



工業技術研究院

Industrial Technology
Research Institute

經濟部能源科技研究發展計畫

一一一年度第一季知識物件

降低用於吊扇之外轉子 BLDC 馬達振動之 研究分析

Research and Analysis on Reducing the Vibration of BLDC Outer Rotor Motor Used in Ceiling Fan

中華民國111年3月



目錄

目錄 1

第一章 前言 2

第二章 內容 3

 2.1 研究方法： 3

 2.2 測試數據： 5

 2.3 改善方法： 6

第三章 結論 9

參考文獻 10



第一章 前言

當前因世界能源危機刺激了能源效率和節能技術的發展，特別強調將節能技術融入到基本的家用電器中，而吊扇是巴基斯坦、印度、巴西、中國和美國等較溫暖地區經常使用的主要家用電器，通過風冷循環提供涼爽的空氣 [1]。

傳統的吊扇採用單相感應馬達來產生旋轉運動所需的機械能，而單相感應馬達的吊扇佔住宅用電量很大一部分，相較之下永磁無刷馬達（BLDC 馬達）的優勢為高效率、低噪音、體積小、重量輕、升溫低與反應速度快[2-3]，可用以取代感應馬達、直流有刷和步進馬達。

而 BLDC 馬達尚可區分為內轉子及外轉子馬達，外轉子 BLDC 馬達優點為轉子半徑大，低速具大扭力且運轉平穩，可使產品扁薄化，相同能力之外轉子較內轉子馬達的性價比可提昇30%以上。同時，外轉子馬達的定子外繞使繞線更簡易、占槽率提升、磁極配設計更具彈性，且扭矩漣波與頓轉轉矩皆可降低，具可量產性。

該 BLDC 外轉子馬達已搭配國內吊扇廠商之60吋扇葉進行測試，唯搭配此扇葉於特定轉速下會產生振動及異音，故利用振動測試以分析馬達



異常狀況[4]，並進行更改製程抑制振動噪音的發生。

第二章 內容

2.1 研究方法：

該外轉子 BLDC 馬達性能規格為50W 級吊扇馬達，並搭配測試吊扇60吋 5葉扇葉。根據吊扇廠商要求最低速轉速為60 rpm，最高轉速為225 rpm，其餘轉速平均分配，共需六段轉速，並且運轉時需安靜無異音，轉速對應表如表1所示。

表1、馬達轉速對應表

轉速檔位	轉速 (rpm)	耗功 (W)
第一段	60	3
第二段	82	5
第三段	105	7
第四段	149	14
第五段	202	30
第六段	225	40

於開發階段，運轉於第五段速時會產生「嗡嗡」之異音，且以手觸碰馬達心軸可以感受到明顯的振動感；為簡化實驗儀器與環境之資源使用，本研究採用測試振動之三軸加速規以進行數據量化。量測設備架設方式為在心軸先鎖附一延長桿，再利用一螺母將治具與沿長桿固定，該治具於切向、軸向及徑向分別有一個對應加速規的螺紋孔以供加速規鎖附，安裝示意圖如圖1所示。

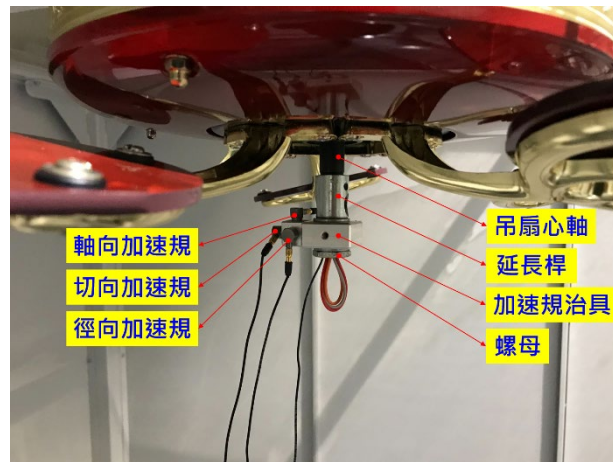


圖1、加速規安裝示意圖

搭配振動測試軟體，單次擷取時間設定為30秒，利用快速傅立葉轉換(FFT)將測試數據由時域轉為頻域。而利用 FFT 轉換信號時，經常會碰到失真的問題，因此將「視窗函數」設定為 Hanning，該函數常用於隨機信號的頻譜分析，可以得到不錯的頻率及振幅的解析。經實驗觀察，馬達最大振動頻率皆落在1 Hz~300 Hz 區間，因此紀錄各轉速該頻率下最高的振動 RMS 值以確認數據與異音是否有相關關係，軟體設定示意圖如圖2所示。



圖2、振動測試軟體設定示意圖

2.2 測試數據：

以下為5顆50W 級吊扇馬達搭配60吋5葉扇葉測試之各轉速檔位對應

切向、軸向及徑向振動百分比統計圖，分別如圖3、圖4及圖5所示。

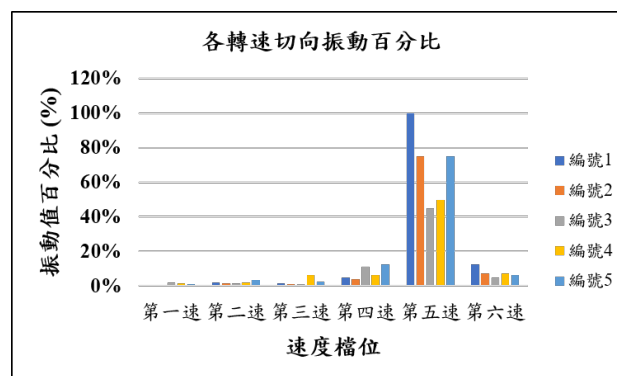


圖3、各轉速對應切向振動百分比統計圖

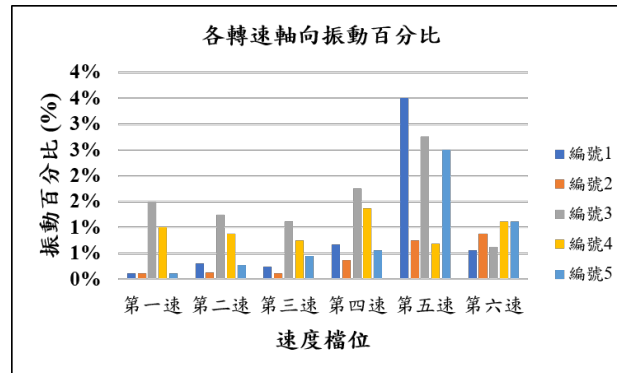


圖4、各轉速對應軸向振動百分比統計圖

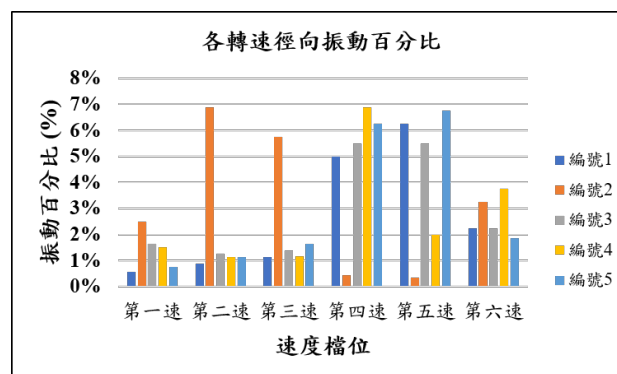


圖5、各轉速對應徑向振動百分比統計圖

由與圖4可發現第五速振動百分比相較於其它轉速高出許多，且於切向振動百分比表現最為明顯，並且經由實驗確認，振噪與切向振動百分比越高，有直接關聯性，因此可藉由切向振動百分比來判別振噪問題。針對第五速進行分析，發現該轉速之振動頻率為162 Hz，為該轉速下之48倍頻，並非1倍頻、2倍頻或3倍頻，排除組裝上之異常[5]，因此本研究將針對結構調整來進行測試分析。

2.3 改善方法：

該馬達由蓋體、轉子及定子所組成，由於振動測試之量測點為心軸，

心軸與馬達定子做結合，為確認定子是否為振動來源，故將定子線圈、絕緣片及矽鋼片浸泡凡立水，並進行振動測試數據分析。如圖6所示，浸泡凡立水定子相較於未浸泡凡立水定子第五速振動百分比由100 %降低為35 %，且實測吊扇馬達運轉無異音，因此可判斷第五速異音來源為定子結構所產生之振動。

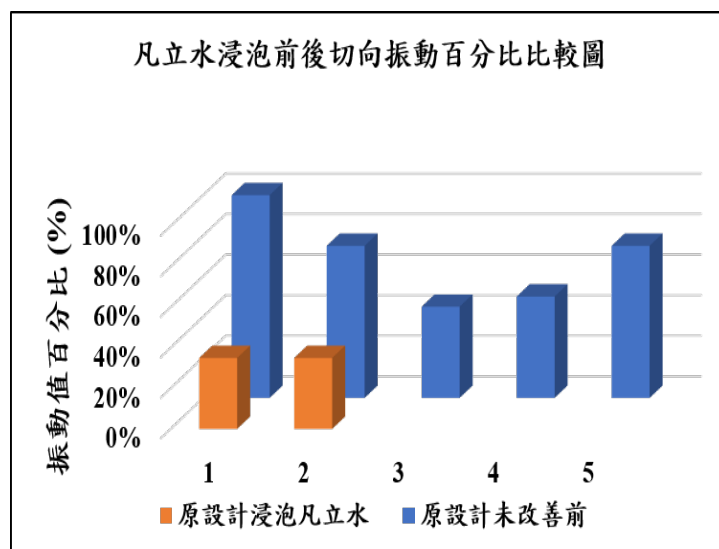


圖6、凡立水浸泡前後切向振動百分比比較圖

如圖7所示，定子為心軸、線圈、絕緣片及矽鋼片所組成，其中鐵芯為數片矽鋼片疊積而成，矽鋼片疊積之接縫處容易出現漏磁現象，故會引發矽鋼片振動或是繞組振動之現象[6-8]，而目前實驗之矽鋼片皆為針對矽鋼片軛部進行鉚合，齒部未鉚合，如圖8 (a)所示，推測為振動來源；因此另外於矽鋼片齒部增加鉚合並進行振動測試，如圖8 (b)所示。

矽鋼片改善後之定子切向振動百分比如圖9所示，此次利用改良之定

矽鋼片組立為50W 級 BLDC 外轉子馬達共29顆，其中第五速切向振動百分比範圍落在4 ~ 21 %，且沒有異音產生；相較於未改善前第五速振動百分比由100 %降低至6.29 %。

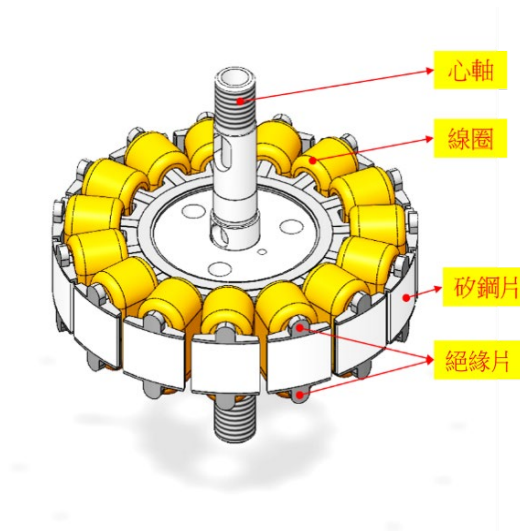
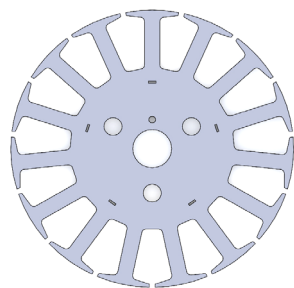
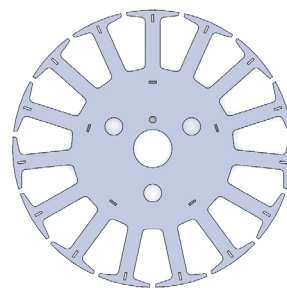


圖7、定子結構示意圖



(a) 僅轆部鉚合



(b) 轆部及齒部鉚合

圖8、矽鋼片鉚合示意圖

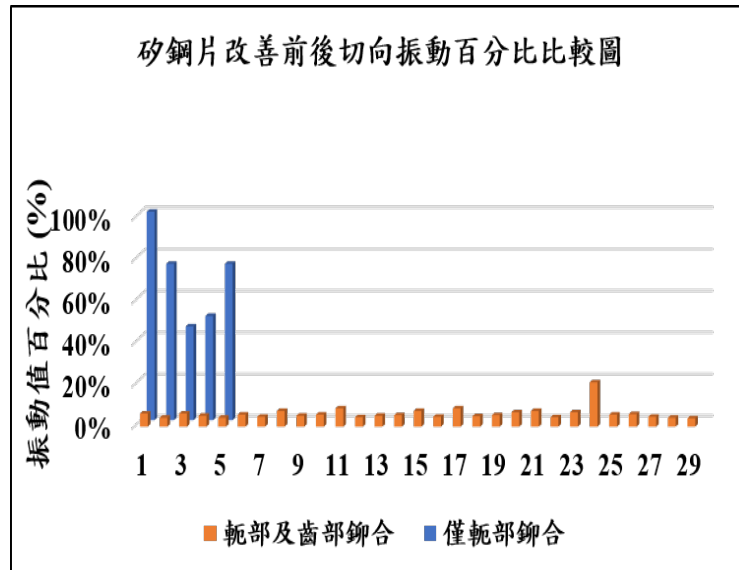


圖9、矽鋼片改善前後切向振動百分比比較圖

第三章 結論

本研究以 BLDC 外轉子吊扇馬達振動測試進行振噪分析，確立特定轉速下振動特徵頻率，並且由製程進行實驗確立馬達振動的來源，本研究因考量到凡立水製程過於繁雜，因此從物料端之增加鉚點設計進行改善。各製程方式對應第五速切向振動平均百分比比較圖，如圖10所示，改善定子矽鋼片後之第五速切向振動百分比相較於未做改善前降低10倍；相較於凡立水製程降低4.5倍。

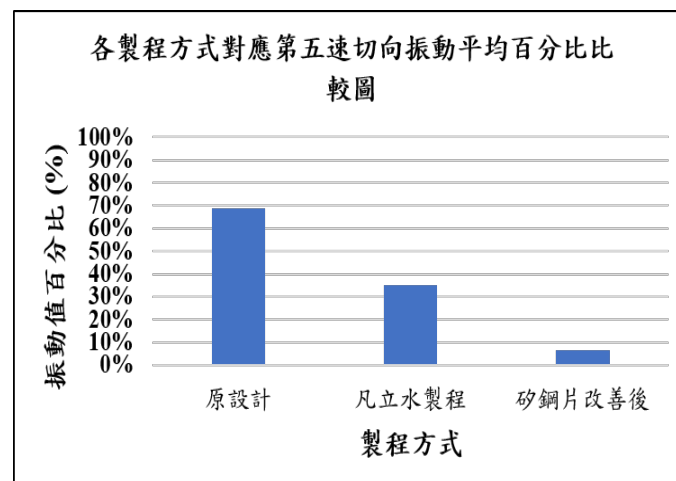


圖10、各製程方式對應第五速切向振動平均百分比比較圖



參考文獻

- [1] T. Izhar, M. Ali and A. Idrees, "Energy Efficient Five Phase BLDC Ceiling Fan," 2018 2nd International Conference on Energy Conservation and Efficiency (ICECE), 2018, pp. 61-65, doi: 10.1109/ECE.2018.8554979.
- [2] J. Choi, J. S. Park, J. Kim and I. Jung, "Control scheme for efficiency improvement of slim type BLDC Motor," 2014 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, 2014, pp. 820-824, doi: 10.1109/SPEEDAM.2014.6871903.
- [3] J.R. Hendershot, TJE Miller Design of Brushless Permanent Magnet Motors, Oxford, 1994.
- [4] A. Shrivastava and S. Wadhwani, "An approach for fault detection and diagnosis of rotating electrical machine using vibration signal analysis," International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE-2014), 2014, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICRAIE.2014.6909160.
- [5] "Spectrum-Abnormal Vibration Analysis" Retrieved August 3, 2021, from <https://www.gng.tw/zh-tw/a3-4340/%E9%A0%BB%E8%AD%9C-%E7%95%B0%E5%B8%B8%E6%8C%AF%E5%8B%95%E5%88%86%E6%9E%90.html>

- [6]T. Hilgert, L. Vandeveldel and J. Melkebeek, "Comparison of Magnetostriction Models for Use in Calculations of Vibrations in Magnetic Cores," in IEEE Transactions on Magnetics, vol. 44, no. 6, pp. 874-877, June 2008, doi: 10.1109/TMAG.2007.916395.
- [7]D. Li, Y. Zhang, M. Li, D. Zhang and C. S. Koh, "Study on the Vibration and Noise of PMSM By Considering the Vector Magnetostrictive Property in a Non-Oriented Silicon Steel Sheet," 2020 23rd International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), 2020, pp. 1695-1698, doi: 10.23919/ICEMS50442.2020.9291222.
- [8]P. Vijayraghavan and R. Krishnan, "Noise in electric machines: a review," in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 35, no. 5, pp. 1007-1013, Sept.-Oct. 1999, doi: 10.1109/28.793360.