

# 風力發電機之設計與分析

黃彥程、陳盛基

E-mail: 9707396@mail.dyu.edu.tw

## 摘要

對於馬達設計者而言，多憑藉經驗，及頻繁地測試來獲得馬達之性能，這種以失敗換取經驗的方式增加不少材料成本的耗費，且需花費許多不必要之時間嘗試各種不同的設計方案。對於馬達設計者而言，快速、精準的設計是項重要的課題。為了達成此目標，需藉助適當之磁場分析理論，而等效磁路分析即是最常使用且快速之馬達分析工具。本文以一具永磁無刷風力發電機為範例，並利用磁路分析為理論基礎進行設計，根據發電機實際使用上的考量來決定發電機尺寸及規格，然後以有限元素模擬軟體進行分析及驗證，並觀察磁場分佈是否合理，以及發電機定子是否有磁飽和現象，避免發電機有性能受限或電流過載燒毀的狀況，最後再以實測結果驗證是否達到實際需求。

關鍵詞：風力發電機;等效磁路;有限元素法

## 目錄

目錄 封面內頁 簽名頁 授權書 . . . . .	iii
. . . . . iv 英文摘要 . . . . .	v
. . . . . vi 目錄 . . . . .	vii
. . . . . ix 表目錄 . . . . .	
. xii 第一章 緒論 1.1 前言 . . . . .	1
. . . . . 2 1.2 文獻回顧 . . . . .	1
. . . . . 2 1.3 研究動機與目的 . . . . .	5
. . . . . 5 1.4 本文架構 . . . . .	7
6 第二章 風力發電機需求及尺寸設計 2.1 發電機規格 . . . . .	7
. . . . . 8 2.2 發電機需求考量 . . . . .	7
. . . . . 8 2.3 繞線設計 . . . . .	9
. . . . . 14 2.4 磁鐵尺寸的設計 . . . . .	9
14 第三章 發電機模擬分析 3.1 RMXprt軟體設定 . . . . .	26
模擬分析 . . . . .	31
3.3 磁鐵模擬分析 . . . . .	32
4.1 有限元素分析 . . . . .	37
4.2 前處理器 . . . . .	39
4.3 場解析器及後處理器 . . . . .	43
4.4 有限元素分析結果 . . . . .	43
5.1 發電機的改進 . . . . .	49
5.2 改進之後的有限元素分析 . . . . .	56
5.3 實測結果 . . . . .	59
第六章 結論 . . . . .	61
參考文獻 . . . . .	63
符號說明 . . . . .	67
圖目錄 圖1.1 反電動波形圖 . . . . .	3
. . . . . 5 圖2.1 外轉式風力發電機 . . . . .	7
. . . . . 11 圖2.2 前7個槽數及各自對應角度 . . . . .	11
. . . . . 12 圖2.3 各自對應角度修正為180~-180度電機角 . . . . .	11
. . . . . 12 圖2.4 各自對應角度修正為90~-90度電機角 . . . . .	12
. . . . . 14 圖2.5 42槽線角度修正完成及繞線 . . . . .	13
. . . . . 14 圖2.6 磁鐵尺寸說明 . . . . .	15
. . . . . 16 圖2.7 修正後磁鐵尺寸說明 . . . . .	15
. . . . . 16 圖2.8 磁鐵減磁曲線示意圖 . . . . .	16
. . . . . 18 圖2.9 磁鐵厚度與磁導係數關係圖 . . . . .	19
. . . . . 20 圖2.10 M19的B-H Curve . . . . .	19
. . . . . 20 圖2.11 馬達磁路路徑 . . . . .	20
. . . . . 21 圖2.12 馬達等效磁路模型 . . . . .	20
. . . . . 21 圖2.13 磁路簡化(1) . . . . .	21
. . . . . 22 圖2.14 磁路簡化(2) . . . . .	21
. . . . . 22 圖2.15 磁路簡化(3) . . . . .	22
. . . . . 22 圖2.16 氣隙磁通密度與磁導係數關係圖 . . . . .	23
. . . . . 24 圖2.17 齒部磁通密度與磁導係數關係圖 . . . . .	24
. . . . . 24 圖3.1 一般設定視窗 . . . . .	27
. . . . . 27 圖3.2 六種驅動電路圖 . . . . .	27
. . . . . 28 圖3.3 定子設定(一) . . . . .	28
. . . . . 28 圖3.4 四種槽型 . . . . .	28
. . . . . 29 圖3.5 定子槽形狀 . . . . .	28
. . . . . 29 圖3.6 定子設定(二) . . . . .	29
. . . . . 30 圖3.7 定子繞線圖 . . . . .	29
. . . . . 30 圖3.8 轉子設定 . . . . .	30
. . . . . 31 圖3.9 磁鐵材料 . . . . .	30
. . . . . 31 圖3.10 磁鐵弧長對節距比和頓動轉矩關係圖 . . . . .	33
. . . . . 34 圖3.11 磁鐵厚度和頓動轉矩關係圖 . . . . .	34
. . . . . 34 圖3.12 磁鐵厚度和齒部磁通密度關係圖 . . . . .	35
. . . . . 35 圖3.13 磁鐵厚度和輸出功率關係圖 . . . . .	35
. . . . . 35 圖4.1 有限元素分析流程表 . . . . .	39
. . . . . 40 圖4.2 發電機幾何圖形 . . . . .	40
. . . . . 40 圖4.3 表面黏著型磁鐵設計 . . . . .	40

40	圖4.4 磁鐵材料設定	41	圖4.5網格切割圖
42	圖4.6氣隙網格放大圖	43	圖4.7 磁力線分佈圖
44	圖4.8 磁通密度分佈圖	44	圖4.9 氣隙間磁力線分佈圖(放大)
45	圖4.10 氣隙間磁場密度分佈圖(放大)	46	圖4.11氣隙磁力線放大圖(定子位置不同)
47	圖4.12氣隙磁通密度放大圖(定子位置不同)	47	圖4.13 齒部放大圖
48	圖5.1 磁導係數和氣隙長度關係圖	50	圖5.2 氣隙長度和頓動轉矩關係圖
51	圖5.3 氣隙長度和齒部磁通密度關係圖	52	圖5.4 氣隙長度和輸出功率關係圖
52	圖5.5 有凹槽設計的轉子	53	圖5.6 加上導角修正的轉子
54	圖5.7 積厚和頓動轉矩關係圖	55	圖5.8 積厚和輸出功率關係圖
56	圖5.9 磁力線分佈圖	57	圖5.10 磁通密度分佈圖
57	圖5.11 氣隙磁通密度放大圖(一)	58	圖5.12 氣隙磁通密度圖(二)
59	表目錄	7	表2.2槽極搭配方案及其X值
9	表2.1風力發電機規格表	10	表2.4 40極42槽繞線表
13	表2.3 繞線各項數據	17	表2.6 七種磁鐵厚度(mm)選擇方案
17	表2.5磁鐵特性	23	表2.7 之計算值(單位: Tesla)
24	表2.9 磁鐵尺寸	25	表3.1 槽極數模擬
31	表3.2 磁鐵展開角模擬數據	32	表3.3 磁鐵厚度分析數據
34	表5.1不同氣隙長度(mm)估算表	49	表5.2 不同氣隙長度下之模擬結果
50	表5.3 積厚模擬數據	54	表5.4 設計規格和實測數據
60			

## 參考文獻

- [1] J. R. Hendershot and T. J. E. Miller, Design of Brushless Permanent Magnet Motors. Oxford , U. K. : Magna Physics/Clarendon, 1994.
- [2] Duane C. Hanselman, Brushless Permanent Magnet Motor Design, second edition, 2003.
- [3] Duane C. Hanselman, " Effect of skew, pole count and slot count on brushless motor radial force, cogging torque and back EMF, " IEE Proc-Electr. Power Appl, Vol. 144, pp. 325-330, 1997.
- [4] J. Rizk and M. H. Nagrial, " Permanent-magnet generators for wind turbines, " Power Electronics and Motion Control Conference, 2000. Proceedings. IPEMC 2000. Vol. 1, pp. 208-212, 2000.
- [5] L. Smerlund, J-T. Eriksson, J. Salonen, H. Vihriiila and R. Peda , " A Permanent-Magnet Generator for Wind Power Applications, " IEEE Transactions on Magnetics vol. 32, pp. 2389-2392, 1996.
- [6] M. A. Khan and P. Pillay, " Design of a PM Wind Generator, " Optimised for Energy Capture over a Wide Operating Range, " Electric Machines and Drives, 2005 IEEE International Conference on 15-18 pp. 1501-1506, 2005.
- [7] M. A. Khan , Y. Chen and P. Pillay, " Application of Soft Magnetic Composites to PM Wind Generator Design, " Power Engineering Society General Meeting, IEEE , pp. 1-4, 2006.
- [8] Mihai Comanescu , Ali Keyhani and Min Dai , " Design and Analysis of 42-V Permanent-Magnet Generator for Automotive Applications, " Energy Conversion, IEEE Transaction on vol. 18, pp. 107-112, 2003.
- [9] Yicheng Chen , Pragasen Pillay and Azeem Khan, " PM Wind Generator Comparison of Different Topologies, " Industry Applications Conference, 39th IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2004 IEEE, vol. 3, pp. 1405 - 1412, 2004.
- [10] Yi cheng Chen, Pragasen Pillay and Azeem Khan, " PM Wind Generator Topologies, " Industry Applications, IEEE Transactions on vol. 41, Issue 6, pp. 1619 -1626, 2005.
- [11] M. A. Khan, Y. Chen, and P. Pillay, " Application of soft magnetic composites to PM wind generator design, " Power Engineering Society General Meeting, IEEE, pp. 4, 2006.
- [12] H. Li, Z. Chen, " Optimal direct-drive permanent magnet wind generator systems for different rated wind speeds, " Power Electronics and Applications, European Conference on, pp. 1-10, 2007.
- [13] Yi cheng Chen, Pragasen Pillay, " Axial-flux PM Wind Generator with A Soft Magnetic Composite Core, " Industry Applications Conference, 2005, Fourtieth IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2005, vol. 1, pp.231- 237, 2005.
- [14] M. A. Khan, P. Pillay, R. Guan, N. R. Batane and D. J. Morrison, " Performance Assessment of a PM Wind Generator with Machined SMC Cores, " Electric Machines & Drives Conference, 2007. IEMDC '07. IEEE International, vol. 2, pp. 1049-1053, 2007.
- [15] 莊杰霖 陳盛基, 永磁無刷馬達設計與分析流程驗證, 機械月刊, 第381期, 2007年.
- [16] 蔡文彬, 無刷永磁馬達的設計考量, 馬達電子報, 第七十三期, 2004.
- [17] 陳輝庭, " 兩極三槽直流無刷馬達磁路分析與控制 ", 大葉大學電機工程學系碩士論文, 2007.

- [18] 粘鏡耀, “無鐵心式永磁線性無刷直流馬達之設計與分析”, 大葉大學電機工程學系碩士論文, 2007.
- [19] 粘鏡耀, “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, 第209期, 2006.
- [20] 許溢适, “實用電動機設計手冊”, 強峰印刷企業有限公司印, 2007.
- [21] 陳雙穩, 永磁無刷馬達之繞線結構對性能影響之研究, 國立成功大學碩士論文, 2001.
- [22] 蔡明祺、茆尚勳, “淺談馬達設計”, 馬達電子報, 第二期, 2002.