

# Electrical Magnetic Field Analysis by Using Finite Element Method

盧孝銘、胡永柟

E-mail: 9419801@mail.dyu.edu.tw

## ABSTRACT

The object of this thesis is to maximize the voltage output of a single phase permanent magnet synchronous generator being composed of a stator with quadruple concentrated coil in series and a permanent magnets rotor with eight-pole. At first step, we select a certain rotor structure/permanent magnetic material configuration, then conduct the magnetic field, magnetic force and torque characteristics analysis to calculate the open-circuit voltage. The 2-D nonlinear magnetostatic finite element method from Maxwell 2D software ( Ansoft product ) is used for Field analysis. This paper conduct 6 structure /permanent magnetic material configurations analysis covering different combinations of AlNiCo5、SmCo28、NdFe35 3 materials and radial-magnetizing, nonmagnetic 2 structures. From performance characteristics point of view, NdFe35 is the best, SmCo28 the second, AlNiCo5 the worst in material wise, radial-magnetizing is better then nonmagnetic structure in structure wise. However, the cost and temperature effects should be considered by designer.

Keywords : Finite element method、Field analysis、Permanent magnet synchronous generator、Nonlinear magnetostatic.

## Table of Contents

封面內頁 簽名頁 授權書 . . . . .	iii	中文摘要 . . . . .	
. . . . . iv 英文摘要 . . . . .		v 誌謝 . . . . .	
. . . . . vi 目錄 . . . . .		vii 圖目錄 . . . . .	
. . . . . ix 表目錄 . . . . .		xi 第一章 緒論 1.1	
研究動機與目的 . . . . .	1	1.2 系統架構與研究步驟 . . . . .	2
. . . . . 1.1.2 系統架構與研究步驟 . . . . .	2	1.2.1 系統架構 . . . . .	2
. . . . . 2.1.2 研究步驟 . . . . .	4	1.3 論文內容大綱概述 . . . . .	4
. . . . . 4 第二章 有限元素法數值分析 2.1簡介 . . . . .	5	2.2 Maxwell模組的原理 . . . . .	5
. . . . . 5.2.3線路方程式 . . . . .	13	2.4力矩的計算 . . . . .	13
. . . . . 16 第三章 磁效應理論 3.1磁極化與磁導係數 . . . . .	17	3.2磁雙極與磁雙極矩 . . . . .	17
. . . . . 19 3.3反磁性與順磁性 . . . . .	22	3.4反強磁性與磁鐵性 . . . . .	22
. . . . . 27 3.5磁伸縮現象 . . . . .	29	第四章 永久磁石的材料 4.1 概述 . . . . .	34
. . . . . 33 4.2 磁性材料用於電路元件的特色 . . . . .	34	4.3 磁性材料的分類 . . . . .	34
. . . . . 36 4.4 磁石的特性曲線 . . . . .	41	第五章 模擬過程及結果 5.1模型規格的建構 . . . . .	51
. . . . . 53 5.2徑向充磁的轉子結構模擬分析 . . . . .	56	5.3嵌入非導磁性的轉子結構模擬分析 . . . . .	56
. . . . . 59 5.4徑向充磁的轉子結構比較分析 . . . . .	63	5.5嵌入非導磁性的轉子結構比較分析 . . . . .	63
. . . . . 65 5.6性能討論 . . . . .	67	第六章 結論 . . . . .	69
. . . . . 68 參考文獻 . . . . .	69	圖目錄 圖1.1軟體模擬製作流程圖 . . . . .	8
. . . . . 3 圖2.1線性材料及非線性材料之能量關係圖 . . . . .	22	圖3.1永久磁雙極的排列情形 . . . . .	25
. . . . . 22 圖3.2 /N - X 函數曲線 . . . . .	35	圖4.1磁性體的磁能轉換 . . . . .	40
. . . . . 35 圖4.2永久磁石的B - H曲線圖 . . . . .	42	圖4.3磁滯迴線 . . . . .	43
. . . . . 42 圖4.4減磁曲線及能量曲線 . . . . .	43	圖4.5回歸線 . . . . .	45
. . . . . 43 圖4.6永久磁石的減磁曲線 . . . . .	47	圖4.7簡易磁路模型 . . . . .	47
. . . . . 47 圖4.8簡易磁路模型的操作點的變化 . . . . .	51	圖4.9磁路模型 . . . . .	51
. . . . . 51 圖4.10 NeFe35磁石之操作點變化情形 . . . . .	52	圖5.1發電機結構剖面圖 . . . . .	54
. . . . . 54 圖5.2定子鐵心B - H 特性曲線圖 . . . . .	55	圖5.3徑向充磁的轉子結構模型圖 . . . . .	56
. . . . . 56 圖5.4徑向充磁 - 鋁鎳鈷磁石的靜態磁場模擬圖 . . . . .	57	圖5.5徑向充磁 - 鋁鎳鈷磁石兩磁極的B曲線模擬圖 . . . . .	57
. . . . . 57 圖5.6徑向充磁 - 鈰鈷磁石的靜態磁場模擬圖 . . . . .	58	圖5.7徑向充磁 - 鈰鈷磁石兩磁極的B曲線模擬圖 . . . . .	58
. . . . . 58 圖5.8徑向充磁 - 鈰鐵磁石的靜態磁場模擬圖 . . . . .	59	圖5.9徑向充磁 - 鈰鐵磁石兩磁極的B曲線模擬圖 . . . . .	59
. . . . . 59 圖5.10 嵌入非導磁材料的轉子結構模擬圖 . . . . .	60	圖5.11 嵌入非導磁 - 鋁鎳鈷磁石的靜態磁場模擬圖 . . . . .	60
. . . . . 60 圖5.12 嵌入非導磁 - 鋁鎳鈷磁石兩磁極的 B曲線模擬圖 . . . . .	61	圖5.13 嵌入非導磁 - 鈰鈷磁石的靜態磁場模擬圖 . . . . .	61
. . . . . 61 圖5.14 嵌入非導磁 - 鈰鈷磁石兩磁極的 B曲線模擬圖 . . . . .			

圖 . . . 61	圖5.15 嵌入非導磁 - 鈷鐵磁石的靜態磁場模擬圖 . . . . . 62	圖5.16 嵌入非導磁 - 鈷鐵磁石兩磁極的 B 曲線模擬圖 . . . . . 62	圖5.17 徑向充磁 - 三種磁石的 Energy 比較圖 . . . . . 63	圖5.18 徑向充磁 - 三種磁石的 Flux 比較圖 . . . . . 63	圖5.19 徑向充磁 - 三種磁石的 Torque 比較圖 . . . . . 64	圖5.20 徑向充磁 - 三種磁石的 Force 比較圖 . . . . . 64	圖5.21 嵌入非導磁 - 三種磁石的 Energy 比較圖 . . . . . 65	圖5.22 嵌入非導磁 - 三種磁石的 Flux 比較圖 . . . . . 65	圖5.23 嵌入非導磁 - 三種磁石的 Torque 比較圖 . . . . . 66	圖5.24 嵌入非導磁 - 三種磁石的 Force 比較圖 . . . . . 66
表目錄	表3.1 反強磁性物質之溫度 . . . . . 28	表3.2 各種磁性材料與之值 . . . . . 31	表4.1 各種永久磁石的特性 . . . . . 33	表4.2 磁性材料的分類及材料 . . . . . 37	表4.3 純鐵磁特性 . . . . . 37	表4.4 MK 系磁石鋼特性 . . . . . 38	表4.5 非磁性合金成分 . . . . . 39	表5.1 發電機的規格表 . . . . . 51	表5.2 三種永久磁石的特性 . . . . . 52	

## REFERENCES

- [1] 宋平生、洪瑋吉等“用電器具能源效率標準評估”，能源研究發展基金研究報告，台灣大電力研究試驗中心，民國82年6月。 [2] 姚久龍、吳祥俊等“感應電動機之省電研究計畫”，能源研究發展基金研究報告，工業技術研究院能源與礦業研究所，民國74年6月。 [3] 盧昭正、吳祥俊等“電動機組省電研究計畫”，能源研究發展基金研究報告，工業技術研究院能源與礦業研究所，民國76年7月。 [4] 陳夢萍、吳祥俊等“電動機組省電研究計畫”，能源研究發展基金研究報告，工業技術研究院能源與礦業研究所，民國77年8月。 [5] 黃昌圳、王坤卿、陳信元、張景誌、卓源鴻，Nov. 1999, “電動機車馬達之設計與分析,” Proceedings of the 20 Symposium on Electrical Power Engineering, Vol. 1, pp.594-598, Taipei, Taiwan. [6] G. A. Amratunga, P. P. Acarnley and P. G. McLaren, “Optimum Magnetic Circuit Configuration for Permanent Magnet Aerospace Generators,” IEE Trans. On Electronic Systems, Vol. Aes-21. No.2 pp.230-255, March 1985. [7] T. Sebastian and V. Gangla, “Analysis of induced EMF and torque waveforms in a brushless permanent magnet machine,” Rec. IEEE Ind. Applicat. Soc. Annu. pp.240-246, 1994. [8] B. Nogarede and M. Lajoie-Mazenc, “Torque ripple minimization methods,” in Proc. IEE Conf. Elec. Machines & Drives, pp.41-45, Sept 1991. [9] T. Jahns, “Toque production in permanent-magnet synchronous motor drives with rectangular current excitation,” IEEE Trans. Ind. Applicat. Vol.20, No.4, pp.803-813, July/Aug 1984. [10] E. Favre, L. Cardoletti, ant M. Jufer, “Permanent-magnet synchronous Motors: a comprehensive approach to cogging torque suppression,” IEEE Trans. Ind. Applicat, Vol.29. No. 6, pp.1141-1149, Nov./Dec.1993. [11] A. Kaddouri and H. Le-Huy, “Analysis and design of a slotless NdFeB Permanent-magnet synchronous motor for direct drive,” in Rec. IEEE Ind. Applicat. Soc Annu. Meet, pp.271-278, 1992. [12] F. Colamartino. C. Marchand, and A. Razek, “Considerations of nonsinusoidal field distribution in a permanent magnet synchronous motor control,” in Proc. IEE Conf. Power Electron, Var.-Spd. Drives, pp.508-513, Oct 1994. [13] L. Soderlund and J. T. Eriksson, “A Permanent-Magnet Generator for Wind Power Applications,” IEEE Trans. On Magnetics, Vol.32, No.4, pp.2389-2393, July 1996. [14] E. Muljadi, C. P. Butterfield and Y. H. Wan, “Axial-Flux Modular Permanent-Magnet Generator with a Toroidal Winding for Wind-Turbine Applications,” IEEE Trans. Ind. Applicat, Vol.35, No.4, pp.831-836, July/Aug 1999. [15] 蔡文彬, “永磁交流馬達,” 中華民國磁性技術協會會訊第十八期, pp25-29, Oct 1998. [16] Ansoft Corporation, “Maxwell 2D Field Simulator User Reference,” August 1999. [17] 蔣世邦, “光碟機主軸馬達的模擬與分析,” 逢甲大學電機工程研究所碩士學位論文, May, 1997. [18] 王家騏, 俞國平編著, “電工材料,” 曉園出版社, pp.309-329, Feb 1983. [19] T. Kenjo and S. Nagamori, Permanent-Magnet and Brushless DC Motor, Oxford, 1985. [20] 黃世民, 羅應照, “永久磁石在永磁電動機之設計與應用技術,” 機械工業雜誌, pp.183-204, March 1996.