



MF616 開發系統(Sensorless)
完全攻略手冊(筋膜腔專用)
(AP version: R51_00)

Jason Yao
20210517

目錄

目錄.....	2
修改紀錄.....	3
A: 風扇電路圖.....	4
A-1: PWM(反向)訊號控制.....	4
A-2: PWM(沒有反向)訊號控制.....	5
B: 開發系統介紹.....	6
B-1: 串列板(serial board).....	6
B-2: 馬達控制板.....	7
B-3: AP.....	7
B-4: 如何將參數檔案版本升級.....	9
C: AP 參數說明.....	10
C-1: 轉速控制訊號設定(PWM mode/Analog mode).....	10
C-2: 轉速曲線設定(Curve Config.).....	11
C-2-1: open loop 曲線設定.....	12
C-2-2: close loop 曲線設定.....	15
C-3: 緩啟動參數設定(FAN Soft Start).....	18
C-4: 逆轉煞車參數設定.....	錯誤! 尚未定義書籤。
C-5: 輸出訊號參數設定(Out Signal).....	19
C-6: 電流保護(Current Protection).....	21
C-7: 電壓保護(Voltage Protection).....	22
C-8: 極數(Motor Poles).....	23
C-9: 相序(Phase sequence).....	錯誤! 尚未定義書籤。
C-10: 正反轉設定(Direction).....	23
C-11: Hall 提前落後：固定模式.....	24
C-12: Hall 提前落後：自動調整模式.....	29
C-13: Sine Mode:.....	錯誤! 尚未定義書籤。
D: 備註.....	33
D-1: 補充說明&注意事項:.....	33
D-2: 改版歷史.....	34

修改紀錄

Revision	Date	Description
0.1	2020/04/06	Draft version
0.2	2020/05/19	Update to ver.51_00.

A: 風扇電路圖

A-1: PWM(反向)訊號控制

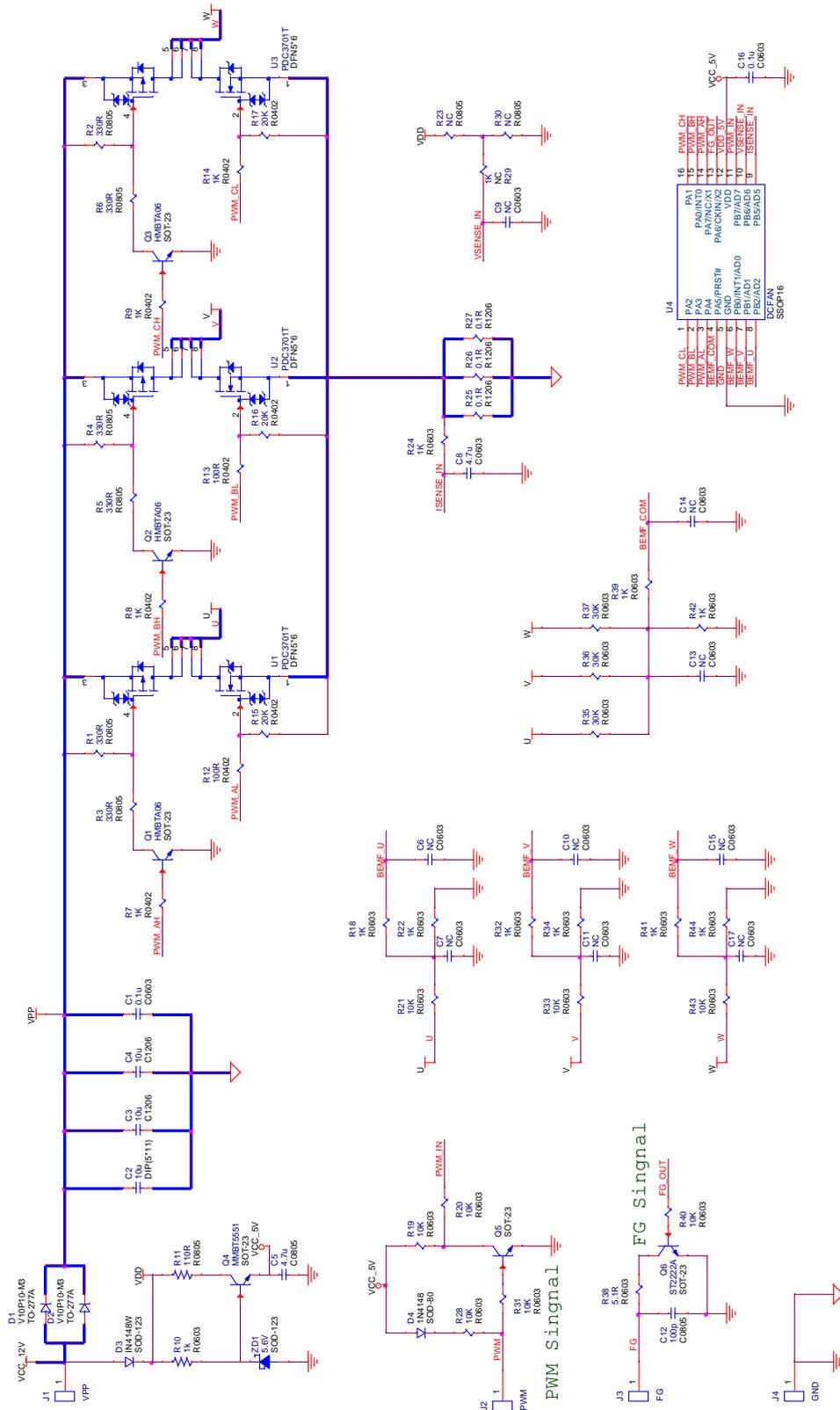


圖 1

圖 1 為風扇板的建議線路圖(PWM 訊號為反向)，需注意 Q5 的存在可以防止當系統只送 PWM 訊號不送風扇電源時，將 PWM 訊號的影響完全隔離在風扇板子外，避免對於 MF616 IC 產生電源干擾。

A-2: PWM(沒有反向)訊號控制

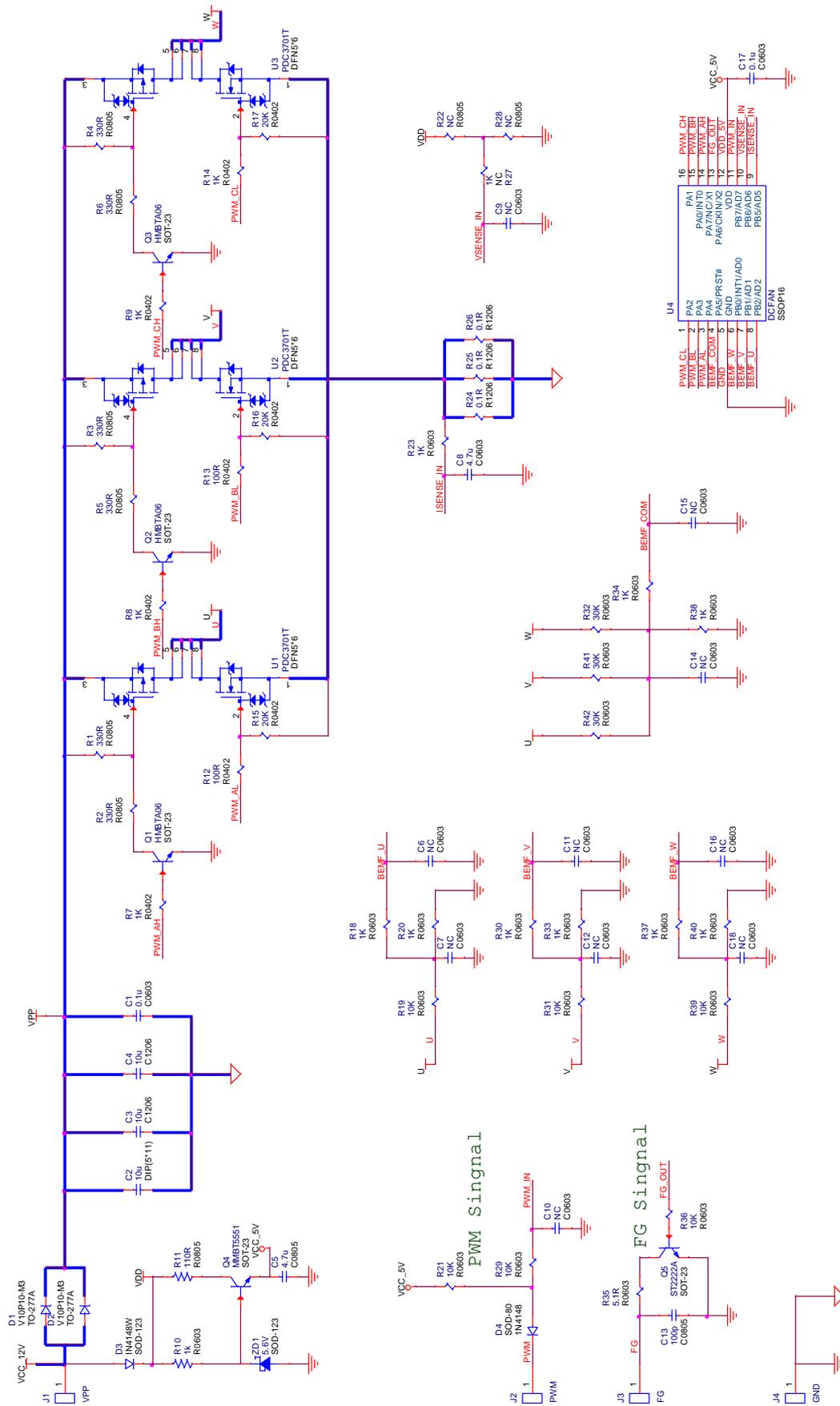
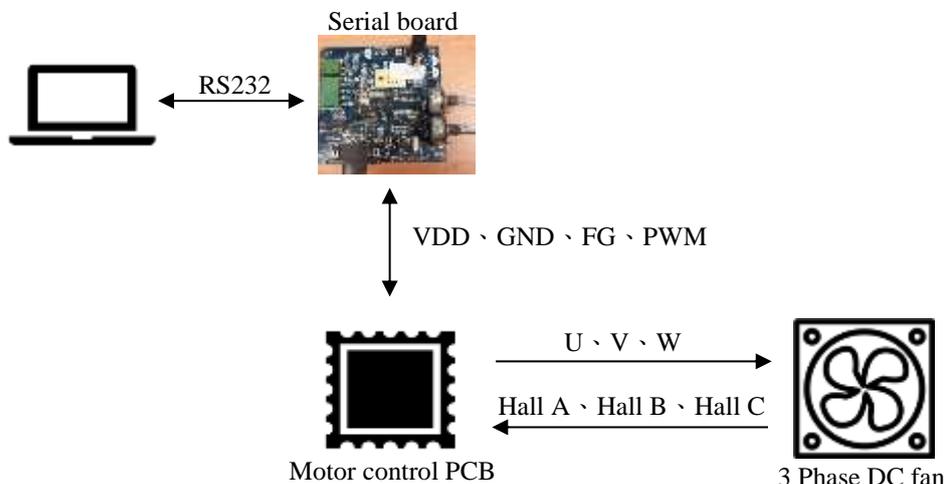


圖 2

圖 2 為風扇板的建議線路圖(PWM 訊號沒反向)，需注意 D4 的存在可以防止當系統只送 PWM 訊號不送風扇電源時，將 PWM 訊號的影響完全隔離在風扇板子外，避免對於 MF616 IC 產生電源干擾。

B:開發系統介紹

MF616 開發系統包含 3 大部分(如下圖): 串列板(serial board), 馬達控制板(motor control PCB)及 AP 軟體。串列板連接馬達控制板的 VDD, FG, PWM, GND 等 4 訊號。直接在電腦上的 AP 上輸入風扇的曲線參數, AP 可將風扇的轉速反應結果顯示在 AP 視窗中, 以減少風扇的開發時間。



B-1:串列板(serial board)

串列板主要功能是透過 RS232 的介面作為馬達控制板與 AP 的通訊傳輸用, 一般馬達控制板會有 VDD, GND, PWM 及 FG 等 4 種訊號連接到系統上, 串列板就使用這 4 種訊號來跟 AP 通訊。由於馬達控制板上的 PWM 以及 FG 訊號已經被拿來做通訊使用, 所以開發階段時 PWM 跟 FG 訊號是無法正常使用的。串列板利用可變電阻來模擬 PWM 訊號或是 Analog 訊號送給馬達板上的 MF616 IC(此時的 MF616 必須燒錄成開發工程 IC, 開發工程 IC 燒錄檔請參考 AP 說明)。



B-2:馬達控制板

馬達控制板可以直接使用要量產的控制板來得到真實的風扇反應數據，開發階段的馬達控制板必須注意下列 2 點：

- 馬達控制板上的 MF616 必須燒錄成開發工程用的 IC，使用不同的 AP 版本，就必需更換相對應版本的燒錄檔
- 使用串列板開發時，PWM 跟 FG 必須為如圖 A-2 的線路，PWM 訊號的路徑需有 pull-high 電阻、經過反向電路在與電阻串聯，FG 訊號的路徑必須是 open-collector 的線路。PWM 或是 FG 的線路有問題時，AP 會無法傳送數據給馬達板上的開發工程 IC。

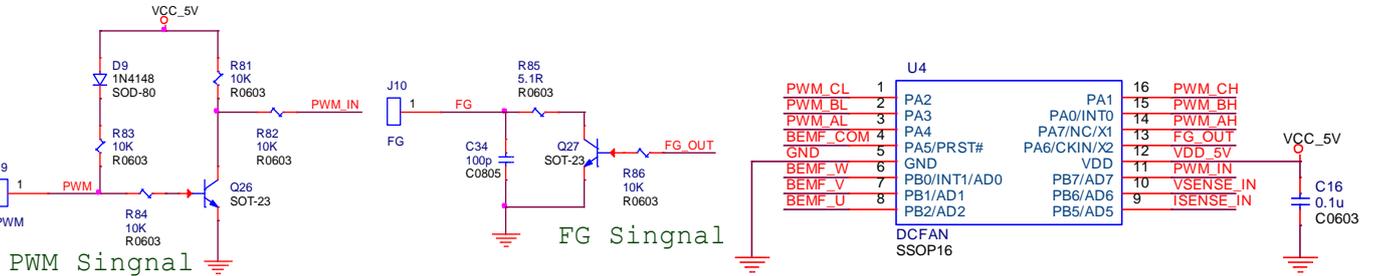
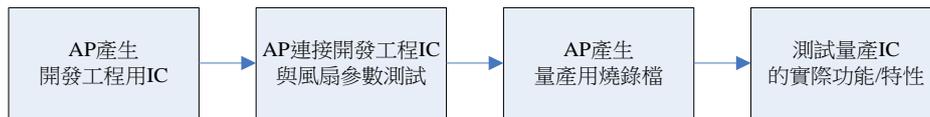


圖 A-2

B-3:AP

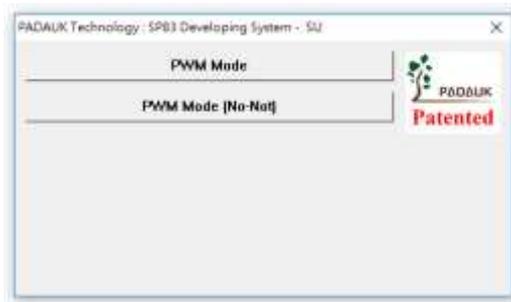
AP 是風扇開發中最重要的一項工具，是安裝於電腦上的一套開發軟體，必須要有串列板才能打開 AP，不同的 AP 版本可以有不同的功能，一台電腦上只能有一種版本的 AP 可以存在，舉例來說，如果已安裝 0.53_00 版的 AP，但是新案的功能只有 0.51_00 版的 AP 才有支援，則必須重新安裝 0.51_00 版的 AP，0.51_00 安裝完成後 0.53_00 版會被完全移除。



上圖為 MF616 的開發流程，AP 產生開發工程用 IC 燒錄檔，設定/調整風扇參數以及 AP 產生量產用燒錄檔，以下說明開發工程用 IC 燒錄檔以及產生量產用燒錄檔的步驟，設定/調整風扇參數於後面章節再做說明。

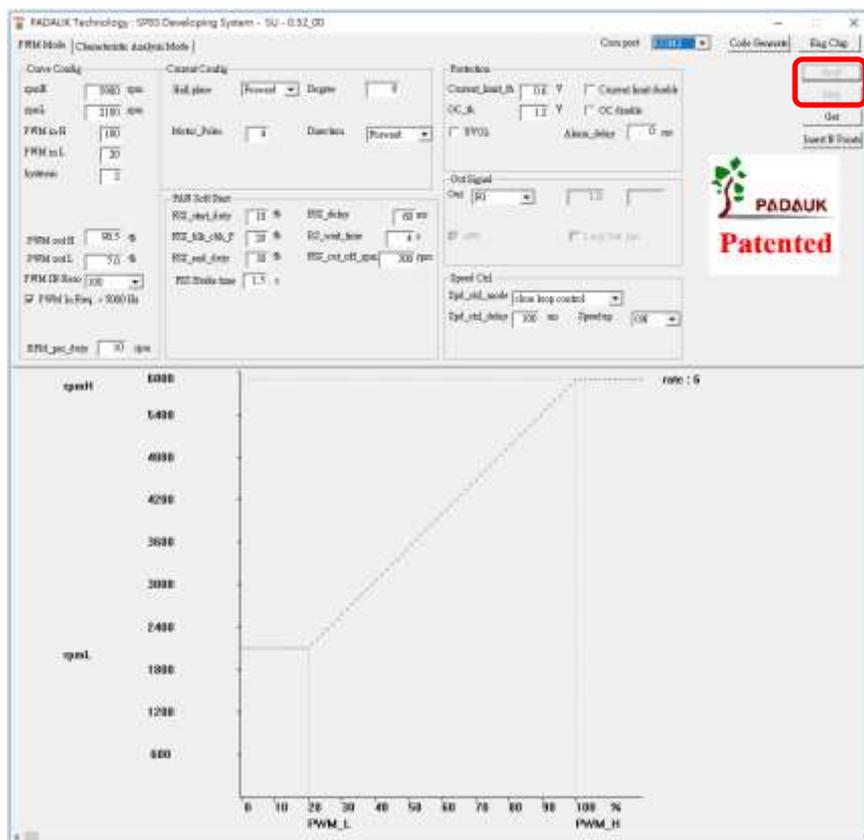
產生開發工程用 IC 燒錄檔與量產燒錄檔步驟：

- 電腦安裝所需的 AP 版本
- 串列板接上電源(12V~48V,板上綠色 LED 亮)，不需連接馬達控制板，以 UART Cable(或 USB to UART Cable)連接電腦
- 點選電腦上 AP 的圖示，產生下面圖示



- 依照開發案的需求點選 PWM MODE 或者 PWM MODE(No-not)。

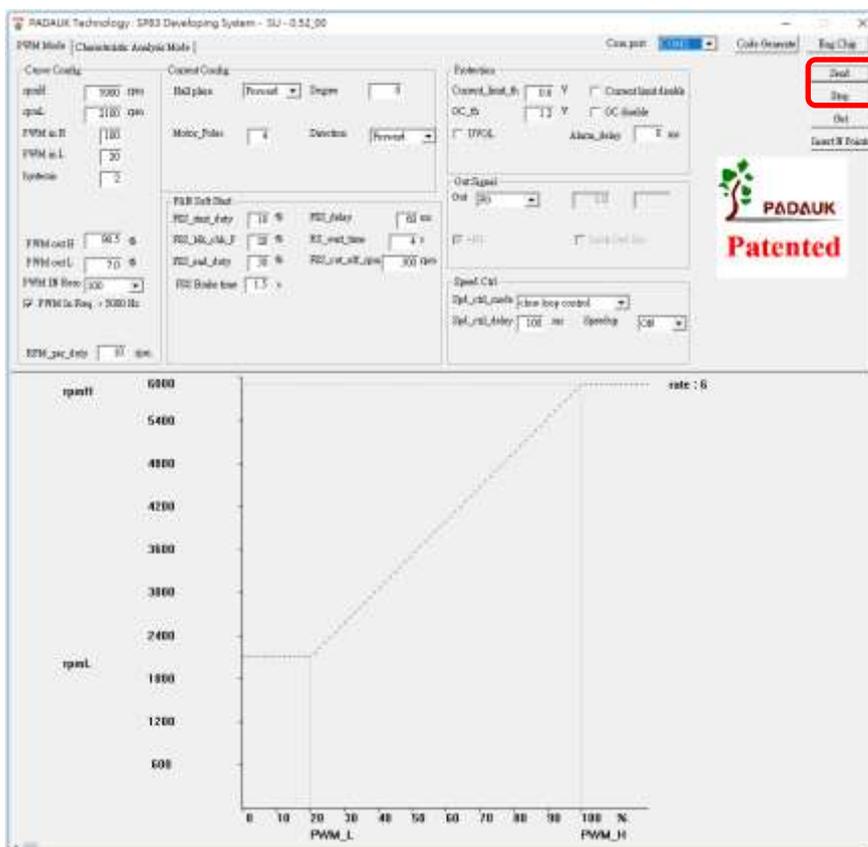
5. 出現對應 PWM MODE 的參數設定畫面，如下圖，圖中右上方有兩個按鈕為反白狀態，代表 AP 未與馬達控制板上的開發工程用 IC 連接。



6. 點選右上方的 "Eng Chip" 按鈕，會出現將開發工程用燒錄檔存檔的畫面，輸入檔名即可，副檔名為 PDK.

7. 使用應廣燒錄器與燒錄軟體，將開發工程用燒錄檔燒進 MF616，再將此 IC 焊到馬達控制板上

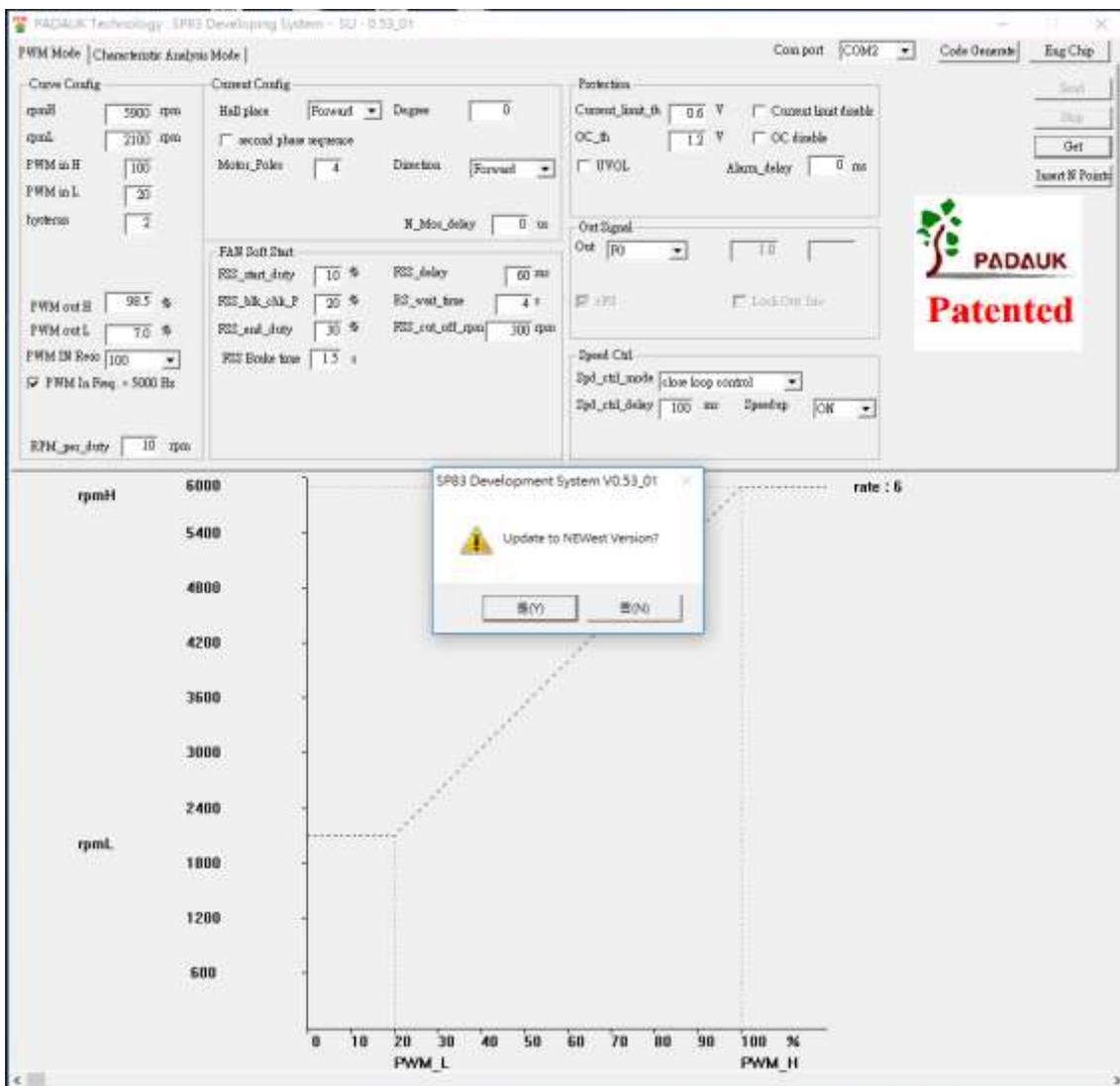
8. 重新開啟電腦上的 AP，原本反白的按鈕以可以使用(如下圖)，表示已連接開發工程 IC，可以設定參數進行實驗。



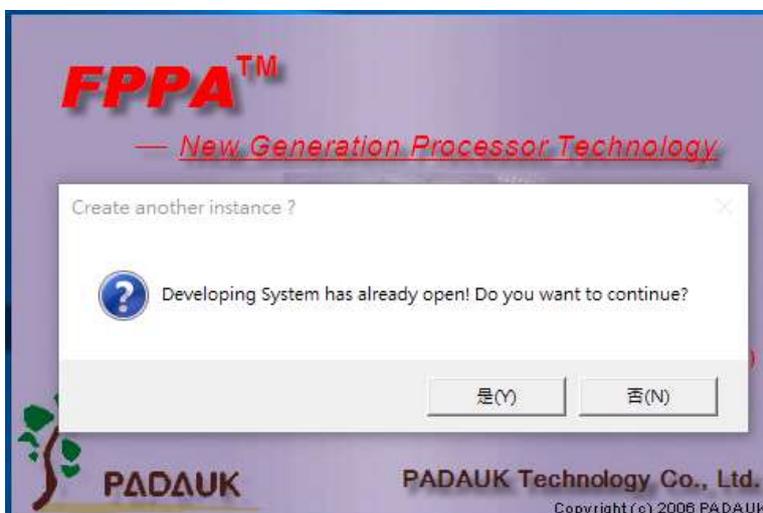
9. 參數測試完成後，點選右上方的“Code Generate”按鈕，輸入 PDK 檔名，存檔後就產生量產的燒錄檔。
10. 將此量產燒錄檔燒進 MF616，此時已不需要串列板以及 AP，將 MF616 焊上馬達控制板，以實際的 PWM 訊號以及 FG 的輸出訊號來做最後的確認(因使用串列板時，PWM 及 FG 訊號是無實際作用的)。

B-4:如何將參數檔案版本升級

第一步開啟新版本 AP，Get 舊版本 AP 參數檔案，問是否要跟新，點“是”



第二步:點“是” -> 完成

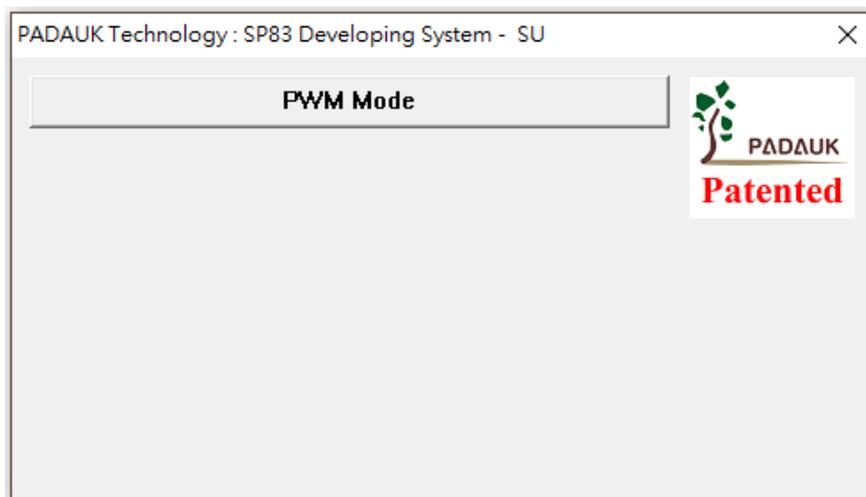


C:AP 參數說明

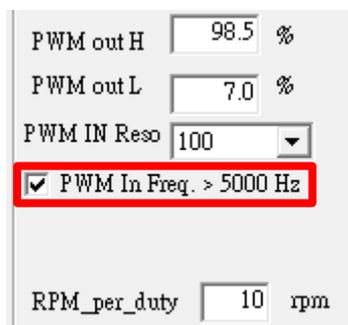
一般風扇的規格會有轉速控制訊號(PWM mode 或是 Analog mode), 轉速曲線, 轉速控制模式(close loop 或是 open loop), 輸出訊號格式(FG, RD, ALARM), 電流大小等等的規格. AP 的參數設定已可以包含大部分的規格.

C-1:轉速控制訊號設定(PWM mode/Analog mode)

在產生開發工程 IC 時, AP 打開的第一個畫面(如下)已決定是要用 PWM MODE 或是 Analog MODE 的控制方式. 必須先依照風扇規格產生 PWM MODE 或是 Analog MODE 的開發工程 IC, 再填入相關的參數.



以下圖常用的 PWM MODE 來做參數說明, 有 4 個參數是與 PWM 訊號相關,



分別為:

PWM IN Reso: PWM 輸入 duty 的解析度, 有 100 階(解析度為 1%)與 200 階(解析度為 0.5%) 可選

PWM In Freq. > 5000Hz: PWM 頻率的輸入

勾選此方塊且 PWM IN Reso 為 100, 則 PWM 的輸入頻率要介於 5000Hz~80KHz 之間.

勾選此方塊且 PWM IN Reso 為 200, 則 PWM 的輸入頻率要介於 5000Hz~40KHz 之間

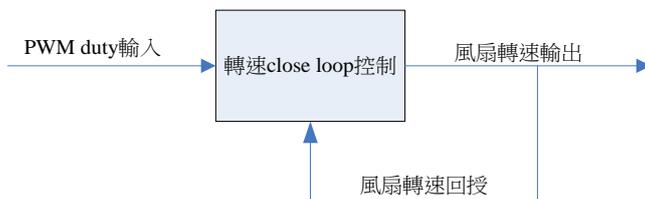
不勾選此方塊且 PWM IN Reso 為 100, 則 PWM 的輸入頻率要介於 750Hz~10KHz 之間.

不勾選此方塊且 PWM IN Reso 為 200, 則 PWM 的輸入頻率要介於 750Hz~5KHz 之間

C-2:轉速曲線設定(Curve Config.)

以 PWM mode 為例，風扇轉速曲線為不同的 PWM 輸入 duty 值對應到不同的風扇轉速或是不同的 PWM duty 輸出。例如 PWM 輸入 0%時，風扇轉速為 1000 RPM(close loop control)或是 10% PWM duty 的輸出(open loop control)。

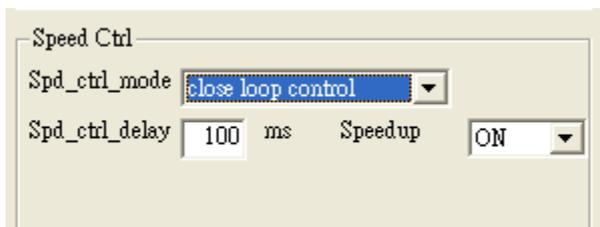
下圖為 close loop 控制的示意圖，風扇轉速會回授到轉速計算法則中，讓風扇轉速穩定的控制在所設定的轉速。



下圖為 open loop 控制的示意圖，沒有將風扇轉速回授到轉速計算法則中，只單純的將所設定的 PWM duty 輸出到風扇的驅動電路上。在 open loop 控制模式之下，不同風扇之間的轉速差異取決於風扇馬達的設計誤差。



通常風扇轉速規格還會要求轉速的反應速度，例如 PWM duty 輸入從 100%變為 20%時，風扇的轉速輸出必需在 5 秒內達到，此時就必需要有對轉速輸出做加快反應的功能(AP 中 Speedup 參數)。



上圖為 AP 曲線控制模式的設定參數：

Spd_ctrl_mode: 可以選擇 close loop control, open loop control 以及 open/close loop control 等 3 種控制模式，其中 open/close loop control 為複雜的控制方式，經驗度不夠者不建議使用。

Spd_ctrl_delay: 設定轉速計算法則每隔多久時間計算出新的轉速/duty 值的輸出。在 close loop control 模式下，Spd_ctrl_delay 設定值會影響到風扇追轉的效果，例如設定 50ms，表示每 50ms 會去檢查風扇的轉速，若轉速低於設定值就提升轉速，轉速高於設定值就降低轉速，如此短時間的提升與降低轉速，會有某些風扇產生出追轉的嗡嗡聲。建議在 close loop control 模式下，Spd_ctrl_delay 設定在 100ms~200ms 之間。

至於在 open loop control 模式下，因無回授轉速控制，但考量到輸出 duty 突然變大會造成風扇電流變的太快等因素，Spd_ctrl_delay 建議設定在 50ms~100ms 之間

Speedup: 只有在 close loop control 模式下才有這選項，選擇 "ON" 則加快風扇轉速的反應。選擇 "OFF" 就依照 Spd_ctrl_delay 的設定時間來做轉速反應時間，"OFF" 的選項通常會讓風扇需要很久的時間才達到所需的設定值。

C-2-1:open loop 曲線設定

曲線設定在 open loop control 模式下是非常簡單的，如下圖為 AP 的 Curve Config 方塊，

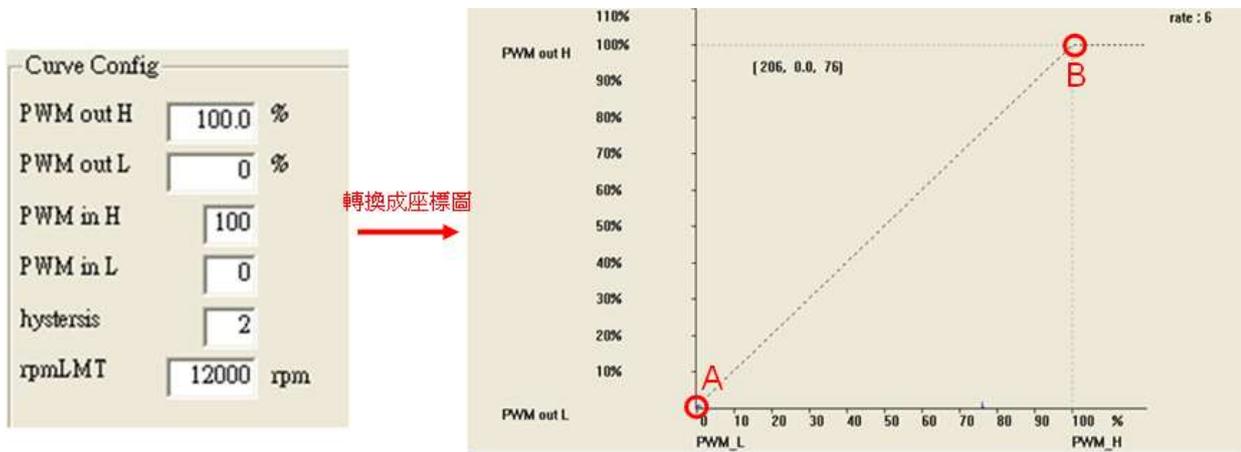
PWM in H: 輸入 PWM duty 的最大值

PWM out H: 輸出 PWM duty 的最大值，對應到“PWM in H”，其意義為當輸入 PWM duty 為“PWM in H”時，MF616 輸出“PWM out H”的 duty 值至風扇驅動線路。

PWM in L: 輸入 PWM duty 的最小值

PWM out L: 輸出 PWM duty 的最小值，對應到“PWM in L”，其意義為當輸入 PWM duty 為“PWM in L”時，MF616 輸出“PWM out L”的 duty 值至風扇驅動線路。

以上 4 個參數設定就可以形成一直線，這 4 點設定完後按下 AP 右上方的“Send”，AP 下方的視窗就顯示出所設定的曲線，曲線圖的 X 軸為輸入 PWM duty(PWM in)的座標，Y 軸為輸出 PWM duty(PWM out)的座標。



上圖設定的意義為：當 PWM 輸入 duty 為 100%時(PWM in H=100%)，MF616 輸出 PWM duty 為 100%(PWM out H=100%)，當 PWM 輸入 duty 為 0%時(PWM in L=0%)，MF616 輸出 PWM duty 為 0%(PWM out L=0%)。其餘的 PWM 輸入 duty 點則線性分布，MF616 會計算出相對應 PWM out 的 duty 輸出點。

這 4 參數設定值會轉換成圖中的 A, B 兩點座標。A 點的座標為(PWM in L, PWM out L) = (0%, 0%)，B 點的座標為(PWM in H, PWM out H) = (100%, 100%)。

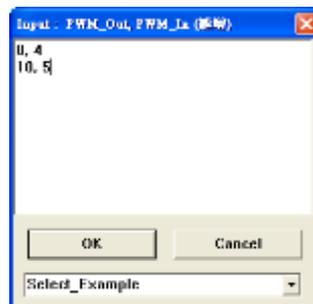
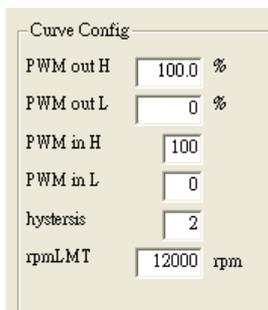
範例 A:

萬一風扇的轉速曲線規格: 輸入 PWM duty 為 0%至 4%停轉, 5%時 PWM 輸出要 10%, 100%時 PWM 要輸出 100% duty, 5%~100%之間線性分布, 這時要如何設定呢?

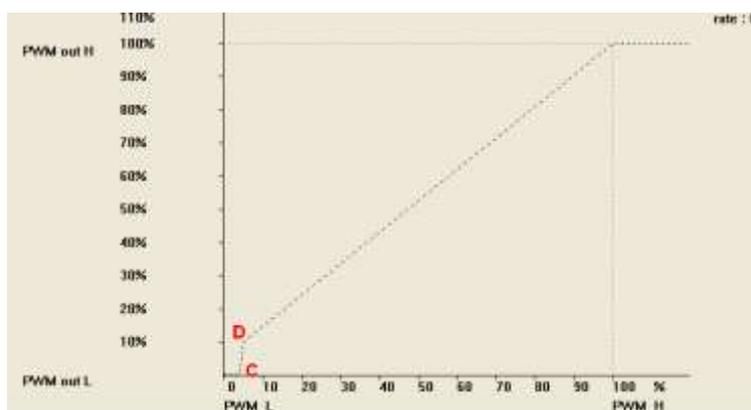
對於這類型的設定, 除了 Curve Config 中的 2 組數據, AP 提供了可以額外設定 10 組對應數據的功能, 在 AP 的右上方有 "Insert N Points" 按鈕, 點進去會出現如下中圖的可輸入數據的對話框,

對話框提示列說明填入方式: PWM_Out, PWM_In(遞增), 即 X 軸是以遞增的方式增加, 先填 Y 軸再填 X 軸.

如下右圖所示, 在對話框內填入(0, 4)於第一行, 表示輸入 PWM 為 4%時, PWM 輸出 0%(停轉). 填入(10, 5)於第二行, 表示表示輸入 PWM 為 5%時, PWM 輸出 10%. 只要填入這 2 組數據就可以符合需求了.



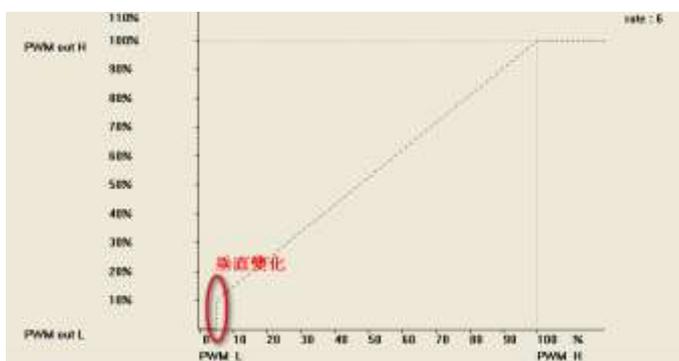
"Insert N Points" 設定好後, AP 下方的曲線圖會立即更新, 如下圖中 C, D 兩點為 "Insert N Points" 所設定的兩組數據.



範例 B:

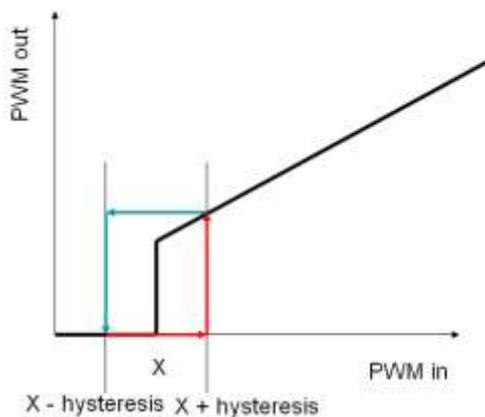
另一種更有趣的曲線規格, 曲線中有垂直變化的數據並且有遲滯的功能, 什麼意思呢?

將剛剛 "Insert N Points" 的(0, 4)數據改為(0, 5)如下圖所示, 如此在輸入 PWM duty 為 5%時有兩組輸出值 0%跟 10%, 這在曲線圖中會顯示為垂直變化的曲線, 假如此時的 "hysteresis" 設定為 0, 那風扇的反應就會跟範例 A 一樣.



假如此時的 "hysteresis" 設定為 2，則風扇靜止時，輸入 PWM duty 必須為 7%以上，風扇才會進行啟動動作，若風扇已經在運轉狀態，則輸入 PWM duty 必須為 3%以下，風扇會進入停轉狀態。這種設定主要避免外界 PWM 輸入 duty 不穩造成風扇處於啟動跟停轉兩種狀態之間反覆的執行。例如範例 A 的 PWM 輸入，如果外界 PWM 輸入 duty 在 4%跟 5% 跳動，那風扇就會發生一下停一下轉的異常情況。

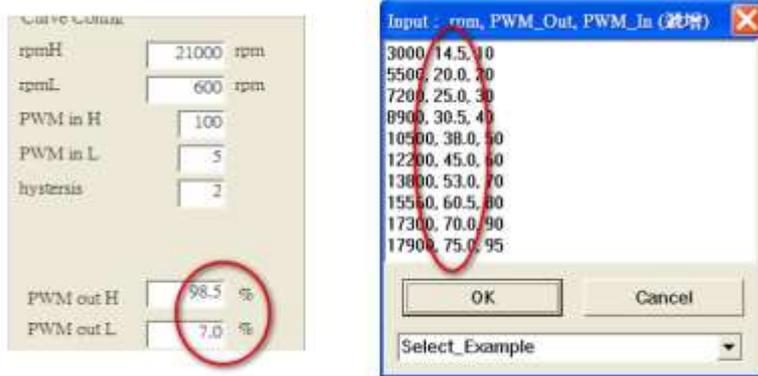
hysteresis: 於垂直變化點的遲滯效果，如下圖示意圖，垂直變化點為 X，當輸入 PWM duty 的變化由小變大時，風扇會走紅色段的曲線，遲滯區範圍為 X 至(X+hysteresis)，當輸入 PWM duty 的變化由大變小時，風扇會走綠色段的曲線，遲滯區範圍為 X 至(X-hysteresis)，



C-2-2:close loop 曲線設定

Close loop control 模式的曲線設定，除了將 Y 軸的 PWM 輸出 duty 變更為轉速外，若 “Speedup” 選 “ON” 則必須再額外填入相對應轉速的 PWM 輸出 duty，且一定要填滿 12 組數據 (Curve Config 中 2 組加上 “Insert N Points” 10 組)。

AP 需額外填入的 12 組數據即是這相對應於轉速的輸出 PWM duty 值，稱做輸出目標 duty。假設這例子的風扇在 1000RPM 時，PWM 輸出 duty 為 10%，那麼在轉速變化時會先將輸出 PWM duty 降至輸出目標 duty 為 10%，然後再轉 close loop 模式，使用者必須將 10% 的輸出目標 duty 填入參數中。



如上圖 Curve Config 以及 “Insert N Points” 的範例，紅色圈起來的地方是要透過 AP 的畫面慢慢找出來的 PWM 輸出目標 duty。

PWM in H: 輸入 PWM duty 的最大值

rpmH: 風扇轉速對應到 “PWM in H”，其意義為當輸入 PWM duty 為 “PWM in H” 時，風扇轉速為 “rpmH”。

PWM out H: 目標輸出 duty 對應到風扇轉速為 “rpmH”

PWM in L: 輸入 PWM duty 的最小值

rpmL: 風扇轉速對應到 “PWM in L”，其意義為當輸入 PWM duty 為 “PWM in L” 時，風扇轉速為 “rpmL”。

PWM out L: 目標輸出 duty 對應到風扇轉速為 “rpmL”

Curve Config 圖中的範例其意義為：

輸入 PWM duty 為 100% 時 (PWM in H)，PWM 輸出目標為 98.5% (PWM out H)，輸出轉速為 21000 rpm (rpmH)

輸入 PWM duty 為 5% 時 (PWM in L)，PWM 輸出目標為 7.0% (PWM out L)，輸出轉速為 600 rpm (rpmL)

“Insert N points” 數據的填入順序，必須按照提示列的說明，輸入 PWM duty 以遞增的方式填入，先填入輸出轉速，再填入 PWM 輸出目標 duty，最後再填入輸入 PWM duty。

“Insert N points” 圖中的範例其意義為：

PWM in = 10% 時，PWM 輸出目標為 14.5%，輸出轉速 3000 RPM

PWM in = 20% 時，PWM 輸出目標為 20%，輸出轉速 5500 RPM

PWM in = 30% 時，PWM 輸出目標為 25%，輸出轉速 7200 RPM

PWM in = 40% 時，PWM 輸出目標為 30.5%，輸出轉速 8900 RPM

PWM in = 50% 時，PWM 輸出目標為 38%，輸出轉速 10500 RPM

PWM in = 60% 時，PWM 輸出目標為 45%，輸出轉速 12200 RPM

PWM in = 70% 時，PWM 輸出目標為 53%，輸出轉速 13800 RPM

PWM in = 80% 時，PWM 輸出目標為 60.5%，輸出轉速 15560 RPM

PWM in =90% 時, PWM 輸出目標為 70%, 輸出轉速 17300 RPM

PWM in =95% 時, PWM 輸出目標為 75%, 輸出轉速 17900 RPM

如果風扇的規格只給轉速最大值跟最小值, 例如 0%時轉速為 600RPM, 100%轉速為 21000RPM, 其於線性分布, 最大跟最小值填入參數 "PWM in H", "rpmH", "PWM in L", "rpmL". 而"Insert N Points"中的點就必須由設計者自行算出另外 10 點的輸出轉速值跟相對應的 PWM 輸入 duty 值. 建議 PWM 輸入 duty 每 10%取一點最好.

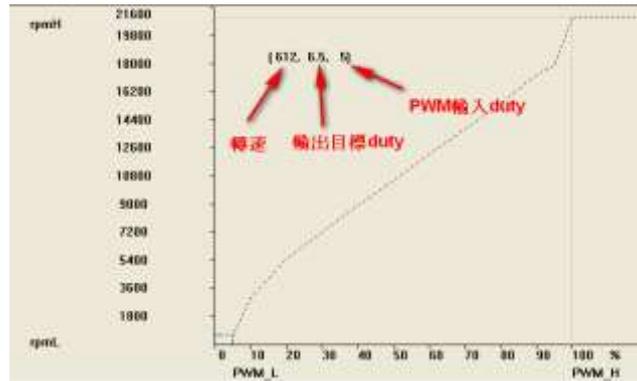
如何尋找出最重要的 PWM 輸出目標 duty 呢? 建議步驟如下:

1. PWM out H 設為 90%以上, 因對應到的 rpmH 通常是非常高的轉速, 所以輸出目標 duty 可以設高.
2. 如果 rpmL 為 0 RPM, 那麼 PWM out L 就設為 0, 若 rpmL 為非 0 值, 可以先設小的輸出目標 duty.
3. "Insert N Points"中的 PWM 輸出目標 duty(PWM_Out), 則都依據所對應 PWM_In 的值來設定, 如下圖



4. 按下 AP 右上方的 "Send", 風扇會開始運轉, 此時調整串列板上模擬輸入 PWM duty 的可變電阻, 將輸入 PWM duty 值調整至"PWM in L", 例如上述的例子 PWM in L=5%

5. AP 的下方視窗會顯示出目前風扇的轉速，目前的 PWM 輸出 duty 值，目前的 PWM 輸入 duty 值。如下圖，需等待風扇穩定後，顯示目前風扇轉速為 612RPM，必須接近於 "rpmL" 的值。目前 PWM 輸入 duty 值為 5%，必須相等於 "PWM in L" 的值。目前的 PWM 輸出 duty 值為 6.5%，將 6.5% 的值填入 "PWM Out L"，就完成尋找 "PWM Out L" 的設定值了。



6. 再調整串列板上模擬輸入 PWM duty 的可變電阻，將 PWM duty 值調整至 10% ("Insert N Point" 的第一個輸入 PWM duty 值)，重複步驟 5 的流程，找出相對應於 PWM in=10% 的 PWM_Out 值
7. 重複步驟 5 跟步驟 6 的流程，直到找出所有的 PWM 輸出目標 duty
8. 重新測試新的數據，再作些微調即可

注意: "PWM Out H" 找出來的值若為 100%，若無特別需求，一般不建議設為 100%，避免風扇開機衝的太快，"PWM Out H" 可以設比目標值小 1%~2% 之間。

hysteresis: close loop control 也有遲滯的功能設定，跟 open loop control 模式一樣。

RPM_per_duty: close loop control 時低轉時轉速誤差的容許範圍，建議設定值為最高轉速的 1/1000~2/1000 之間。

C-3:無感啟動參數設定(FAN Sensorless Start)

風扇由靜止狀態要啟動時，必須要克服無反電動勢偵測才能順利的啟動。MF616 稱這過程為風扇的緩啟動(soft-start)，提供 6 組參數來決定緩啟動的力道，時間，...等，在緩啟動的期間，都是使用 open loop 控制，直到緩啟動結束來由程式參數來決定進入 close loop 控制或是 open loop 控制。

FSS_start_duty: 啟動時 PWM 輸出 duty 起始值為 10%

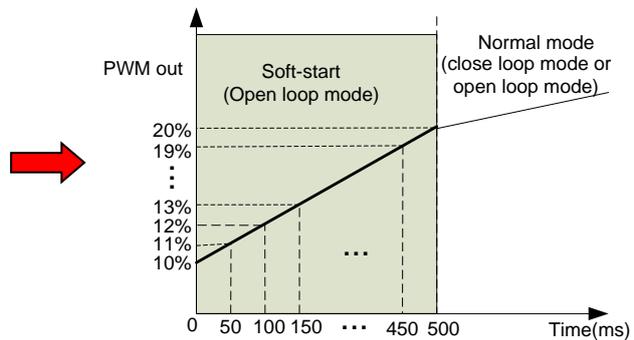
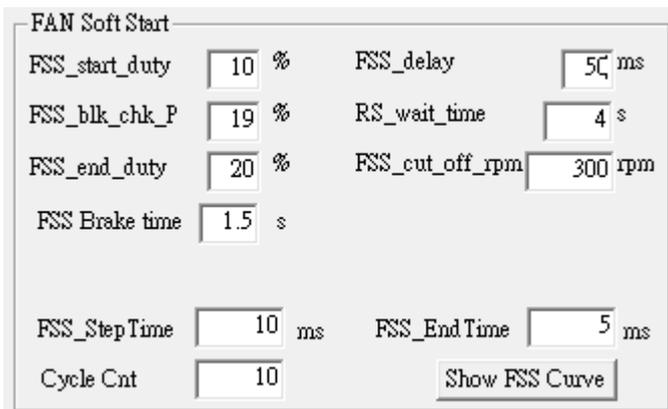
FSS_blk_chp_P: PWM 輸出 duty 超過此設定值後，開始偵測風扇轉速

FSS_end_duty: 當 PWM 輸出 duty 增加至此設定值後，結束緩啟動

FSS_delay: 設定每隔多久時間，PWM 輸出 duty 增加 1%

FSS_cut_off_rpm: 開始偵測風扇轉速後，若風扇轉速低於此設定值，代表風扇堵轉。

RS_wait_time: 當風扇有異常狀態發生(如上述的堵轉情況或是風扇過電流)，風扇會持續重啟這參數所設定的時間，如果失敗將進入省電模式。



上圖緩啟動的參數設定範例，風扇會從 PWM 輸出 10% 的 duty 開始啟動，之後 PWM 輸出每隔 50ms 增加 1%，增加至 19% 時開始偵測風扇轉速，PWM duty 輸出增加至 20% 後，就結束緩啟動模式，進入正常的控制模式。

整個緩啟動所花費的時間為 500ms ($500\text{ms} = (\text{FSS_end_duty} - \text{FSS_start_duty}) * \text{FSS_delay}$)，開始偵測風扇轉速後，若轉速低於 300RPM，則停轉 4 秒的時間，再重新進入緩啟動模式，轉速偵測在正常控制模式下，也會以同樣的參數設定來進行判斷。

在緩啟動前必須先以盲打的方式啟動風扇運轉，這裡提供一組參數來設定

FSS_Step_Time: 啟動時初始 cycle，來盲打讓馬達產生反電動勢。

FSS_End_Time: 暫時沒功能

Cycle Cnt: 設定為 2 時，會關閉堵轉保護功能

FSS Brake time: 暫時沒功能。

C-4:輸出訊號參數設定(Out Signal)

MF616 提供 FG, RD, RRD, RXX, RRXX, ALM, RALM 共 7 種的輸出格式設定.

Out Signal

Out **FG** Pulse

+FG Lock Out Inv

Motor_Poles Direction **Forward**

Ref_max_rpm rpm N_Mos_delay us

FG: 經由 Hall 來得到一個周期的時間，再由 Motor_Poles 跟 Pulse 來做相對比例的計算，再由軟體方式打出 FG 的訊號，風扇停轉時 FG 會輸出 H，所使用的公式如下。

$$FG_{\text{Cycle}} = \text{Hall_Cycle} \frac{\text{Motor_Poles}}{FG_Pulse}$$

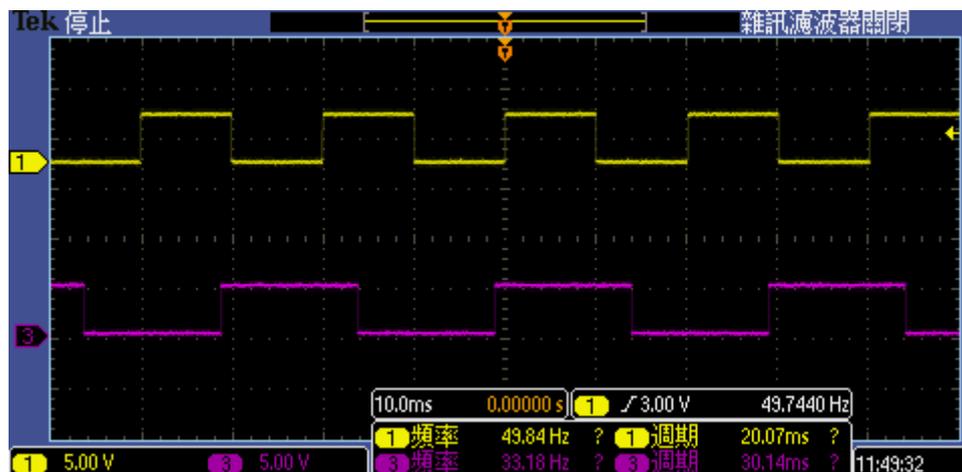
範例一:

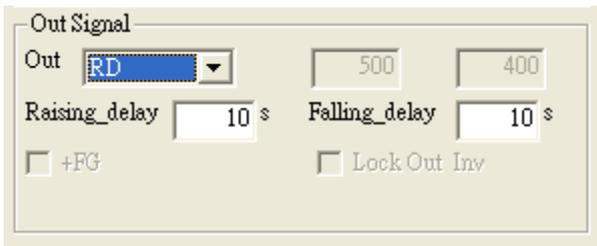
假設我們有一顆 9 槽 6 極的風扇，但我們需要以一圈 2 個 pulse 輸出，要怎麼設定呢？

我們把 Motor_Poles 設定為 6，因為是 6 極風扇，而 Out Signal 的 Pulse 設定為 4，因為要以 1 圈兩個 pulse 做輸出，所以設 4 極。

下圖黃色為 Hall 訊號，紫色為 FG 訊號:

之後我們帶入公式，可以得到 $FG_{\text{Cycle}} = 20.07 \frac{6}{4}$ ，得到 FG 的周期為 30.1，所以我們 IC 就輸出 FG 周期訊號為 30.14。





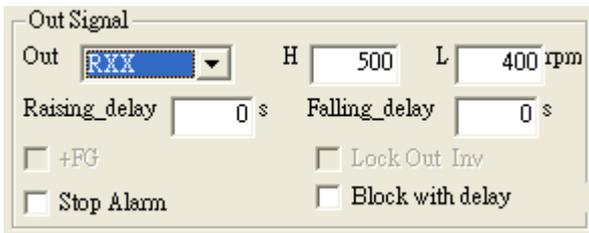
RD: 風扇停轉為 H 準位，風扇有轉動為 L 準位，並有延時設定功能。

Raising_delay: 表示風扇停轉後延時 Raising_delay 才輸出為 H 準位。

Falling_delay: 表示風扇轉動後延時 Falling_delay 才輸出為 L 準位。

RRD: 作用與 RD 一樣，但是輸出訊號格式為 RD 的反相

堵轉時 RD/RRD 會立即反應，沒有延時效果。

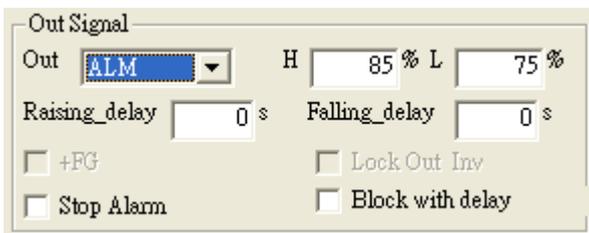


RXX: 風扇轉速低於 "L" 所設定的轉速時並延時 Raising_delay 後輸出 H 準位，風扇轉速高於 "H" 的設定值並延時 Falling_delay 時間後輸出 L 準位。

勾選 **Stop Alarm:** 表示風扇命令為 0 轉時，也看成是低於 "L" 設定值的情況

勾選 **Block with delay:** 表示堵轉時不立即反應，有延時的功能，延時時間跟 Raising_delay, Falling_delay 一致

RRXX: 作用與 RXX 一樣，但是輸出訊號格式為 RXX 的反相



ALM: 跟 RXX 的動作類似，只是將 RXX 的判斷機制由轉速改為轉速的百分比。風扇轉速低於 "L" 所設定的轉速百分比時並延時 Raising_delay 後輸出 H 準位，風扇轉速高於 "H" 的設定轉速百分比時並延時 Falling_delay 時間後輸出 L 準位。

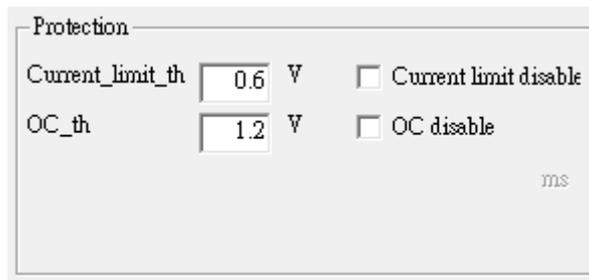
勾選 **Stop Alarm:** 表示風扇命令為 0 轉時，也看成是低於 "L" 設定值的情況

勾選 **Block with delay:** 表示堵轉時不立即反應，有延時的功能，延時時間跟 Raising_delay, Falling_delay 一致

RALM: 作用與 ALM 一樣，但是輸出訊號格式為 ALM 的反相

注意：在開發工程階段時(使用串列版開發),輸出訊號格式的設定並不能進行測試，如要測試，必須產生量產燒錄檔燒入 MF616, 才能進行實際的測試。

C-5:電流保護(Current Protection)



OC_th: 電流超過此設定值，表示過電流發生，風扇會停轉並等待 RS_wait_time 後再重新進入緩啟動模式。

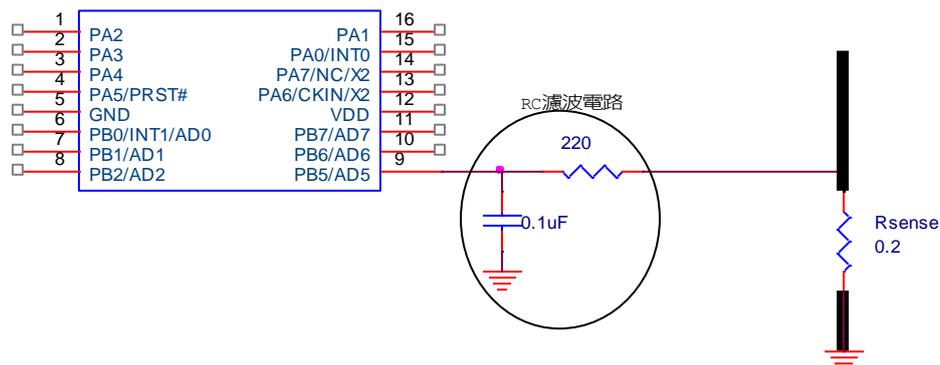
勾選 **OC disable:** 表示將 **OC_th** 的值設定到最大值 2.5V

Current_limit_th: 電流超過此設定值，PWM 輸出會降低約 1%

勾選 **Current limit disable:** 表示將 **Current_limit_th** 的值設定到最大值 2.5V

電流的偵測是透過下圖電路中的 **Rsense** 來做設定，假設 **OC_th** 的設定值為 0.2V，**Rsense** 為 0.2 歐姆，透過 $V=IR$ 的計算可以得出所限制及保護的電流值為 1A ($I=V/R=0.2V/0.2=1A$)。此 1A 為理論上的限流值，實際上由電源端的數據看可能只有 0.5A。**OC_th** 的設定值必須經由實驗值進行微調

(經驗法則: $OC_th = (Rsense+0.1)*(限流值/0.75)$)



電路中另一個需注意的地方為 **RC 濾波電路**，**R** 跟 **C** 的配置過大時，會延緩過電流偵測的時間點。建議以圖中的 **R** 值 (220 ohm) 與 **C** 值 (0.1uF) 為參考值作設計，若需要更換電阻值或是電容值，以 $R1*C1=R2*C2$ 作為計算的基礎：

例如: **R** 值更換為 1K, **C** 值要更換為多少?

$$R1*C1=220*0.1\mu F = R2*C2 = 1K*C2$$

→ $C2=22nF$

C-6:電壓保護(Voltage Protection)

電壓保護總共有兩種保護設定可以選擇:過壓保護(OVP)和欠壓保護。而我們電路也作了遲滯保護功能，避免保護電壓接近臨界值時會一直不斷重啟造成誤動作。

OVP:當偵測的電壓超過此設定值時，表示輸入電壓過高，做風扇保護。

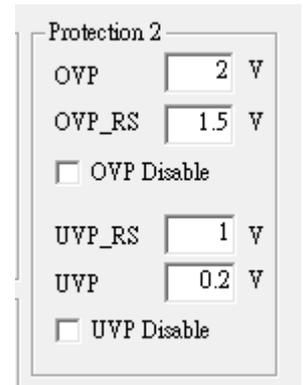
OVP_RS:當發生過壓保護時，電壓低於此設定值，將作重新啟動動作。

OVP Disable:當勾選此設定時，將不作過壓保護動作。

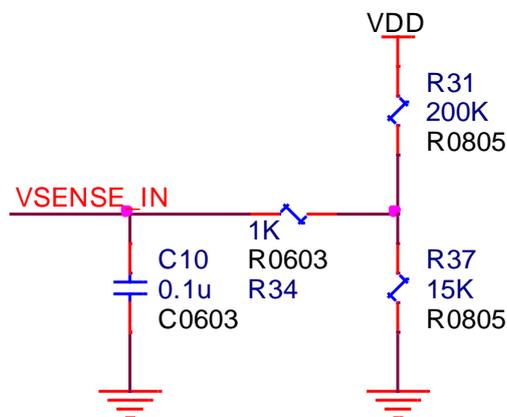
UVP:當偵測的電壓低過此設定值時，表示輸入電壓過低，做風扇保護。

UVP_RS:當發生低壓保護時，電壓高於此設定值，將作重新啟動動作。

UVP Disable:當勾選此設定時，將不作欠壓保護動作。



Protection 2	
OVP	2 V
OVP_RS	1.5 V
<input type="checkbox"/> OVP Disable	
UVP_RS	1 V
UVP	0.2 V
<input type="checkbox"/> UVP Disable	



電路中，還有需要注意的地方是 RC 濾波電路(C10、R34)，R 跟 C 如果配置過小會導致偵測的雜訊過大，容易產生誤判，建議以電路圖中的 R(1k ohm)、C(0.1uF)來參考設計，如果需要更改電阻電容的話以 $R1 \cdot C1 = R2 \cdot C2$ 作為計算的基礎。

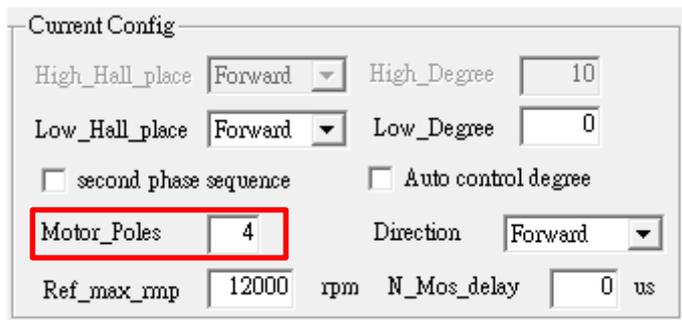
以上圖為例，如果需要 R34 更改為 10k ohm，那 C10 要為多少?

$$0.1\mu \times 1k = C5 \times 10k$$

$$C10 = 0.01\mu F$$

C-7:極數(Motor Poles)

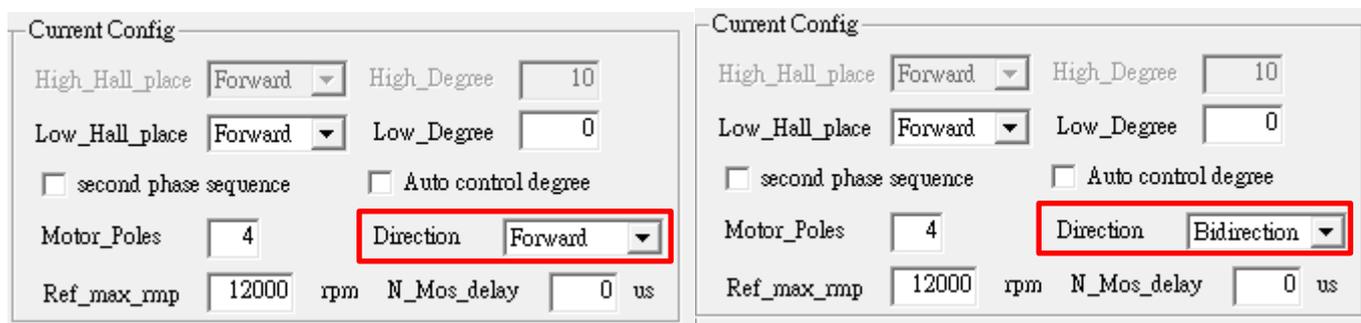
Motor_Poles 為馬達極數的設定。設定錯誤會有轉數差異過大的情況。



The screenshot shows the 'Current Config' window with the following settings: High_Hall_place: Forward, High_Degree: 10, Low_Hall_place: Forward, Low_Degree: 0, second phase sequence: unchecked, Auto control degree: unchecked, Motor_Poles: 4 (highlighted with a red box), Direction: Forward, Ref_max_rmp: 12000 rpm, N_Mos_delay: 0 us.

C-8:正反轉設定(Direction)

Direction 參數為下拉式選單用來控制正反轉功能的設定，如左下圖，當選擇 Forward 時為正轉功能，當選擇 Bidirection 時為反轉功能。



The left screenshot shows the 'Current Config' window with the following settings: High_Hall_place: Forward, High_Degree: 10, Low_Hall_place: Forward, Low_Degree: 0, second phase sequence: unchecked, Auto control degree: unchecked, Motor_Poles: 4, Direction: Forward (highlighted with a red box), Ref_max_rmp: 12000 rpm, N_Mos_delay: 0 us. The right screenshot shows the same window with the following settings: High_Hall_place: Forward, High_Degree: 10, Low_Hall_place: Forward, Low_Degree: 0, second phase sequence: unchecked, Auto control degree: unchecked, Motor_Poles: 4, Direction: Bidirection (highlighted with a red box), Ref_max_rmp: 12000 rpm, N_Mos_delay: 0 us.

Rest_time 目前無實現功能，只能填 0.1~2.5 區間數值。

C-9: Hall 提前落後：固定模式

當需應用在 Hall 提前落後的固定模式時，需要把 Auto control degree 給取消勾選，以下介紹固定模式的調整方式。

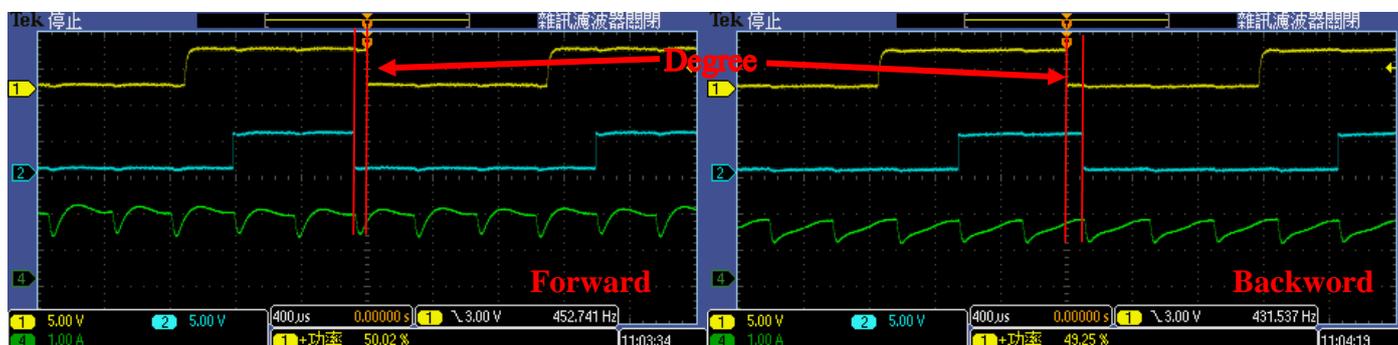
風扇的電流波形通常會影響到噪音跟震動表現，我們可以透過 Hall 擺放位置來調整電流波形，下圖是模擬 Hall 擺放位置提前或落後功能。

Low_Hall place:來設定 Hall 擺放要提前還是落後，Forward 為提前，Backword 為落後。

Low_Degree:來設定擺放的角度，最大值為 60 度。計算公式如下

$$\text{Degree delay} = \frac{\text{Hall cycle}}{6} \times \frac{\text{Degree}}{60}$$

以下圖為例，黃色為 Hall 訊號、藍色為上臂、綠色為波形，當設定為提前時，上臂會提前時間(Degree)來做換相動作，設定落後時會落後時間(Degree)來做換相動作。



之後來依照風扇的性能來調整到最佳位置，下圖分別為提前 15 度、無提前落後和落後 15 度的波形。

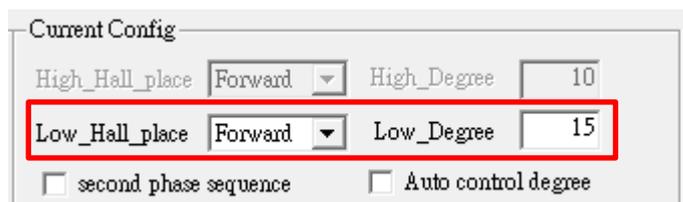


下圖為 Hall 角度提前落後流程圖，我們會先做緩啟動(Hall 無提前落後)，之後再做角度的提前或落後。



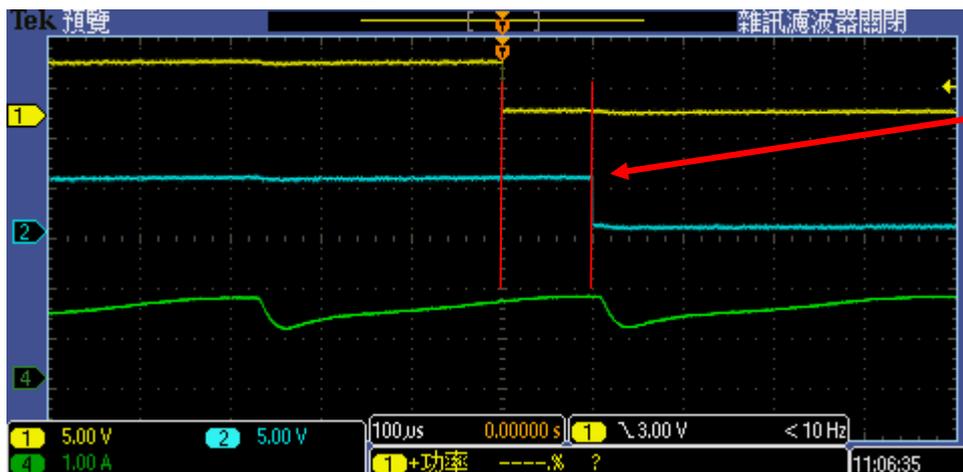
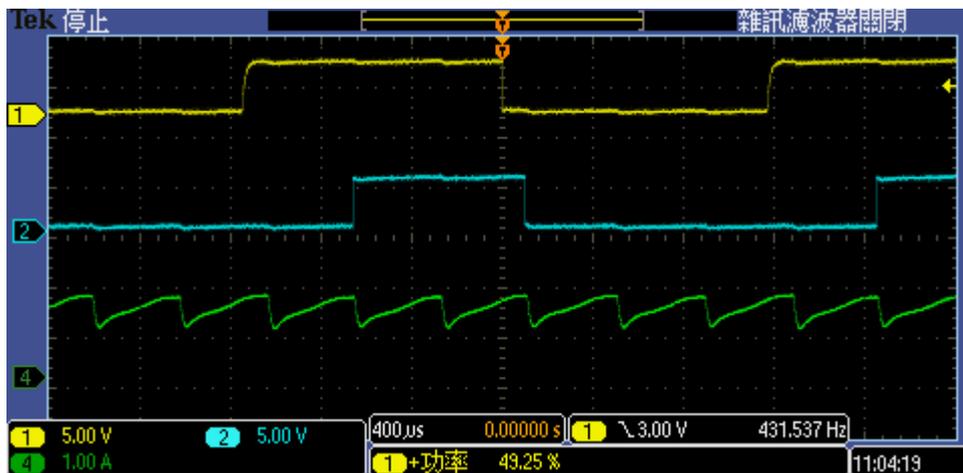
範例 1:

當我們設定如右圖 Hall place 為落後(Backword)，Degree 為 15 度時，以下圖為落後 15 度的波形圖，可以得知 Hall cycle 約為 2400us，套用公式來算得到:

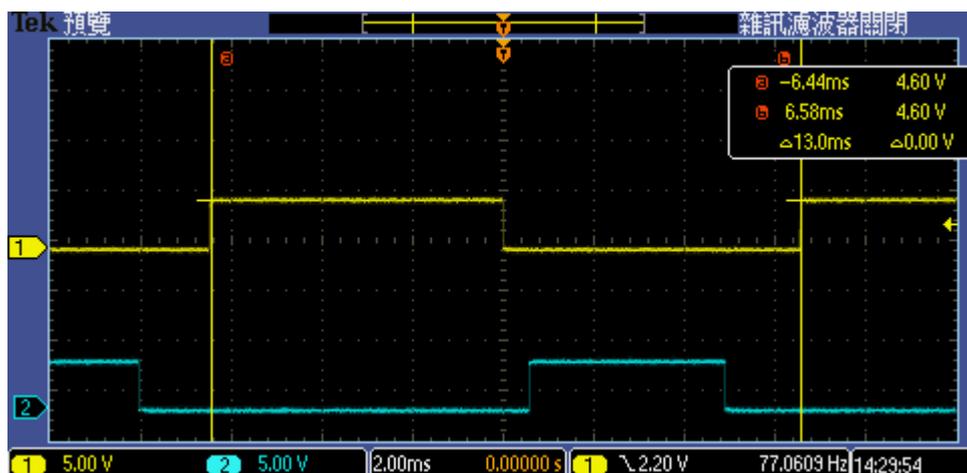


$$\text{Degree delay} = \frac{2400}{6} \times \frac{15}{60} = 100$$

計算數值為 100us，我們可以看到放大的圖實際 delay 也是 100us。

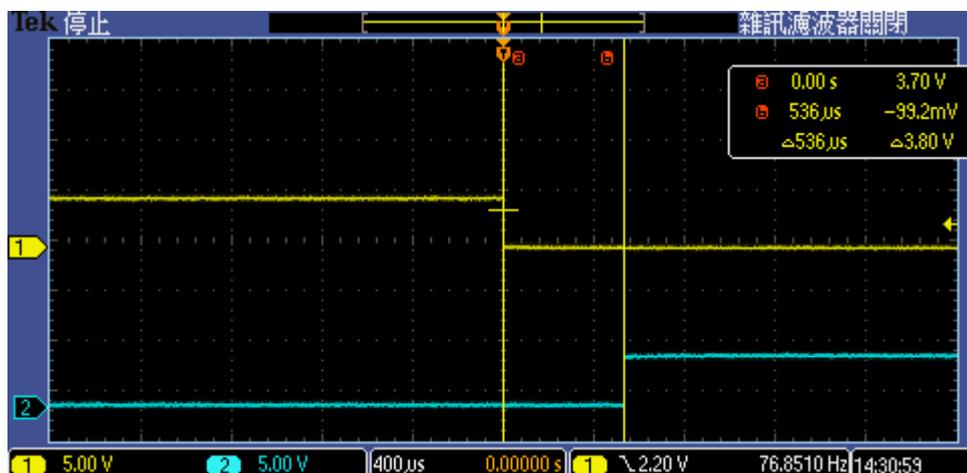


再來同樣是角度落後 15 度，Hall 週期不同時間為 13ms，如下圖，黃色為 Hall 訊號，藍色為上臂訊號。



我們把公式套入可以得到如下：

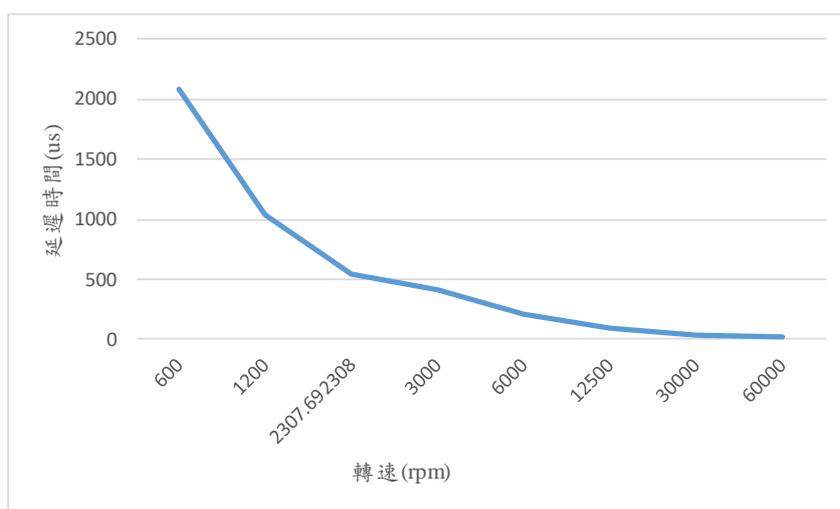
$$\text{Degree delay} = \frac{13000}{6} \times \frac{15}{60} = 541.6667$$



實際得到的數值約為 536us，誤差約 5us。

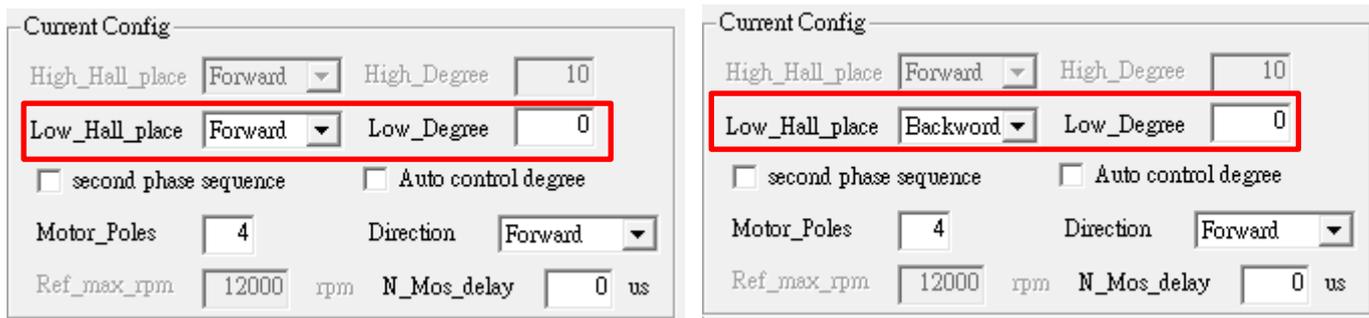
最後，我們可以歸納出下表，當轉速越慢，延遲時間越久，轉速越快，延遲時間越短。

角度	15							
轉速 (rpm)	600	1200	2307.69	3000	6000	12500	30000	60000
Hall週期(us)	50000	25000	13000	10000	5000	2400	1000	500
延遲時間(us)	2083.33	1041.67	541.667	416.667	208.333	100	41.6667	20.8333

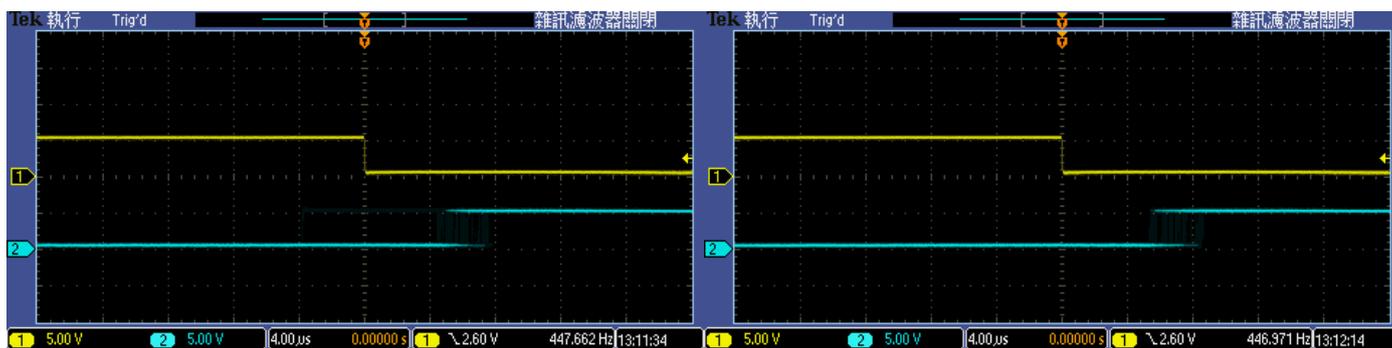


範例 2:

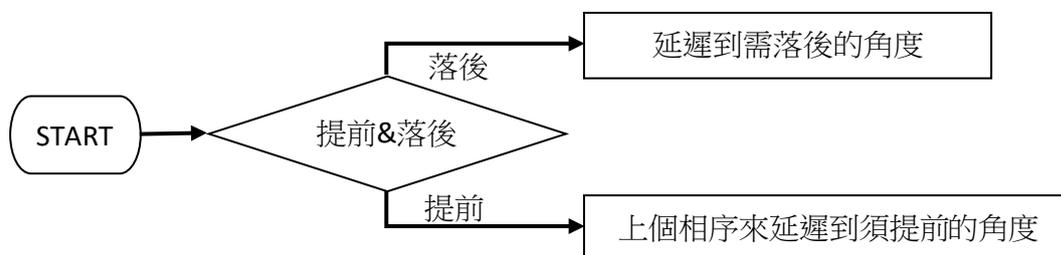
假如我們要使風扇 Hall 擺放位置不做提前或延後時，有兩種分別為提前 0 度跟落後 0 度，如下圖。



當設定為 0 度時，並非真正無延遲轉換，程式會需要幾微秒的時間做判斷，當設落後 0 度時，約要 5~9us 時間才會做換相動作，而設定提前 0 度時，約要 0~7us 時間來做換相動作，兩者差距約為 2~5us。下圖為提前 0 度(左圖)和落後 0 度(右圖)的波形圖。

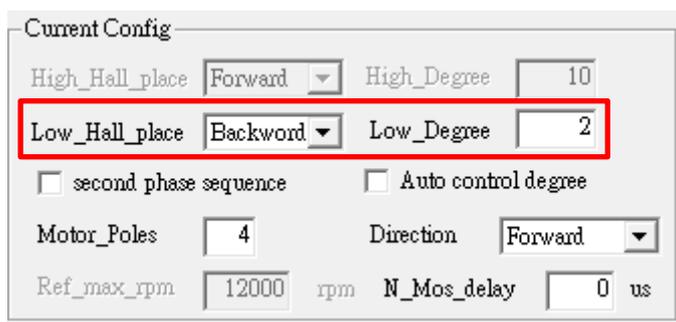


會造成這個差距主要是兩者的計算方式不同，如下流程圖，如果設定落後 0 度，動作為延遲到需落後的角度時間，這樣設 0 度就會有程式判斷的延遲，而如果設定為提前 0 度，則是以上一個相序來延遲 60 度的時間，這樣會比較少時間來達到換相的動作。



範例 3:在不同轉速狀況下，理論與實際誤差下的差別。

因為程式的運算能力有限，所以在輸入數值與輸出會有一些差別，以下圖為例，設定為正轉，落後角度 2 度。



如下表，我們可以得知如下表，可以發現，實際延遲會多出理想延遲 20us 左右時間(在低轉速狀況下)，

而到達高轉速時，延遲時間會固定在 17us 左右，是因為程式上需要判斷指令時間加延遲時間，所以達到一定轉速的高度，延遲時間就固定。

延後2度比較										
Duty	5	10	30	40	50	60	70	80	90	100
轉速(rpm)	428.5714	1094.891	4934.211	6224.066	7462.687	8823.529	9868.421	10416.67	11363.64	12295.08
Hall半個週期	35000	13700	3040	2410	2010	1700	1520	1440	1320	1220
理想Delay(us)	388.8889	152.2222	33.77778	26.77778	22.33333	18.88889	16.88889	16	14.66667	13.55556
實際Delay(us)	400	164	40	31.8	29.5	25.9	21.3	17.3	17.5	17.7
理想1度須Delay(us)	194.4444	76.11111	16.88889	13.38889	11.16667	9.444444	8.444444	8	7.333333	6.777778
誤差	2.857143	7.737226	18.42105	18.75519	32.08955	37.11765	26.11842	8.125	19.31818	30.57377

再來以最高轉速來看，實際延遲可能快要三度，所以下面表格做延遲 0~31 度的比較，可以看到實際延遲會比理想多出 0.5~1 度的延遲時間。

落後0~15度																
理想落後角度	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
轉速(rpm)	12195.12	12195.12	12195.12	12195.12	12195.12	12195.12	12195.12	12195.12	12195.12	12195.12	12096.77	12096.77	12096.77	12096.77	12096.77	12000
Hall半個週期	1230	1230	1230	1230	1230	1230	1230	1230	1230	1230	1240	1240	1240	1240	1240	1250
理想Delay(us)	0	6.833333	13.66667	20.5	27.33333	34.16667	41	47.83333	54.66667	61.5	68.88889	75.77778	82.66667	89.55556	96.44444	104.1667
實際Delay(us)	8	12.8	17.5	24.2	31.7	39.7	46.2	53.8	60.2	67.8	74.2	80.2	89.4	95.4	100	108
實際落後角度	1.170732	1.873171	2.560976	3.541463	4.639024	5.809756	6.760976	7.873171	8.809756	9.921951	10.77097	11.64194	12.97742	13.84839	14.51613	15.552
落後16~31度																
理想落後角度	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
轉速(rpm)	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000
Hall半個週期	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250
理想Delay(us)	111.1111	118.0556	125	131.9444	138.8889	145.8333	152.7778	159.7222	166.6667	173.6111	180.5556	187.5	194.4444	201.3889	208.3333	215.2778
實際Delay(us)	115	122	129	135	143	149	155	160	167	175	183	188	195	201	209	214
實際落後角度	16.56	17.568	18.576	19.44	20.592	21.456	22.32	23.04	24.048	25.2	26.352	27.072	28.08	28.944	30.096	30.816

下表是提前 0~15 度的比較，可以看到實際數值會提前 2.5~3 度左右的提前時間

提前0~15度																
理想落後角度	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
轉速(rpm)	12195.12	12396.69	12295.08	1170	12500	12500	12500	12500	12711.86	12711.86	12820.51	12820.51	12931.03	13043.48	13043.48	13157.89
Hall半個週期	1230	1210	1220	1200	1200	1200	1200	1200	1180	1180	1170	1170	1160	1150	1150	1140
理想Delay(us)	0	6.722222	13.55556	20	26.66667	33.33333	40	46.66667	52.44444	59	65	71.5	77.33333	83.05556	89.44444	95
實際Delay(us)	-4.68	-4	0	4	7.72	12	18.5	27.3	33.7	41.9	48.3	53.1	57.9	64.6	71.4	79
實際落後角度	-0.68488	-0.59504	0	0.6	1.158	1.8	2.775	4.095	5.140678	6.391525	7.430769	8.169231	8.984483	10.1113	11.17565	12.47368

C-10:Hall 提前落後：自動調整模式

在風扇低轉速時，如果使用固定模式的話，會因為設定太超前導致電流落後根據電感電流公式，當轉速越小電流相位落後越小，當轉速越快，電流的相位落後越大，所以在低轉時，不需要提前太多，如果提前太多會導致風扇效率不好。

$$I_L = \frac{V}{j\omega L} \quad \omega = 2\pi f$$

Current Config			
High_Hall_place	Forward	High_Degree	10
Low_Hall_place	Backword	Low_Degree	5
<input type="checkbox"/> second phase sequence		<input checked="" type="checkbox"/> Auto control degree	
Motor_Poles	4	Direction	Forward
Ref_max_rpm	12000 rpm	N_Mos_delay	0 us

Auto control degree:選擇是否開以自動調整模式，打勾為開啟，未勾為關閉。

Low_Hall place:在低轉速下 Hall 的擺放位置。

Low_Degree:在低轉速下，Hall 的角度位置，最大值為 60 度。

High_Hall place:在高轉速下 Hall 的擺放位置。

High_Degree:在高轉速下，Hall 的角度位置，最大值為 60 度。

Ref_max_rpm:參考的最高轉速。

注意!Low_Degree 的值不能超過 High_Degree

例句 1:Low_degree 設定 backword 0 度、High_degree 設定 forward 0 度 => 可以

例句 2:Low_degree 設定 forward 0 度、High_degree 設定 forward 0 度 => 可以

例句 3:Low_degree 設定 forward 1 度、High_degree 設定 forward 0 度 => 不可以

例句 4:Low_degree 設定 backword 1 度、High_degree 設定 backword 0 度 => 可以

當使用自動調整 Hall 角度時，我們會以**內差法**的方式來去取得每個轉速下需要補償的角度為多少

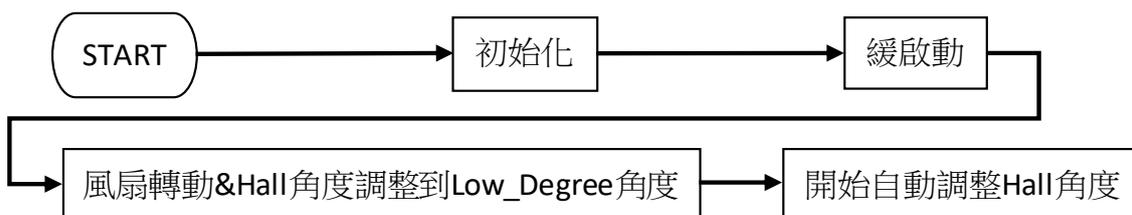
$$\text{Hall_degree} = \left(\frac{\text{Hall 角度範圍}}{\text{Ref_max_rpm}} \right) \times \text{當前轉速}$$

Hall 角度範圍公式如下，當擺放位置為相同方向時(不管是 Forward 或者 backword)，兩者做相減的動作，而兩個擺放位置不同時做相加的動作。

$$\text{Hall 角度範圍} = |\text{High_degree} \pm \text{Low_degree}|$$

所以假設說，我們設定 High_Hall_place、Low_Hall_place 都是 Forward，High_Degree 為 11、Low_Degree 為 1、Ref_max_rpm 為 10000，假設我們目前轉速為 1000rpm，所以套用上面公式可以得到需要補償的角度公式為 $\left(\frac{|11 - 1|}{10000} \right) \times 1000 = 1$ ，ic 就會把角度調整為超前 2 度。

下圖為風扇自動調整 Hall 角度流程圖，IC 會先緩啟動結束後調整到 Low_Degree 的角度，再來開始調整 Hall 的角度



範例說明 1

我們設定 High_Hall_place 為 Forward、High_Degree 為 10、Low_Hall_place 為 Backword、Low_Degree 為 20 和 Ref_max_rpm 為 10000 來做馬達的運轉。

我們馬達現在轉速為 1000rpm，實際的 Hall 擺放位置為多少呢？

我們套入公式可以得到 Hall 補償角度 $=(|10+20|/10000) \times 1000$ ，而 High_Degree 跟 Low_Degree 為不同位置，所以角度相加，算出來的結果值為 3，所以馬達會自動調整到位置為 Backword、角度為 17 度(從落後 20 度補償 3 度)。

Current Config			
High_Hall_place	Forward	High_Degree	10
Low_Hall_place	Backword	Low_Degree	20
<input type="checkbox"/> second phase sequence		<input checked="" type="checkbox"/> Auto control degree	
Motor_Poles	4	Direction	Forward
Ref_max_rpm	10000 rpm	N_Mos_delay	0 us

範例說明 2

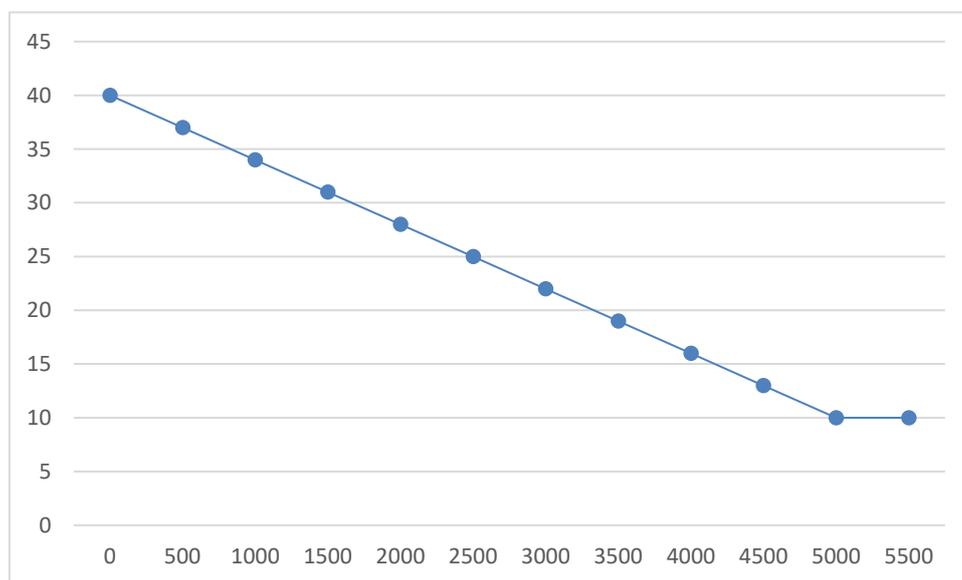
我們設定 High_Hall_place 為 Backword、High_Degree 為 10、Low_Hall_place 為 Backword、Low_Degree 為 40 和 Ref_max_rpm 為 5000 來做馬達的運轉。

我們馬達現在轉速為 7000rpm，實際的 Hall 擺放位置為多少呢？

我們套入公式可以得到 Hall 補償角度 $=(|10-40|/5000) \times 7000$ ，而 High_Degree 跟 Low_Degree 為相同位置，所以角度相減，算出來的結果值為 42，因為算出來的結果大於角度的範圍(10-40)，所以值為角度的最大範圍 30，所以馬達會自動調整到位置為 Backword、角度為 10 度(從落後 40 度補償 30 度)。

Current Config			
High_Hall_place	Backword	High_Degree	10
Low_Hall_place	Backword	Low_Degree	40
<input type="checkbox"/> second phase sequence		<input checked="" type="checkbox"/> Auto control degree	
Motor_Poles	4	Direction	Forward
Ref_max_rpm	5000 rpm	N_Mos_delay	0 us

下圖為範例二的參數下每個實際轉速得到的 Hall 角度是多少，可以看到我們把 Ref_max_rpm 設定為 5000 時，會從 0~5000 拉出一條線性的圖出來，當超過 Ref_max_rpm 所設定的值時將維持一樣的角度。

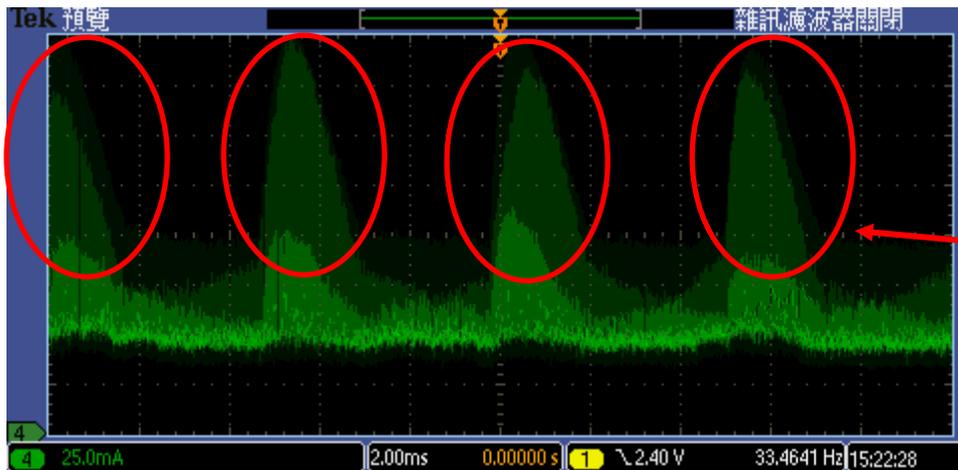


所以總結一下注意事項：

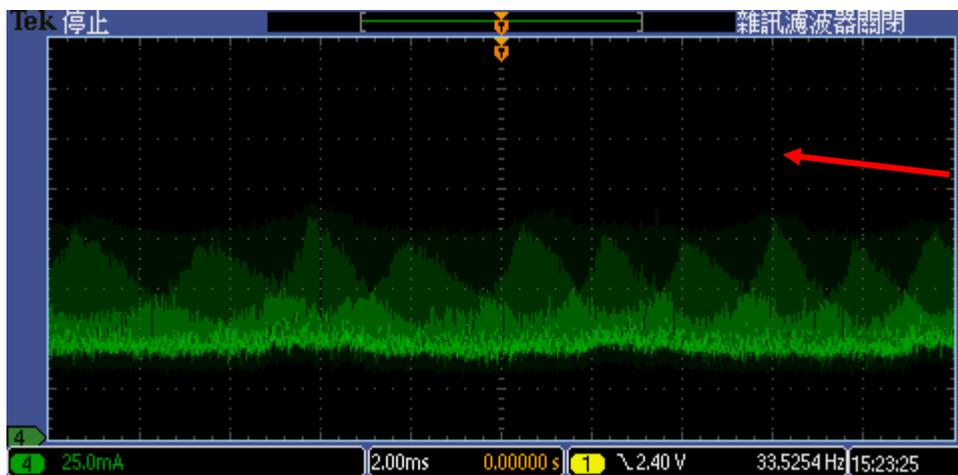
- 1.角度範圍計算會因為 High_Hall_place 跟 Low_Hall_place 不同，而計算方式不同。
- 2.當計算超過範圍時將以最大角度範圍作為補償角度。

實際使用說明:

假設我們要調整一組風扇，如果以固定模式下調整 Hall_Degree 為 0，我們可以看到在低轉速下電流會有微翹的情況發生，這代表說調整太超前了在低轉的時候需要落後，如下圖

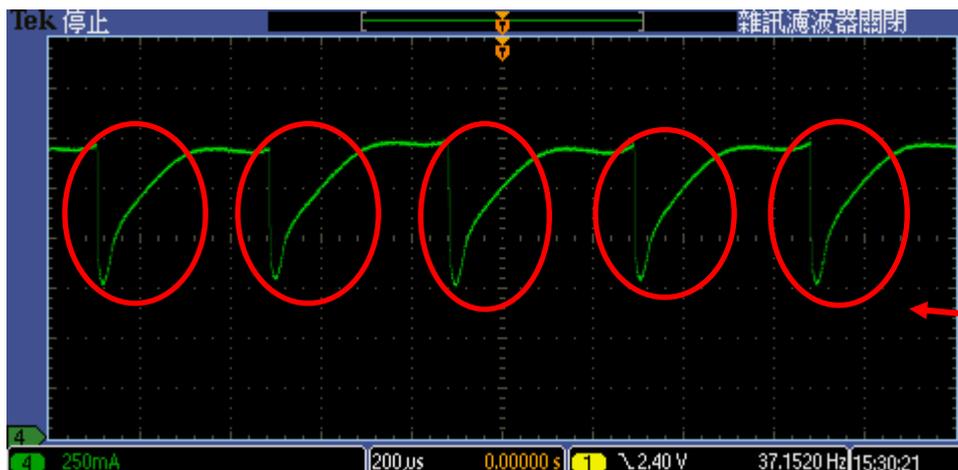


Hall_degree 為 0 度
用高轉速調整好的 Hall 角度，在低轉時會太過超前

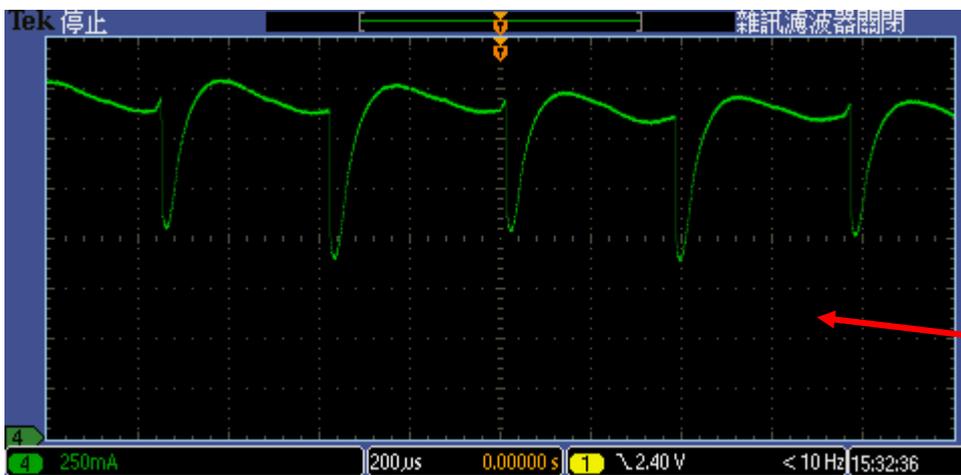


Hall_degree 為 40 度
使用自動調整 Hall 角度來降低電流，讓角度不要太超前

但如果以低轉速 Hall_degree 的 40 度角度來設定會導致在全轉的狀況下電流波形不漂亮，效率不好，所以在高轉速時 Hall_degree 要 0 度才能有好的效率，如下圖



Hall_degree 為 40 度
低轉速雖然可以達到良好效率，但在高轉時會太過落後



Hall_degree 為 0 度
 使用自動調整 Hall 角度來調整電流，讓角度不要太落後

所以說，我們就可以用自動調整角度功能，如下圖，來達到低轉時別太超前，高轉時需要超前補償

Current Config

High_Hall_place Forward High_Degree 0

Low_Hall_place Backword Low_Degree 40

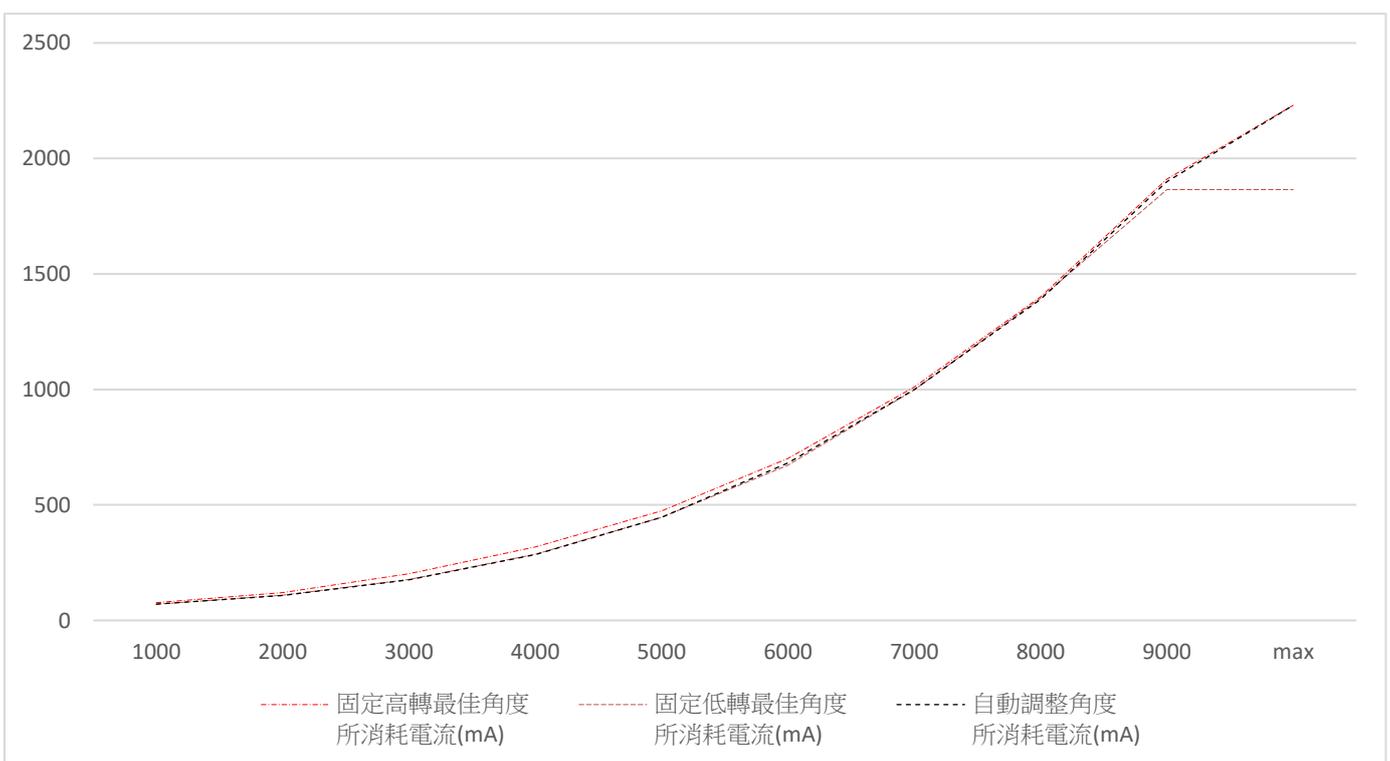
second phase sequence Auto control degree

Motor_Poles 4 Direction Forward

Ref_max_rpm 14000 rpm N_Mos_delay 0 us

下表為風扇實際應用，在相同的環境下不同設定方式所呈現的結果，可以看到如果使用固定角度會導致高轉或低轉的效率不佳，而使用自動調整可以達到兩者兼具的優點。

轉速(rpm)	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	max	最高轉速(rpm)
固定高轉最佳角度所消耗電流(mA)	77	121	202	318	475	701	1010	1400	1910	2230	9560
固定低轉最佳角度所消耗電流(mA)	70	109	177	286	447	672	998	1395	1865	1865	8993
自動調整角度所消耗電流(mA)	70.6	108	176	285	447	681	999	1389.9	1900	2230	9560



D:備註

D-1:補充說明&注意事項:

1.IC 內部保護功能

- a.電壓保護(UVP、OVP)。
- b.過電流保護(OCP)。
- c.堵轉保護。

2.使用 ENG Chip 時，**不需要而外再拉出 PWM_IN 訊號線出來**，因為 IC 內部已經把訊號給反轉了。

D-2: 改版歷史

正式版 版別	發行日期	修正項目/備註
MF616_R51_00	2020/05/19	1. 新增 sine mode。 2. 修正電壓保護偵測時間，取樣時間 100us/次->1ms/次
MF616_R50_00	2020/04/06	初版發行