

DEZVOLTAREA SISTEMULUI DE CONTROL PENTRU SISTEMUL DE TRACȚIUNE CU MOTOR ASINCRON HEXAFAZAT

Artiom MOLDOVAN

Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea Energetică și Inginerie Electrică, Departamentul Inginerie Electrică, Școala Doctorală „Știința Calculatoarelor, Electronică și Energetică”, Chișinău, Republica Moldova

Rezumat. Motoarele cu inducție trifazate (MA) au fost adoptate în anii 1990 pentru sistemele de tracțiune pe căile ferate înlocuirea mașinilor de curent continuu datorită robusteții lor crescute și costurilor și întreținerii reduse. Controlul precis al cuplului / turației este perfect posibil datorită dezvoltării de noi dispozitive de putere și procesoare digitale de semnal, combinate cu progresele în metodele de control acționate de curent alternativ. Alunecarea inerentă a MA permite alimentarea mai multor motoare de la un singur inverter, chiar dacă acestea se rotesc la viteze diferite datorită diferențelor de diametru ale roților. Dezvoltarea unui sistem de control pentru un sistem de tracțiune asincron hexafazat, ar dubla calitățile unui motor asincron trifazat.

Cuvinte cheie: inverter, motor electric, cuplu, acționare electrică, flux, buclă de control.

Introducere

Cele două elemente ale sistemului de acțiune sunt motorul electric și inverterul. Dezvoltarea unui sistem de tracțiune rentabil pentru o anumită aplicație implică un proces complex, iterativ, pentru a decide numărul de motoare de tracțiune, dimensiunea motorului, puterea nominală a inverterului, sistemul de răcire etc. Odată definite elementele fizice ale sistemului de tracțiune, strategiile de control și modulare trebuie definite. În plus, în acest caz, poate fi necesar un proces iterativ complex, deoarece sistemul de tracțiune trebuie să respecte o serie de cerințe. Acestea includ cele impuse de performanța dorită a troleibuzului (de exemplu, caracteristica cuplului-turație, cuplul și viteza maximă, timpii de accelerație / decelerare etc.), performanța electrică a acționării (de exemplu, randamentul mașinii și al inverterului, limitele de temperatură, cuplarea maximă a cuplului etc.) , standardele existente (de exemplu, interferențe electromagnetice, zgomot acustic etc.) și așa mai departe.

Reducerea pierderilor inverterului necesită frecvențe de comutare scăzute, care la rândul lor duc la pierderi mai mari și pulsații mari ale cuplului la motor și pot compromite, de asemenea, răspunsul dinamic sau chiar stabilitatea unității. O provocare deosebită este funcționarea tracțiunii la viteze mari. Forța mare electromotoare din spate, în acest caz, forțează inverterul să funcționeze în regiunea de supra-modulare, inclusiv modurile cu undă pătrată. Controlul funcționează în acest caz cu o marjă de tensiune redusă (sau chiar fără) și distorsiuni mari în curenți, care pot deteriora și mai mult performanța unității.

Unitățile de tracțiune primesc de obicei o comandă de cuplu de la o buclă de control externă, care este responsabilă de controlul vitezei. Cuplul maxim care poate fi produs la o viteză dată va depinde în esență de limitele de curent ale mașinii și ale convertorului de putere (din cauza pierderilor) și de fluxul maxim, care este limitat de saturație și de tensiunea de legătură continuă disponibilă. Pentru majoritatea proiectelor MA, tensiunea maximă și slăbirea câmpului au loc la aceeași viteză, adică slăbirea câmpului este o consecință directă a atingerii limitei de tensiune. Acest lucru este prezentat schematic în Figura 1.

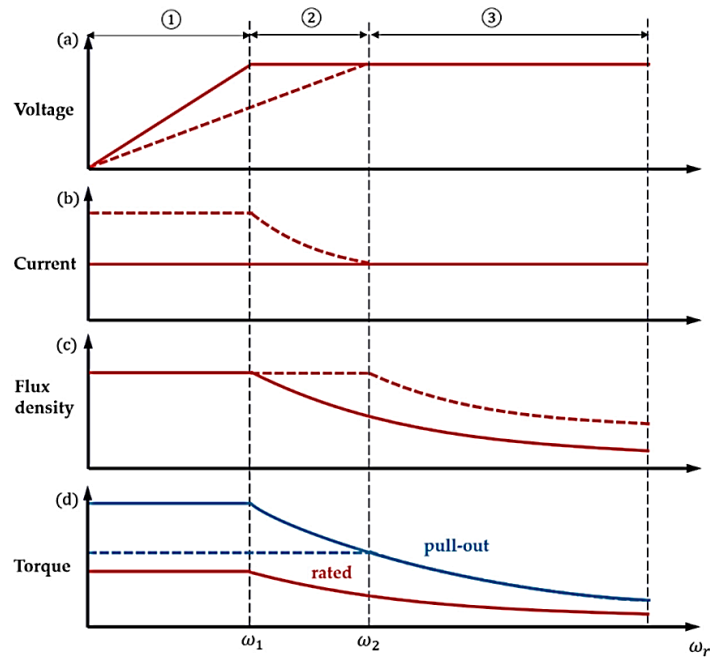


Figura 1. (a) magnitudinea tensiunii statorului; (b) magnitudinea curentului statoric; (c) densitatea fluxului; (d) cuplul electromagnetic [1]

Unitățile trebuie să fie capabile să funcționeze corect de la zero la frecvențe de rotație relativ ridicate. Pe de altă parte, frecvențele de comutare sunt adesea limitate la câteva sute de Hz din cauza pierderilor de comutare ale dispozitivelor semiconductoare de mare putere. La frecvențe de rotație scăzute, trecerea la raportul de frecvență fundamental este încă relativ mare și invertorul va funcționa departe de limita sa de tensiune. Dimpotrivă, funcționarea la viteze mari se caracterizează printr-o comutare redusă la raportul de frecvență fundamental și o marjă de tensiune redusă (sau chiar inexistentă) în inverter. Datorită acestui fapt, ambele strategii de control și modulare sunt adesea modificate dinamic, în funcție de viteză.

Control scalar

Bucula deschisă V / F variază magnitudinea tensiunii statorului proporțional cu frecvența. Acest lucru are ca rezultat un flux (aproape) constant. Deși este simplu, controlul V / F are unele limitări relevante. Viteza rotorului nu este controlată precis din cauza alunecării. În plus, un raport incorect de tensiune la frecvență, cădere de tensiune în rezistența statorului, variații ale tensiunii de legătură continuă care alimentează inverterul etc. vor avea ca rezultat niveluri de flux incorecte, modificând în cele din urmă punctul de funcționare al mașinii de la valoarea dorită.

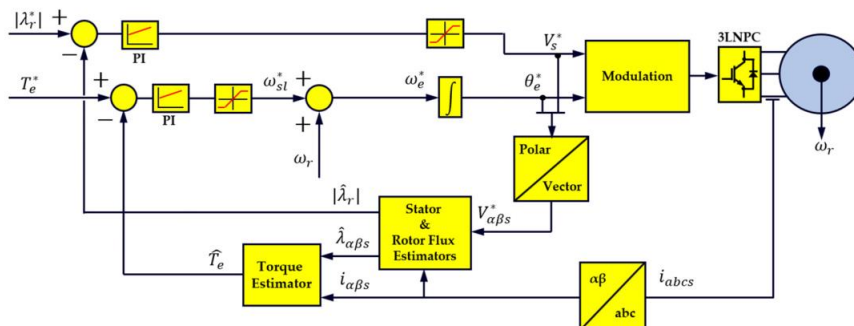


Figura 2. Schema de control scalar a fluxului de cuplu [2]

Răspunsul dinamic al schemei de control V/F în buclă închisă din Figura 2 poate fi îmbunătățit prin adăugarea a doi termeni de avans, așa cum se poate vedea în Fig.3. Primul folosește caracteristica V/F dorită pentru a furniza valoarea de bază a statorului magnitudinea

tensiunii, cu regulatorul de flux al rotorului furnizând tensiunea incrementală necesară pentru a urmări fluxul rotorului dorit fără erori.

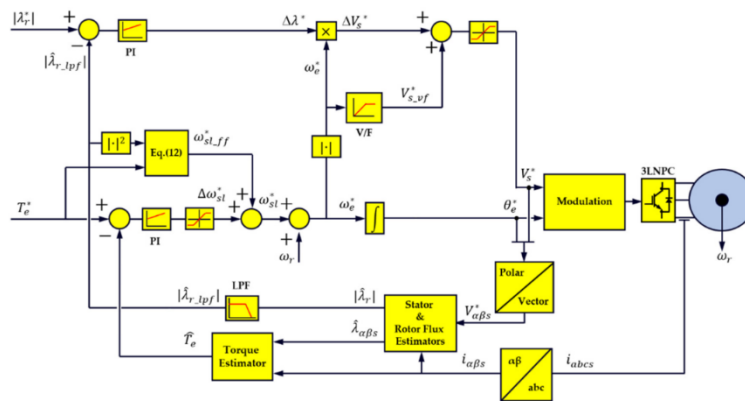


Figura 3. Buclă închisă V/F cu schemă de control al cuplului / fluxului [2]

Al doilea oferă valoarea de bază pentru alunecarea, care se obține din cuplul dorit și fluxul estimat al rotorului folosind regulatorul de cuplu corectează alunecarea astfel încât cuplul dorit să fie urmat fără erori.

Control vectorial

Metodele de control vectorial vizează manipularea directă a câmpurilor MA și a cuplului. Aceste metode se bazează pe modele d-q bine cunoscute. Controlul orientat pe câmp (FOC) reprezintă fluxul și cuplul în funcție de curenții statorului într-un cadru de referință sincron, cu regulatoare de curent cu lățime de bandă mare utilizate pentru a furniza comanda de tensiune inverterului. Alternativ, metodele de control direct al cuplului (DTC) implementează regulatoare de cuplu și flux care furnizează direct semnalele de poartă IGBT pentru inverter, adică fără controlul explicit al curenților statorului.

RFOC- Figura 4 este una dintre cele mai populare opțiuni pentru controlul de înaltă performanță al unităților MA, deși discuția sa depășește sfera acestei lucrări. RFOC este adesea utilizat în HST la viteze relativ mici, inverterul funcționează în regiunea liniară și cu o comutare adecvată la raportul de frecvență fundamental.

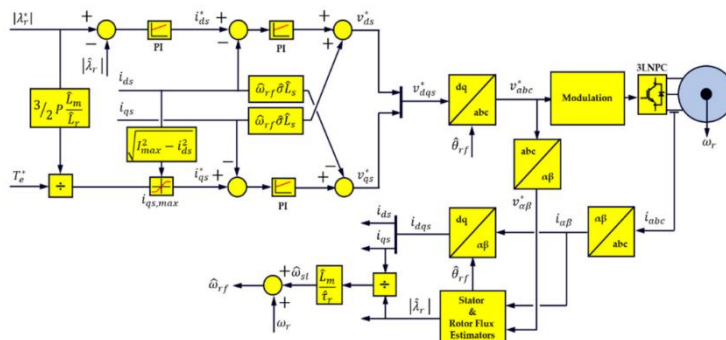


Figura 4. Schema de control orientat pe câmpul rotorului (RFOC) [2]

Cu toate acestea, utilizarea sa la viteze mari prezintă multiple probleme, inclusiv lipsa unei marje de tensiune în inverter pentru funcționarea corectă a regulatorului de curent, distorsiuni ale curenților datorate supra-modularii și întârzieri intrinseci frecvenței reduse de comutare.

DFVC este o abordare de control orientată spre fluxul statoric. Scriind ecuația de tensiune în fluxul statorului, se poate obține cadrul de referință. Se poate observa că variația fluxului statorului poate fi reglată prin tensiunea axei d, iar cuplul este apoi controlat prin curentul axei q, cu un regulator de curent utilizat în acest scop. Schema DFVC este prezentată în Figura 5.

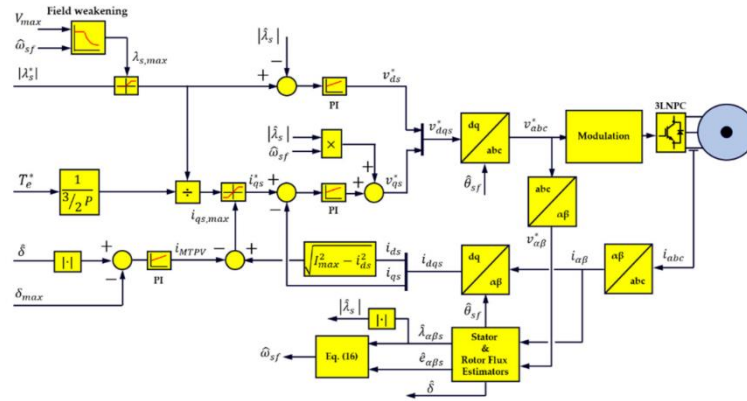


Figura 5. Schema Direct Flux Vector Control (DFVC) [2]

La viteze mici, DFVC poate funcționa fie cu fluxul statoric nominal, fie cu un cuplu maxim pentru a îmbunătăți eficiența. Peste viteza de bază, fluxul este redus, unde tensiunea maximă de ieșire a invertorului, care depinde de tensiunea disponibilă a legăturii DC și de metoda de modulare. Funcționarea în supra-modulare este fezabilă, dar trebuie păstrată o marjă de tensiune pentru funcționarea corectă a regulatorului de curent pe axa q, ceea ce înseamnă că nu este posibilă funcționarea cu o tensiune maximă de ieșire (adică șase trepte).

Unitățile electrice în aplicații de tracțiune de mare viteză pot funcționa pentru anumite perioade de timp cu sarcini ușoare. În acest caz, este posibilă scăderea nivelului de flux pentru a reduce curentul statorului și, în consecință, pierderile în Joule. Cu toate acestea, funcționarea cu niveluri reduse de flux va penaliza răspunsul dinamic al unității. Dacă se solicită o creștere a cuplului, mașina trebuie mai întâi remagnetizată. Timpul de remagnetizare este determinat de constanta de timp a rotorului și de curentul de magnetizare aplicat. Datorită valorilor relativ mari ale constantei de timp a rotorului, modificările rapide ale cuplului nu sunt fezabile. Cu toate acestea, trebuie remarcat faptul că schimbările rapide ale cuplului nu sunt de dorit pentru aplicațiile de tracțiune, deoarece acestea ar putea exercita stres asupra transmisiei mecanice, ar putea produce alunecarea roții și ar putea ridica probleme de confort. Gradientul maxim de cuplu permis va depinde de aplicație.

Concluzii

Rezultatul studiilor a modelelor de control în sistemele de acționare electrică cu mașini asincrone hexafazate și invertor, v-or fi studiate și experimentate în proiectul de stat ELTRAC 2020-2023.

Referințe

Cărți:

1. VITALY BOYKO. *Development and Research of the Traction Asynchronous Multimotor Drive*. Tallin : University of technology, 2008.

Articole în reviste:

2. AHMED FATHY ABOUZEID. Control Strategies for Induction Motors in Railway Traction Applications. In: *MDPI*, 2020.

Articole în culegerile conferințelor:

3. RIMBU, I., NUCA, I., NUCA, I. MODELAREA SISTEMULUI DE TRACȚIUNE AL TROLEIBUZULUI CU MOTOR ASINCRON ȘI CONTROL VECTORIAL.