții la zgomote și preciziei estimatorului de flux al MP, precum și o strategie de pornire în buclă deschisă cu rampă de frecvență și curent constant. Deasemenea, tensiunea de faza nu este măsurată ci este reconstituită folosindu-se factorul de umplere de referință obținut de la regulatorul PI de current și tensiunea din circuitul intermediar de curent continuu. Acest estimator propus este testat și calibrat în mediul Matlab/SIMULINK, și validat prin măsurători experimentale de laborator.

În capitolul 5 se introduce un sistem ortogonal de fluxuri obținut prin întârzierea cu un sfert de perioadă electrică a fluxului MP estimat, folosit pentru extragerea informației de poziție. Oscilațiile sesizate în poziția estimată datorate variației nesinusoidale a fluxului MP cu poziția sunt corectate folosind fie o corecție bazată pe o analiză offline cu ajutorul seriilor Fourier sau prin folosirea unui observator cu calare pe faza (PLL). Prin utilizarea acestei metode, se obține un sistem de control fără senzori de poziție care ramane neafectat de variațiile amplitudinii fluxului estimat. Pentru estimarea fluxului MP singura mărime măsurată este curentul prin înfășurare.

Capitolul 6 este destinat prezentării și aplicării de soluții pentru frânarea recuperativă a motoarelor de curent continuu fără perii cu magneți permanenți monofazate. Prin integrarea frânării în controlul fără senzori de poziție se asigură variații rapide și sigure ale cuplului (+ -) și răspuns în cuplu și viteză per ansamblu superior. Datorită avantajelor prezentate pentru controlul propus în capitolul 5, introducerea frânării recuperative duce la obținerea unui control sensorless performant, chiar și în cazul modificării tensiunii din circuitul de curent continuu față de cea presupusă în control (nu se măsoară).

În capitolul 7 sunt prezentate pe scurt principalele standuri experimentale pe care s-au realizat testele de laborator și s-au implementat strategiile de control propuse, iar capitolul 8 este rezervat concluziilor finale și contribuțiilor tezei.

Contribuțiile tezei

Principalele contribuții ale tezei sunt sintetizate în cele ce urmează:

- Analiza pertinentă, folosind calculul de câmp cu metoda elementului finit, a topologiei cu întrefier gradat nesimetric pentru un cuplu de pornire sigur, cu evidențierea principalelor aspecte legate de utilizarea acestui tip de motor.
- Dezvoltarea unui model digital avansat de simulare a funcționării motoarelor de curent continuu fără perii cu magneți permanenți monofazate în regim staționar și tranzitoriu.
- Propunerea unui control sensorless bazat pe un observator de poziție de tip MRAS folosind modelul de tensiune și rezultatele FEM (sau experimentale) privind variația fluxului (sau back-emf) cu poziția ca model de adaptare.
- Adoptarea unui algoritm de autocorecție pentru creșterea robusteții la zgomote și preciziei estimatorului de flux al MP.
- Implementarea unui generator de flux al MP ortogonal cu buclă de calare pe fază (PLL), conducând la reduceri notabile ale erorii de poziție și ale oscilațiilor de viteză.
- Extinderea controlului fără senzor de poziție al mașinilor de curent continuu fără perii cu magneți permanenți monofazate la regimul de frânare electrică recuperativă.
- Combinarea controlului bazat pe observator cu o strategie de pornire în buclă deschisă cu rampă de frecvență și curent constant.