

# 內藏式永磁無刷馬達最佳化設計與電腦輔助分析

林錦輝、陳盛基

E-mail: 9607815@mail.dyu.edu.tw

## 摘要

近年來，永磁直流無刷馬達 (Permanent Magnet Brushless DC Motor, 簡稱PM BLDCM) 被廣泛的應用，其中內藏型永磁 (Interior permanent magnet) 無刷馬達因轉子具有高強度的結構上優點，在高速運轉情況下，磁石不會因離心作用而飛脫，且轉子的非同心圓設計，除磁石及線圈相互作用產生的電磁轉矩外，另有凸極效應所產生的磁阻轉矩，藉以增加馬達轉矩輸出。不過，頓動轉矩卻會因此而衍生增加。本文旨在分析一凸極式內藏型永磁無刷馬達，藉由改變馬達轉子外型尺寸，運用有限元素法作頓動轉矩分析，以達到內藏型永磁無刷馬達頓動轉矩最佳化目的。

關鍵詞：表面型永磁無刷馬達；凸極效應；內藏型永磁無刷馬達；有限元素法；頓動轉矩；磁路模型；永久磁鐵

## 目錄

封面內頁 簽名頁 授權書 . . . . .	iii	中文摘要 . . . . .	iii
. . . . . iv 英文摘要 . . . . .	iv	v 誌謝 . . . . .	v
. . . . . vi 目錄 . . . . .	vi	vii 圖目錄 . . . . .	vii
. . . . . ix 表目錄 . . . . .	ix	xiii 第一章 緒論 1.1 前言 . . . . .	xiii
. . . . . 1 1.2 文獻回顧 . . . . .	1	1 1.3 研究動機 . . . . .	1
. . . . . 2 1.4 研究步驟及目標 . . . . .	2	3 第二章 永磁無刷馬達原理與構造 2.1 動作原理 . . . . .	3
. . . . . 5 2.2 定子 . . . . .	5	7 2.3 轉子 . . . . .	7
. . . . . 10 2.4 永久磁石 . . . . .	10	13 2.5 永磁無刷馬達磁路模型 . . . . .	13
. . . . . 17 2.6 永磁無刷馬達數學模式[9] . . . . .	17	21 2.7 驅動控制單元[15] . . . . .	21
. . . . . 25 第三章 電腦輔助分析軟體應用 3.1 有限元素分析概念 . . . . .	25	. . . . .	. . . . .
. . . . . 27 3.2 Maxwell 2D/3D磁路分析 . . . . .	27	28 3.3 馬達結構建模 . . . . .	28
. . . . . 32 3.4 材料設定 . . . . .	32	34 3.5 邊界條件及磁場激勵源設定 . . . . .	34
. . . . . 36 3.6 求解 . . . . .	36	38 第四章 有限元素法分析頓動轉矩 4.1 頓動轉矩之形成 . . . . .	38
. . . . . 44 4.2 頓動轉矩抑制對策 . . . . .	44	46 4.3 頓動轉矩分析模擬 . . . . .	46
. . . . . 49 第五章 最佳化設計驗證及特性比較 5.1 頓動轉矩比較 . . . . .	49	. . . . .	. . . . .
. . . . . 53 5.2 氣隙磁通密度比較 . . . . .	53	58 5.3 轉子等效磁通鏈比較 . . . . .	58
. . . . . 60 5.4 反電動勢比較 . . . . .	60	62 5.5 轉子表面高斯量比較 . . . . .	62
. . . . . 66 5.6 馬達特性測試比較 . . . . .	66	67 第六章 結論與建議 . . . . .	67
. . . . . 72 參考文獻 . . . . .	72	74 符號說明 . . . . .	74
. . . . . 77	77	. . . . .	. . . . .

## 參考文獻

1. Dong-Hum Kim, Il-Han Park, Joon-Ho Lee, and Chang-Eob Kim, "Optimal Shape Design Of Iron Core to Reduce Cogging Torque of IPM Motor" IEEE Trans. on Magnetics, Vol. 39, No. 3, pp.1456-1459, May 2003.
2. Nicola Bianchi and Silverio Bolognani, "Design Techniques for Reducing the Cogging Torque in Surface-Mounted PM Motors" IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 38, No. 5, pp.1259-1265, Sept/Oct.2002.
3. E R. Brage Filho, A. M. N. Lima, "Reducing cogging torque in Interior permanent magnet machines without skewing " IEEE Trans. On Magnetics, Vol. 34, No. 5, pp.3652-3655, September 1998.
4. A. Kioumars, M. Moallem, and B. Fahimi, "Mitigation of Torque Ripple in Interior Permanent Magnet Motors by Optimal Shape Design" IEEE Trans. On Magnetics, Vol. 42, No. 11, pp.3706-3711, November 2006.
5. Leila Parsa, Hamid A. Toliyat, Senior Member, "Five-Phase Interior Permanent-Magnet Motors With Low Torque Pulsation" IEEE Trans. On Industry Applications, Vol. 43, No. 1, pp.40-46, January/February 2007.
6. 黃昌圳, " 永磁式電機之磁路設計與分析 ", 馬達電子報, No.6, 2002年.
7. 蔡文彬, " 無刷永磁馬達的設計考量 ", 馬達電子報, No.73, 2004年.
8. Duane C. Hanselman, "Brushless Permanent-Magnet Motor Design", McGraw – Hill, 1994.
9. 何世賓, " 凸極式永磁式同步電動機之高效率及高速控制系統研製 ", 國立台灣科技大學電機工程系碩士論文, 民國89年5月.
10. Z.Q. Zhu, "Influence of Design Parameters on Cogging Torque in Permanent Magnet Machines", IEEE Trans. On Energy Conversion, Vol.15, No.4, pp.407-412, 2000.
11. 陳盛基, " 永磁直流無刷馬達改變磁極弧長降

低頓動轉矩之分析”，馬達電子報，No.209，2006年。12.陳雙穩，”永磁無刷馬達之繞線結構對性能影響之研究”，國立成功大學機械工程學系碩士論文，民國90年7月。13.Z.Q.Zhu, S. Ruangsinchaiwanich, and D.Howe, “Synthesis of Cogging Torque Waveform from Analysis of a Single Stator Slot” IEEE Trans. On Industry Application, Vol.42, Issue 3, pp.650-657, 2006。14.J. R. Hendershot and T. J. E. Miller, Design of Brushless Permanent Magnet Motors. Oxford, U. K. : Magna Physics / Clarendon, 1994。15.Taiwan Oriental Motor Co., Ltd. , <http://www.orientalmotor.com.tw/> 16.Super Electronics Co., Ltd. , <http://www.superrite.com/> 17.NEOMAX AMERICA, INC , <http://www.neomaxamerica.com/> 18.中國鋼鐵股份有限公司, “C931794中鋼電磁鋼片中文型錄P5 /C931841中鋼電磁鋼片特性圖型P48”,2007。19.J.F. Gieras, “Analytical Approach to Cogging Torque Calculation of PM Brushless Motor”, IEEE Trans. On Industry Application, Vol.40, No.5, pp.1310-1316, 2004。