

BLDC 馬達應用於空調系統之效能改善 The efficiency improvement of BLDC Motor applying in air conditioning system

羅永昌¹、王觀茗²
Yung-Chang Luo¹, Guan-Ming Wang²

¹ 國立勤益科技大學電機工程系

¹Department of Electrical Engineering, National Chin-Yi University of Technology
E-mail: luoyc@mail.ncut.edu.tw

² 國立勤益科技大學電機工程系

²Department of Electrical Engineering, National Chin-Yi University of Technology
E-mail: hero012202@yahoo.com.tw

摘要

科技的高度發展帶來諸多進步與方便，也造成許多工業污染，導致溫室效應，使得地球平均溫度逐年升高，對自然環境極度不良影響，許多動植物都因此受到迫害或者滅亡。因此近年來世界各國皆致力於節能減碳運動，在交通、娛樂、生產... 等方面積極尋求改善。本研究於空調系統中，使用直流無刷馬達(brushless direct current motor, BLDCM)取代傳統交流感應馬達來驅動送風機，降低消耗功率以提高效能，以達成節能減碳功效。

關鍵字詞：BLDC 馬達、驅動器、霍爾感測器。

Abstract

The advanced technology has greatly contributed to convenient for humanity living, which also bring a lot of environment pollution. The fossil energy shortage and greenhouse effect, it results in the concept of energy saving and carbon reduction more valued. In this research, a HVAC applying traditional induction motor drive is replaced by brushless direct current motor (BLDCM) drive. First, a BLDCM drive control board based on 6-stepped wave inverter is established. Second, the power stage with power factor correction is developed. Experimental results confirm the efficiency and power factor improvement of the proposed drive.

Keywords: BLDC Motor, Driver, Hall Sensor.

1. 前言

由於生活水準逐漸上升，用電量也逐年大幅度成長。但因地球所提供能源有限，使得現有節約能源技術仍有很大的改善空間，如何有效使用電力與節約能源成為一項重要的研究議題。空氣調節系統為包含溫度、濕度、空氣清淨度以及空氣循環的控制系統，被稱為 HVAC(Heating Ventilation Air-conditioning and Cooling)。冷氣機/空調在供應冷氣、暖氣或除濕等功能的原理均類似，其利用冷媒在壓縮機的作用下，發生蒸發或凝結，從而引發周遭空氣的蒸發或凝結，以達到改變溫、濕度的目的。以上所敘述的方式，最後透過送風機將冷暖氣送至使用環境，達到降溫或升溫的效果。冷氣機及暖氣機的效率是以性能係數(COP)表示，是指輸入功和可提供熱能(或抽出熱能)的

比例值。不過此數值可能大於 100%，和一般對熱效率的認知不同。現在中央空調使用在醫院、辦公大樓、學校、無塵室...等，應用 BLDC 馬達驅動送風機能夠較傳統感應馬達驅動方式獲得良好控制與節能功效，已逐漸成為市場主要趨勢，其發展商機指日可待。交流馬達因其變速控制較為困難，傳統上常應用於定轉速或多段轉速的場合，交流感應馬達的轉速變化主要和頻率有關，但轉速會受轉差率影響，由於轉差率會受負載及馬達參數影響，以至於影響速度控制正確性。直流無刷馬達因構造簡單、堅固、馬力大，免維護且體積較小等優點，且具有變速基本功能，又因採用電子驅動方式，可達成控制多樣化，舉凡壓力、溫度、濕度，只要是可回饋的信號，電子驅動器皆可因應之而變更轉速，以達到合理快慢運轉需求。

再加上其轉子使用永磁性材料構成，不需激磁電流且轉動慣量小，可提昇轉動效率與減少轉子功率消耗，所以被應用在很多精密機械、自動化控制、消費性電子產品與電腦周邊上；其中小功率的應用如硬碟機與光碟機內部之馬達，而大功率的應用如電動車的馬達裝置，都可以利用直流無刷馬達得到高效率、高扭力、耐用轉速穩定、容易保養等特性，目前廣泛應用於工業伺服控制。而本文所提 BLDC 馬達將可以有有效的減少消耗功率。

2. 系統架構

圖 1 所示為 BLDCM 在 FCU(Fan Control Unit)系統的運用架構，其取代傳統應用感應馬達驅動方式，而讓送風機達到更高效能。使用者可透過操作面板調整溫度與風速，以下達指令給微控制單元(micro control unit, MCU)，進而驅動由 BLDCM 所帶動的送風機，其中可透過 Hull Sensor 獲取轉速訊號加以精確控制。當送風機開始運轉時，可利用出風口處所裝設的溫度感測器回授訊號給 MCU 處理，並送出控制信號給繼電器，而達到準確控制冰水閥開關。

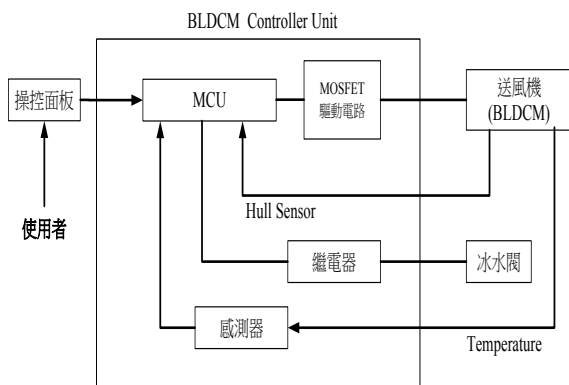


圖 1. Fan Control Unit

3. 直流無刷馬達動作原理

3.1 轉矩產生原理[1]:

直流無刷馬達如同有刷直流馬達般，乃依據佛萊銘左手法則來產生扭力。亦即，當載有電流之導體置放於磁場中，此磁場將對導體產生作用力，可表示為

$$F = (I \times B)L \quad (1)$$

式中： I 為導體中電流向量， B 為磁場的磁通密度向量， L 為導體在磁場中的長度，“ \times ”則指向量外積。

一般直流無刷馬達的架構，是將導體固

定於定子槽中，並由轉子上的永久磁鐵提供磁通。依據牛頓作用力與反作用力原理，對導體產生的作用力將施加反作用力於轉子上的永久磁鐵，而促使轉子轉動。而定子上的對電樞導體在轉子上所產生的力矩可應用有刷直流馬達的輸出轉矩公式為

$$T = \frac{PZ}{2\pi a} \phi I_a \quad (2)$$

3.2 動作原理[1]:

依據電磁作用理論，當轉子上的磁通和由電樞電流所產生的磁動勢保持正交位置，馬達可輸出最大轉矩。由於直流無刷馬達的轉子磁極位置會隨著時間變動，因此為了讓其能順利轉動且獲得最大轉矩，必須檢知轉子上永久磁鐵的磁極位置，然後由驅動電路對電樞繞組提供相對應的電流，使得定子產生的磁動勢能和轉子磁極隨時保持正交狀態。而直流無刷馬達一般可使用光編碼器、分解器、或者霍爾元件磁編碼器等檢出轉子磁極位置。至於直流無刷馬達驅動架構，包含轉子位置檢測器、控制單元、功率半導體開關與觸發驅動電路等。

本系統採用霍爾感測器(Hall Sensor)來偵測直流無刷馬達的轉子磁極位置，該霍爾感測器會依據轉子位置的極性變化而依序輸出高電位與低電位電壓，因此藉由霍爾感測器的輸出信號即可順利判別轉子磁極的正確位置，如圖 2 所示。對於兩極的轉子其在一個 360° 的旋轉期間有六個狀態。當得知轉子位置資訊，即可由控制單元輸出信號對功率開關實現適當換相。

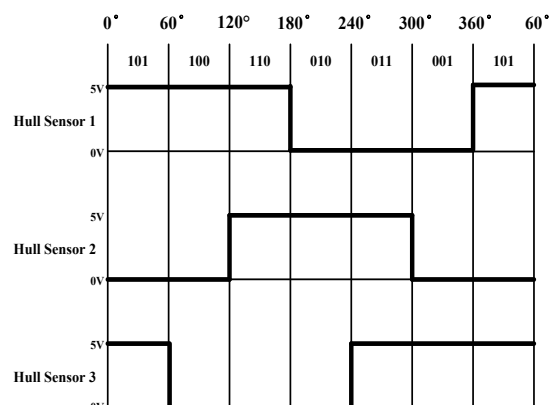


圖 2. 霍爾元件的三相輸出關係

圖 3 所示為本系統的驅動電路，當轉子旋轉一圈，可依據霍爾元件的輸出信號規畫成 6 個狀態，而適時的控制 6 個功率半導體開關，形成

定子旋轉磁場，使得轉子順利轉動。三相功率半導體開關依序在 6 個狀態中的切換情形，其中(0°~60°)為 Q5 與 Q2 導通、(60°~120°)為 Q3 與 Q2 導通、(120°~180°)為 Q3 與 Q6 導通、(180°~240°)為 Q1 與 Q6 導通、(240°~300°)為 Q1 與 Q4 導通、(300°~360°)為 Q5 與 Q4 導通 [2][3]。

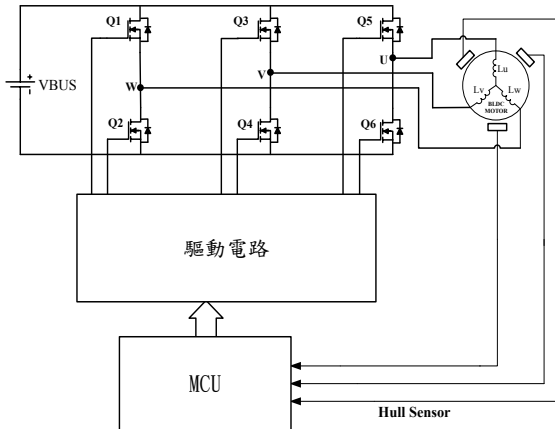


圖 3. BLDCM 的三相功率開關切換電路

4. 硬體架構

圖4所示為硬體電路架構，是由功率驅動電路、觸發級電路、微控制單元、功率因數修正電路、電磁干擾電路、直流無刷馬達…等組成。

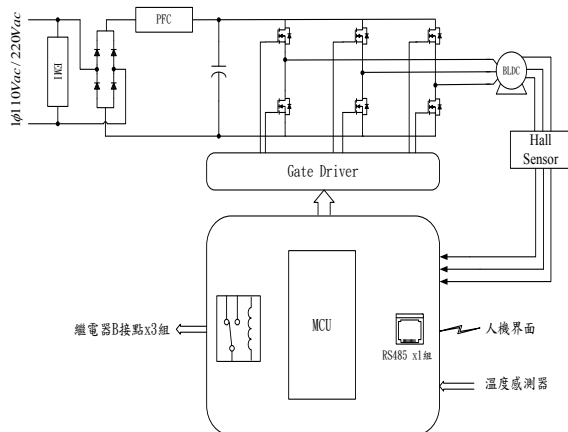


圖 4. 硬體電路架構

圖 5 與 6 所示分別為本系統的硬體電路板的正面與反面。



圖 5. 硬體電路板及其元件(正面)

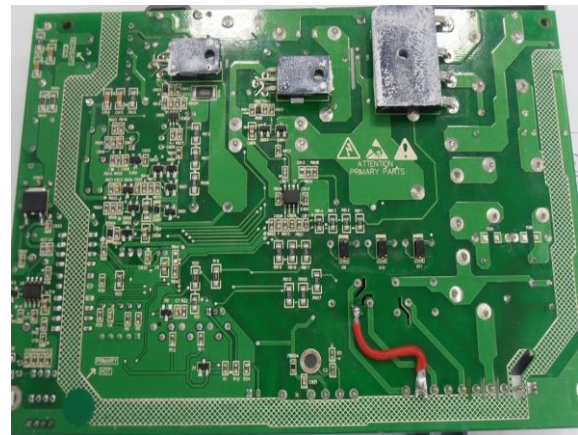


圖 6. 硬體電路板及其元件(背面)

4.1 電磁干擾電路架構：

電磁干擾 (Electromagnetic Interference, EMI) 電路在電源輸入端加入 π 型濾波器，由共模電感與 X 電容所組成，亦可在元件與地端之間串聯 Y 電容。

4.2 功率因數修正(PFC)電路架構：

主要作用是讓輸入電壓與電流維持相同相位使得負載近似於電阻性，其應用調整相角以減少虛功率與降低損失，而達到功率因數趨近於 1，並可減少諧波干擾，改善供電品質。所使用主動式功率因數修正器架構為昇壓式電路架構(Boost Topology)，利用回授的電壓迴路與電流迴路信號經由 PFC IC 來控制功率晶體開關，而達到修正電流波形目的 [4]。

4.3 MCU 架構：

使用 8Bit 的 Infineon XC836 作為控制核心，具有 I/O、A/D、UART、Timer、RAM、Watchdog Timer、MDU…等架構。

4.4 RS485通訊架構：

使用 SN65176 通訊 IC，搭配 PHOTO(PC817、6N137)作為隔離，以避免雜訊干擾。資料傳送信號是以串列方式一個Bit接一個Bit依序傳遞,且其資料位元之0/1係以兩芯信號線間之相對電壓位準差值大小呈現。由RS485將送收之信號線結合，共同使用同一對傳輸線，即L+/L-兩芯，由於RS485送收信號共用同一對傳輸線，所以它只具有半雙工能力，傳輸線長度最長可達1.2公里，是1對多的遠距離傳輸。

4.5 驅動 MOSFET 開關電路架構：

使用 FAN7388 Gate Driver IC 與 Charge Pump 電路，驅動六顆 MOSFET 開關，當 MCU 接收到 Hall Sensor 回傳訊號，MCU 內部運算後，正確下達指令給 Gate Driver IC，即可控制馬達運轉。

5. 實驗及結果

圖 7 所示為本系統的測試架構，使用兩台風輪大小相同且具有同樣負載的送風機，分別安裝直流系統與交流系統作比較。其中直流系統包含：直流無刷馬達(圖 8)、驅動器(圖 10)、操作面板(圖 12)；交流系統包含：交流感應馬達(圖 9)、驅動器(圖 11)、操作面板(圖 13)。利用轉速計(圖 14)量測各操作速度的rpm 值，並以 POWER METER(圖 15)量測相對應的功率、電流值與電流諧波百分比。如圖 16 數據顯示，當感應馬達與直流無刷馬達在相同轉速時，直流無刷馬達消耗功率遠低於感應馬達，更能達到節能減碳的效果。



圖 7. 兩台送風機

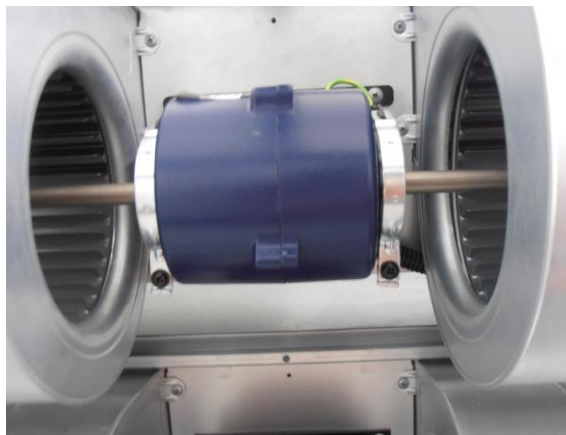


圖 8. 直流無刷馬達



圖 9. 交流感應馬達



圖 10. 直流無刷馬達控制器



圖 11. 感應馬達控制器



圖 14. 轉速計



圖 12. 直流無刷馬達控制面板



圖 15. POWER METER



圖 13. 感應馬達控制面板

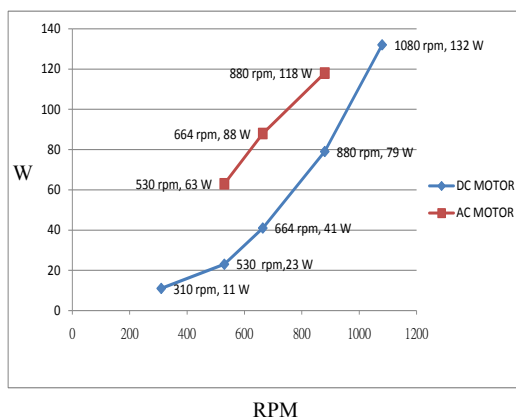


圖 16. 直流無刷馬達與感應馬達之功率比較

無 PFC 的 DCBUS 為單相交流 220V 經橋式整流與電容濾波可獲得 $V_{DC}=310V$ ，具有 PFC 的 DCBUS 因 PFC IC 關係，將電壓昇壓至 $V_{DC}=380V$ 。表 1 所示為無 PFC 時量測數據，表 2 所示為具有 PFC 時量測數據，比較表 1 與表 2 可看出同樣段速下，具有 PFC 的輸入交流電流、功率因數(PF)、電流諧波(THDI)會比無 PFC 較佳的改善效果。具有 PFC 的輸入功率高於無 PFC 者，因增加 PFC

電路所造成的損失，仍然在可接受的範圍。

表 1. 無 PFC 的量測數據(VDC=310V，第五段速)

Vac(in)	Iac(in)	Pin	PF	THDI	RPM
220V	0.64A	82W	0.57	141.5%	940rpm

表 2. 具有 PFC 的量測數據(VDC=310V，第五段速)

Vac(in)	Iac(in)	Pin	PF	THDI	RPM
220V	0.62A	130W	0.95	16.1%	1094rpm

圖 17 為無 PFC 的量測波形，在第五段速下的輸入電壓與電流波形關係，輸入的電源電壓為正弦波，但電流匯流排濾波電容充電效應出現的波形失真，因電流諧波嚴重且功率因數差，輸入電流為 0.64A，功率因數為 0.57。

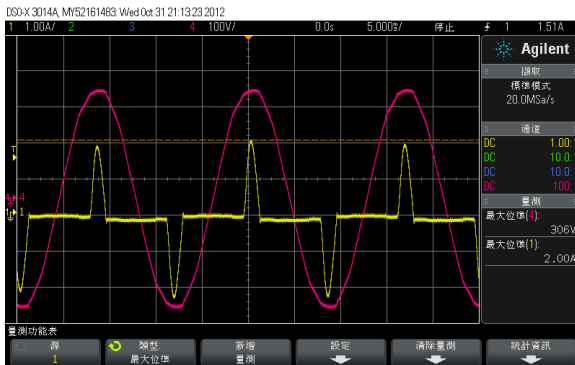


圖 17. 輸入電壓與電流波形(第五段速，無 PFC)

圖 18 為具有 PFC 的量測波形，在第五段速下的輸入電壓與電流波形關係，輸入的電源電壓與為正弦波，電流約為持正弦波且接近單位功率因數操作，輸入電流為 0.62A，功率因數為 0.95。

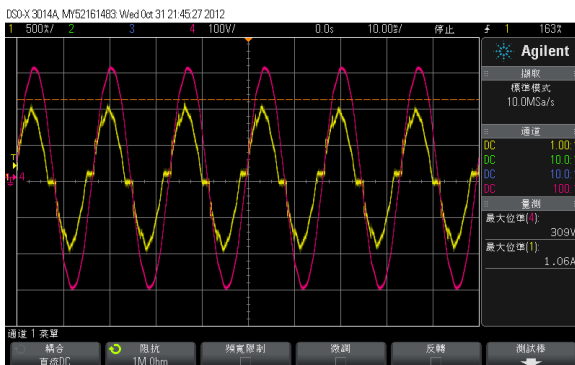


圖 18. 輸入電壓與電流波形(第五段速，具有 PFC)

6. 結論

送風機以直流無刷馬達運轉可比傳統採用交流感應馬達方式省電，透過實驗數據，可以看出兩者消耗功率的差異性。交流輸入電源端加入 PFC 可減少電流諧波與改善功率因數，可以避免對電源輸入端形成電力污染。節能減碳為當今重要的環保議題，藉由本研究可充分了解送風機，運用直流無刷馬達運轉，具有節約能源功效，由於降低二氧化碳的排放量，對於維護地球環境的永續生存具有正面效應，因此人們對於直流無刷馬達相關產品接受度也越高，是未來市場的一大商機。

參考文獻

- [1]劉昌煥，交流電機控制-向量控制與直接轉矩控制原理，東華書局。
- [2]張天浩，應用離散時間可變結構控制於直流無刷馬達驅動，國立台灣大學電機工程學研究所碩士論文，2005。
- [3]王子健，無位置量測三相四開關直流無刷馬達之速度控制研究，國立台灣大學電機工程學研究所碩士論文，2008。
- [4]高維新，主動式功率因數修正器之設計，逢甲大學資訊電機工程碩士在職專班碩士論文，2007。