

# Magnetic Analysis and Synchronization Control of an Interior Permanent Magnet Synchronous Motor

許潔一、陳盛基

E-mail: 9607742@mail.dyu.edu.tw

## ABSTRACT

The content of this article can be divided into two parts. At first, the 4 poles and 24 slots interior permanent magnet synchronous motor used in this article will be performed with magnetic flux and finite element analysis so as to verify the characteristics of the motor. Meanwhile, two dimensional finite element software Maxwell 2D will be used to construct the magnetic flux analysis model for the motor, and the mathematical calculation software Matlab will be used to calculate the characteristic parameters of the motor. Finally, the above two results will be compared to the experimental values. In the second part of this article, a study of synchronized motion control of the motor is performed; the basic experimental architecture consists of two interior permanent magnet synchronous motors and motion control card and motor driver with the core of TMS320F243 digital signal processor (DSP) chip. At first, it will be started with the system identification of single axis motor, then the difference of system transfer function of double axis motor will be found out. Furthermore, individual PI controller will be designed and control strategy will be added in appropriate time so as to achieve the synchronized motion characteristic of the motor.

Keywords : Interior permanent magnet synchronous motor ; finite element analysis ; digital signal processor ; synchronous motion control

## Table of Contents

目錄 封面內頁 簽名頁 授權書 . . . . .	iii
. . . . . iv 英文摘要 . . . . . v 誌謝 . . . . .	
. . . . . vi 目錄 . . . . . vii 圖目錄 . . . . .	
. . . . . x 表目錄 . . . . . xiii 第一章 序論 . . . . .	1 1.1
研究動機 . . . . . 1 1.2 文獻回顧 . . . . .	2 1.3 研究方法 . . . . .
. . . . . 4 1.4 內容綱要 . . . . .	4 第二章 永磁同步馬達之設計與分析 . . . . .
. . . . . 6 2.1 前言 . . . . .	6 2.2 馬達材料簡介 . . . . .
. . . . . 7 2.2.1 永磁材料 . . . . .	7 2.2.2 鐵心材料 . . . . .
. . . . . 9 2.3 永磁同步馬達設計原理 . . . . .	11 2.3.1 馬達需求及條件 . . . . .
. . . . . 13 2.3.2 永磁同步馬達的轉子型態 . . . . .	14 2.3.3 轉子極數 . . . . .
馬達之繞線設計 . . . . . 20 2.3.5 馬達繞線之相電阻計算 . . . . .	21 2.4 馬達基本特性分析 . . . . .
. . . . . 22 2.4.1 馬達特性常數之定義 . . . . .	23 2.4.2 馬達特性常數之計算 . . . . .
. . . . . 24 2.5 內藏型永磁同步馬達之等效磁路分析換算 . . . . .	26 2.5.1 內藏型永磁同步馬達之特性介紹 . . . . .
. . . . . 26 2.5.2 分析模型之介紹 . . . . .	27 2.5.3 磁氣參數計算 . . . . .
. . . . . 31 2.5.4 電氣參數計算 . . . . .	34 2.6 結果分析與討論 . . . . .
. . . . . 36 2.6.1 內藏型永磁同步馬達之計算結果 . . . . .	36 2.6.2 有限元素軟體之應用 . . . . .
第三章 同步運動控制之基本架構 . . . . .	51 3.1 直流伺服馬達之控制迴路 . . . . .
直流馬達控制迴路 . . . . . 51 3.1.2 無刷式直流無刷馬達控制迴路 . . . . .	52 3.2 硬體介紹與同步運動控制架構 . . . . .
. . . . . 54 3.2.1 硬體介紹 . . . . .	54 3.2.2 同步運動控制架構之觀念 . . . . .
. . . . . 56 3.3 單軸控制之系統鑑別與增益值之設計 . . . . .	64 3.3.1 馬達之電流開迴路系統鑑別 . . . . .
. . . . . 66 3.4 個別迴路之模擬結果 . . . . .	71 3.4.1 X軸之模擬結果 . . . . .
. . . . . 72 3.4.2 Y軸之模擬結果 . . . . .	74 3.5 前饋位置控制迴路之設計 . . . . .
第四章 同步運動控制之實驗結果 . . . . .	82 4.1 同步運動之位置控制 . . . . .
運動之速度控制 . . . . . 87 第五章 結果與討論 . . . . .	94 參考文獻 . . . . .
. . . . . 96 符號說明 . . . . .	99 附錄A：馬達參數計算之Matlab程式 . . . . .
. . . . . 103	

## REFERENCES

- 參考文獻 [1] Wen-Bin Tsai and Ting-Yu Chang, " Analysis of Flux Leakage in a Brushless Permanent Magnet Motor with Embedded Magnets, " IEEE Transactions on Magnetics, vol. 35, NO. 1, pp. 543-547, January, 1999.
- [2] K. Tanaka, T. Yuzawa, R. Moriyama, I. Miki, " Initial rotor position estimation for surface permanent magnet synchronous motor, " Rec. IEEE Ind. Applicat. Soc. Annu, vol. 4, pp.2592- 2597, 2001.
- [3] A. Kioumars, M. Moallem, B. Fahimi, " Mitigation of Torque Ripple in Interior Permanent Magnet Motors by Optimal Shape Design " , IEEE Trans on Magnetic, Vol. 42, NO. 11, pp.3706- 3711 ,November, 2006.
- [4] 張浚溢, " 表面型與內藏型永磁同步馬達特性比較 ",逢甲大學 電機工程學系, 碩士論文,2002年.
- [5] 林俊昌, " 內藏型永磁式同步機之設計、分析與量測 ",台灣科技大學電機工程學系,碩士論文,2004年.
- [6] R.D Lorenz, and P.B. Schmidt, " Synchronized motion control for process automation, " Proceedings of the 1989 IEEE Industry Applications Annual Meeting, pp.1693-1698,1989.
- [7] Y.Koren, " Cross-coupled biaxial computer control for manufacturing systems, " Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, Vol.102,pp.265-272,1980.
- [8] 薛博文, " 雙馬達之同步運動控制 ",國立中山大學機械工程學系,碩士論文,2001年.
- [9] 羅浚彬, " 直驅式電動汽車雙馬達之電流分佈控制 ",國立台灣大學機械工程學系, 碩士論文,2004年.
- [10]康威遠, " 多軸向線性馬達驅動技術控制策略研究 ",元智大學機械工程學系, 碩士論文,2005年.
- [11]楊忠衛, " 有限元素法於車用內藏型永磁式發電機之設計與分析 ",南台科技大學 電機工程學系,碩士論文,2004.
- [12]Ansoft Corporation, " Getting Started A 2D Magnetostatic Problem " ,Maxwell 2D Field Simulator, 1994.
- [13]黃繼震, " DSP電動機控制 ",參考實習手冊,中華民國職業訓練研發中心,2001年.
- [14]黃繼震, " 全數位化馬達控制參數自調適技術研究報告 ",經濟部科專計畫,2001 年.
- [15]許孟原, " 永磁無刷馬達的設計與特性分析 ",逢甲大學電機工程學系, 碩士論文,2003年.
- [16]Chapman原著,黃昌圳等編譯, " 電機機械 ",高立出版,2006年.
- [17] " Basic Electrical Machine Theory " , handout ,The University Of Sheffield 2006.
- [18]陳盛基,莊杰霖, " 永磁無刷馬達設計與分析流程驗證 ",機械月刊,第381期, 4月,2007年.
- [19]蔡明祺,陳正虎, " 馬達特性常數知多少 ",馬達電子報創號,2002 [20]許潔一, " 內藏式永磁無刷馬達之磁路分析 ", 2007再生能源科與應用研討會 [21]Duane C. Hanselman, " Brushless Permanent Magnet Motor Design " , second edition, The Writers, Collective, 2003.
- [22]林家平, " 模糊控制器於無刷馬達定位之研究 ",大葉大學電機工程學系, 碩士論文,2006年.
- [23]蕭豐進, " 永磁式直流與無刷馬達DSP Base 伺服驅動器設計實務 ",大葉大學電機 工程學系,碩士論文,2004年.