

第314期 January 7, 2009

冷氣室外機風扇的控制剖析

林伸茂

旗威科技有限公司

一、緣由

國內冷氣室外機的風扇近幾年來已經由 AC 風扇改為永磁式無刷馬達風扇，其主要的原

因是採用無刷馬達有許多的優點，例如低轉速時扭力可固定、無段變速與調整保養方便

等等。但是，風扇改用無刷馬達之後，卻增加了電路控制上的複雜度，為了簡化無刷馬

達的控制，馬達製造商通常會把無刷馬達的整個驅動電路直接置入到馬達內部，只透過

一個電壓信號(Vsp)去控制該無刷馬達的轉速。圖 1 所示為無刷風扇模組，除馬達外還

有一塊供應高直流電壓(300VDC)的控制板，在一般的 AC 感應馬達上是不需要如此安

排的。此控制板的良窳直接關係到馬達的品質，所以馬達製造商會把該電路交由精通馬

達電控的專家來處理，不過經常受限於經驗與成本上的考量，各家的保護電路有天壤之

別。



圖 1、無刷風扇模組

由於工作上的需要，我們經常接觸各式各樣的冷氣排熱風扇，從一般的 AC 定頻風扇、AC 多段式風扇到無刷馬達風扇，旗威科技都有處理過的經驗；前兩者控制方式較為簡單，用繼電器控制 ON/OFF 就可以，第三項就需要留意控制方式與順序，稍有不慎即可能導致內部的驅動電路損壞，此時風扇馬達當然也就轉不起來了。

二、無刷馬達內部的驅動電路

為了將無刷馬達的驅動電路置入馬達機殼內，其中的電路板應該越小越好，所以，標準的做法是用一顆專用的積體電路做控制核心，直接對無刷馬達的三相線圈送出六步方波或是弦波的驅動信號，至於轉速的快慢就由外部電壓 V_{sp} 來決定。另一方面，無刷馬達是可以做到無段變速的調整，所以還會有一個轉速信號輸出 FG，我們只要定時讀取該信號就可以立即換算出實際的 RPM 值。圖 2 所示為無刷馬達內部的驅動電路正面，這是一塊使用專用 IC 的無刷馬達控制板，直接以馬達的機殼做散熱。由於線路是直接採用 IC 原廠提供的參考電路實現，保護機制稍為薄弱，實際上機幾次運轉後就損壞了。圖 3 則為該驅動電路板的背面，三個突起零件為 Hall Sensor，用來感測 BLDC 內馬達轉子的位置，也就是我們所謂的測位，位置知道了，驅動電路方能送出正確的六步方波讓無刷馬達旋轉起來。



圖 2、無刷馬達內部的驅動電路



圖 3、驅動電路背面

無刷馬達風扇的製造商會把外部接線的資料公開，方便設計冷氣控制的整合廠將該風扇納入控制系統中，圖 4 就是冷氣排熱風扇的外部接線功能定義圖，比較特殊的是工

作電壓 V_{bus} 為 300Vdc，這個值剛好是冷氣機 AC 電源電壓 220V 的 1.414 倍，採用高壓的好處是電流較低，內部的線圈線徑可以較細。但從另一方面思考，風扇轉動所需要的功率不大，最大僅到 100W 左右，負載變動量也不大，這也是整個控制電路可以縮小並嵌入馬達內部的主要原因之一。



圖 4、冷氣排熱扇的電源與信號接頭
(含馬達電源、轉速設定與轉速回授信號)

三、無刷風扇的控制順序

在無刷風扇上有三個很重要的控制電壓，分別如下：

V_{bus} ：風扇線圈上的工作電壓，冷氣機風扇的 V_{bus} 標準規格為 300Vdc

V_{dd} ：風扇內部控制元件的供應電壓，通常是 +12V 或 +15V

V_{sp} ：決定風扇轉速的控制電壓，電壓輸入範圍 0-6.8V，不同的馬達有不同的範圍值，多數的馬達都會有一個電壓遲滯範圍(風扇不轉動)，比方說： V_{sp} 在 1.5V 以下時，風扇是不可以轉動的， $V_{sp}=6.8V$ 時，代表此時馬達內部的控制晶片會把 PWM 的開度開至最大，此時是最危險的，因為此時風扇會轉到最高速(理論上)，而且耗電流也會最大。

在實務上， V_{sp} 不需要加到 +6.8V，風扇馬達已經到達額定的最高轉速。以上三個電壓出現的順序是有先後的，在設計冷氣控制系統時，一定要詳加考慮，順序不對的話，會對內部的控制板造成永久的傷害。

正確開機順序

開機剛送電時，先開 V_{dd} ，接下來 V_{bus} 300V 的電壓進來，此時 V_{sp} 仍然為 0，最後才是 V_{sp} 升到設定的電壓值。

正確關機順序

當要關機時，Vsp 應該先回到 0V 的準位，通知風扇要停止了，接著 Vbus 由 300V 降低至 0V，讓線圈上的高壓消失，最後才是 Vdd 的關閉，停止內部控制電路的運作。不良的設計，肯定會有慘痛的結果，假設一種最壞的開機情況：開機時，Vdd、Vbus 與 Vsp 三個電壓同時出現，此時 Vdd 尚未升到足夠的電壓值，系統是處在狀態未明的階段，所有輸出端的狀態也不知，若 Vbus 也升到一個危險有破壞性的電壓值，同時 Vsp 又送出 +6.8V 的最高轉速命令，這時很有可能在瞬間就把風扇內的控制晶片破壞掉，系統設計者不可不慎重考慮此一情況發生的可能性。

在實際的電路設計上，我們是安排 Vdd 一送電時就接通，所以風扇上的控制板一定有電源供應，Vbus 則在有需要時才搭上，而 Vsp 平常階段一定是 0V，當進行轉速設定時，上升與下降的速度都是緩慢的。

硬體保護電路的加入

為了使整個風扇控制系統更安全，本文在硬體電路上做了以下的保護措施：

1. Vbus 用繼電器隔開，真正要風扇啟動時，才對繼電器送出接通(close)的信號。
2. Vsp 信號與控制系統完全隔離，系統的 PWM 信號經過光隔離 IC 轉送後，經由 RC 濾波成一直流電壓，當系統剛開機時，一定要確定 Vsp 電壓是在 0V。
3. 風扇轉速的信號也是經過光隔離 IC，才進到控制系統中。系統先計算每秒收到幾個信號後，再經過換算，才能得到風扇的 RPM 值。

軟體程式的安排

冷氣室外機風扇的轉速控制只佔整個控制程式的一小部份，由於採用了無刷馬達風扇的緣故，我們可以依照控制法則與模式，進行風扇轉速的閉迴路控制，亦即可以指定那種情況下，排熱風扇提高到 1000 RPM，當溫差不大時，排熱風扇進行某個轉速的間歇性調整，這樣可以使整體的效率更為提高。

我們知道調整 PWM 送出的工作週期(duty cycle)就可以調整風扇的轉速，系統隨時會取得風扇馬達送回的 FG 脈衝信號，再經過換算後就得到前一秒鐘的 RPM 值，現在的 RPM 值與設定的 RPM 值做一比較，就知道是否要對 PWM 的工作週期進行調整。正常的轉速控制，只要導入簡單的 PID 控制寫法，就可以將風扇轉速控制在誤差 5RPM 以內。

四、整體測試

在實體測試上，我們所做的保護措施更多。風扇平時 Vbus 的電壓是受到保護與限

制的， V_{sp} 也始終維持在 0V 上下，但 V_{dd} 則是保持在 +15V 的準位上。當風扇確定要啟動後， V_{bus} 端的繼電器會閉合，對風扇內的控制器送出 300Vdc 的高壓，而 V_{sp} 在確認 V_{bus} 通過後，要再經過數秒才到達風扇轉動的狀態，又要經過十數秒後，才進行轉速鎖定的閉迴路(close loop)控制，等到所有狀態與風扇轉速都正常後，才開始啟動冷氣壓縮機。



圖 5、在實驗室測試的無刷馬達風扇



圖 6、無刷馬達風扇的控制板，板上有 RPM 與 PWM 開度的數字顯示



圖 7、控制板上有 USB Device 界面可以與 PC 溝通外，還有壓縮機啟動與電子膨脹閥的驅動電路

圖 5~圖 7 是在實驗室測試排熱風扇的照片，該風扇的轉速可由 300-950RPM，在實際測試時，風扇轉速可以控制的準確度在 10RPM 以內，這可以讓我們更清楚掌握整個冷凍空調系統中所有的參數，圖 8 為新設計的三組無刷風扇控制系統，在輸出端另外加上 FUSE 與電阻限流保護，可更進一步保護整個控制系統的安全。本系統已成功地應用在熱泵系統中，從實機測試當中，我們發現，國內馬達製造商對於電路設計與高壓保護的能力都是有待加強的，大部份廠商都以原廠公開的電路如法炮製，並未考慮到真實與突發的情況，考慮不周到的風扇馬達若經常故障或出問題都是可以預料的。

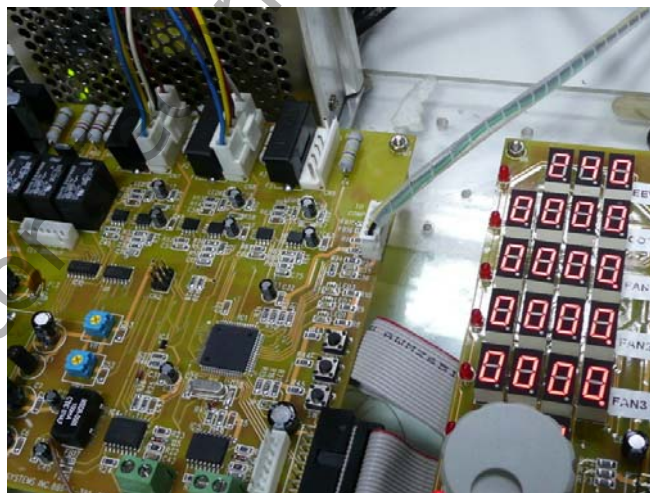


圖 8、新設計的三組無刷風扇控制系統