

Rezumatul tezei cu titlu:

CONTRIBUȚII la OPTIMIZAREA SISTEMELOR de COMANDĂ a MOTOARELOR TRIFAZATE FĂRĂ PERII cu MAGNEȚI PERMANENȚI

A. Rezumatul tezei

Teza cuprinde un prim capitol introductiv prin care este prezentată pe larg metodele de comandă a motoarelor BLDC, 5 capitole de tratare efectivă a problematicei abordate și un capitol final cu concluzii și contribuții personale aduse pe parcursul cercetării respectiv direcții viitoare de continuare a cercetării. Sunt incluse totodată în lucrare o listă cu 212 de referințe bibliografice. Bibliografia este de strictă actualitate și include titluri dintre cele mai reprezentative pentru domeniul abordat. Dintre referințele citate, 8 referiri constituie lucrări științifice elaborate de către doctorand ca și prim autor, incluzând o lucrare de patent și 3 lucrări elaborate în colaborare cu grupuri de cercetare din cadrul universității Politehnica Timișoara.

În capitolul unu, introductiv, prezintă cele mai reprezentative metode de comandă a motoarelor trifazate BLDC, metode cu sau fără senzori de poziție incluzând metode de estimare a poziției inițiale ale rotorului, metode de pornire în buclă deschisă și închisă, respectiv metode de detecție a momentelor de comutație a fazelor la viteze mai mari bazate pe evaluarea semnalului Back-EMF.

În capitolul al doilea este prezentată o metodă originală elaborată de către autor, pentru detecția poziției inițiale rotorului motoarelor BLDC. La începutul capitolului se prezintă principiile pe care se bazează estimarea poziției rotorului propus, după care se prezintă metoda propusă. Metoda fiind bazată pe aplicarea a patru vectori de test pe durata cărora este măsurată tensiunea la terminalul liber și tensiunea de pe linia de alimentare a inverterului trifazat. Este de menționat că metoda prezentată nu necesită senzori de poziție adiționali sau circuite pentru măsurarea diferitelor curenți din circuit, fapt ce clasifică această metodă printre cele mai rapide metode de estimare a poziției inițiale rotorului motoarelor BLDC care prezintă saliență semnificativă. În ultima parte a capitolului este prezentat modul de implementare și rezultatele experimentale obținute în laborator, rezultate care demonstrează valabilitatea metodei și performanța ridicată a acesteia. Pentru efectuarea experimentelor s-a construit un stand de testare a motoarelor BLDC, proiectat și executat, un inverter trifazat de putere comandat de către o placă de dezvoltare SofTec ZK-S12-A. Pentru controlul întregului sistem, doctorandul a dezvoltat o interfață grafică cu utilizatorul în mediul de programare LabWindows/CVI.

Următorul capitol, al treilea, este capitolul din teza cu cea mai mare complexitate și actualitate. Conține o propunere de arhitectură a unui sistem de comandă a motoarelor BLDC bazat pe un circuit integrat specializat în comanda motoarelor BLDC (ASIC). Prima parte a capitolului conține o prezentare generală a aplicațiilor cu motoare BLDC din industria automotivă și arhitectura sistemelor de comandă aplicate. A doua și cea mai importantă parte din capitol prezintă o propunere de arhitectura a unui circuit integrat specializat pentru comanda motoarelor BLDC. Arhitectura este bazată pe cele mai avansate tehnici și metode aplicate în industrie cât și metode și idei dezvoltate de către doctorand. Printre ideile și metodele dezvoltate de către autor se numără:

- Blocul de măsurare a curentului prin motorului BLDC bazat pe eșantionare sincronizată a curentului din linia de alimentare a inverterului trifazat;
- Un sistem original pentru diagnosticarea defectelor motorului BLDC bazat pe un sistem de monitorizare pe timpul funcționării motorului (ON_State) și un sistem de monitorizare pe timpul cât motorul este dezactivat, rezultând identificarea distinctă a 23 de defecte posibile;

- Un sistem de diagnosticare a sistemului, ASIC-ului de comandă a motorului;
- Un sistem de detecție a erorilor senzorilor hall de poziție bazat pe tehnici de diagnosticare cunoscute și o invenție în curs de brevetare de către doctorand prin care se poate detecta și se elimina erorile de jitter a semnalelor hall;
- Un modul de comandă a motorului BLDC cu sau fără senzori de poziție hall, bazate pe tehnici moderne de comandă și cel introdus de către autor în capitolul 2;
- Un protocol de comandă și comunicare cu procesorul (microcontrollerul) sistemului, utilizând interfata serială SPI.

În capitolul patru, este descris o implementare a unei metode de comandă avansată a punților H folosite pentru comanda motoarelor DC, prin care se omogenizează puterile consumate de către elementele de comutație a punții H. Metoda are la bază alterarea căii curentului de mers în gol (freeheeling) la fiecare perioadă consecutivă a semnalului de comandă PWM. Doctorandul extinde metoda prin aplicarea sa în comanda invertoarelor trifazate folosite în comanda motoarelor BLDC. Este prezentat o metodă de calcul și de simulare (utilizând PSpice) a puterilor consumate de către tranzistoarele MOSFET ai invertorului. Pentru demonstrarea acurateții metodei de calcul propus, rezultatele obținute în urma calculelor matematice sunt confruntate cu rezultate de simulare obținând valori foarte apropiate, cu erori neglijabile. În ultima parte a capitolului se prezintă modul de implementare a metodei și rezultatele experimentale obținute. Metoda avansată de comandă a invertorului este implementat utilizând un circuit logic programabil CPLD. Validitatea metodei este demonstrată prin termografierea (folosind o cameră infraroșie) elementelor de comutație a unui inverter trifazat, comandat cu metoda clasică și cea avansată cu schimbarea căii de freewheeling.

Capitolul cinci prezintă o abordare nouă în implementarea modului de comandă în câmp slăbit (field weakening) a motoarelor BLDC. Metoda se bazează pe utilizarea unui senzor inteligent de poziție a rotorului bazat pe efect hall, a carei funcționare corectă este condiționată de o calibrare precisă a senzorului. Prin decalibrarea controlată a acestui senzor, se obține o generare avansată în fază a semnalelor de poziție hall fapt ce produce slăbirea câmpului magnetic al rotorului. În contrast cu metodele clasice bazate pe implementare soft a avansului de fază, această nouă abordare „hardware”, propusă de către doctorand, are beneficiul un efort de calcul semnificativ mai scăzut din partea microcontrollerului sistem. Pentru demonstrarea validității metodei doctorandul a construit un sistem de evaluare automată a caracteristicilor motoarelor BLDC, bazat pe un stand de motoare Kistler, un sistem de achiziție de date Agilent și o aplicație dezvoltat în mediul de programare LabWindowsCVI, prezentat în ultima parte a capitolului.

Următorul capitol, capitolul cinci, prezintă un nou circuit bazat pe un concept nou, propus de către doctorand, cu performanțe EMC îmbunătățite, pentru interfațarea senzorilor de viteză bazate pe senzori hall cu un microcontroller sistem. Circuitul prezintă un deosebit interes în industria automotive, unde aceste tipuri de senzori sunt foarte des integrate în sistemele mecatronice, pentru a măsura viteza de rotație a diferitelor roți dințate sau mecanisme din interiorul autovehiculului. Prima parte a capitolului prezintă o prezentare generală a tipurilor de senzori de viteză și circuitele clasice de condiționare pentru senzori de viteză bazate pe senzori hall. A doua parte a capitolului prezintă metoda nouă, adaptivă, de obținere a tensiunii de referință a circuitului de interfață. Datorită autoadaptării tensiunii de referință circuitul nou, prezintă performanțe EMC mai îmbunătățite față de circuitele de condiționare clasice, fapt demonstrat în ultima parte a capitolului prin simulări PSpice și experimente de laborator. Experimentele de laborator s-au efectuat pentru condițiile extreme cerute de unitățile de comandă a schimbatoarelor de viteză automate, la temperaturi extreme minime de -40°C , temperatura camerei și temperaturi extreme maxime de până la 140°C , dovedind stabilitatea și performanța ridicată a circuitului propus.

Teza se încheie cu un ultim capitol, în care sunt prezentate principalele concluzii importante a celor prezentate în teză și contribuțiile personale din punctul de vedere a doctorandului, după cum urmează în secțiunea următoare.

B. Contribuții personale

Contribuțiile Teoretice

- Un nou algoritm pentru detecția poziției inițiale a rotoarelor motoarelor BLDC.
- O metodă de simulare și calcul a puterii disipate elementelor de comutație (MOSFET) a invertoarelor trifazate comandate cu metoda de alterare a căii curentului de mers în gol, folosit pentru comanda în șase pași a motoarelor BLDC;
- O metodă nouă de detecție și eliminare a erorilor de jitter a semnalelor de poziție furnizate de senzori hall;
- O metodă nouă, hardware, de comandă a motoarelor BLDC în regiunea de câmp slăbit;
- Un concept nou pentru un circuit de condiționare a semnalelor furnizate de către senzori de viteză rotațional, bazate pe efect hall;
- Introducerea în literatură a termenului de „EMC Stability Headroom” ca și indicator de performanță pentru circuite de condiționare a semnalelor furnizate de către senzori de viteză rotaționali bazate pe efect hall;

Contribuții Aplicative:

- Proiectarea și implementarea metodei de alterare a căii curentului de mers în gol aplicat pentru invertoarele de putere trifazate pentru comanda motoarelor BLDC în șase pași;
- Proiectarea și implementarea unui program de evaluare automată a performanțelor motoarelor BLDC folosind un stand de testare Kistler;
- Propunerea și implementarea unui sistem nou de diagnosticare a motoarelor BLDC;
- Propunerea și implementarea unui sistem nou de diagnosticare a erorilor semnalelor de poziție hall, a rotoarelor motoarelor BLDC;
- O propunere de implementare a unui sistem nou de diagnosticare a funcționării corecte a circuitului de comandă a motorului BLDC;
- O propunere de arhitectura a unui circuit nou integrat specializat în comanda motoarelor BLDC bazată pe concepte de vârf existente și noi introduse de către autor;
- O propunere a unui concept nou de monitorizare a temperaturii componentelor comutatoare a inverterului trifazat, folosind un element extern traductor de temperatură (PTC sau NTC), propunere integrabilă în arhitectura circuitului integrat specializat în comanda motoarelor BLDC;
- Proiectarea și executarea unui inverter de putere comandat de către un microcontroller Freescale echipat pe o placă de evaluare ZK-S12X-A și un program aplicativ, interfațat cu utilizatorul, sistem folosit pentru evaluarea metodei propuse de detectare a poziției inițiale a rotoarelor motoarelor BLDC;
- Proiectarea și executarea unei plăci de evaluare pentru motoare BLDC (schema electrică, program de monitorizare pentru microcontrollerul echipat, interfața grafică cu utilizatorul și o placă de evaluare echipat cu un circuit logic programabil CPLD), placa de evaluare folosit în demonstrarea diferitelor metode prezentate în teză ca și; metoda de alterare a căii curentului de mers în gol; conceptul de diagnosticare și a conceptului nou de implementare hardware a comadei în câmp slăbit a motoarelor BLDC.

Alte contribuții:

- O prezentare generală a metodelor și strategiilor de comandă a motoarelor BLDC existente în literatura de specialitate, incluzând metodele cu și fără senzori de poziție;
- O prezentare generală a arhitecturii sistemelor de comandă a motoarelor BLDC;
- O prezentare generală a metodelor de măsurare a vitezei și a senzorilor rotaționali aplicate în industria automotiv;