



BLDC 設計活動作品報告書

團隊：轉動未來

作品：電動捲簾驅動器

日期：110 年 07 月 19 日

目錄

一、計畫內容.....	4
1.1 專案背景及目的.....	4
1.2 專案作品規格.....	5
二、捲簾應用系統介紹.....	6
2.1 系統規劃及架構說明.....	6
2.2 捲簾機構設計.....	7
三、馬達驅動器設計.....	9
3.1 BLDC 馬達參數.....	9
3.1.1 馬達電氣參數.....	9
3.1.2 Hall-effect sensor 訊號對位與接線.....	9
3.2 BLDC 控制器設計.....	10
3.2.1 BLDC Drive 系統架構.....	10
3.2.2 IMC-101T 周邊線路設計.....	11
3.2.4 IMC-101T 參數設計.....	13
3.2.5 S-curve 控制.....	14
3.2.6 Script 程序流程圖.....	16

3.3 無線功能設計.....	16
3.3.1 無線模組系統架構.....	17
3.3.2 無線模組控制功能.....	18
3.3.3 APP 介面規劃.....	20
四、系統性能評估.....	21
4.1 捲簾機實體成果.....	21
4.2 驅動器測試波形.....	22
4.2.1 相電流與電流相位.....	22
4.2.2 效率.....	23
4.2.3 加/減速時間.....	24
4.2.4 最低轉速控制.....	25
4.3 控制卡線路圖與零件表.....	26

一、計畫內容

1.1 專案背景及目的

根據 IEA 國際能源總署統計—馬達用電佔據全球用電量高達 46%，因應節能需求與自動化工廠、智慧建築發展趨勢，全球馬達市場規模預測約每年達到 6~7%趨勢持續成長。各廠商紛紛投入研發高效可控的 BLDC 馬達與驅動器方案，投入各個新領域應用場合(ex. 智慧建築/工廠)與逐漸取代上世代的解決方案(ex. 氣動/柴油引擎手工具、農具...)。基於整體市場的趨勢，也鑒於明緯近年跨入智慧建築等應用，由 manufacturer 轉成為 solution provider 的角色，未來跨足 BLDC drive 市場將可大幅擴展明緯在電源解決方案上的深度與廣度。

BLDC 馬達具有高效率、小型化與可控制(變頻)的特性，傳統 AC 單相感應馬達的效率約 40~60%，使用 BLDC 則可提升至 70%以上。然而 BLDC 必須搭上適配的驅動器才可驅動，成本也較感應馬達高。也因此必須推出高性價比、高效率的 BLDC drive 在市場取得競爭力。

本專案實作一個可搭配 WIFI 通訊的 BLDC 驅動器，具備寬轉速範圍操作，並且搭配低成本的 Hall-effect digital sensors 的 BLDC 馬達，應用於電動捲簾機系統中。此外本專案作品搭配 FOC 架構達到適當的電流控制，使 BLDC 在不同機械負載下可使用相對較小的電流驅動，降低 BLDC drive 的功率損耗。並且在控制功能方面提供可控制正/反轉的轉速設定功能，提供使用者以外部電壓進行調速應用；轉矩限制功能提供輸出轉矩調整，對於不要求瞬時高轉矩輸出的應用，可藉由軟體調整轉矩限制大小，來得到更平滑的加速效果，亦能避免過大的轉矩輸出所產生的應力，導致負載失效或損壞。

1.2 專案作品規格



圖 1 BLDC-300 搭配無線模組與外置天線



圖 2 大廳展示布幕升降控制應用

表 1 捲簾機專案規格

驅動器效率	93%@300W(drive output)
馬達效率	80%@250W(motor output)
額定電流	1.2Arms
加/減速時間	<1.5 sec (靜止加速至額定 1200 RPM@no-load)
最大驅動電流	200%額定電流可持續 5 sec
轉速控制範圍	100~1200 RPM
轉速調節率	<+/-1.5%(額定轉速)
軟體設定功能	1. 輸出轉矩限制(預設 200%Io(rated)) 2. S-curve 轉速緩啟動功能
驅動器功能	1. 轉速控制及轉矩限制 2. 正反轉控制 3. 簡易加減速 S-curve 控制 4. WIFI 遠端監控 5. 應用：大廳展示布幕升降控制(圖 2)

二、捲簾應用系統介紹

2.1 系統規劃及架構說明

本專題除實作 BLDC 控制方法外，並搭配捲簾系統的運動模式設計馬達控制參數與機構，發展捲簾機的 BLDC 控制系統，並搭配使用 WIFI 模組與 APP，可對 BLDC 驅動器進行變頻控制、開/關機等功能，達成遠端控制捲簾之目的。圖 3 為專題提出之系統架構圖。

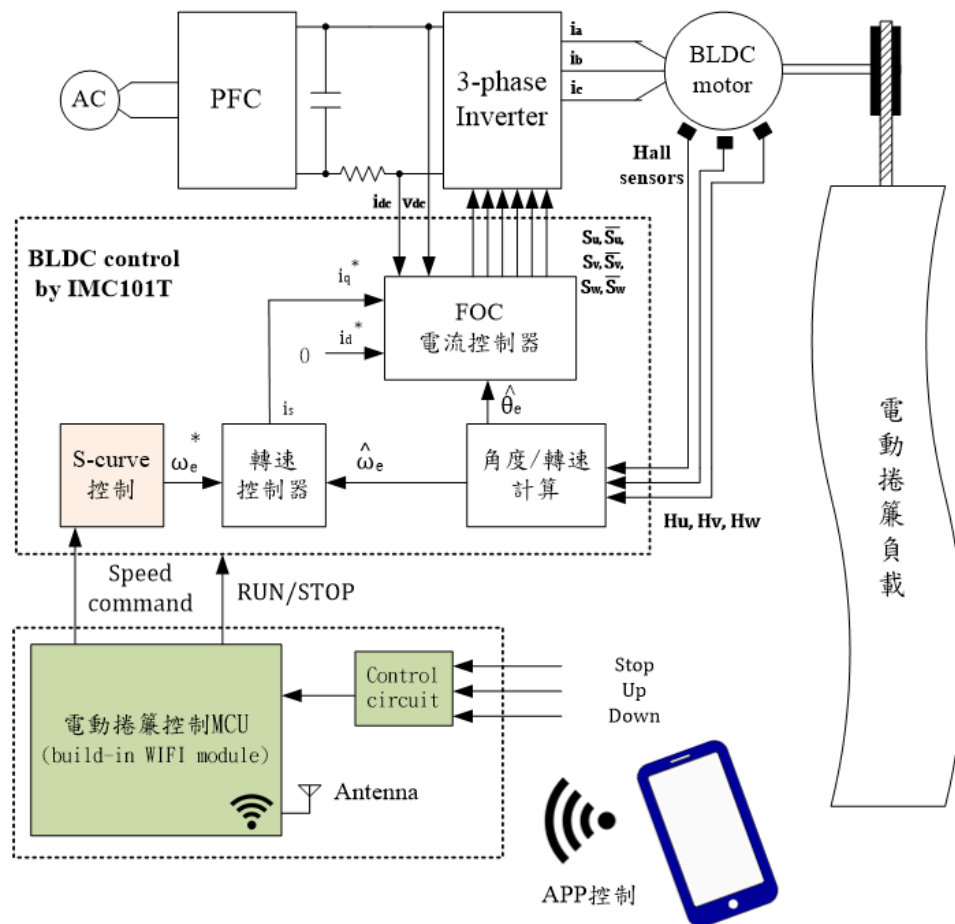


圖 3 電動捲簾控制系統圖

2.2 捲簾機構設計

為快速驗證所提電動捲簾控制策略，因此購置捲揚機成品與懸吊機構及惰輪進行組立，如圖 4；圖 5 為 BLDC 搭配驅動器(BLDC-300)之組立實體，主要組成部件及其功能如表 2。

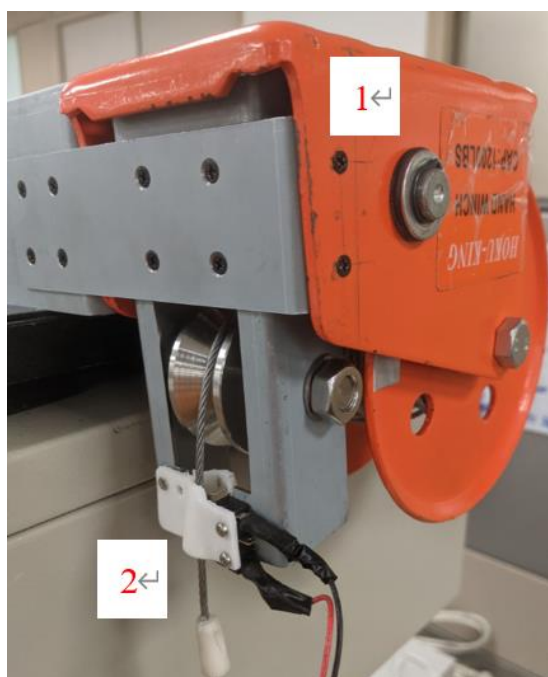


圖 4 捲揚機本體與限制微動開關

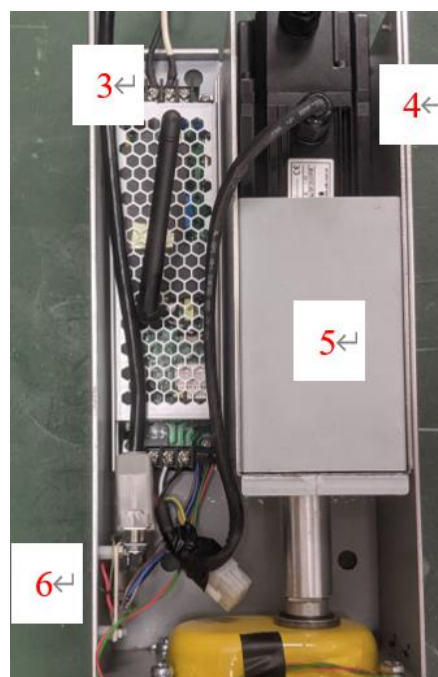


圖 5 BLDC 及驅動器(BLDC-300)模組

表 2 BLDC 捲簾機構的主要元件功能說明

項目	名稱	說明
1	捲揚機	將鋼索捲收與下放
2	微動開關	限制鋼絲捲收線長，當鋼索收至碰觸到微動開關可觸發 BLDC-300 停機
3	BLDC-300	BLDC drive
4	野力 YBL-6S-148	動力馬達，帶動捲簾機運轉
5	聚聖 MF60X-L1-3	配合捲簾機低速應用，減速比 3
6	Hall-effect sensor 轉換介面	馬達輸出之 Hall-effect sensor 位置訊號與 BLDC-300 間的電氣轉換介面

圖 6 捲簾卷軸的負載需求轉矩計算，其中捲簾重量為 10kg 可由轉軸半徑(0.02m)計算出需求轉矩為

$$T_{load} = 10 * 9.8 * 0.02 = 1.96 \text{ (N-m)} \quad (1)$$

馬達減速機與捲揚機的減速比個別為 4.2 與 3，總減速比 m 為 12.6，減速機構之合併減速比與換算理想條件下入力軸(馬達輸出至機構端)所需扭力 T_{input} 為約為 0.156Nm

$$m = 4.2 * 3 = 12.6 \quad (2)$$

$$T_{input} = \frac{1.96}{12.6} = 0.156 \text{ (N-m)} \quad (3)$$

捲簾機鋼絲升降速度需求約 0.2m/s，推算馬達轉速 N_{input} 為 1200RPM 左右

$$N_{input} = \frac{0.2}{0.02 * 2\pi} * 60 * 4.2 * 3 = 1203 \text{ (RPM)} \quad (4)$$

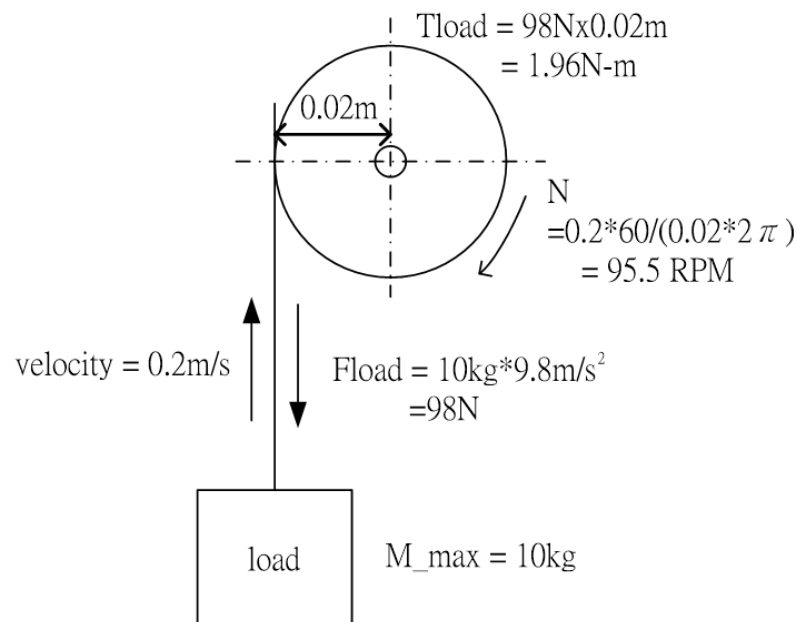


圖 6 捲簾卷軸機構負載計算(不含減速機構)

三、馬達驅動器設計

3.1 BLDC 馬達參數

本節說明馬達的基本參數與其參數測量結果，與三相霍爾訊號的量測方式。作為 BLDC 驅動器的設計依據。

3.1.1 馬達電氣參數

馬達相關電氣參數根據野力原廠提供資料如下，BLDC 相關控制參數根據下表 3 進行設計。

表 3 BLDC 參數量測表

參數	數值	單位
極數 Poles	8	-
反電勢常數 K_e	0.1815	Vrms(ϕ)-s/rad
等效 d 軸電感 L_d	0.0106	H
等效 q 軸電感 L_q	0.0107	H
轉矩常數 K_t	0.5444	N-m/A
相電阻 R_s	3.5	Ω

3.1.2 Hall-effect sensor 訊號對位與接線

本專題使用三相 Hall-effect sensor 訊號作為馬達轉軸角度位置的依據，使 FOC 控制時能將電流控制於與反電勢同相位，亦即定轉子磁場正交，將電能有效轉化為機械能。因馬達廠商一般不會主動提供 Hall-effect sensor 訊號與反電勢的相位關係，故需實際量測 Hall 訊號相位，才能與馬達驅動器匹配使用。

專題依控制 IC—IMC-101T 定義的反電勢與 Hall-effect sensor 位置訊號相位關係，並確認實際馬達三相反電勢與 Hall 訊號的關係與驅動器定義一致才可啟動。圖 8 為 IMC101T 的 Hall-effect sensors 訊號定義，其 UV 線對線反電勢與 Hall1 在正相序下的相位關係，Hall1 落後 UV 線反電

勢 150 度，另控制 IC 定義輸入的位置訊號 Hall1~3 各相差 120 度。以主動式負載帶動待測馬達 (正轉)，實測馬達 HallU~W 信號與 UV 反電勢如圖 9。可知實際驅動器 Hall1 應接至 HallW 才可對應至驅動器定義之相位關係，依相位相差 120 度關係定義 Hall2 接 HallV，Hall3 接 HallU。

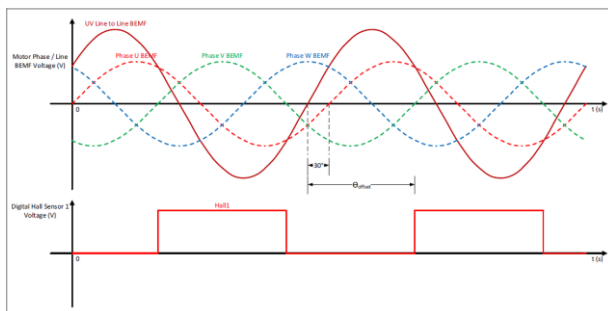


圖 8 IMC101T Hall signal 與 BLDC 三相電壓相位定義

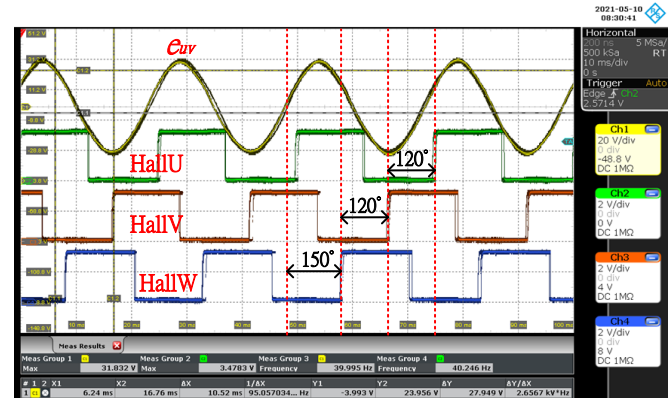


圖 9 量測 UV 反電勢與馬達 Hall 訊號關係

3.2 BLDC 控制器設計

3.2.1 BLDC Drive 系統架構

圖 10 為控制架構示意圖，BLDC 控制核心使用 IMC101T-T038 內建 PMSM 控制演算法，並採用三個 Hall-effect sensor 訊號作為馬達位置回授，藉此達成 FOC 的控制，始馬達可精確將電流輸出在正確的相位，提供較小的驅動電流。在轉速控制方面，將轉速命令加入 S-curve 加速曲線，改善原本 Ramp 加減速曲線的啟動應力。

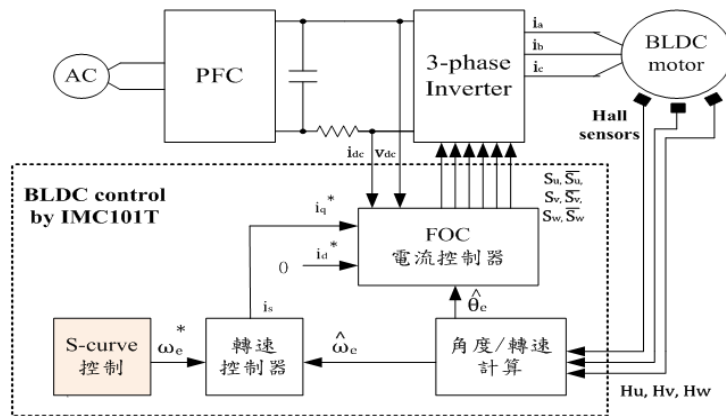


圖 10 控制架構圖與實體圖

3.2.2 IMC-101T 周邊線路設計

以下說明 IMC-101T 控制周邊線路設計：

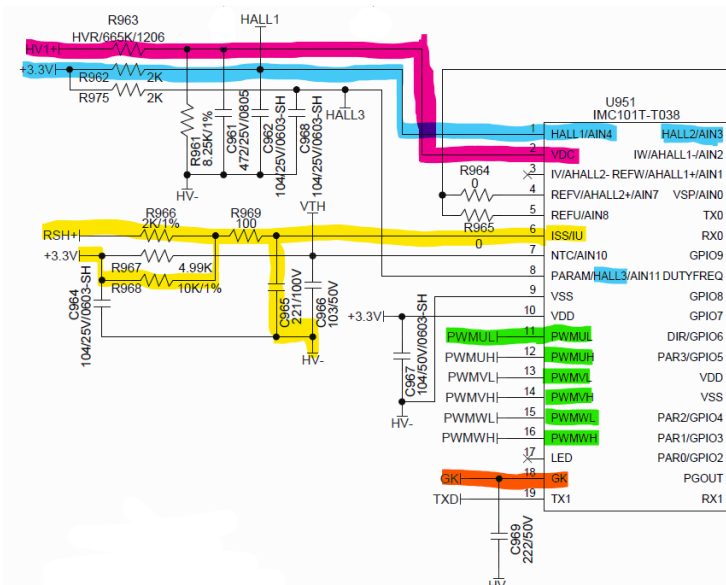
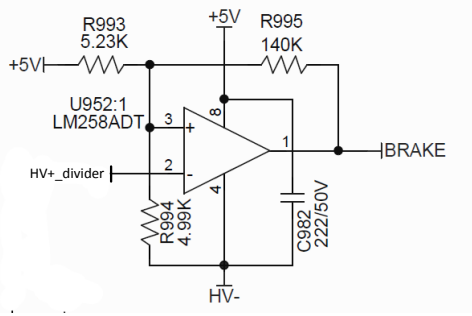
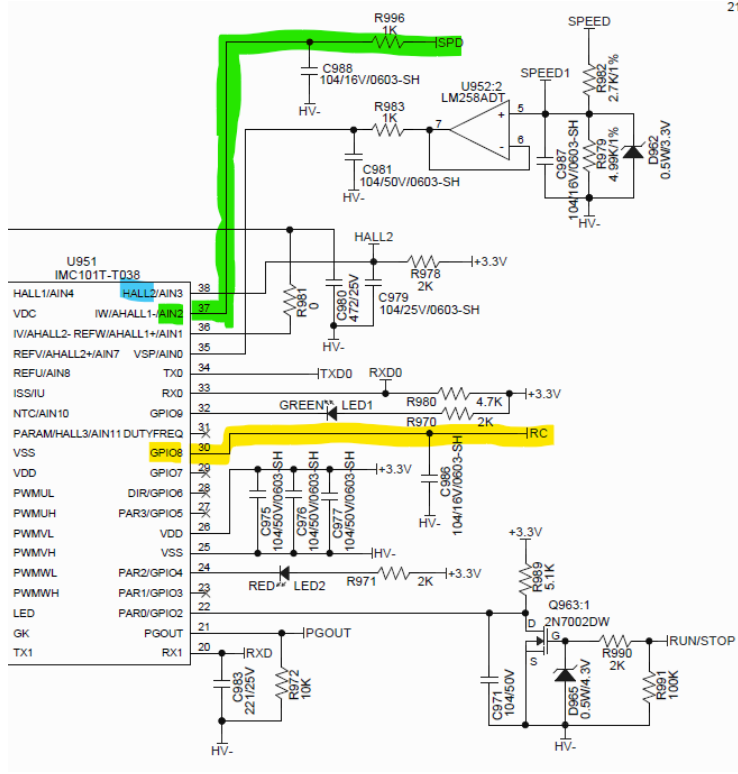
線路圖	說明
	HV+回授線路： $\text{Pin2} = \frac{8.25k}{665k+665k+8.25k} \times \text{HV} +$ $= 0.006165\text{HV} + (\text{V})$ RSH+回授線路： $\text{Pin6} = R_{shunt} \frac{10k}{10k+2k} \times i_{\text{HV}}$ $= 83m \times i_{\text{HV}}(\text{V})$ PWM 控制線路： PWMUL~ PWMWH PWM 輸出 Hall sensor 回授線路： 上拉電阻 2kΩ，接至馬達 Hall sensor 線路 (open-collector) GK 保護線路： 接收主板 Gate

圖 11 IMC-101T 控制器回授與保護線路

	driver 保護線路，判斷是否立即關閉 PWM
 圖 12 回生電阻控制線路	以 LM258ADT 設計 VDC 偵測線路，保護遲滯準位： $OP+(H) = 5 \times \frac{4.99k}{(5.23k // 140K) + 4.99k} = 2.49V$ $OP+(L) = 5 \times \frac{(4.99k // 140K)}{(4.99k // 140K) + 5.23k} = 2.4V$ $HV_{BRAKE}(H) = \frac{2.49}{0.006165} = 403V$ $HV_{BRAKE}(L) = \frac{2.4}{0.006165} = 389V$ HV_{BRAKE}：高壓端觸發回升電阻啟動準位
 圖 13 IMC 周邊控制線路	SPD：轉速控制腳位，接收無線模組 MCU 送出之控制電位 RC：BLDC 啟動/停止控制腳位，接收無線模組 MCU 送出之控制電位

3.2.4 IMC-101T 參數設計

IMC-101T 採用正弦波電流驅動與 FOC 控制，位置回授在全轉速下採用三相數位 Hall sensors 訊號回授 6 步訊號做 BLDC 的轉子角度估測。

IMC-101T 主要搭配原廠軟體 MCEWizard 設計其電機與驅動器參數，並提供內建 script language，主要用途為提供開發者可在程式背景設計簡單的程序來設計控制功能。圖 14 為馬達參數馬達使用 YELI-YBL-6S-148。圖 15 為控制器參數，其中可修改處為 58-Current Regulator Bandwidth, 64-Speed Regulator Proportional Gain, 65-Speed Regulator Integral Gain, 此三項參數會影響馬達的電流波形，經適當調整後可使電流趨近於正弦波。

Motor 1 Motor Parameters	
1 - Motor Model Name	YBL-6S-148
2 - Motor Rated Amps	1.2 Arms
3 - Motor Poles	8
4 - Motor Stator Resistance	3.49 Ohms/phase
5 - Motor Lq Inductance	10.7 mH
6 - Motor Ld Inductance	10.6 mH
7 - Motor Back EMF Constant (Ke)	19 V(lin-rms)/krpm
8 - Motor Max RPM	800 RPM
9 - Minimum Running Speed	10 RPM
10 - Speed Ramp Rate	5000 RPM/sec

圖 14 馬達參數

Motor 1 Regulators	
58 - Current Regulator Bandwidth	1200 rad/sec
59 - Enable DC Bus Compensation	Enable
60 - Flux Estimator Time Constant	12 msec
61 - Speed Feedback Filter Time Constant	1 msec
64 - Speed Regulator Proportional Gain	100
65 - Speed Regulator Integral Gain	10

圖 15 控制器參數

圖 16 為 Hall-effect sensor 的角度修正參數，此參數會影響馬達回授位置的準確性，參數根據反電勢線電壓 UV 與 Hall1 的相位差減 90 度，設定為 60 度。

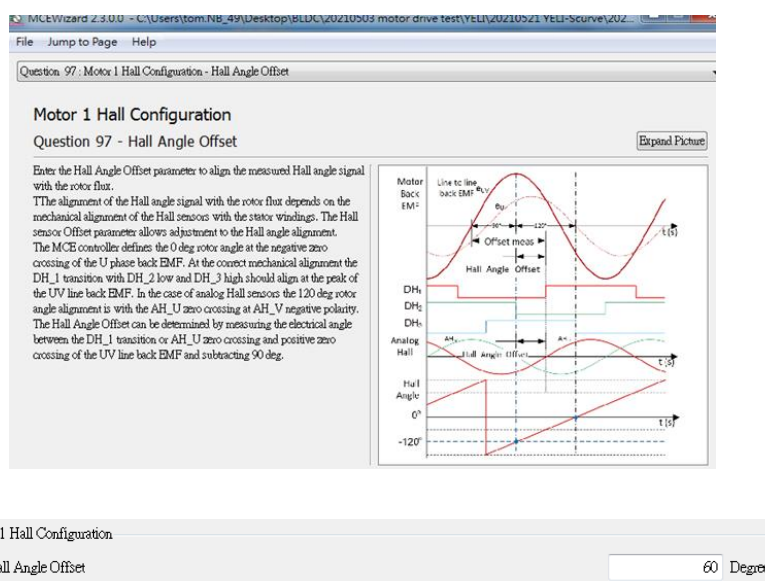


圖 16 馬達 Hall-effect sensor 角度修正定義

因使用 Hall-effect sensor 回授時，轉速使用差分法計算馬達轉速(取 Hall 訊號變化時間)，較容易放大訊號誤差，導致電流波型失真，轉速計算需加入濾波器濾除高頻量。轉速濾波參數 *HallSpdFiltBW* 設定 1000，依以下公式(7)換算頻寬約 36.7Hz。

$$BW = \frac{1}{2\pi \cdot T_{decay}} = \frac{Fast_Control_Rate}{F_{PWM} \cdot \ln(1 - \frac{HallSpdFiltBW}{2^{16}})} = 36.7Hz \quad (11)$$

Fast_Control_Rate 為控制與切頻比率；*F_{PWM}* 為 BLDC drive 切換頻率；*T_{decay}* 為濾波時間常數。

3.2.5 S-curve控制

S-curve 緩啟動主要功能為讓本專題的捲簾機應用中，達到平滑的啟動與停止的動作，改善啟動/停止的機械應力而導致捲簾機的噪音與吊掛捲簾晃動的問題。S-curve 原理主要是將馬達啟動與停止加入”加速度”的緩啟動”。由速度曲線來看則會如圖 13 呈現 S 形曲線。S-curve 可搭配 script-function 於 IMC-101T 中建立方程式(8)(9)進行計算：

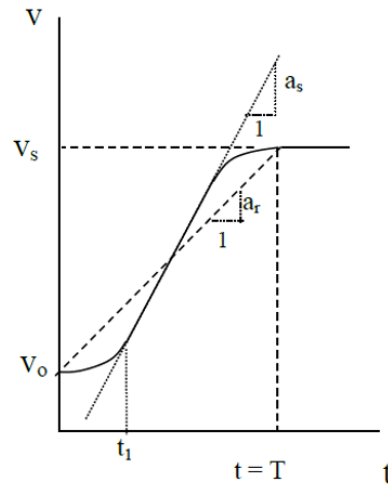
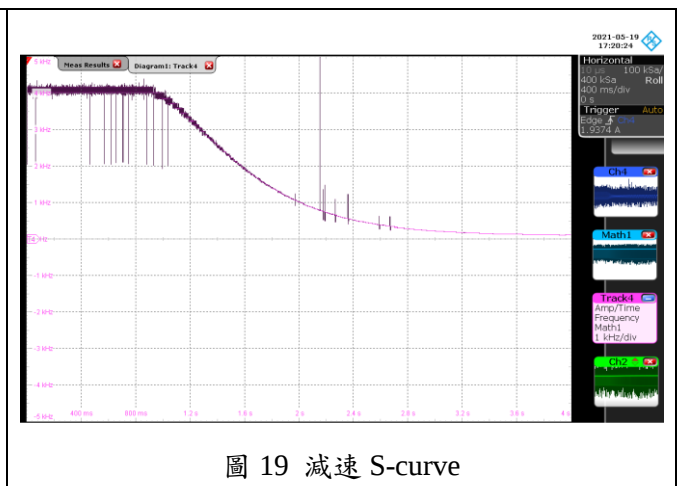
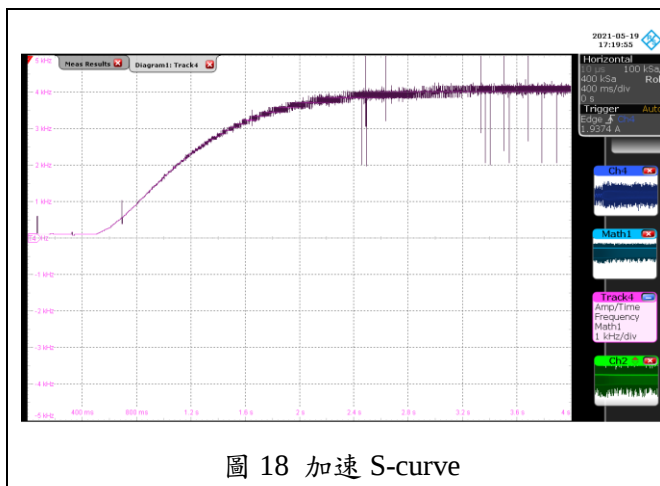


圖 17 S-curve 加速曲線

$$ScurveLvL1 = \alpha * ScurveLvL1 + (1 - \alpha) * TargetSpeed \quad (12)$$

$$ScurveSpeed = \beta * ScurveSpeed + (1 - \beta) * ScurveLvL1 \quad (13)$$

由 ScurveSpeed 可得到平滑的輸入轉速曲線，調整 α 與 β 可調整 Scurve 的加速度緩啟動，數值愈高則則加速度上升愈慢。馬達實際 S-curve 加減速如下：



3.2.6 Script程序流程圖

Script 中主要針對 BLDC 的相關外部功能(例如：轉速命令偵測/ Remote...)與保護功能進行功能的設計，程序流程圖如下：

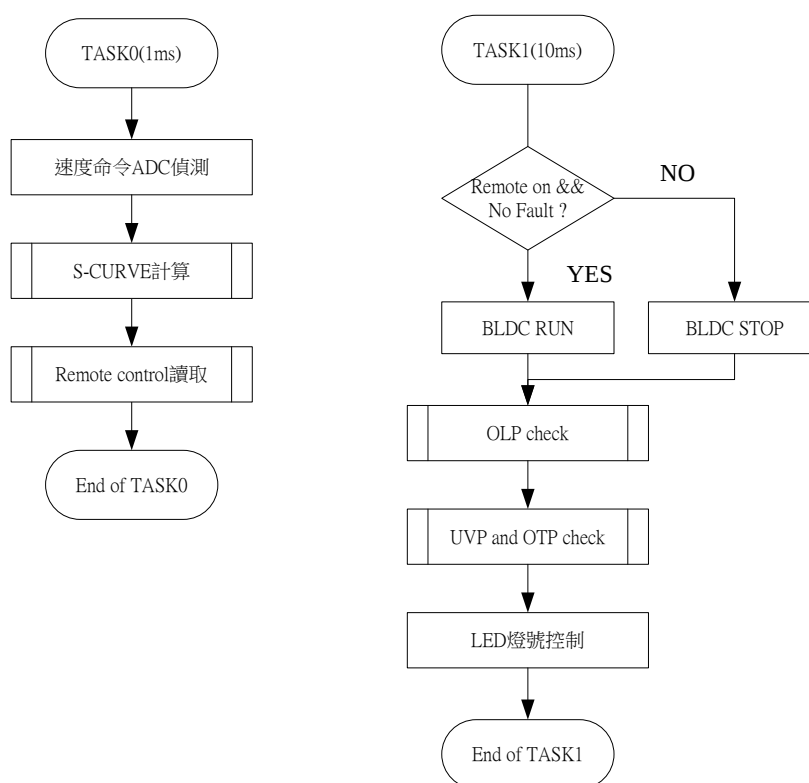


圖 20 IMC-101T 周邊功能程序流程圖

3.3 無線功能設計

無線功能主要以 WIFI 通訊協定的方式進行捲簾機升降停的控制，讓使用者在可以連線至網路的地方，即可透過行動裝置 APP 控制 BLDC 捲簾機，達成一個可遠端控制的捲簾機應用，以下章節說明無線功能的設計。

3.3.1 無線模組系統架構

無線功能採用 Espressif Systems 的 ESP-WROOM-32U 無線模組，主要採用 WIFI 功能設計，協定採 IEEE 802.11 b/g/n，最高可支援 150Mbps 資料傳輸與 20dB 天線的輸出功率。

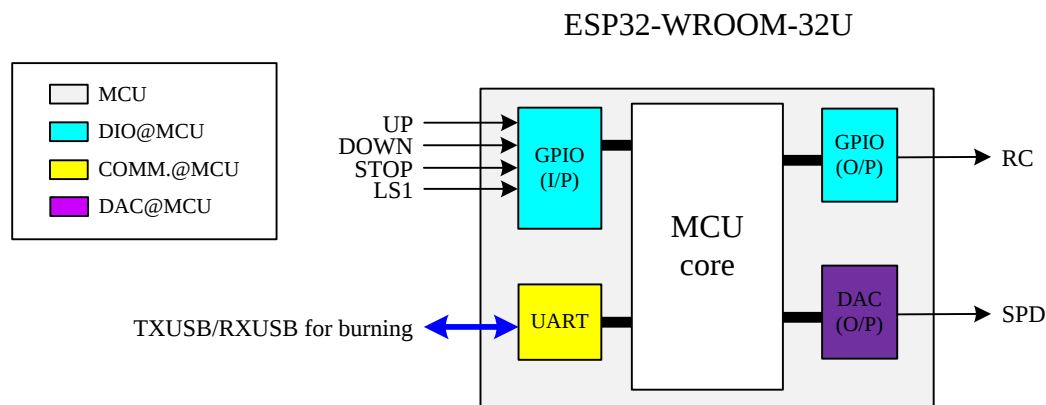


圖 21 ESP32-WROOM-32U 架構圖

除 WIFI 封包收發之外，無線模組可利用 Arduino IDE 開發週邊 GPIO 與 DAC 功能，主要處理外部硬體訊號控制(上/下捲與停止，微動開關 LS1 接收)，與對 IMC-101T 模組設定輸出轉速 (SPD)與遙控功能(RC)。

無線功能主要用於捲簾系統之上捲/下捲/停機控制，應用上可搭配 APP 達到二台捲簾系統同步控制。APP 平台採用 Blynk 所提供的物聯網平台設計。架構如下

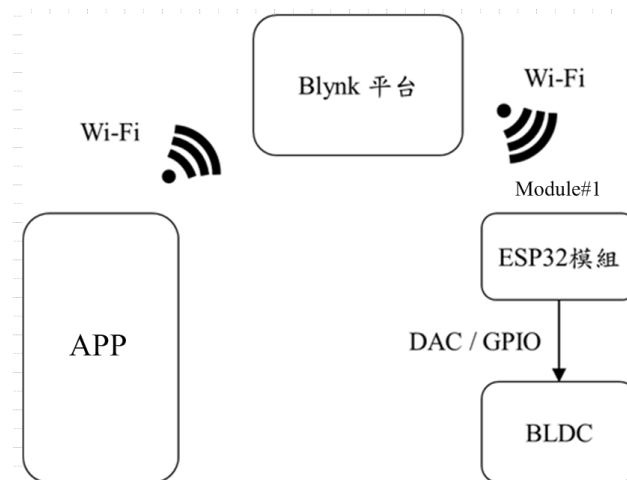


圖 22 BLDC 無線控制架構圖

其中各重點功能說明如下：

1. APP：負責傳送行動裝置 APP 畫面按鈕資訊至 Blynk 雲端平台。
2. Blynk 平台：負責處理 APP 和 ESP32 無線模組之間的控制連結。
3. ESP32 模組：負責解碼 APP 按鈕點選資訊，解碼後傳送控制訊號給 BLDC。
4. BLDC：馬達驅動器

3.3.2 無線模組控制功能

當輔助電源+3.3V 建立後，延遲 500ms 待 MCU 功能初始化完成後，將 INI_STAT 旗標 RESET 表示初始化完成。

在馬達第一次啟動前，RC 與 SPD 皆未建立。當外部啟動控制訊號 EnableInput(來源:UP/DOWN by hardware or WiFi)接收到 low 信號且持續 20ms 以上，進入捲簾系統啟動程序。當偵測到 EnableInput 成立後，系統致能旗標 SysEnable SET 表示捲簾準備運轉。

SysEnable 致能後，延遲 20ms 後 RC SET，SPD 轉速 command 較 RC 提早 10ms 啟動。當 DisableInput(來源:STOP/LS1 by hardware)收到持續 20ms 以上，或是 WiFi 收到停止命令，SysEnable 旗標 RESET 表示系統停機，同時 RESET RC 信號，等待下次啟動。

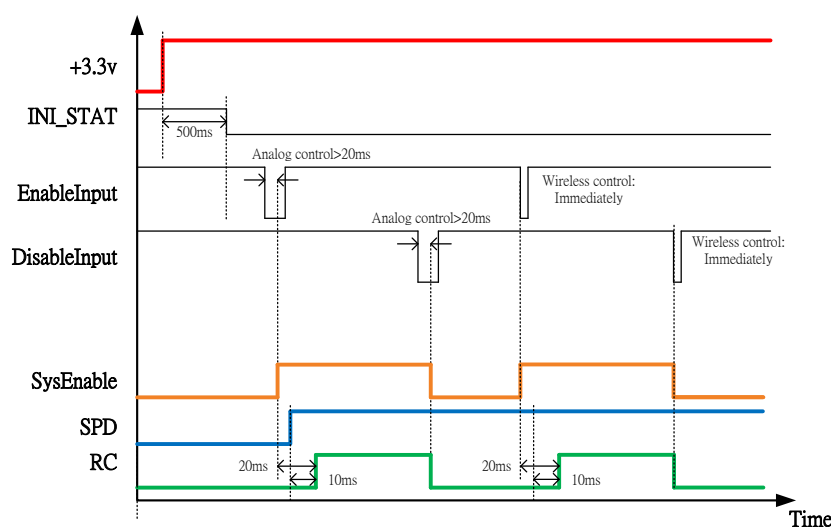


圖 25 無線模組啟動與控制時序

控制優先權主要三個控制動作同時發生時的優先權為：1.停止; 2.上捲; 3.下捲。

上下捲動做交互切換下，將會先 RESET RC 訊號 10ms，修改 SPD 訊號為反方向運轉後再 SET RC 訊號使 BLDC 啟動。

上捲限制訊號 LS1 用於限制捲簾系統上極限，捲簾機持續上捲至觸碰到限制微動開關時，微動開關訊號狀態由 High 轉 Low，觸發無線模組將 RC 輸出關閉，此時捲簾機禁止繼續上捲，達到捲簾定位的功能。

無線模組控制流程圖如下：

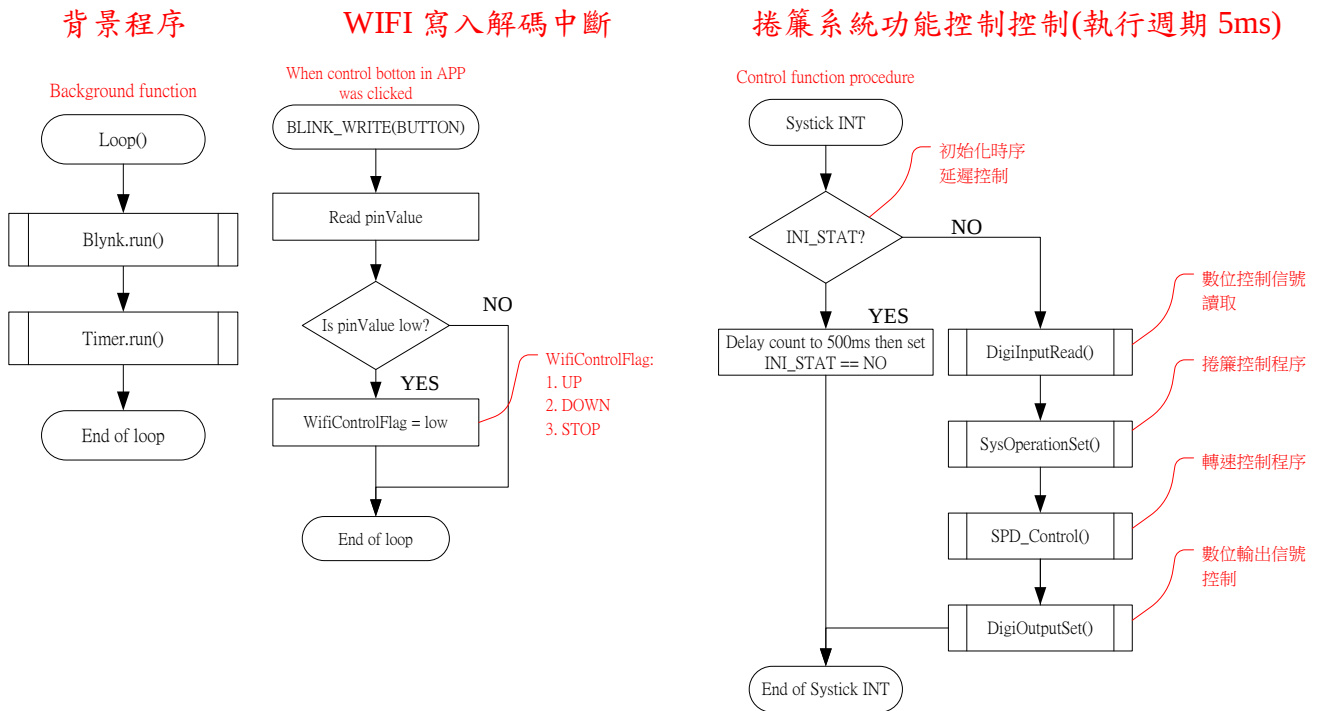


圖 26 無線模組控制流程圖

3.3.3 APP介面規劃

APP 介面規劃提供上/下捲與停機動作供使用者發送控制訊息，介面如下。



圖 27 APP 控制介面

四、系統性能評估

4.1 捲簾機實體成果

捲簾機實際應用情形如下圖與影片所示，展示為公司大廳布幕吊掛的情形，實際布幕重量約 2kg，可順利由公司一樓地面吊掛至二樓安裝捲簾機處，並由觸發微動開關的方式將捲簾機定位完成。

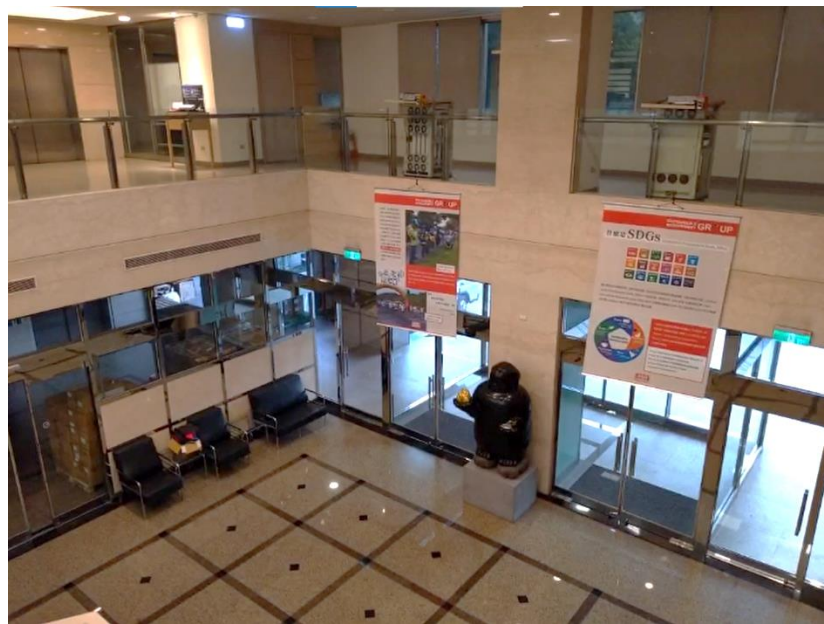


圖 28 實際布幕搭配捲簾機

表 4 實際捲簾機動作影片與說明

影片連結	說明
影片連結	實際布幕由一樓地面同步吊掛至二樓情形。
影片連結	APP 連動 BLDC 捲簾控制器實際操作過程。

4.2 驅動器測試波形

以下說明本專案提出之捲簾機應用的穩態與動態測試，以評估其運轉特性。除效率量測需上動力平台測試外，其餘測試皆上捲簾機平台測試驗證。效率測試使用之動力平台如下：

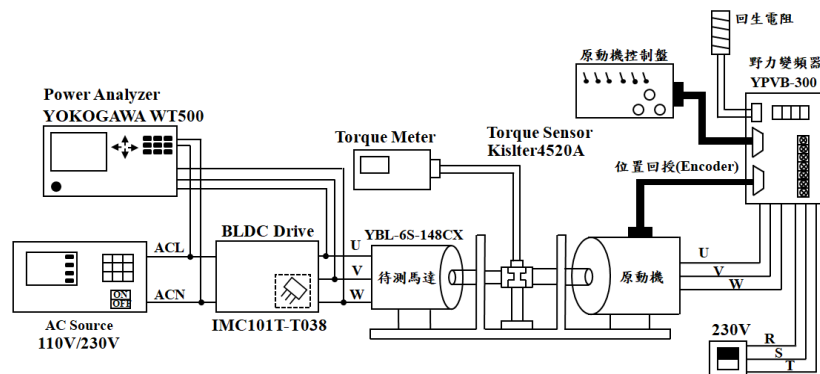
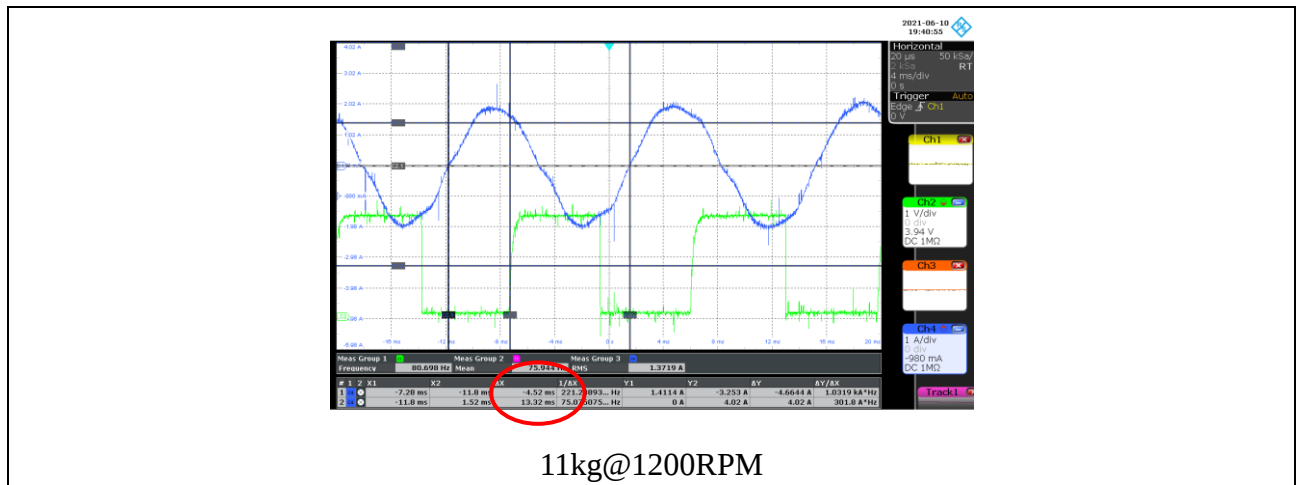


圖 29 動力測試平台

4.2.1 相電流與電流相位

測試條件：	輸入條件	輸入電壓 Vin : 230Vac	
	輸出條件	輸出轉速：1200 RPM; 輸出負載：11kg load	
測試方法：	以實作之捲簾機依測試條件，將條件的附載上捲至觸動捲簾機的停機微動開關。並記錄捲簾機拉動附載下的電流與 Hall-effect sensor 相位，確認電流相位與反電勢同相位。		
測試結果	測試 u 相線電流 Iu(line)超前 Hall1 角度 $= \frac{4.52}{13.32} \times 360^{\circ} = 122^{\circ}$ 對應測得反電勢對應 Hall sensor 所述，線電壓波形超前 Hall-effect sensor 約 150°，而 Y 接繞組下三相線電壓超前相電壓 30°，可知道相電壓超前 Hall-effect sensor = 150-30 = 120°，確認實際電流波形與相反電勢同相，相位正確。		
波形			
CH1:- CH2:Hall1		CH3: - CH4: Iu(line)	



4.2.2 效率

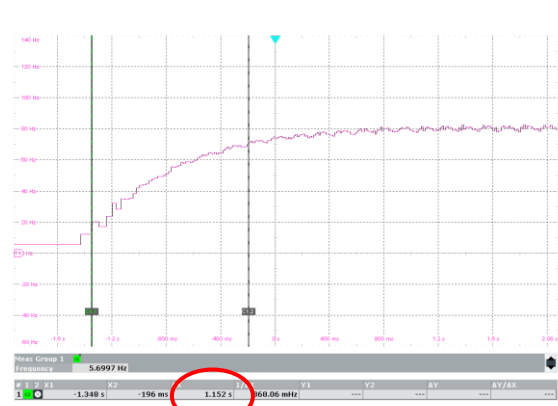
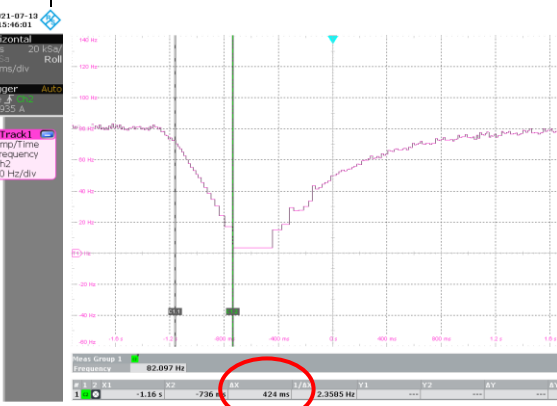
測試條件：	輸入條件	輸入電壓 Vin : 230Vac	
	輸出條件	(1)	輸出轉速：4000 RPM 輸出負載：0.6 N-m
		(2)	輸出轉速：800 RPM 輸出負載：0.6N-m
測試方法：	效率測試以動力平台評估，依測試條件分別記錄 Drive 效率與馬達效率，計算如下： $EFF_{\cdot}(drive) = \frac{P_{out(drive)}}{P_{in(drive)}}; EFF_{\cdot}(motor) = \frac{P_{out(motor)}}{P_{out(drive)}}$ $P_{out(motor)} = \frac{2\pi \cdot N \cdot T}{60}$; N: 輸出機械轉速; T: 輸出機械轉矩		
測試結果	EFF.(drive) = 93.51%@4000 RPM; 74.62%@800 RPM EFF.(motor) = 83.77%@4000 RPM; 80.21%@800 RPM		
波形數據			
輸入/輸出功率@4000 RPM $P_{out(motor)} = (2\pi/60) * 4000 * 0.6 = 251W$ $P_{out(drive)} = 299.62W$ ； $P_{in(drive)} = 320.4W$			
Element1: Pin(Driver) ； Σ :Pout(Driver)		Pout(Motor): 1 V: 1 N-m	

$$P_{out(drive)} = 72.19W ; P_{in(drive)} = 90W$$

Pout(Motor) : 1 V: 1 N-m

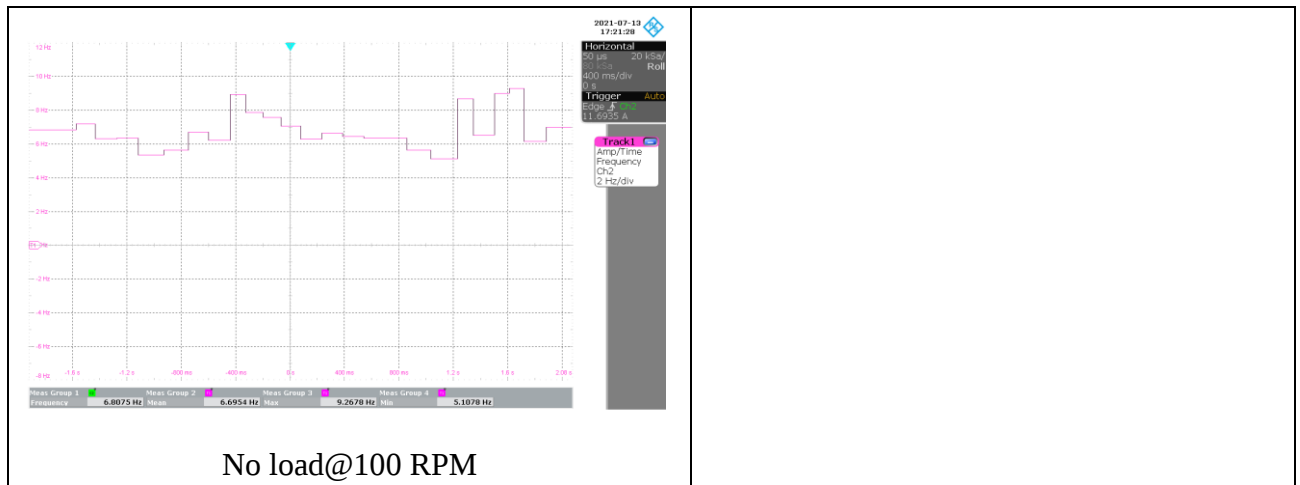
4.2.3 加/減速時間

測試條件：	輸入條件	輸入電壓 Vin : 230Vac	
	輸出條件	輸出轉速：1200 RPM 輸出負載：No load	
測試方法：	加速時間：以實作之捲簾機依測試條件，將條件的附載上捲至轉速設定，記錄捲簾機馬達啟動至達到目標轉速的上升時間(rising time)，作為捲簾機的加速時間。		

		減速時間：將條件的附載上捲至轉速設定，達設定轉速後按下捲，記錄捲簾機馬達從額定轉速至零速的下降時間(falling time)，作為捲簾機的減速時間。	
測試結果		加速時間： 1.152 sec 減速時間： 0.424 sec	
波形			
CH1:- CH2:-		CH3: - Track1: Freq.(Hall1)	
			
No load@0→1200RPM		No load@1200→0 RPM	

4.2.4 最低轉速控制

測試條件：	輸入條件	輸入電壓 Vin : 230Vac	
	輸出條件	輸出轉速：依測試結果 輸出負載：No load	
測試方法：	以實作之捲簾機依測試條件，將條件的附載上捲至觸動捲簾機的停機微動開關，並降低轉速設定，記錄可穩定運轉之轉速當作最低轉速點。並記錄轉速漣波峰對峰值。		
測試結果	最低轉速: $6.7 \times 60 / 4 = 100.5 \text{ RPM@no load}$, Speed ripple(p-p) = $(9.3 - 5.1) \times 60 / 4 = 63 \text{ RPM}$		
波形			
CH1:- CH2:-	CH3: - Track1: Freq.(Hall1)		



4.3 控制卡線路圖與零件表

BLDC-300R 套件主要修改部分為控制卡，加入無線通訊模組與天線，以及微動開關與 Hall-effect sensor 轉換線路等部分，主要元件成本如下表 5，線路圖如圖 30、31。

表 5 主要部件成本

Part#	Specification	Q't	Cost(NTD)	Note
1	MSD3 PWM(Motor) IMC101T-T038 SOP-38	1	23	BLDC 控制 IC
2	OP LM258ADT	1	2	回生電阻控制
3	ESP-WROOM-32U	1	123	WIFI 無線模組
4	OP TS321A SOT23-5	1	3	轉速控制信號轉換線路
5	2.4G 天線+IPEX 轉 SMA 線材	1	50	WIFI 天線
6	小型 3P 微動開關 5A/125V	1	12	上捲極限限制開關
總成本			213	

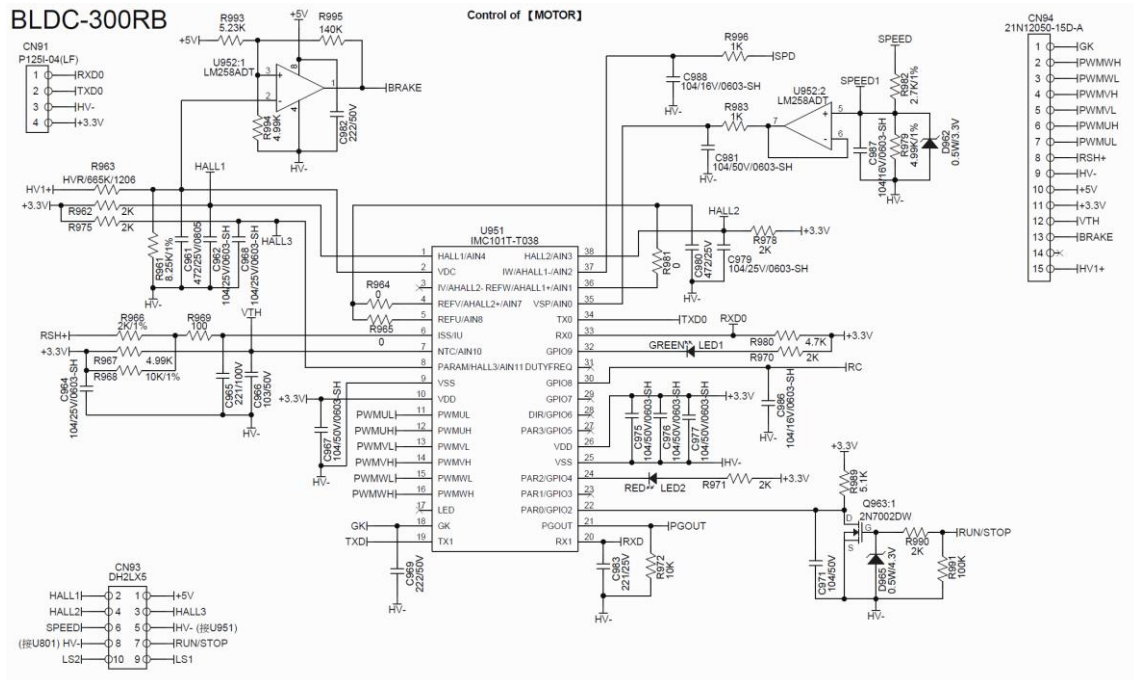


圖 30 控制卡線路圖(IMC-101T 周邊線路)

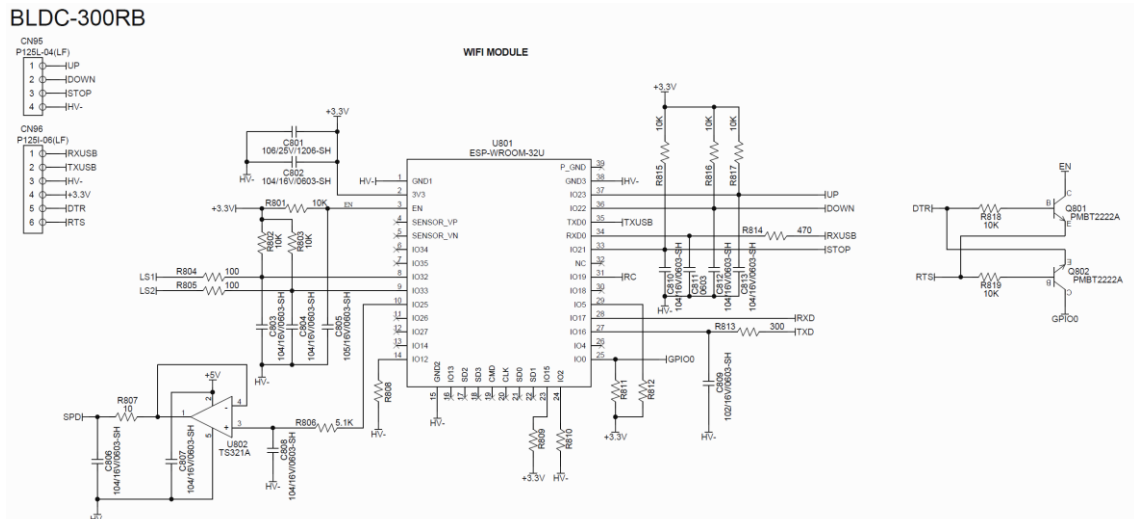


圖 31 控制卡線路圖(無線模組周邊線路)