

# 大直徑薄型馬達佳化槽齒形狀研究與設計

林信男、胡永柟

E-mail: 8804782@mail.dyu.edu.tw

## 摘要

本文研究以找出最適當的充磁方法與定子槽齒形狀之變化，對主軸馬達的效能與頓轉扭矩之影響。在直流無刷馬達中頓轉扭矩是主要的電磁雜訊之一，而頓轉扭矩的產生是一種源自於馬達的磁性轉子與定子間的磁交互作用所產生，過大的頓轉扭矩會影響到馬達的震動、噪音及操控性，不利於資料讀寫的品質；為了要降低頓轉扭矩，可以從修改馬達矽鋼片外型及磁石著磁方式；首先，我們在修改馬達矽鋼片外型著手，採用理想著磁法快速找出最佳矽鋼片外型，把頓轉扭矩降低至一定程度，接著再從充磁座修弧著手亦即磁石著磁方式改變，兩者並行下，非但頓轉扭矩再降低，反電動勢卻也維持住，大大提昇馬達效能。一般在分析馬達之性能時，採用的磁石是理想著磁法，不是將整個磁極磁化方向當成完全徑向就是固定在某一特定方向，使得各磁區邊界分野非常清楚，這樣模擬所得的磁石充磁波形，與實驗值相差很多，在預測馬達重要參數也只能作近似的趨勢性判斷。為了改進這種模擬方式，我們以細磁區磁路模擬方法，重複分析確認磁石及整個馬達磁路，以符合較為真實情況。

關鍵詞：頓轉扭矩

## 目錄

目錄 授權書.....	iii	中文摘要.....	.....
.....v 英文摘要.....	.....	.....vi 誌謝.....	.....
.....vii 目錄.....	.....	.....viii 圖目錄.....	.....
.....x 表目錄.....	.....	.....xiii 第一章 前言.....	.....
.....1 第二章 研究主題與簡介 2.1 研究主題與研究範圍.....	.....4		
2.1.1 降低頓轉扭矩之方法.....	4	2.1.2 馬達動作原理.....	4
2.1.3 馬達之功率與效率.....	7	2.1.4 定子修弧參數.....	8
2.2 電磁理論簡介.....	10	第三章 磁路模擬之設計與原理 3.1 有限元素法(FEM)應用之原理.....	14
.....14	.....	3.2 馬達中力之計算方法.....	19
3.2.1 虛功法(Virtual work Method).....	19	3.2.2 馬克斯威爾張量應力法.....	20
3.2.3 馬達之頓轉轉矩計算.....	23	3.3 反電動勢計算方法.....	24
3.3 磁路分析流程.....	26	第四章 充磁實驗與量測儀器 4.1 著磁原理.....	35
4.2 充磁機原理.....	38	4.3 磁石磁場波形量測.....	38
4.4 馬達頓轉扭矩的量測.....	39	4.5 馬達反電動勢(Back-emf)量測.....	39
第五章 模擬結果與分析 5.1 槽開口大小的探討.....	40	5.2 如何降低頓轉扭矩及最佳化矽鋼片的修弧方法.....	44
5.3 充磁座之磁路模擬.....	58	5.4 利用細磁區法重複確認模擬結果.....	64
5.5 實驗結果.....	69	第六章 結論.....	73
參考文獻.....	74	圖目錄 圖1.1 a三相9槽12極直流無刷馬達.....	2
圖1.1.b三相9槽12極直流無刷馬達.....	2	圖2.1 直流無刷馬達單相等效電路.....	4
圖2.2 各種霍爾元件位置之變形.....	5	圖2.3 馬達繞線入出線圖.....	6
圖2.4 槽開口7度未修弧馬達定子圖.....	8	圖2.5 修弧時所定義的兩個參數 與r.....	9
圖3.1 三角型網格之示意圖.....	15	圖3.2 單齒定子與左右兩組線圈示意圖.....	25
圖3.3 矽剛片材料(h18)之初磁化曲線圖.....	27	圖3.4 yoke之第一象線的B-H曲線.....	28
圖3.5 磁石之退磁化曲線圖.....	28	圖3.6 9槽12極主軸馬達模型中三分之一部份圖機構圖.....	30
圖3.7 2D靜磁場直流無刷馬達軟體分析流程圖.....	31	圖3.8 9槽12極主軸馬達網格中三分之一部份圖.....	32
圖4.1 充磁機基本電路示意圖.....	36	圖4.2 12極徑向充磁座立體圖.....	37
圖4.3 12極徑向充磁座回路.....	37	圖5.1 未修弧不同的槽開口頓轉扭矩對的關係圖.....	42
圖5.2 未修弧不同槽開口u相轉矩常數對的關係圖.....	42	圖5.3 flux進入較多情況.....	43
圖5.4 flux進入較少情況.....	43	圖5.5.a未修弧Bn與Bt對的關係圖 圖5.5.b未修弧Bn*Bt對的關係圖.....	47
圖5.6 頓轉扭矩最大時之轉子與定子相對位置磁力線圖.....	48	圖5.7.a修弧後(	

r=1.29mm)Bn與Bt對的關係圖	圖5.7.b修弧後(r=1.29mm)Bn*Bt對的關係圖	49	圖5.8 修弧後槽開口不同對頓轉扭矩關係圖	50	圖5.9 未修弧與修弧後(槽開口)頓轉扭矩比較	51	圖5.10 未修弧與修弧後(槽開口)轉矩常數比較	52	圖5.11 修弧流程圖	53	圖5.12 修弧後(r=1.29mm)轉矩常數(Kt)圖	54	圖5.13 修弧後(r=1.29mm)反動勢常數(Ke)圖	54	圖5.14 微調定子外觀尺寸前	55	圖5.15 微調定子外觀尺寸後	55	圖5.16 微調前後頓轉扭矩比較	56	圖5.17 微調前後轉矩常數比較	56	圖5.18 微調後反動勢常數(Ke)圖	57	圖5.19 微調後轉矩常數(Kt)圖	57	圖5.20 充磁座1/3部份機構圖(a)Type (b)Type	58	圖5.21 磁向量位的等位線分佈圖(a)Type (b)Type (充磁電流9KA)	61	圖5.22 磁通密度B向量場之分佈圖(a)Type (b)Type (充磁電流9KA)	62	圖5.23 充磁座氣隙內磁通密度分量隨圓心角度之變化 (a)徑向分量Bn之分佈(b)切向分量Bt之分佈	63	圖5.24 充磁座氣隙內磁通密度分量隨圓心角度之變化 (a)徑向分量Bn之分佈 (b)切向分量Bt之分佈	64	圖5.25 一般模擬法	66	圖5.26 細磁區法所採用之模擬法	66	圖5.27 充磁座時(a)頓轉扭矩圖與(b)反電動勢圖	67	圖5.28 充磁座時(a)頓轉扭矩圖與(b)反電動勢圖	68	圖5.29 實驗後的定子修弧( )頓轉扭矩大小	70	圖5.30 實驗後的定子修弧( )轉矩常數大小	70	圖5.31 實驗後的定子修弧微調後( )轉矩常數大小	71	圖5.32 微調後與Sin波及未微調前比較圖	71	圖5.33 定子修弧與轉子充磁波形改變之頓轉扭矩圖	72	圖5.34 定子修弧與轉子充磁波形改變之反電動勢圖	72	表目錄	表1.1 馬達特點比較	3	表3.1不同外加磁場作用下所得到的60個模擬材料	29	表5.1 未修弧Bn與Bt相乘積和差表	50	表5.2 修弧後(r=1.29mm)Bn與Bt相乘積和差表	51	表5.3 充磁座之修弧模擬條件	58
---------------------	-------------------------------	----	-----------------------	----	-------------------------	----	--------------------------	----	-------------	----	------------------------------	----	-------------------------------	----	-----------------	----	-----------------	----	------------------	----	------------------	----	---------------------	----	--------------------	----	----------------------------------	----	--	----	---	----	---	----	--	----	-------------	----	-------------------	----	-----------------------------	----	-----------------------------	----	-------------------------	----	-------------------------	----	----------------------------	----	------------------------	----	---------------------------	----	---------------------------	----	-----	-------------	---	--------------------------	----	---------------------	----	-------------------------------	----	-----------------	----

## 參考文獻

- [1]G.W.Jewell, D.Howe, and C.D.Riely, "The Design of Radial-Field Multipole Impluse Magnetizing Fixtures for Isotropic NdFeB Magnets", IEEE Trans. on Magn., vol.33, no.1, pp.708-722, Jan.1997 [2] D. A. Lowther, P. P. Silvester, Computer-Aided Design in Magnetism, Springer-verlag New York Inc., pp.37~44, 1986 [3] D. A. Lowther, P. P. Silvester, Computer-Aided Design in Magnetism, Springer-verlag New York Inc., pp.68~79, 1986 [4] J. D. Jackson, 1976 Classical Electrodynamics, pp.217~223, John Wiley & Sons [5] Y. D. Yao, D. R. Huang, S. M. Lin, S. J. Wang, "Theoretical of the magnetic coupling between magnetic gears, IEEE Trans. on Magn.,Vol. 32, pp.710~713, 1996 [6] B. D. CULLITY, Introduction to Magnet Materials, pp.49~68, 1972 [7] D. Chiang, S. J. Wang, and D. R. Huang, "Magnetic Profiles of Bonded Magnets Affected by the Magnetizing Fixtures", J. Appl.Phys. 79(8), American Institute of Physics, pp.5560~5562, 1996 [8] 李開泰、黃艾香、黃慶懷著, "有限元方法及其應用", 西安交通大學出版社。
- [9] June 1989, "磁性材料", 工業技術研究院工業材料研究所。