

2. 直流無刷驅動器研製

張錠玉 副教授
大華技術學院 電子工程系

摘要

本研究計畫協助鼎和科技股份有限公司開發直流無刷馬達與控制器，應用於跑步機等健身設備。直流無刷馬達具體積小、高效率、高功率密度、無需維護等優點，可方便地裝置於設備中，大大地減輕設備重量並提高穩定性。計畫中研發之一直流無刷馬達及控制器，仍應用具電流合成功能之脈波寬度調變專利技術於驅動器開發，此調變技術除依電流需求調變換流器電力開關之脈波寬度外，亦在電力開關脈波調變的同時加入特殊的開關狀態，以引導無刷馬達電流流過預設之電阻電路，借著量測電阻上之壓降並配合開關狀態合成馬達電流信號，利用此技術，控制器可捨去高價具電氣隔離之電流感測元件，此對降低生產成本將有極大助益。研發完成之無刷直流馬達與控制器經測試符合預期研發目標。

一、簡介

隨著全球的經濟發展，人類對自身的身體健康愈來愈重視，運動是維護健康的體重要因素，受限於都市生活環境的限制，使用跑步機進行跑步運動是目前都市中最方便有效的運動健身方式，跑步機是一優良的健身產品。同時一項調查發現，有四千萬美國人習慣使用跑步機健身，事實上在美國最好賣的家庭健身用品就是跑步機，隨著強勢美國文化之全球化，跑步機商品預期將廣受歡迎。我國有良好的鋼管加工能力，適合跑步機產業發展，但據了解國內生產的跑步機均使用直流有刷馬達，利用光耦和器偵測穿孔的盤圓以迴授轉速信號，進行速度控，直流電動機明顯地存在著體積大、笨重，馬達使用炭刷與換相片進行電流換相，常常在換相時造成火花，此不但造成使用跑步機之環境限制，同時馬達炭刷的磨耗亦使跑步機須作定期之檢查更新保養，另外控制使用的光耦器易受粉塵污染而誤動作，致使產品品質不容易穩定等缺點。本計畫與鼎和科技股份有限公司研發直流無刷控制器，可改善上述直流驅動器之缺點，可提供精確的轉速動力以增加跑步時觸感剛性，對產品品質提升有幫助。

二、研究目的

本計畫研發一直流無刷控制器，除可改善上述直流驅動器之缺點外，此驅動器具有速度迴路控制，可提供

精確的轉速動力以增加跑步時觸感剛性，對產品品質提升有幫助。於計畫中將應用具電流合成功能之脈波寬度調變專利技術於驅動器開發，此調變技術除依電流需求調變換流器電力開關之脈波寬度外，亦在電力開關脈波調變的同時加入特殊的開關狀態，以引導無刷馬達電流流過預設之電阻電路，借著量測電阻上之壓降並配合開關狀態合成馬達電流信號。利用此技術，驅動器可捨去高價具電氣隔離之電流感測元件，此對降低生產成本將有極大助益。相信借著本計畫的順利進行可提升我國中小企業產品品質與國際競爭力。

三、研製過程

計畫之跑步機用直流無刷驅動器研製，可概分以下幾個部份：

- 1.無刷直流馬達研製
- 2.無刷直流控制器

在無刷直流馬達研制方面，由鼎和科技透過合作廠商提供資料進行研發試作，而本計畫則進行設計與分析工作，研發功率2hp、轉速額定3600rpm、轉矩約在4Nt-m，使用釹鐵硼強磁石材料，選擇高級矽鋼片，利用FLUX2D電磁場分析軟體作分析，設計電機於高頻操作以獲取高功率密度，如此在滿足負載動力需求下可減少馬達體積並節省材料。在無刷直流控制器研制方面，設計控制器電氣規格為：可使用於110/220VAC電源輸入、採脈波寬度調變之120度相角驅動、具馬達相電流監控、速度控制功能。在計畫中使用具電流合成功能之脈波寬度調變專利技術於此驅動器研製，此調變技術除依電流需求調變換流器電力開關之脈波寬度外，亦在電力開關脈波調變的同時加入特殊的開關狀態，以引導無刷馬達電流流過預設之電阻電路，借著量測電阻上之壓降並配合開關狀態合成馬達電流信號。利用此技術，控制器可捨去高價的霍爾電流感測元件，此對降低生產成本將有極大助益。

四、研發成果

本計畫在無刷直流馬達研制上進行電機之分析與設計工作，設計之直法無刷電機定轉子積片如圖一，採18槽6極設計，使用30SH的釹鐵硼磁石，圖一之直流無刷電機進行電磁場分析時如圖二，由圖二分析得電機氣隙磁通密度分佈如圖三，如圖三吾人可看出設計之電機

雖受齒槽影響，氣隙磁通密度仍成梯形波分佈，峰值在0.5Tesla以上，而設計之電機的反電動勢波形分析結果如圖四，如圖四可看出，電機反電動勢或梯形波分，且張開角度在110度以上，是一不錯的設計，可抑制轉矩脈動。最後吾人利用圖五組立設計之直流無刷電機，組立完成之直流無刷電動機如圖六，由圖六可看到研發之直流無刷電機只有約12cm長，約為原有刷電機的一半。

在無刷直流控制器研制方面，於計畫中使用具電流合成功能之脈波寬度調變專利技術於此驅動器研製，此調變技術除依電流需求調變換流器電力開關之脈波寬度外，亦在電力開關脈波調變的同時加入特殊的開關狀態，以引導無刷馬達電流流過預設之電阻電路，借著量測電阻上之壓降並配合開關狀態合成馬達電流信號。利用此技術，控制器可捨去高價具電氣隔離的電流感測元件，此對降低生產成本將有極大助益。專利技術使用Max-PlusII數位電路設計軟體，利用Aterla之CPLD晶片加以製作，研製之控制器電路如圖七，如圖七可看出，控制電路都設計於CPLD晶片中，電路十分簡潔。計畫研發之控制器配合直流無刷電機在動力計上進行測試時之照片如圖八，而測試結果如圖九、十所示。圖九、十中橫軸為電機轉速單位rpm，縱軸為電機之輸出扭力(轉矩Kg-cm)、功率(瓦)或效率，由圖九、十可知電機額定轉速可達3600rpm，圖九是輸出額定轉矩測試，由圖九可知在控制器設定5Nt-m之轉矩限制下，動力計緩慢增加負載轉矩，測得之輸出功率、轉矩與效率，圖中記錄輸出功率達780W，驅動系統在2912rpm、23.2Kg-cm、694.9W輸出時效率達95%，而在3410~1829rpm間均可維持85%以上之高效率。在圖十中將控制器設至10Nt-m，用以測試輸出馬力額定，由圖中可看出驅動系統輸出功率達1301W，接近設計目標。

五、結論

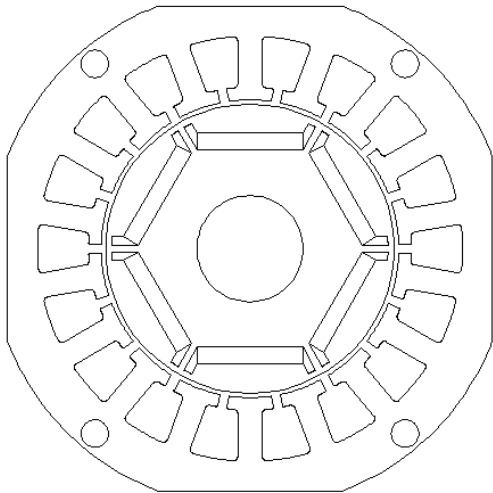
本研究計畫協助鼎和科技股份有限公司開發直流無刷馬達與控制器，應用於跑步機等健身設備。直流無刷馬達具體積小、高效率、高功率密度、無需維護等優點，可方便地裝置於設備中，大大地減輕設備重量並提高穩定性。配合直流無刷馬達，計畫中研發一直流無刷控制器，此控制器提供良好的速度調整率可提升跑步時觸感剛性，對產品品質提升有幫助。此外，計畫中應用具電流合成功能之脈波寬度調變專利技術於驅動器開發，此調變技術除依電流需求調變換流器電力開關之脈波寬度外，亦在電力開關脈波調變的同時加入特殊的開關狀態，以引導無刷馬達電流流過預設之電阻電路，借著量測電阻上之壓降並配合開關狀態合成馬達電流信號。利用此技術，控制器可捨去高價具電氣隔離的電流感測元件，此對降低生產成本將有極大助益。研發完成之無刷直流馬達與控制器經測試符合預期研發目標。

參考文獻

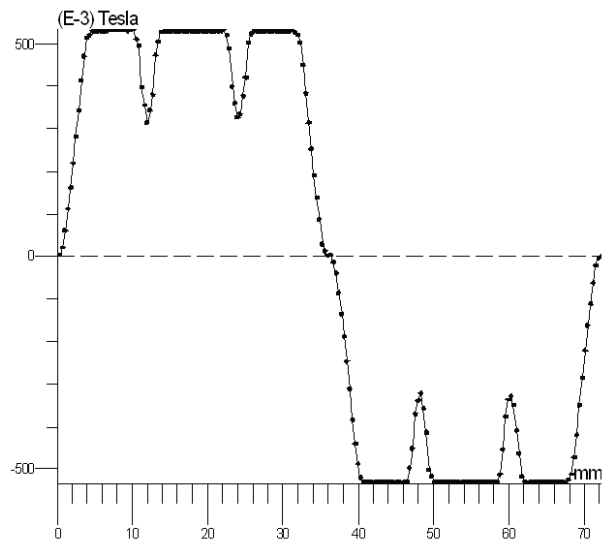
[1] R. Carlson, M. L. Mazence, and J.D. Fagundes, "Analysis of Torque ripple due to phase

commutation in brushless dc machines," IEEE Trans. On Industry Applications, vol. 28.no.3 mat/june 1992, pp.632-638.

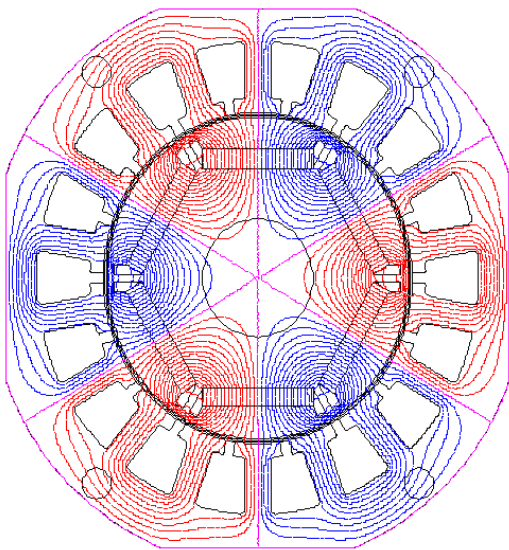
- [2] K. Ohishi, M. Nakao, K. Ohnishi, and K. Miyachi, "Microprocessor-controlled dc motor for load-insensitive position servo system," IEEE Trans. On Industrial Electronics, vol. IE-34, no. 1 February 1987, pp.44-49.
- [3] T. S. Kim, S. C. Ahn, and D. S. Hyun, "A new current control algorithm for torque ripple reduction of bldc motors," IECON' 01: The 27th annual conference of the IEEE Industrial Electronics Society, pp.1521-1526.
- [4] J. Cros and P. Viarouge, "Synthesis of high performance pm motors with concentrated windings," IEEE Trans. On Energy Conversion, vol. 17, no. 2, June 2002, pp.248-253.
- [5] P. Stewart and V. Kadiramanathan, "Commutation of permanent-magnet synchronous ac motors for military and traction applications," IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 50, no. 3, June 2003, PP.629-630.
- [6] T. S. Low, M. A. Jabbar, and M. A. Rahman, "Permanent-magnet motors for brushless operation," IEEE Trans. on Industry Applications, vol.26, no.1, January/February 1990, pp.124-129.
- [7] J. Tal, "Speed control by phase-locked servo system," IEEE Trans. on Industrial Electronics and Control Instrumentation, vol. IECI-24, no. 1, February 1977, pp.118-125.
- [8] J. H. Lee, D. H. Kim, and I. H. Park, "Minimization of higher back-emf harmonics in permanent magnet motor using shape design sensitivity with b-spline parameterization," IEEE Trans. on Magnetics, vol. 39, no. 3, May 2003, pp.1269-1272.
- [9] T. F. Chan, L. T. Yan and S. Y. Fang, "In-wheel permanent-magnet brushless dc motor drive for an electric bicycle," IEEE Trans. on Energy Conversion, vol. 17, no. 2, June 2002, pp.229-233.
- [10] A. Darabi and C. Tindall, "Brushless exciter modeling for small salient pole alternators using finite elements," IEEE Trans. on Energy Conversion, vol. 17, no.3, September 2002, pp. 306-312.
- [11] Y. Wang, K. T. Chau, J. Gan, C. C. Chan, and J. Z. Jiang, "Design and analysis of a new multiphase polygonal-winding permanent-magnet brushless dc machine," IEEE Trans. on magnetics, vol.38, no.5, September 2002, pp.3258-3260.
- [12] C. A. Adkins, M. A. Marra, and B. L. Walcott, "Modified phase-frequency detector for improved response of pll servo controller," Proceedings of the American Control Conference, Anchorage, AK May 8-10, 2002, pp.19-20.
- [13] T. F. Chan and L. T. Yan, "Design of a permanent-magnet brushless dc motor drive for an electric bicycle," IEEE 1999 International Conference on Power Electronics and Drive Systems, PEDS' 99, July 1999, Hong Kong, pp.714-718.



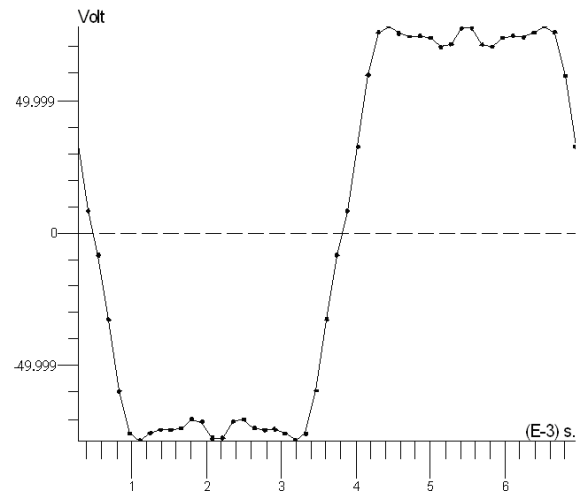
圖一、設計之直流無刷



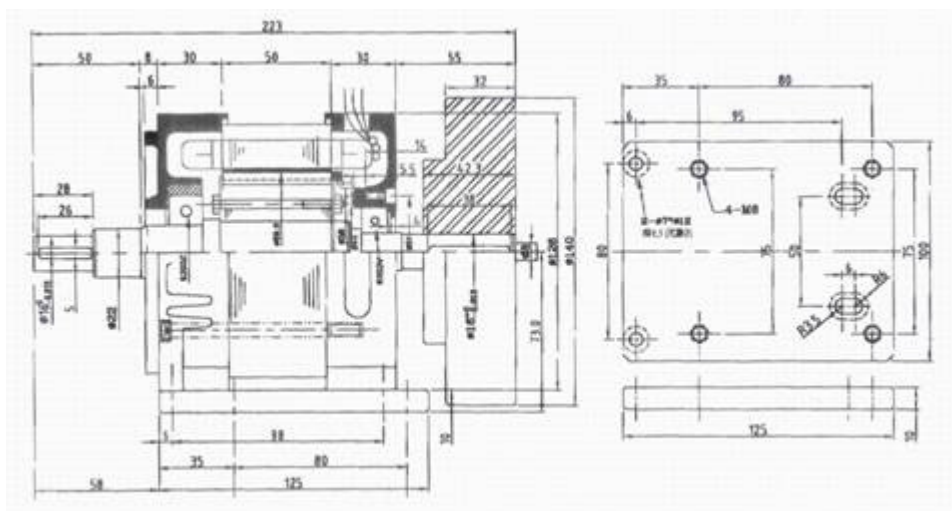
圖三、直流無刷電機氣隙磁通密度分佈分析



圖二、直流無刷電機進行電磁場分析



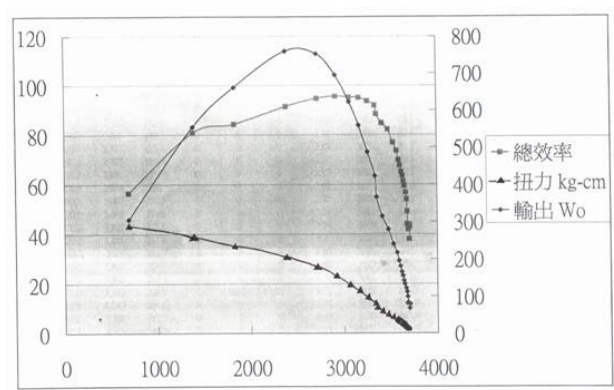
圖四、直流無刷電機反電動勢波形分析



圖五、設計之直流無刷電機組立設計圖



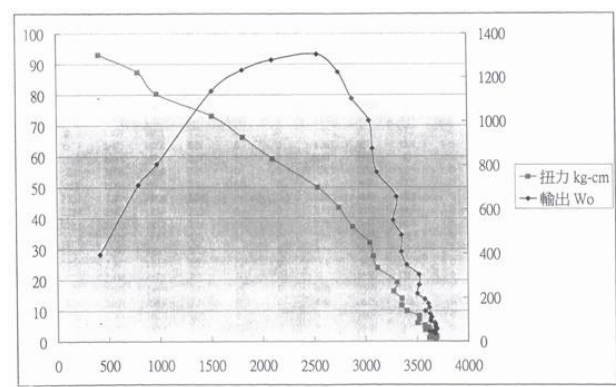
圖六、研製之直流無刷電機



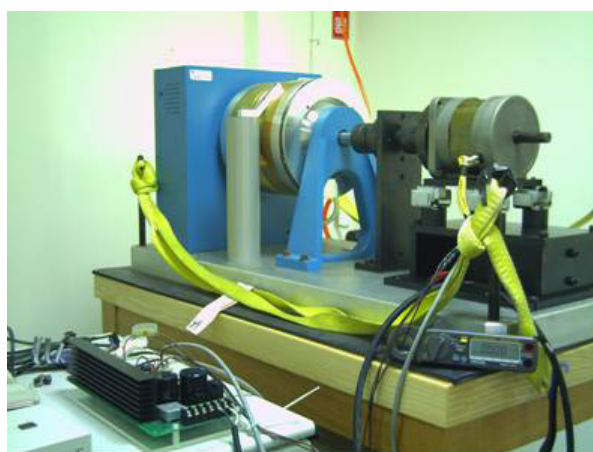
圖九、控制器設定5Nt-m之測試記錄



圖七、研製之控制器電路



圖十、控制器設定10Nt-m之測試記錄



圖八、控制器配合直流無刷電機在動力計上進行測試時之照片