

# 空調用熱排風扇的開發始末

林仲茂

天氣已經慢慢轉熱了，當我們在室內開啓冷氣時，室外機的熱排風扇幾乎同時被啓動，系統首先檢查所有進來的信號都正確後，室外機上的壓縮機開始進入啓動程序，十數秒鐘後就可以感覺冷氣從室內機的出風口被源源不斷地送出。

## 傳統熱排的做法：AC 感應馬達

如果檢視分離式冷氣的室外機配置，壓縮機運轉時，冷媒經過壓縮後會使得冷媒的溫度急遽升高，接著透過冷凝器上的盤管與熱排風扇的強制對流，將這些熱量往外排放，意即排到外部大氣中。倘若熱排風扇不動或是室外機周圍散熱不良，那就會影響整個空調系統的效能。

所以，冷氣一開，室外機的散熱排風扇(熱排)也跟著啓動。冷氣關閉時，熱排還不能跟著關閉，反而要持續排除餘熱，直到冷凝盤管上的溫度降到合理的範圍後才停止轉動。通常這個過程要慢個幾十秒到幾分鐘。

幾年前的室外機熱排風扇清一色是 AC 感應馬達，只用一個 ON/OFF 接點來控制，爲了使熱量完全排出，這個 AC 馬達應該揹負最大的排熱責任，也就是說：只要冷氣一啓動後，就要盡全力將壓縮機產生的熱氣全部排掉。這也造成熱排風扇在運轉多年後，首先掛點的原因之一。



[圖一] 傳統的熱排風扇大部分是 AC 感應馬達，一開機風扇就啓動，它的作用是将壓縮機吐出時產生的熱排到大氣中

不過設計空調系統的工程師也發現：熱排風扇有些時候並不需要全速運轉。例如，在冬天室外溫度很低時，熱排風扇可能只要一半的風量，就足以把熱氣帶走。若熱排風扇仍在高速運行，並不會使冷氣效率提升。還有一種情況是壓縮機改為變頻式的控制，室內的設定溫度即將到達時，壓縮機轉速會逐漸降低，這時在室外機端產出的熱量也隨之降低，這種情形下也不需要熱排風扇的全速運轉。

所以，AC熱排風扇就多出了一個控制接點(High Speed/Low Speed)：指定熱排風扇轉速的高低。由空調的主控制板來決定熱排風扇轉動的快慢。剛開機或關機時，風扇要高速排熱，而當設定溫度即將到達或其他適當的時機，散熱風扇選擇以較低速在運行的。

### 較新的熱排作法：無刷控制板內置型

隨著時代的進步與無刷馬達的效率提升，較進步的熱排風扇也改以無刷馬達(BLDC)來驅動。改用無刷馬達的好處是，整體效率往上提升，啓動電流變小，而且轉速不是原先AC馬達的兩段(快/慢)可調或三段(快/中/慢)可調，而是轉速連續可調整的。一般的直流無刷熱排風扇的轉速範圍約在300RPM-800RPM間，通常會透過一個類比電壓 $V_{sp}(0-6.5V)$ 來決定風扇的轉速。空調系統的主控制板要另外造出一個類比電壓值給無刷的熱排風扇，用來指定風扇轉速。這樣安排之後，整體空調的效能又更好了。



[2-a] 窗型冷氣的熱排風扇



[2-b] 窗型冷氣的冷排風扇

採用無刷馬達有許多優點，但是，在控制上需要額外的電路來處理馬達的驅動，與AC感應馬達比起來，電路架構更為複雜，代價也更昂貴。



[2-c] 直流無刷壓縮機在熱排後面

[圖二] 全直流變頻冷氣是指壓縮機與冷熱排風扇都是無刷馬達控制的，壓縮機因為其結構上的限制，必須是無刷且無感測元件的馬達



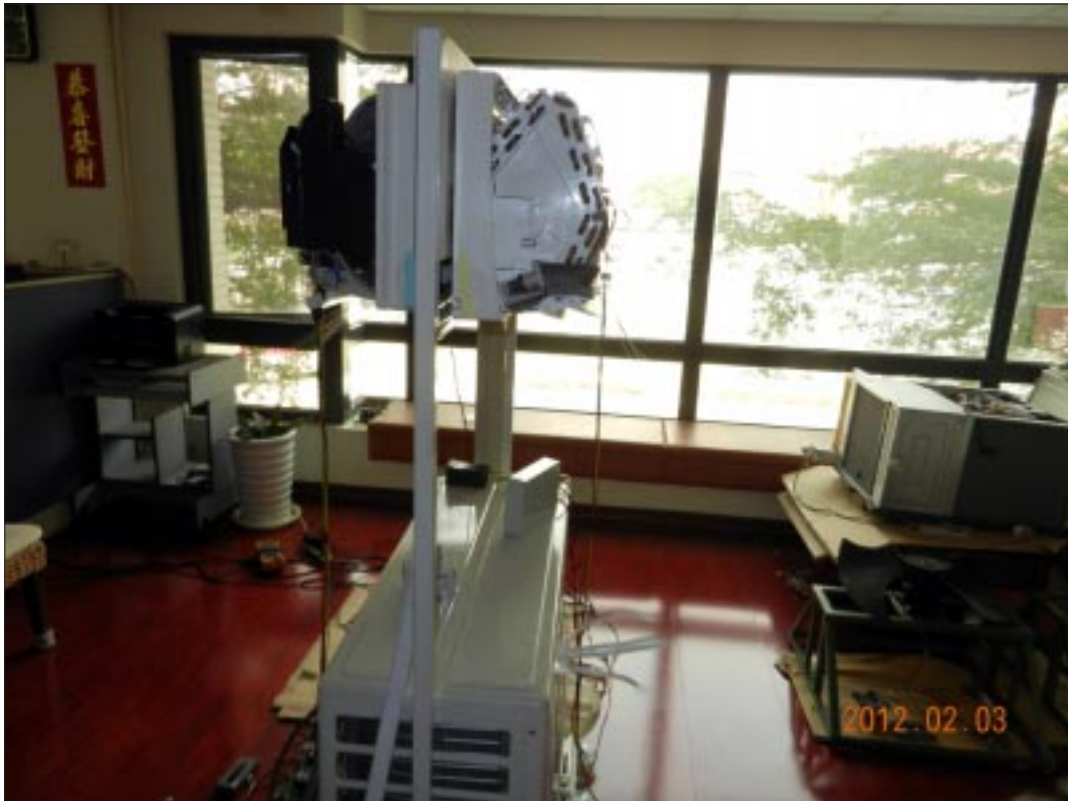
【圖三】附霍爾感測元件的無刷馬達控制器，旗威科技試製品

以前AC感應式熱排風扇若真的不轉動時，控制系統是完全無法察覺的，必須改由其他間接的條件再做分析。通常我們可以從壓縮機的吐出溫度與熱排風扇旁感溫棒的溫差，進而判定AC風扇是不動的或者是室外機嚴重的散熱不良。

爲了使無刷馬達的控制趨於簡化，許多無刷馬達的製造廠將馬達的控制迴路做在馬達內部，所有的控制信號只剩下五點：HVDC、GND、+15V、VSP與FG OUT(轉速輸出)。只要提供DC高壓310V與+15V的電源給熱排風扇，而Vsp就是控制轉速的電壓設定值，當風扇開始轉動後，FG OUT的輸出則是實際的轉速脈波值。空調的主控制板可即時取得風扇的正確轉速值，進行閉迴路控制。

內置驅動器的無刷熱排風扇還是有部分弱點的，製造上比AC感應馬達較繁瑣，稍有不慎就有不良品出現。而對控制端而言，控制電源(+15Vdc)與高壓電源(+310Vdc)加入的先後順序，也是考驗設計工程師的首要難題之一，電源加入順序的時間點不對也會對熱排風扇造成立即且永久的傷害。我們的經驗是只要一次不對，熱排風扇就損壞了，由於控制板是內置型的，造成自行維修的困難度更高。

另一方面由於內置的空間有限，此類無刷風扇的規格都被侷限在150W以下，電路板的空間也受到某種程度的限制，功率模組也無法加大。這也意謂著超過150W以上的熱排風扇是很難買到的。因此，設計工程師若碰到較大的空調系統，其中的熱排還是要改回採用AC感應馬達。



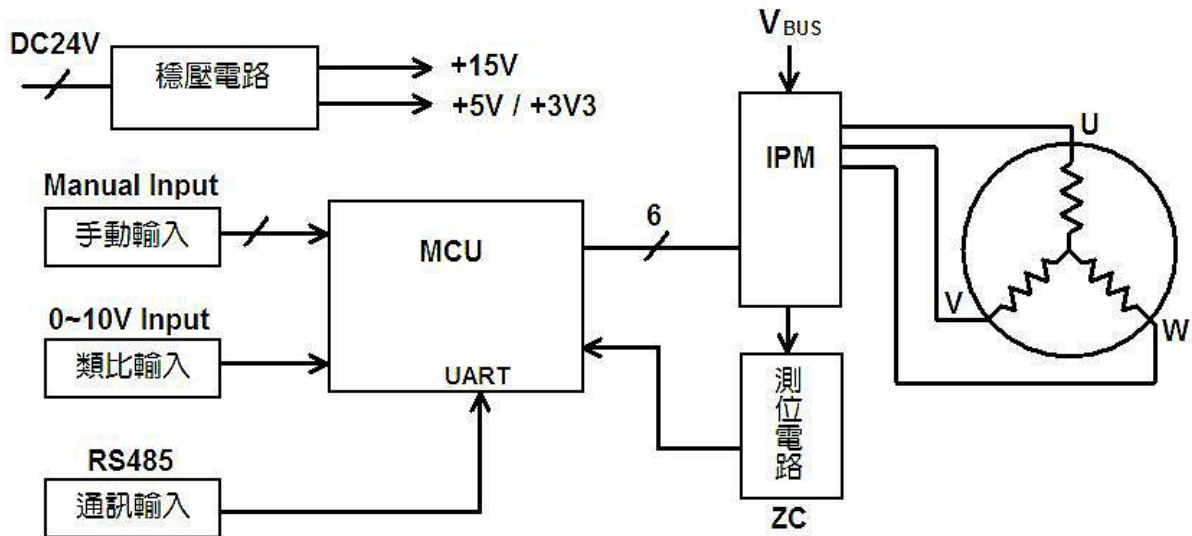
[4-a] 3.5KW 壓縮機運轉中



[4-b] 熱排風扇也是無刷無感測的馬達

[圖四] 旗威科技試作的空調系統，全部是無刷有感測風扇與無刷無感測壓縮機

## 最新的 作法：無刷無感測，控制板外掛型



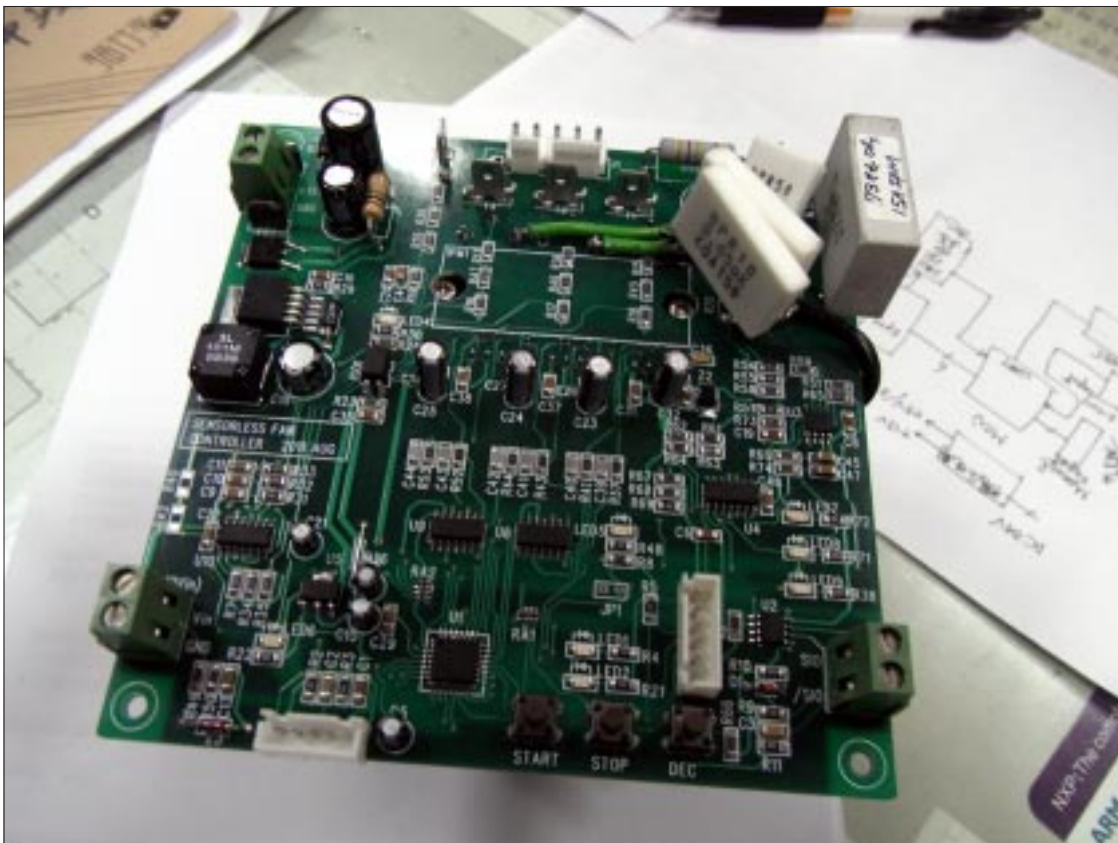
無刷無感測風扇控制方塊圖

內置控制板的無刷馬達受限於空間無法提高其輸出功率值，除非將控制板移到馬達外部。當無刷馬達控制板移轉到外部後，控制板本身就是一個問題了，標準的無刷馬達除了馬達的UVW三條接線外，還要有三個霍爾信號線，再加上兩條電源接線，總共有八條線要拉到外部。原來是馬達廠要生產的控制板，轉成系統的廠商要來負責此階段控制板的開發，責任歸屬問題較難釐清，優點與缺點成分都有，其中還是有許多因素無法在此一一敘述。

無刷馬達的控制方式分成兩種：有感測(Sensor)元件的與無感測(Sensorless)元件的，前者有霍爾元件做馬達轉子的測位，控制方式相較單純，控制零件也容易購得，參考技術資料也衆多。



[圖五] 100W 左右有 0-10V 電壓輸入與 RS485 通訊功能的無感測風扇控制板



[圖六] 600W 的無感測風扇控制板，旗威科技試作品

無感測無刷馬達的出線是最簡單的，簡化成只有UVW三條線而已，但是整體的控制迴路就更複雜了，通常必須靠MCU與電路做測位的動作，而且其啓動與運轉都有一定的程序待執行。相對於AC感應式馬達，無感測的控制模式是較高難度且非常具有挑戰性的。

圖五 是旗威科技試做的200W Sensorless熱排控制板，若配合適當的散熱片，要將風扇的輸出提高到600W也是有可能的。停止到額定轉速600RPM只要不到一分鐘時間。最高速與最低速分別是800RPM與300RPM。爲了與控制系統能方便連結，我們在線路上提供了0-10V輸入與RS485介面，只要從外部輸入一個直流電壓值就可以指定轉速。當然更方便的做法是透過UART通訊指定轉速了，也可以隨時詢問熱排風扇的轉速RPM值。



[7-a] 一般冷氣室外機用的熱排，也是無刷無感測的馬達，只有三條接線，原先是控制器內藏型的，但已被改成外接型的，由外部驅動板直接控制

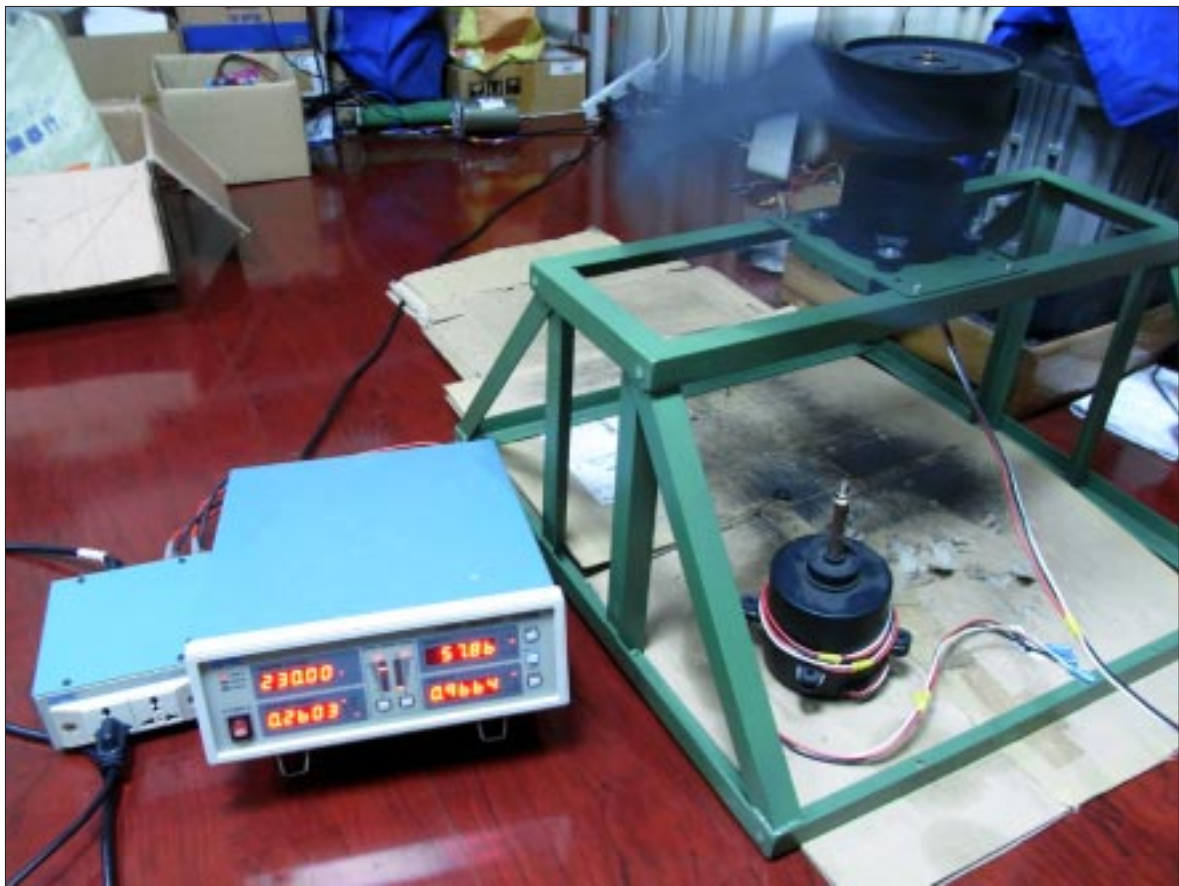




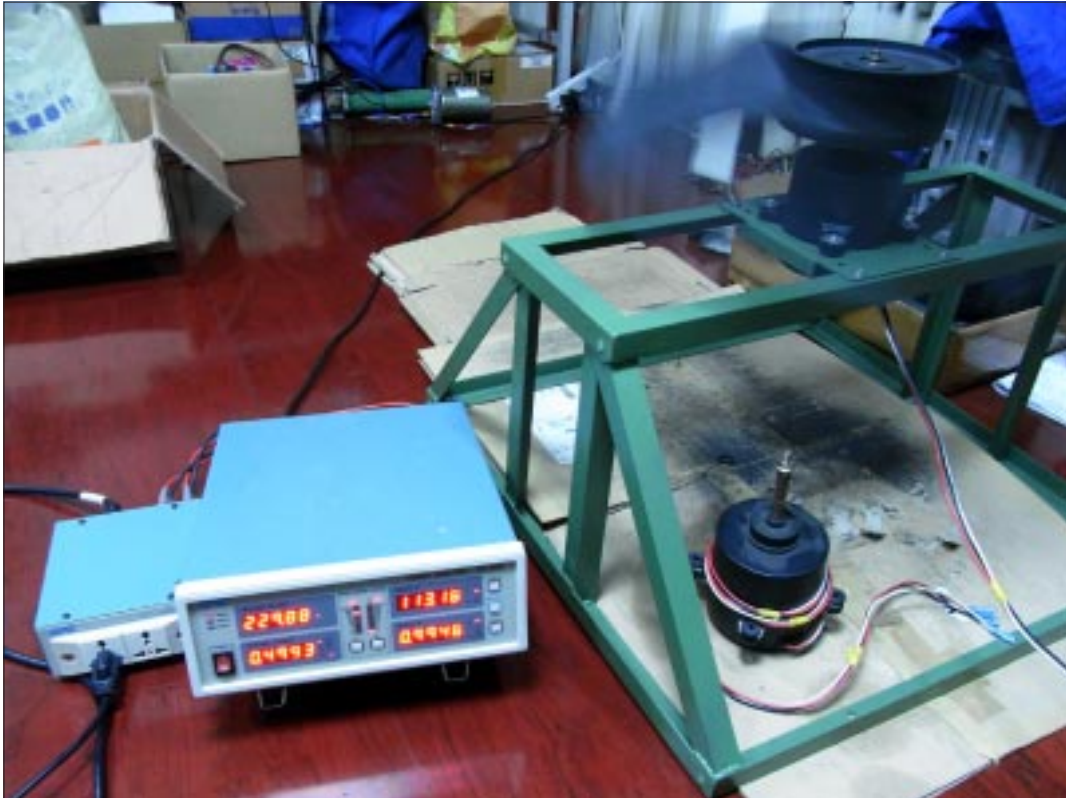
[7-b] 較大輸出的熱排風扇(測試中)，這是用在熱泵系統的排熱風扇  
[圖七] 測試中的 Sensorless 熱排風扇

## 因應極端氣候與節能減碳的對策

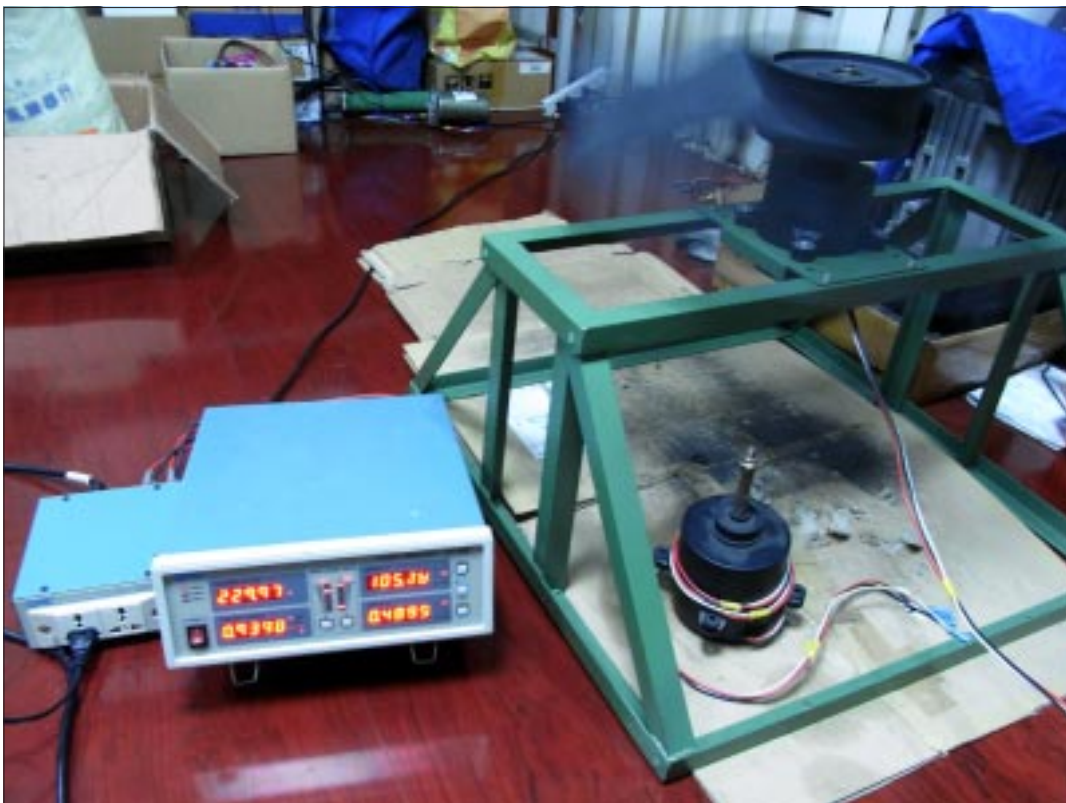
一台效能好的冷氣機組，現階段採用無刷的熱排馬達是無庸置疑的，如果要達到最高的效率時，不僅在壓縮機與室內機要做精細的轉速微調外，在外面的室外機熱排風扇也要做即時RPM的控制，目前試做熱排風扇的控制準確度約在正負10RPM左右，我們的目標是在正負2RPM以內，這對於無感測的無刷風扇控制而言，配合高速的MCU與PID控制法則，應該是可以預料與達成的。



[8-a] 有加 PFC 功因調整電路，功耗 57W PF=0.96，電流為 0.26A



[8-b] 有加 PFC 調整電路，功耗 115W PF=0.9948，電流為 0.5A



[8-c] 相同的風扇，當沒有 PFC 電路時，PF=0.488，AC 線上的電流已經到達 0.9398A，約為(8-b)的 2 倍之多

[圖八] 熱排風扇控制器必須加上 PFC 功因調整電路，才能使 AC 側的電流值降低

旗威科技有限公司