

屏東縣第66屆國民中小學科學展覽會

作品說明書

科別：生活與應用科學科(一)

組別：國中組

作品名稱：捲軸式太陽能板控制系統

關鍵詞：捲軸、太陽能板、颱風

編號：B6018

作品名稱：捲軸式太陽能板控制系統

摘要	01
壹、前言	02
一、研究動機	02
二、研究目的	03
三、文獻探討	03
貳、研究設備及器材	05
參、研究過程或方法	06
一、系統設計架構圖	06
二、系統設計流程規劃步驟圖	07
三、ESP32S 單晶片微電腦單元微控制器	09
四、太陽能板實驗與測試	10
五、HMI USART 人機介面電路設計	11
六、ESP32 與 ZigBee 通訊控制電路設計與測試	12
七、馬達控制電路設計與實驗	14
八、WS2812 電路設計與實驗	17
九、機構設計	18
十、APP 手機程式設計	18
十一、電壓/電流偵測電路設計	19
十二、捲軸式太陽能板控制系統機構設計	20
肆、研究結果	22
一、前言	22
二、操作方法	22
三、HMI 人機介面畫面編輯	22
四、WS2812 LED 顯示圖形編輯	23
五、APP 程式測試結果	23
六、捲軸式太陽能板控制系統電路圖	24
七、電路板製作與焊接	24
八、捲軸式太陽能板控制功能操作	26
伍、討論.....	27
陸、結論	28
柒、參考資料及其它	30

摘要

台灣地處環太平洋地震帶及西北太平洋颱風路徑核心區，長期面臨地震頻繁、颱風侵襲、豪雨肆虐及乾旱缺水等嚴峻挑戰。每逢重大災害，不僅造成人員傷亡與房舍倒塌，更導致基礎建設受創、農漁產業受損，對社會經濟造成嚴重衝擊。以綠能設施而言，太陽能板長期暴露於戶外，常因強風豪雨而破損，造成能源供應中斷與維修成本增加。以今年中颱「丹娜絲」為例，颱風侵襲南部地區，許多民宅屋瓦與太陽能設施遭毀，電力中斷問題更影響民生。丹娜絲颱風太陽能板受損情形。

災害防治與安全保護，需投入更多的創新，期望展現能源安全與環境永續兼顧的理念，目的在於透過智慧化設計，提升再生能源設施的耐災性與使用效能，進而實現防災、便利與永續的三重價值。

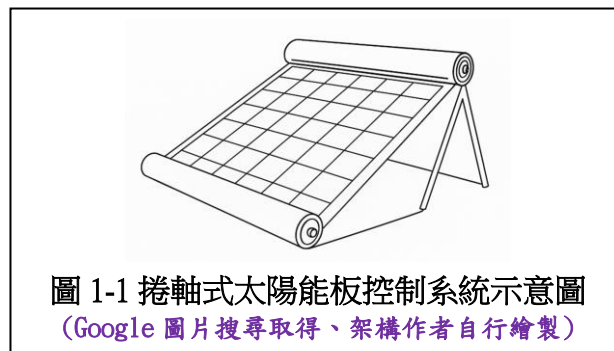


丹娜絲颱風太陽能板受損情形
(Google 圖片搜尋取得)

壹、前言：

一、研究動機：

- (一)、台灣位於地震帶和颱風路徑核心區域，常會面臨地震平凡與颱風侵襲，長期暴露於戶外，又不方便移動的ㄇ太陽能板，經常遭到天災破壞，損毀的零件也對環境造成影響。
- (二)、2025 年 7 月中颱「丹娜絲」從嘉義登陸台灣，颱風中心附近的強風豪雨造成多地毀損，雲嘉南區域受損尤為嚴重，許多民宅屋瓦與太陽能發電設施損毀，電力中斷問題更影響民生用電，而且太陽能板損壞多達 20 萬片，每日發電量就減少約 25.6 萬度電，不但影響了供電，更造成廢棄物與資源浪費。
- (三)、為了彌補此缺口，本作品設計一款「智慧型危險警示工程帽」，不僅能提供基本防護，更結合感測、通訊與警示功能，實現「保護 + 防護」的雙重安全機制，讓工地安全再升級。
- (四)、根據統計職災年死亡人數為 287 人，平均約 1.25 天就有 1 名勞工死亡，其中以營造業的墜落死亡人數最多。營造業職災死亡人數占了職災死亡總數的近半數，為高風險行業。
- (五)、有風有雨是常態，風雨兼程是狀態，處理災害問題，需仰賴智慧與科技，作品設計太陽能板的車庫，風災來臨時將太陽能板收入車庫內，研究中以科技能力減少災害損失，提高災害應變能力，達到災害預防之目的。我們所研究設計的「捲軸式太陽能板控制系統」示意圖，如圖 1-1 所示。



二、研究目的：

- (一)、將太陽能板在風險環境下易損的問題提出創新解方，結合災害防護與智慧能源管理，在惡劣天氣來襲前自動收納板面，避免損壞，並結合清潔與多功能應用。
- (二)、設計捲軸式收納結構，利用馬達控制太陽能板自動展開與收回，以降低颱風與強風對太陽能板造成的損害。

- (三)、透過捲軸展開與收回過程結合清潔機構，使太陽能板在運作時能同步完成表面清潔，提升發電效率。
- (四)、以自動收放與清潔裝置取代人工清洗方式，減少人力需求並提升操作安全性。
- (五)、藉由控制太陽能板在不同天候下的展開與收回狀態，提升系統運作的穩定性與使用效率。
- (六)、透過收納設計減少太陽能板長時間暴露於惡劣環境中，以延長其使用壽命並降低維修與更換成本。
- (七)、兼顧遮陽與魚電共生管理，拓展太陽能板多元功能，在非發電時段讓魚塭獲得充足的日照。
- (八)、將防災、節能與環境保護理念融入裝置設計中，運用科學與工程知識解決生活問題。

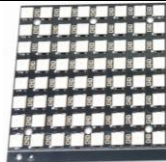
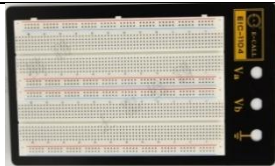
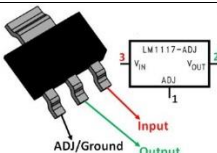
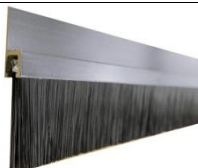
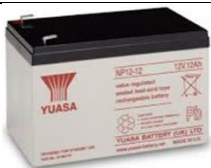
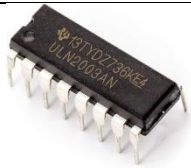
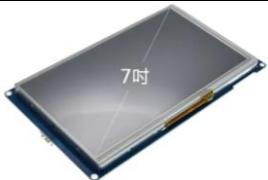
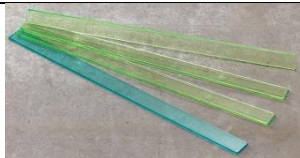
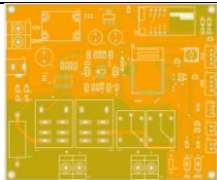
三、文獻探討：

作品設計研究先行查詢歷年相關之實驗研究、分析各作品技術特色，各作品之差異性，研究步驟與過程，方能展現作品創新、創造之獨特性，查詢全國科展作品與專利相關檢索，並閱讀後整理部分重點摘要如下：

作品名稱	主要探討	研究方法	發現結果
台灣地形對颱風路徑的影響 地球與太空科學/ 中等學小組	1.颱風是台灣地區常見的天然災害之一，而台灣地區複雜的地形變化，也為颱風路徑的變化投下一個變數。 2.根據以往的資料顯示，颱風路徑受到地形影響往往是在登陸前六小時內。 3.而颱風對台灣地區災害最嚴重的時候往往是登陸前後三小時，也就是說要是颱風路徑受到地形影響發生偏	1.研究主要收集1987~2001年由台灣東部登陸的台風最佳路徑圖，分別統計其颱風路徑或颱風環流過山時的變化，並分類統計各種不同颱風要素（包括颱風強度、行進速度、移入角、登陸地段等）對颱風路徑變化的影響，以做為未來預報之參考。	1.探討颱風強度與颱風過山偏轉情形之研究與分析。 2.探討颱風路徑總偏角度與颱風強度關係。 3.颱風首次偏轉角度與移入角度關係。 4.不論各種移入角，總偏角度以0度最多，颱風中心經過中央山脈後受到原導引氣流影響，有再回來原路徑之趨勢。

	轉，則我們只有數小時的時間來進行防災的準備。		
太陽照過來—太陽能板的妙用 應用科學科/國小組	1.發現它居然在太陽光改變角度下，其電流輸出有很大改變。一天當中太陽在天頂的位置都在改變，那是否可從中測出電流大小來知道太陽位置、時間及季節變化等？	1.以黃色太陽燈管照射太陽能板，改變太陽能板角度，測量輸出光電流和角度關係。 2.以偏振光板測量高能量輻射線時間及入射角與光電流關係。	1.發現太陽能板在室內黃色太陽燈管的反應，和室外太陽光不同，即太陽能板對高能輻射，能使光電流略增，且把多餘能量轉變成為熱能。 2.偏振光片，重疊時，角度的不同，可改變光的亮度，當角度成 90°時太陽變藍紫色，可見偏振光片可擋住低能量的光，而用來應證紫外線等高能輻射的工具。
太陽能發電環境評估與追蹤器探討 環境科學/中等學校組	1.探討台灣各地的日照時數與世界重要都市的比較。 2.增加陽光的能量密度而加設弗瑞奈透鏡，雖然能順利的使照度放大三百餘倍，但歲日照角度的影響甚鉅，爲了克服角度的問題。	1.太陽能板需要改變仰角跟傾角（雙軸調整），由光感應器判斷及自動控制程式，判斷隨時辰與季節變。 2. 加陽光的能量密度而加設弗瑞奈透鏡，雖然能順利的使照度放大三百餘倍，但歲日照角度的影響甚鉅。	1.研究在太陽能板上塗佈奈米塗料，發現能增加短波長的吸收。 2.實驗後奈米等級表面具有自潔效應，可防止灰塵雨滴的堆積影響光線吸收，具有開發價值。

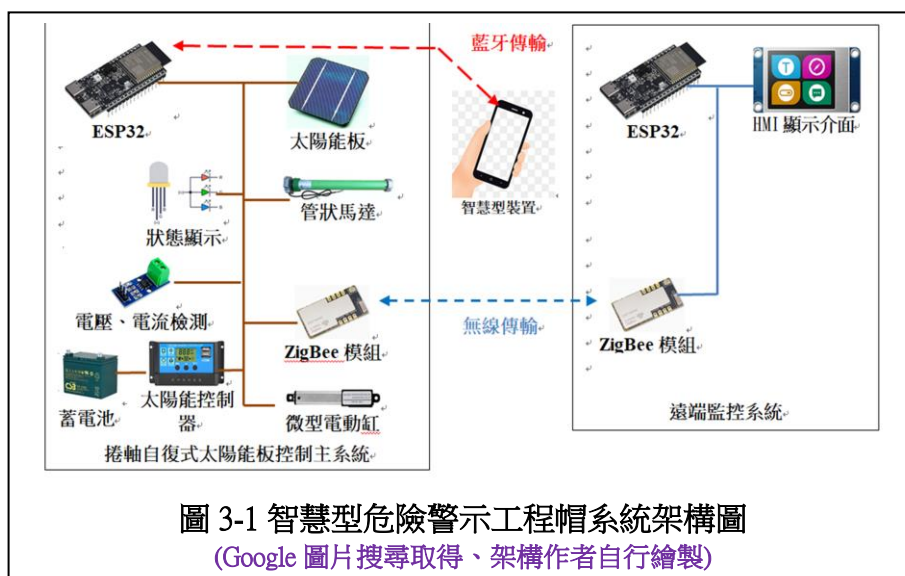
貳、研究設備及器材：

			
(google 圖片搜尋)	(google 圖片搜尋)	(google 圖片搜尋)	(google 圖片搜尋)
筆記型電腦	ESP32S 控制器模組	ESP32S 晶片	ZigBee 模組
			
(google 圖片搜尋)	(google 圖片搜尋)	(google 圖片搜尋)	(google 圖片搜尋)
管狀馬達	電動缸	WS2812 串列控制	繼電器(1)
			
(google 圖片搜尋)	(google 圖片搜尋)	(google 圖片搜尋)	(google 圖片搜尋)
繼電器(2)	穩壓控制板	麵包版	LM1117-3.3
			
(google 圖片搜尋)	(google 圖片搜尋)	(google 圖片搜尋)	(google 圖片搜尋)
毛刷	12V 蓄電池	LM358	UAL2003
			
(google 圖片搜尋)	(google 圖片搜尋)	(google 圖片搜尋)	(google 圖片搜尋)
HMI 人機介面	電源供應器	外殼	端子座
			
(google 圖片搜尋)	(google 圖片搜尋)	(作者截圖)	(google 圖片搜尋)
太陽能板	壓克力	PCB 印刷電路板	DC 座

參、研究過程或方法：

一、系統架構設計：

系統架構設計，如圖 3-1 所示。可分主系統與子系統與智慧型裝置，主系統為「捲軸自復式太陽能板控制」，子系統為「遠端監控子系統」。主系統分別有捲軸機構與電子電路控制兩部分，機構設計用來將一片一片的太陽能板捲入機箱。電路控制以為單晶片微控制器設計，主要是控制馬達正反轉、極限位置控制、控制 Zigbee 通訊模組、電壓及電流偵測。子系統遠端監控系統，主要控制所有的「捲軸式太陽能板控制系統」發電模式或防災模式，監控管理每一組裝置是否到達定位，發電效能等。



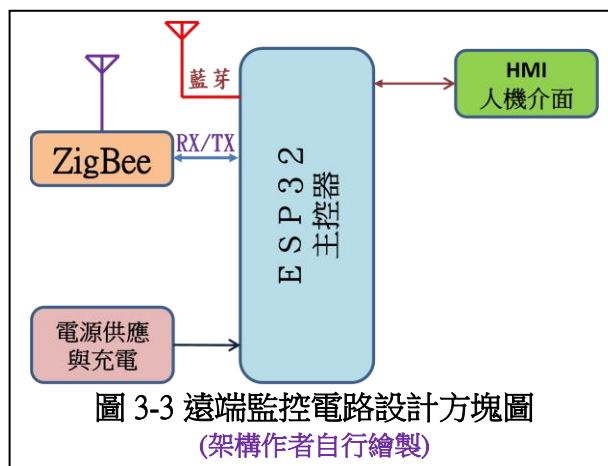
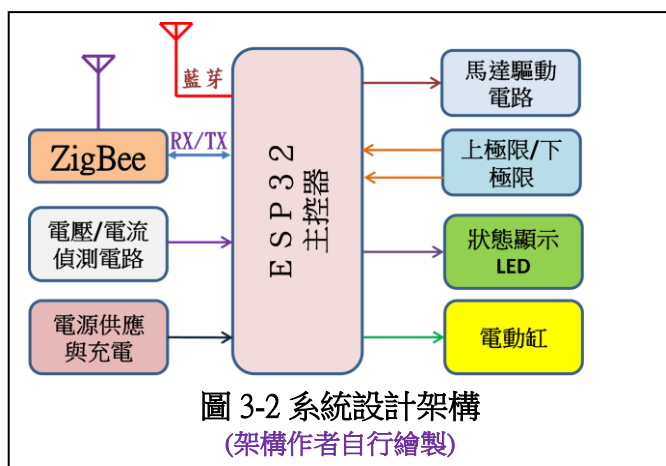
(一)、捲軸式太陽能板控制電路設計架構圖

捲軸式太陽能板控制電路設計方塊圖，如圖 3-2 所示。有八個單元，分別為 ESP32 主控制器：主要是控制介面輸出與輸入，處理及運算。馬達驅動電路：主要是控制管狀馬達正轉/反轉控制電路。上極限/下極限開關：主要是作為捲軸位置上定位及下定位偵測。狀態顯示 LED：主要是顯示目前動作之狀態。微型電動缸：搭配清洗裝置，控制向下則清洗功能。ZigBee 通訊模組：主要是透過無線傳輸通訊，接收或傳送訊息給遠端監控系統，當收到控制命令時，控制捲軸式太陽能板收放。電壓/電流偵測：主要是量測太陽能板電壓及輸出電流。

(二)、遠端監控電路設計架構圖

遠端監控電路設計方塊圖，如圖 3-3 所示。共有四個單元，ESP32 主控制器：主要是設計為遠端監控系統架構，負責控制命令的下達，接收由太陽能板所傳送的發電效能，電壓及電流值。Zigbee：為無線傳輸模組，Zigbee 可建構小型區域網路，開機後可以自動聯網，主要作為監控系統與捲軸式太陽能板裝置之通訊。HMI 人機介面：主要用於監控系統，顯

示機器的運行狀態、電壓、電流等數據，操作員透過螢幕或按鈕來啟動、停止、或調整裝置的設定。



二、系統設計流程規劃步驟圖

(一)、系統硬體電路設計流程圖

研究中硬體電路之設計與規劃是系統的命脈，軟體與硬體整合完整要高，研究中相關資料之收集、參考、整理、構想更顯其重要。硬體電路設計與製作，數據的量化測試準確性，各項硬體電路與軟體程式結合測試能達到正常連線動作。

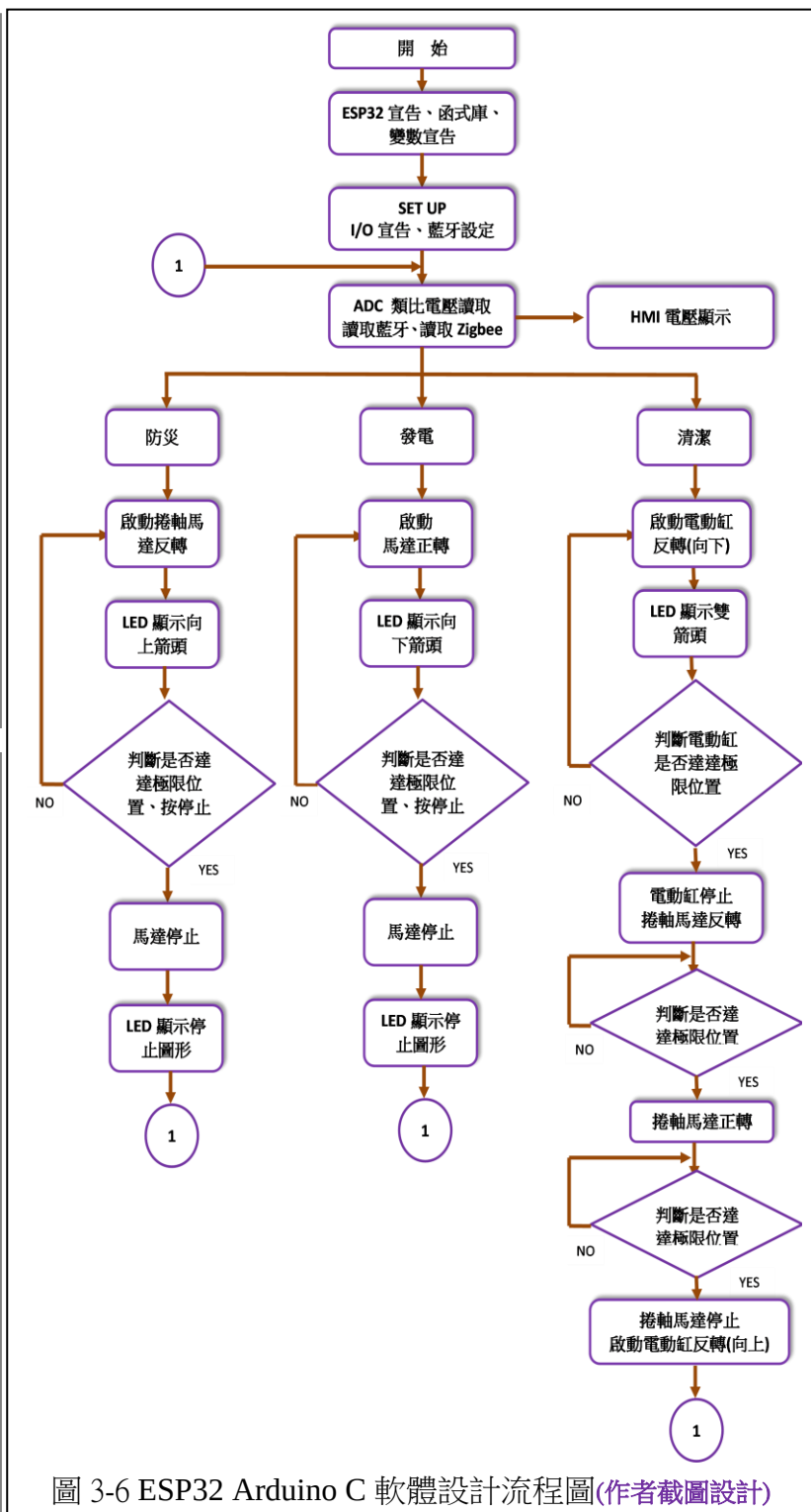
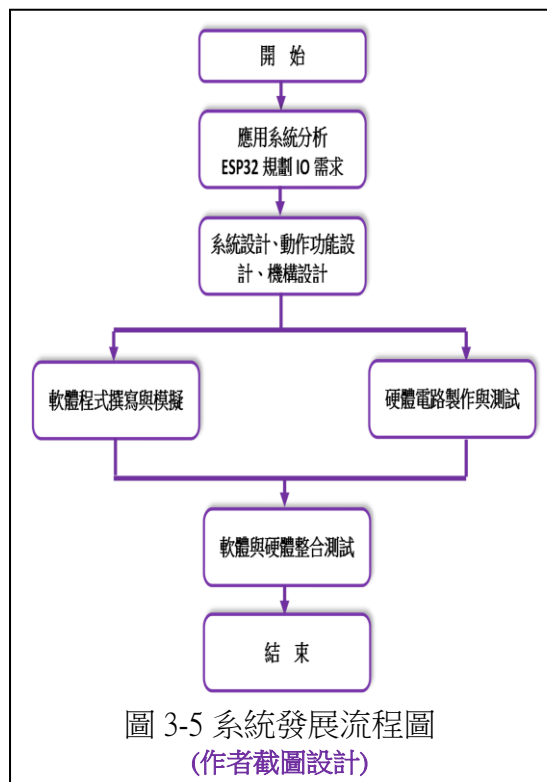
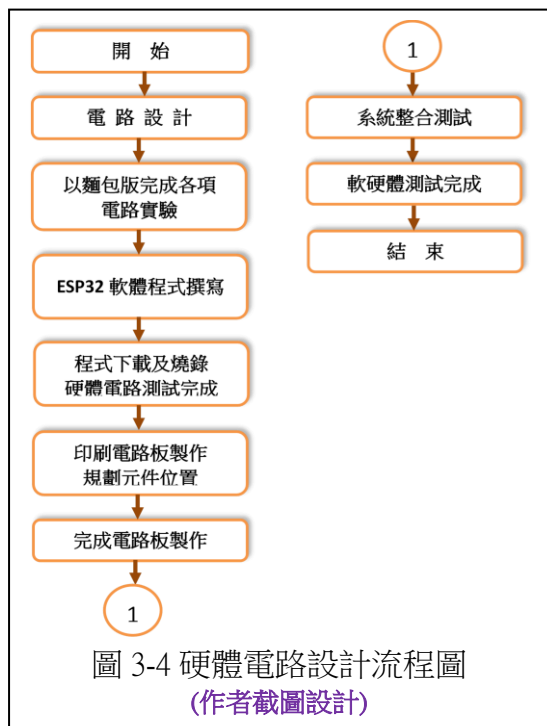
硬體電路設計流程圖，如圖 3-4 所示。系統各單元電路規劃及電路設計，先以麵包板製作電路，並利用 Arduino 單晶片模擬器，模擬硬體電路動作及撰寫程式，待硬體電路與程式正常工作時，即可將程式燒錄於單晶片微電腦上，在規劃電路板之尺寸及零件位置，並完成印刷電路板之焊接工作，再將完成的電路板與系統整合測試，系統動作正常後結束。

(二)、系統發展流程圖與步驟

硬體電路以 ESP32 單晶片微電腦設計主軸，單晶片微電腦 ESP32 的應用，是以軟體程式來控制硬體電路執行工作，因此系統的發展必須包含軟體程式設計與硬體電路製作，最後才結合軟體與硬體並測試其功能，以符合系統要求，系統發展流程圖，如圖 3-5 所示。

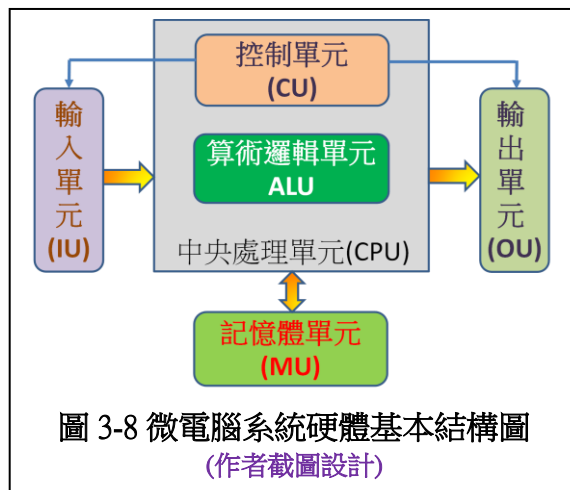
(三)、Arduino IDE ESP32 軟體設計流程圖

ESP32 Arduino C 軟體設計流程圖，如圖 3-6 所示。使用 Arduino IDE 程式語言(C)，分別撰寫控制程式，軟體為達到系統穩定要求因此設計原則如下：分別為捲軸式太陽能板控制系統與遠端監控系統。



三、ESP32S 單晶片微電腦單元微控制器

隨著科技的進步，已大幅改善人們的生活品質，全仰賴自動化為核心式微控制器，簡化控制方法，讓軟體開發更簡易，市面常用的 Arduino UNO 控制器，如圖 3-7 所示。他是屬於單晶片微電腦系統，微電腦硬體基本結構圖，如圖 3-8 所示。分別為中央處理單元(CPU)負責算數／邏輯運算、程式提取、執行資料的讀取、儲存以及控制輸出／輸入工作。記憶單元(Memory)，提供程式及資料的儲存。輸入單元(Input)，輸出(Output)負責電腦和外界溝通的管道及介面輸出控制。



系統主控制器我們選用 ESP32，其開發程式使用 Arduino IDE 軟體進行編輯撰寫，次要為網路上有很多的範例程式可參考，ESP32 晶片具有藍牙通訊功能，可經由手機來進行控制，ESP32 單晶片微電腦(Single-chip-microcomputer)，如圖 3-9 所示。就是把電腦的五大基本單元，輸入單元、記憶體單元、算數邏輯單元(ALU)、控制單元、輸出單元，濃縮做在單一 IC 晶片上，因此單晶片微電腦在 RAM，ROM 記憶體及 I/O 埠容量較少，因此單晶片微電腦只能做一些簡單的控制，所以照明設備故障自動修護系統，我們採用單晶片微電腦作為控制單元。

單晶片微電腦系統：

單晶片微電腦硬體結構：可分成五大單元

- (1)輸入單元(Input Unit,I/O)：負責將各種形式的輸入資料或程式，傳送到電腦內部的 CPU 或記憶體。
- (2)記憶單元(Memory Unit,MEM)：負責儲存程式資料或運算的結果，依用途可分成 ROM(唯讀記憶體)與 RAM(隨機存取記憶體)。
- (3)算數邏輯單元(Arithmetic Logic Unit,ALU)：負責計算比較和判斷等運算。
- (4)控制單元(Control Unit)：由記憶體中提取指令，加以解碼並產生控制信號指揮電腦工作。

(5)輸出單元(Output Unit,O/P)：負責輸出電腦運算的結果。



圖 3-9 ESP32 微控制器
(Google 圖片搜尋取得)

實驗一：ESP32 基礎硬體電路測試

- 說明：1.電源測試：插入 USB 線後，檢查板上的電源指示燈（通常是紅色）是否亮起。這代表 3.3V 電壓穩壓器運作正常。
- 2.連接測試：在電腦上開啟裝置管理員，檢查是否能偵測到 COM 連接埠。若偵測不到，可能需要安裝 USB 轉串口驅動程式
- 3.程式下載測試：上傳基礎的 Blink 範例程式。板載 LED（GPIO 2）能正常閃爍，表示 CPU 與開發環境架設成功。ESP32 連線測試圖，如圖 3-10 所示。

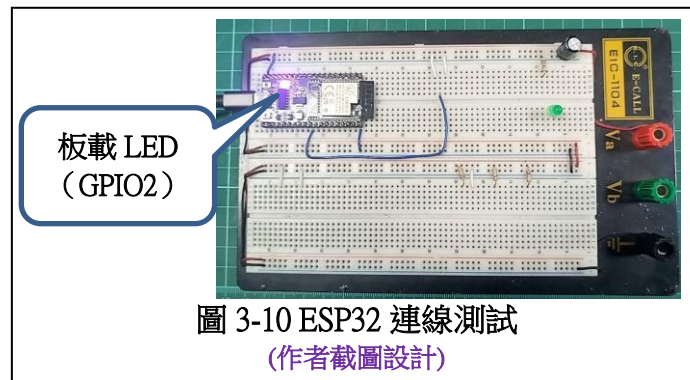


圖 3-10 ESP32 連線測試
(作者截圖設計)

四、太陽能板實驗與測試

作本模擬捲軸機構選用單一片太陽能板，以串並聯方式設計安裝於捲軸上，不同於案場是大片的太陽能板，主要是將每一列太陽能板捲起，選用微型太陽能板，如圖 3-11 所示，其規格為 170mmX20mm，輸出電壓為 5V，輸出電流 80mA。

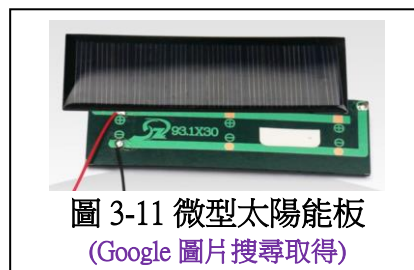


圖 3-11 微型太陽能板
(Google 圖片搜尋取得)

實驗二：太陽能板電壓測量

- 說明：1.選用兩塊太能能板串聯連接，如圖 3-12 所示。使用數位三用電表測量太陽能板兩端電壓測量。如圖 3-13 所示。

- 2.下載手機APP 光照度軟體，如圖 3-14 所示。主要測量在不同時間太陽光的流明值。
- 3.測量時間 8:00~17:00，每一小時測量太陽能板的輸出電壓，並將太陽能板電壓測量結果紀錄於、表 3-1。測量結果發現太陽能板串聯輸出電壓>規格 10V。

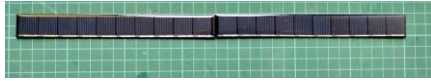


圖 3-12 太能能板串聯連接
(作者拍攝截圖設計)



圖 3-13 太陽能板兩端電壓測量
(作者拍攝截圖設計)

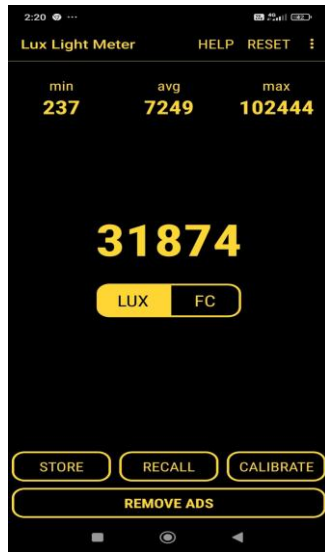


圖 3-14 14:00 陽光流明值
(作者截圖設計)

表 3-1 太陽能板電壓測量

時間	照度值 (LUX)	太陽能板電壓
8:00	31564	11.47V
9:00	34640	11.52V
10:00	35173	11.61V
11:00	37419	11.75V
12:00	36723	11.86V
13:00	33452	11.33V
14:00	31874	11.25V
15:00	35156	11.44V
16:00	33512	11.65V
17:00	32854	11.34V

測量日期：2025. 11. 26

天氣：晴

(作者測試紀錄)

五、HMI USART 人機介面電路設計

HMI 人機介面是一種讓操作者與機器、設備或系統進行互動和溝通的介面。它是一種將機器內部數據轉換為可理解形式的設備，並且讓使用者能透過觸覺、視覺等方式進行控制和監控。研究中選用 7 吋 HMI 觸控顯示器，如圖 3-15 所示。HMI 主要為遠端監控系統之人機操作，首先要規劃顯示介面畫面及操作方式，按鈕、文字顯示盒、開關等位置。在將編輯檔案存放於 SD 卡，在將 SD 卡插入 HMI 既可完成軟體下載。



圖 3-15 7 吋 HMI 觸控顯示器
(Google 圖片搜尋取得)

(一)、HMI 顯示器編輯軟體

HMI 人機介面顯示器編輯軟體操作界面，如圖 3-16 所示。



圖 3-16 HMI 人機介面顯示器編輯軟體操作界面(作者截圖設計)

實驗三：HMI 人機介面顯示器編輯與測試

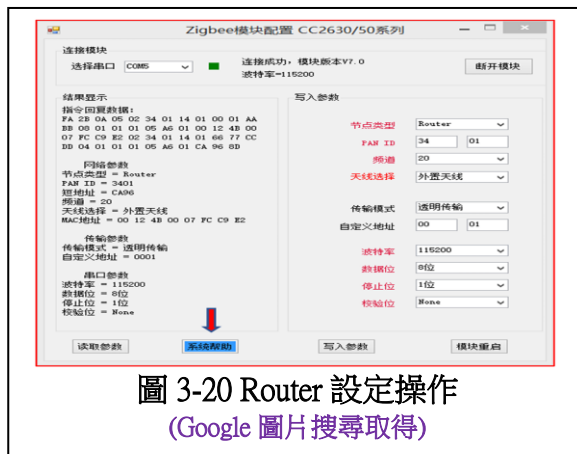
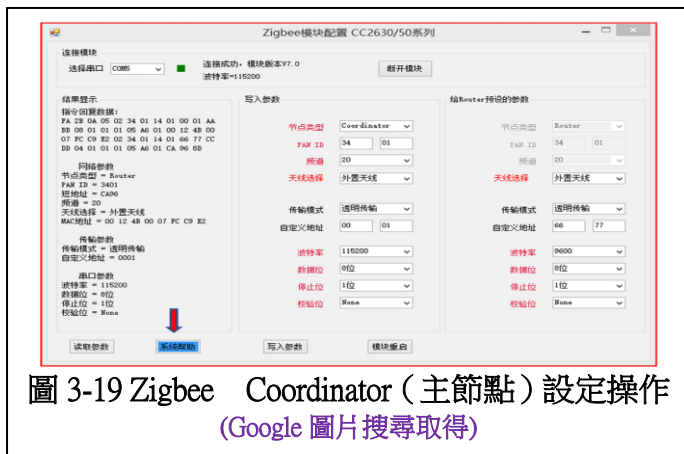
- 說明：1. HMI 與 USB 介面接圖，如圖 3-17 所示。HMI 工作電壓為 5V，再分別將 HMI RX 腳接至 USB TX、HMI TX 腳接至 USB RX。
2. 執行 USART HIM 編輯軟體，設計顯示文字盒物件與曲線顯示，USART HIM 編輯畫面，如圖 3-18 所示。
3. 將編輯軟完成的軟體，轉檔產生.txt 文件檔，再將檔案存放於 SD 卡中，



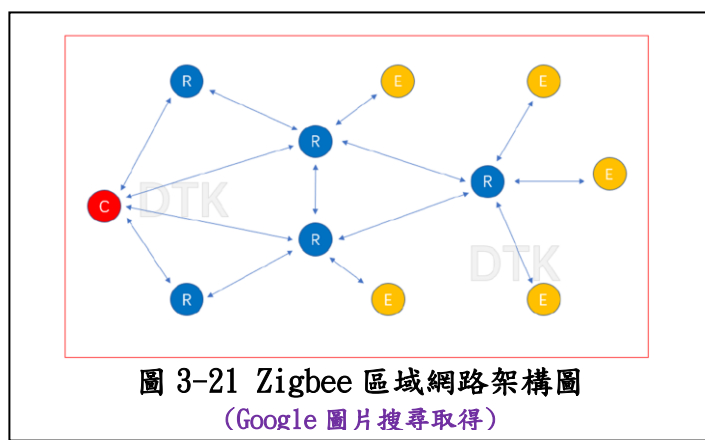
六、ESP32 與 ZigBee 通訊控制電路設計與測試

在控制方式考量環境與現場施工難易問題，因此作品設計以無線傳輸控制方式，則選用 Zigbee 為通訊模組，可簡化佈線問題。而 ZigBee 是一種低速短距離傳輸的無線網路協定，底層是採用 IEEE 802.15.4 標準規範的媒體存取層與實體層。主要特色有低速、低耗電、低成本、支援大量網路節點、支援多種網路拓撲、低複雜度、可靠、安全。

ZigBee 模块有三種類型的節點，即 Coordinator(主節點)及 Router、End Device(從結點)，每个 ZigBee 網絡由一個 Coordinator 及 N 個 Router、End Device 構成，同一個 ZigBee 網絡內，所有的節點必須具有相同的頻道及 PAN ID(網絡 ID)。Zigbee Coordinator(主節點)設定操作，如圖 3-19 所示。Router 設定操作，如圖 3-20 所示。



Zigbee 網絡是一個主從式區域網路架構，每一個 Zigbee 網絡須建立一個 coordinator(協調者)，N 個 Router(路由器)或 N 個 End Device(終端節點)，Router 可以收發資料，也可以提供其他 Router 作為中繼，當其中一條路徑發生故障，會自動切換下一個路徑，Zigbee 區域網路架構圖，如圖 3-21 所示。Zigbee 網絡路由器可以自動加入，無需特別設置。

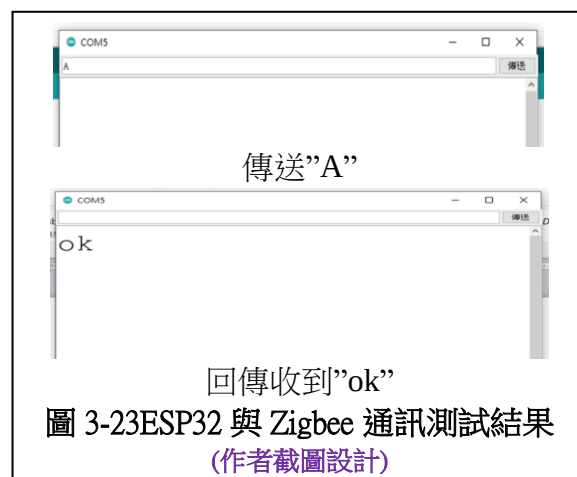
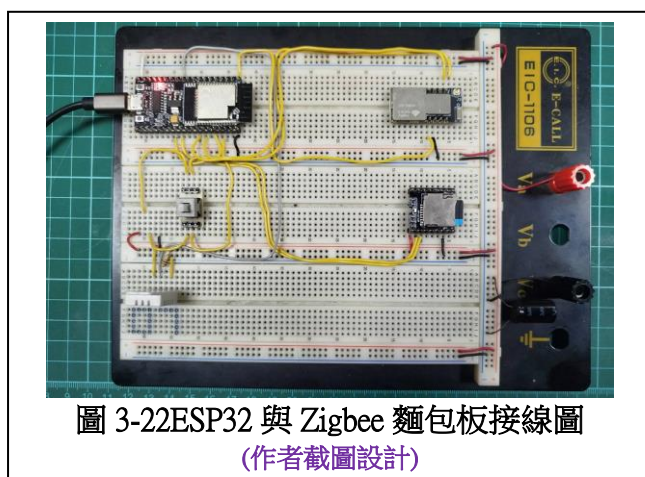


實驗四：ESP32 控制 ZigBee 電路設計與測試

說明：1.麵包板電路分別各接 ESP32 與 Zigbee，並設 Zigbee1 為 Coordinator(主節點)，設 Zigbee2 為 Router(從結點)，ESP32 與 Zigbee 麵包板接線圖，如圖 3-22 所示。

2.程式設計動作，由 Coordinator 傳送一字元” A” ，當 Router 收到時，回傳” OK” 訊息，查看 Coordinator 是否收到” OK” 訊息，無誤表示通訊傳送正常。

3.傳輸鮑率(Baud)設為 115200。ESP32 與 Zigbee 通訊測試結果，如圖 3-23 所示。



七、馬達控制電路設計與實驗

機構控制選用直流馬達 (DC Motor)，主要是將直流電能轉換為機械能的裝置，透過定子產生磁場與轉子電流相互作用來產生轉矩。其優點控制簡單，只要改變正負極性，即能改變馬達正反轉，一般廣泛應用於工業機械、家用電器、車用電動窗及微型裝置中。因此在捲軸旋轉控制我們選用管狀馬達，如圖 3-24 所示。清潔毛刷控制裝置，則選用微型電動缸，如圖 3-25 所示。



(一)、直流馬達正反轉控制

直流馬達的正反轉控制核心原理是改變馬達兩端的電壓極性，即將正負極對調。直流馬達的原理與結構，如圖 3-26 所示。直流馬達利用直流電產生旋轉運動（根據弗萊明左手定則），再透過機械換向來維持運轉。

在馬達正反轉控制，電路設計使用兩個繼電器進行控制，馬達正反轉控制，如圖 3-27 所示。當 Relay1=Relay2=OFF，馬達接線兩端電壓為 0V，馬達停止不轉，當 Relay1=ON、Relay2=OFF，馬達接線左側端電壓為 12V，右側端電壓為 0V 馬達正轉，當 Relay1=OFF、Relay2=ON，馬達接線左側端電壓為 0V，右側端電壓為 12V 馬達反轉，當 Relay1=Relay2=ON，馬達接線兩端電壓為 12V，馬達停止不轉，馬達正反轉控制真值表，如表 3-2 所示。

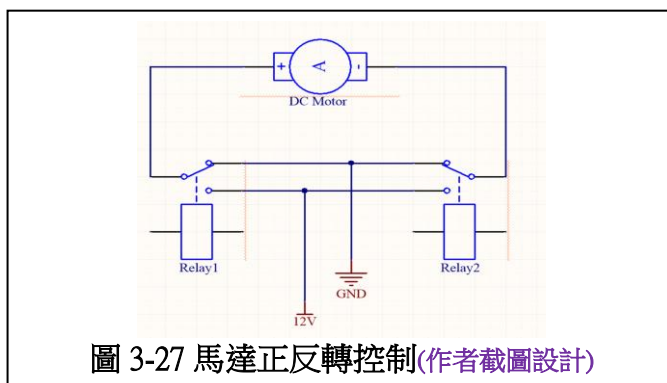
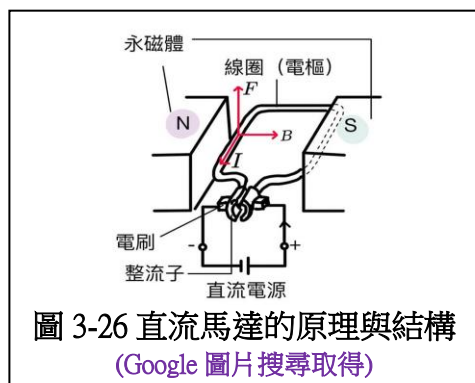


表 3-2 馬達正反轉控制真值表

Relay1	Relay2	馬達運轉動作
OFF	OFF	停止
ON	OFF	正轉
OFF	ON	反轉
ON	ON	停止

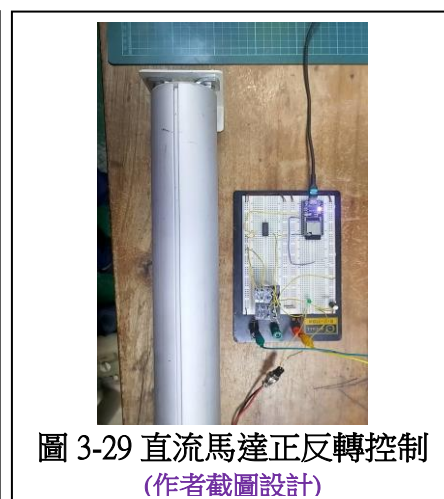
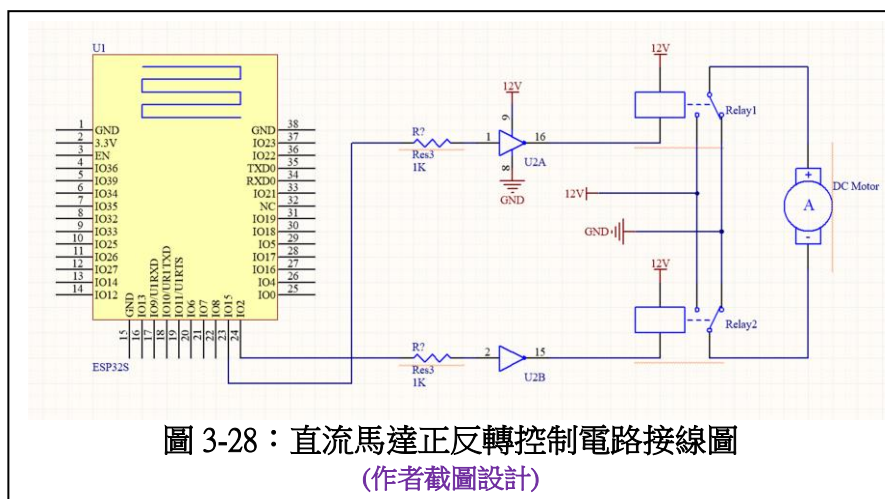
(作者自行繪製)

實驗五：直流馬達正反轉控制電路設計與測試

說明：1.ESP32 直流馬達正/反轉控制電路，如圖 3-28 所示。

2.將 ESP32 GPIO15 腳接至 UNL2003 1[#]，16[#]腳輸出接至 Relay1。GPIO2 接至 UNL2003 2[#]，15[#]腳輸出接至 Relay2。

3.動作設計功能，馬達正轉 5 秒後停止 2 秒，馬達反轉 5 秒後停止 2 秒，完成後下載控制程式測試。直流馬達正反轉控制，如圖 3-29 所示。



(一)、直流馬達正反轉，使用 L298 馬達驅動控制

L298N 模組用於捲軸式太陽能板控制，展開(馬達正轉)、收回(馬達反轉)，可以分別控制正轉及反轉。L298N 模組，如圖 3-30 所示。一般在材料行的價格約 80~150 左右。該模組可以同時控制兩個直流馬達，馬達驅動工作電壓範圍 5~35V，邏輯控制晶片工作電壓則需

要+5V。L298N 為雙 H 橋模組，每個 H 橋使用四個電晶體控制一個馬達的順時針與逆時針旋轉，兩個 H 橋可以控制兩個馬達，L298N 提供四個數位訊號輸入接腳，假設 IN1 與 IN2 接腳控制左側馬達，而 IN3 與 IN4 接腳控制右側馬達，馬達與四個數位訊號輸入接腳的關係如下方兩個表格，HIGH 表示高電壓，LOW 表示低電壓。馬達 1 控制真值表，如表 3-3。馬達 2 控制真值表，3-4 所示。

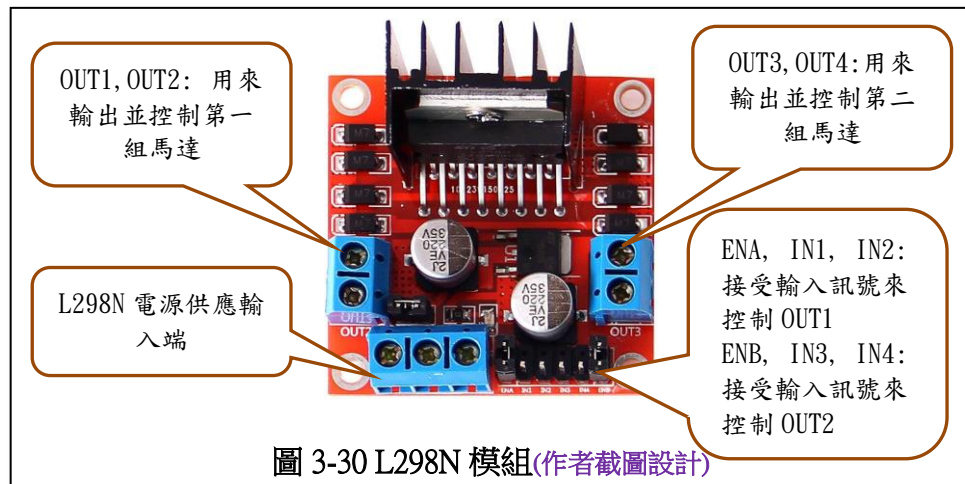


圖 3-30 L298N 模組(作者截圖設計)

表 3-3 馬達 1 控制真值表(作者設計)			
	馬達運作	IN1	IN2
馬達 1	順時針	HIGH	LOW
	逆時針	LOW	HIGH
	停止	LOW	LOW

表 3-4 馬達 2 控制真值表(作者設計)			
	馬達運作	IN3	IN4
馬達 2	順時針	HIGH	LOW
	逆時針	LOW	HIGH
	停止	LOW	LOW

實驗五：ESP32 與管狀馬達控制電路設計與測試

說明：1. L298N 模組，第一組輸出控制管狀馬達，第二組輸出控制微型電動缸，ESP32 馬達控制電路圖，如圖 3-31 所示。

2.ESP32 GPIO4 接 IN1、，GPIO0 接 IN2，GPIO2 接 IN3、GPIO0 接 IN4，

3.將 ESP32、L298N、馬達接於麵包板，如圖 3-32 所示。撰寫程式控制馬達正轉、反轉測試。

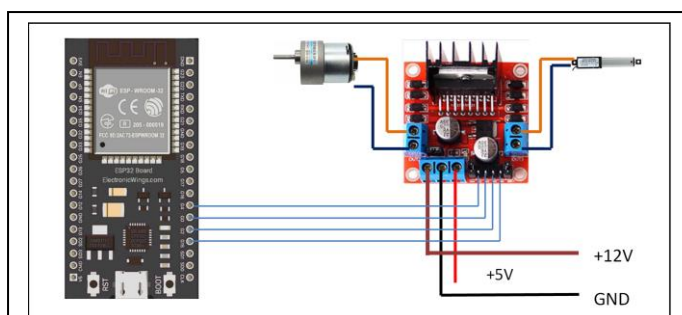


圖 3-31 ESP32 馬達控制電路圖
(作者截圖設計)

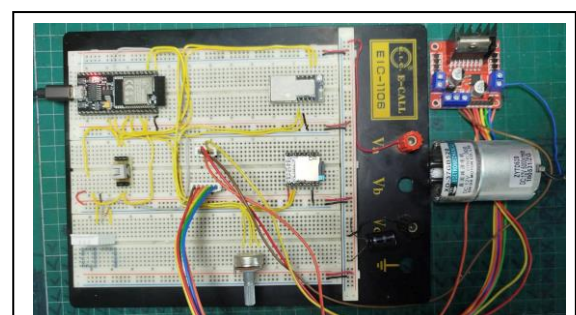
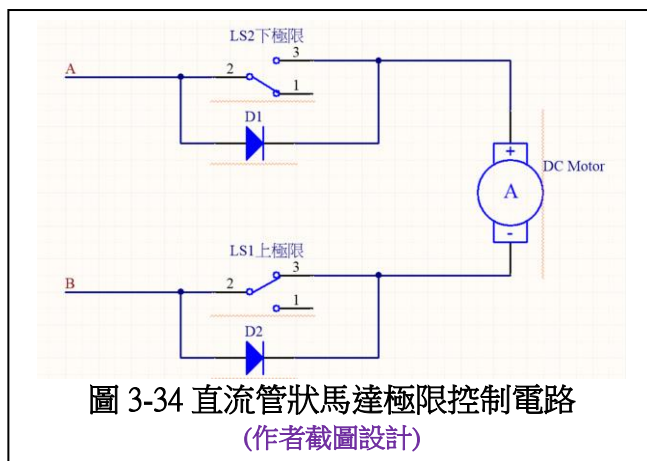
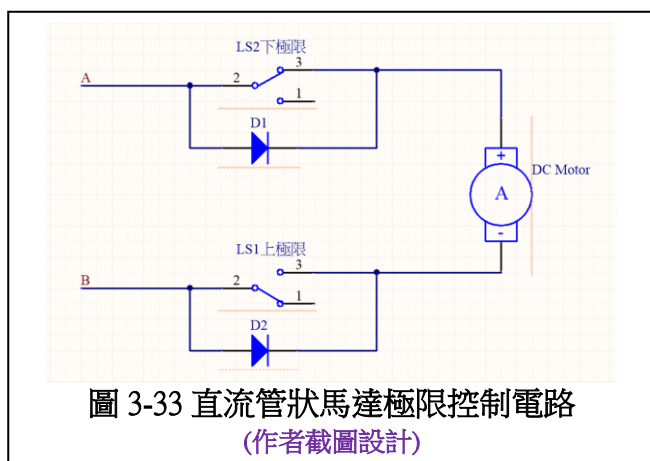


圖 3-32 ESP32 馬達控制電路圖
(作者截圖設計)

(二)、直流管狀馬達極限位置及馬達正反轉控制

直流馬達管狀馬達內部有極限控制 (Limit Control)，馬達旋轉會有固定轉劇，因此會設計極限開關進行控制，也在防止機械結構超出安全運作範圍，其核心方法包括安裝實體限位開關以切斷電源限位，限位開關 (Limit Switch)，在機械運動的上極限端位置 (最遠端) 安裝機械開關。當機構觸碰開關時，電路會直接中斷或觸發控制器停止馬達。直流管狀馬達極限控制電路圖，A 接+12V、B 接 0V(GND)，當馬達運轉至上極限位置 LS1 由 NC→NO，此時 D2 逆向馬達停止運轉，如圖 3-33 所示。馬達運轉至下極限位置，如圖 3-34 所示。



八、WS2812 電路設計與實驗

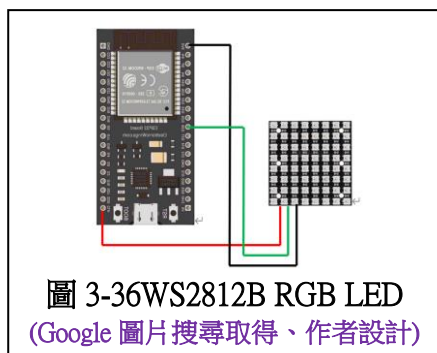
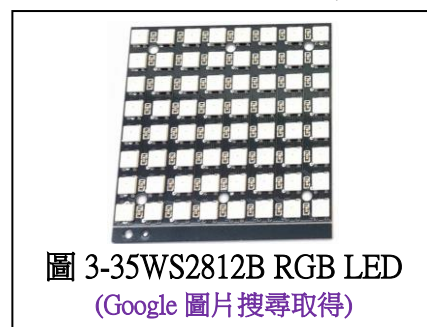
WS2812 RGB LED，如圖 3-35 所示。WS2812 是具有內建驅動晶片功能的 LED，使用 5050 LED 封裝加入驅動晶片，驅動方式採串列進出，因此可獨立控制串接 LED 的每一顆 LED，每個一 LED 具有 R/G/B 三顏色可獨立控制。WS2812 每一個顏色可調整 0~255 階，因此每一個顏色需用到 8bit 控制，每一顆 LED 需用到 24bit 控制。

實驗六：ESP32 控制 WS2812 電路設計與測試

說明：1.ESP32 與 WS2812 接線圖，如圖 3-36 所示。

2.將 ESP32 GPIO4 腳接至 WS2812 Din 腳，V+接=+5V、V-接 GND 腳。下載程式完成後並測試。

3.WS2812 程式與測試結果，如圖 3-37 所示。



九、機構設計

捲軸式太陽能板控制裝置，最重要的還是機構設計，可分成兩個組合件方式設計，太陽能板基座，如圖 3-38 所示。太陽能板基座尺寸圖，如圖 3-39 所示。設計時考量每一片太陽能板長度、寬度。太陽能板傾斜角度，在台灣地區的傾斜角度約在 22 至 25 度之間，因此作品選擇 25 度角，太陽能板安裝卷軸圖，如圖 3-40 所示。動力捲則使用管狀馬達，如圖 3-41 所示。

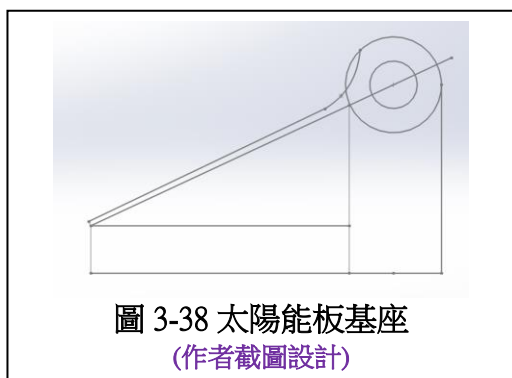


圖 3-38 太陽能板基座
(作者截圖設計)

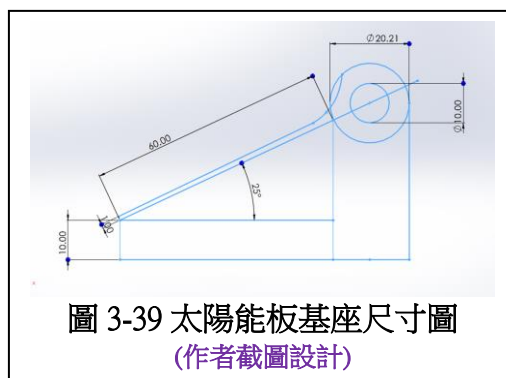


圖 3-39 太陽能板基座尺寸圖
(作者截圖設計)

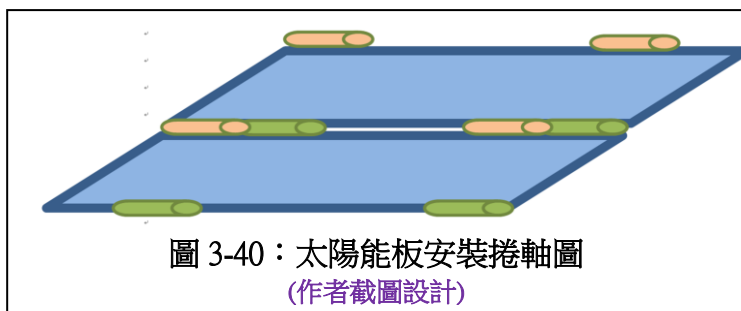


圖 3-40：太陽能板安裝捲軸圖
(作者截圖設計)



圖 3-41 動力捲軸使用管狀馬達
(作者截圖設計)

十、APP 手機程式設計

作品設計控制方法三：可由 APP 程式透過手機藍牙裝置與捲軸式太陽能板裝置連線，以手機控制捲軸式太陽能板收回動作，撰寫 APP 程式使用 APP Inventor2，App Inventor2 為一個透過視覺化圖形介面來設計行動應用服務的工具，可以透過瀏覽器編輯器中拖拉積木和 GUI 圖形化介面的方式來開發 APP 而不用撰寫 Java 程式碼，開始製作我們在使用者介面設計，先規劃整個 APP 的功能還有主畫面。MIT APP Inventor2 開發介面，如圖 3-41 所示。

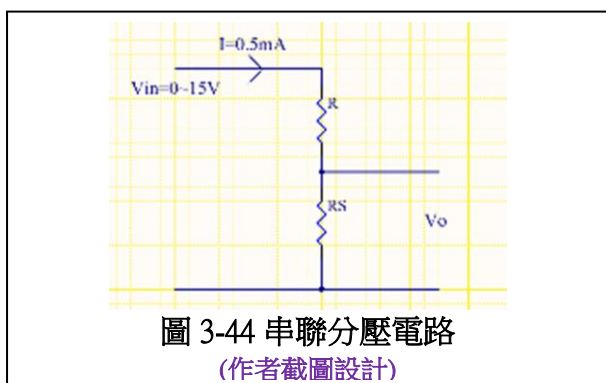
APP Inventor2 分別為畫面編排、程式設計等兩種介面，APP Inventor2 開發介面，如圖 3-42 所示。APP 顯示畫面編輯介面，如圖 3-43 所示。APP Inventor2 開發軟體使用積木方式撰寫程式，以物件導向方式設計，因此每一個物件都有該物件、屬性、事件、方法，APP Inventor2 易懂易學，只要有基礎程式設計及邏輯能力即可完成。



十一、電壓/電流偵測電路設計

電壓、電流量測方式，我們使用 ESP32 類比信號輸入端 ADC0 腳位，進行電壓與電流量測，將輸入電壓值進行 A/D 轉換，在電流量測須將電流變化轉為電壓變化，再送至 ADC0 輸入端，因此使用 0.1Ω 水泥電阻做 I/V 轉換。

在直流電壓測量時，ESP32 A/D 轉換輸入電壓必須 $\leq 3.3V$ ，在考量待測電壓值為 $12V$ ，需設計一串聯分壓電路，如圖 3-44 所示。因此設量測電壓範圍 $0\sim 15V$ ，串聯迴路電流 $I=0.5mA$ ， V_o 輸出 $0\sim 3V$ ，求分壓電阻值 $R=240k\Omega$ 、 $R_S=6k\Omega$ ，其衰減倍率=5，當 $V_{in}=12V$ 經分壓電路則輸出為 $V_o=2.4V$ ，再送至 GPIO(ADC0)腳位，經 ESP32 轉換後電壓值為 $2.4V$ ，因此須將電壓轉換值 $\times$ 衰減倍率，即可得到實際電壓值 $V_{in}=2.4\times 5=12V$ 。串聯分壓計算公式，如圖 3-45 所示。



$$\begin{aligned} \text{分壓電阻 } R_S &=? \\ R_S &= \frac{V_o}{I} = \frac{3V}{0.5mA} = 6k \\ R &= \frac{V_{in} - V_o}{I} = \frac{15 - 3}{0.5mA} = 24k \\ \text{輸入電壓 } V_{in} &= 12V; \text{ 則} \\ V_o &= 12 \times \frac{6k}{24k + 6k} = 2.4V \\ \text{則實際電壓值} &= 2.4 \times 5 = 12V \end{aligned}$$

圖 3-45 串聯分壓計算公式
(作者截圖設計)

實驗五：ESP32 類比電壓輸入電路與程式設計

- 步驟：1. ESP32 電壓輸入電路，輸入電壓使用 $10k$ 電位器，將 V_o 接至 ESP32 GPIO36/ADC0 腳位，類比電壓輸入接線圖，如圖 3-46 所示。
2. 設計程式將 ADC0 類比電壓值轉數位，並由顯示器顯示其值，類比電壓輸入測試數據，如圖 3-47 所示。
3. ESP32 類比轉換解析度為 12bits，ESP32 轉換值介於 $0\sim 4095$ 之間。
4. 當 ADC 類比電壓轉換值 $Val=2384$ ，則 $V_{in}=Val \times 3.3/4096=2384 \times 0.0008=1.92V$ 。

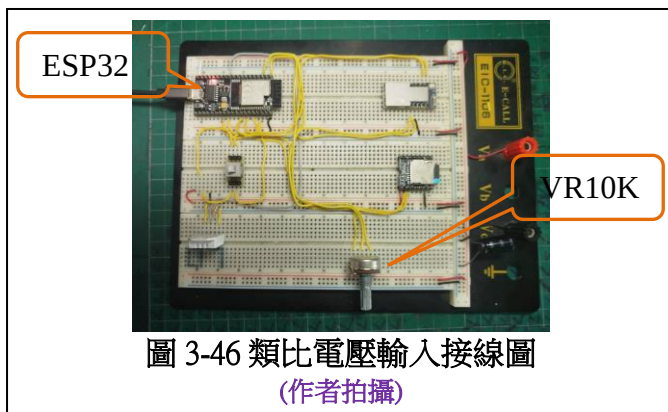


圖 3-46 類比電壓輸入接線圖

(作者拍攝)



圖 3-47 類比電壓輸入測試數據

(作者截圖設計)

十一、太陽能發電裝置系統圖

太陽能板輸出電壓為直流 DC 電壓，需連接太陽能板控制器，如圖 3-48 所示。其主要功能是調節太陽能板到電池的電流，防止電池過充或過放，保護電池並延長壽命。將 DC12V 轉 AC110V 需連接逆變器，如圖 3-49 所示。太陽能發電裝置系統圖，如圖 3-50 所示。



圖 3-48 太陽能板控制器

(Google 圖片搜尋取得)



圖 3-49 逆變器

(Google 圖片搜尋取得)



圖 3-50 太陽能發電裝置系統圖

(Google 圖片搜尋取得)

十二、捲軸式太陽能板控制系統機構設計

機構製作先以角鋼為機座，將管狀馬達安裝於基座上， Γ 字型為兩側滑槽，由管狀馬達旋轉帶動太陽能板於滑槽兩側，太陽能板捲起時收於管狀馬達軸心，實驗成功後再委請鐵工廠製作與加工。捲軸式太陽能板控制系統機構後視圖，如圖 3-51 所示。捲軸式太陽能板控制系統機構前視圖，如圖 3-52 所示。



圖 3-51 捲軸式太陽能板控制系統機構前視圖
(作者拍攝)



圖 3-52 捲軸式太陽能板控制系統機構後視圖
(作者拍攝)

待機構設計完成後，將設計機構委託加工廠製作，太陽能兩側支架圖，如圖 3-53 所示。
捲軸式太陽能板控制整體機構圖，如圖 3-54 所示。

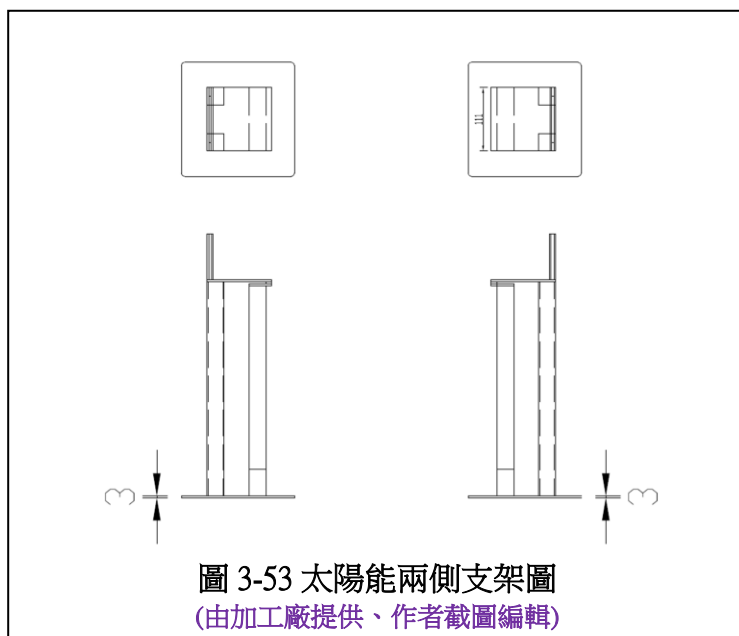


圖 3-53 太陽能兩側支架圖
(由加工廠提供、作者截圖編輯)

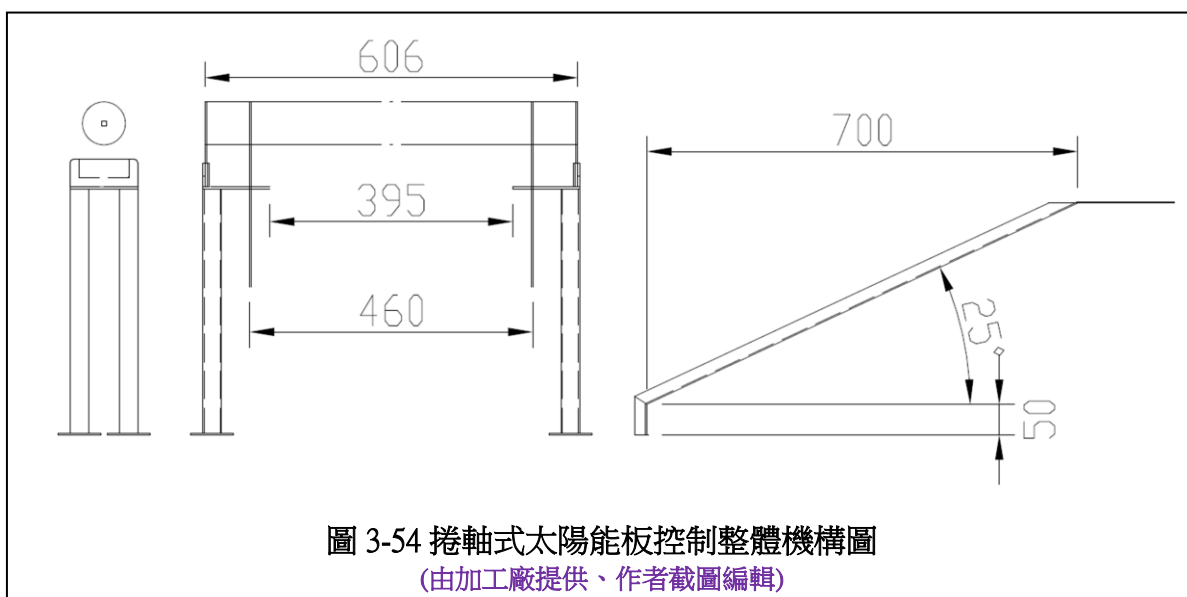


圖 3-54 捲軸式太陽能板控制整體機構圖
(由加工廠提供、作者截圖編輯)

肆、研究結果：

一、前言

在研究過程中將各項數據及測試結果彙整，完成以下各項研究結果測試，測試與實驗結果是相輔相成，更能驗證系統的完整性、可用性。

二、操作方式

具有下列五種操作模式：

(一)防災操作：控制方法一：由遠端監控系統，下達太陽能板收回控制命令，當裝置收到命令後控制馬達反轉收回太陽能板。控制方式二：由遠端監控系統依編號個別控制太陽能板收回動作。控制方法三：可由 APP 程式透過手機藍牙裝置與捲軸式太陽能板系統連線，以手機控制捲軸式太陽能板收回動作。捲軸式太陽能板系統，如圖 4-1 所示。遠端控制系統，如圖 4-2 所示。



圖 4-1 捲軸式太陽能板系統(作者拍攝)



圖 4-2 遠端控制系統(作者拍攝)

(二)發電操作：當太陽能板再收回狀態，可由遠端監控系統下達發電展開命令，此時捲軸式太陽能板裝置接收到命令後，控制馬達正轉將太陽能板展開至所定位位置。同理也可由手機個別對太陽能板下達展開控制命令。

(三)清潔操作：經由遠端監控系統按下太陽能板清潔按鈕，此時捲軸自復式太陽能板控制裝置接收到控制訊號，先將毛刷下降與太陽能板接觸，控制馬達旋轉將太陽能板收回，透過收回動作可將太陽能板上的灰塵及髒東西一併清除。

(四)遮陽操作：經由遠端監控系統裝置，設定控制太陽能開啟位置，啟動後馬達帶動太陽能板旋轉，到達定位後停止。

(五) 手機 APP 太陽能板巡檢查修操作：此功能主要是無需監控系統，即可由手機 APP 程式各別控制太陽能板，當維修或查修太陽能板故障時，透過手機也能操作。

三、HMI 人機介面畫面編輯

捲軸式太陽能板控制系統顯示編輯為單頁面，如圖 4-3 所示。

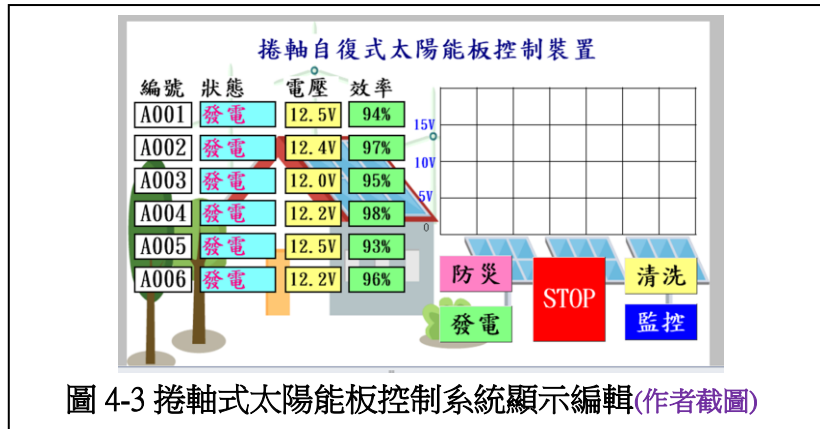


圖 4-3 捲軸式太陽能板控制系統顯示編輯(作者截圖)

四、WS2812 LED 顯示圖形編輯

捲軸式太陽能板控制系統，設計 8x8 登板用來顯示馬達運轉狀態，設計有防災啟動圖形，發電啟動圖形，太陽能板清潔狀態圖形，運轉停止顯示圖形，運轉到達上/下極限狀態顯示圖形，如圖 4-10 所示。

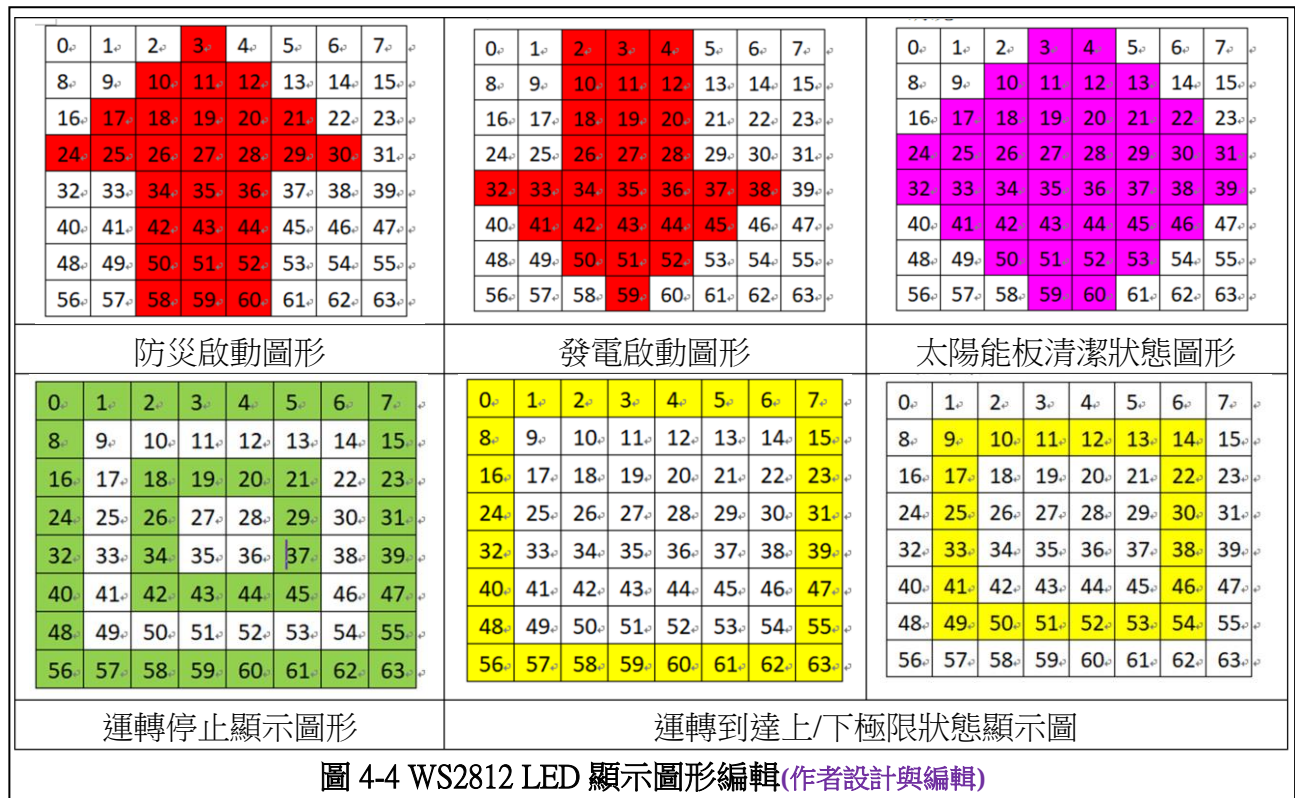


圖 4-4 WS2812 LED 顯示圖形編輯(作者設計與編輯)

五、APP 程式測試結果

在 APP 程式設計，主要方便透過手機亦能進行控制，方便於維修人員操作，APP 主畫面，如圖 4-5 所示。手機開啟藍牙裝置，進行藍牙配對成功後，開啟 APP 程式進行藍牙連線連線成功後，可按手機螢幕按鈕，即可控制卷軸式太陽能板。



圖 4-5 APP 主畫面(作者截圖)

六、捲軸式太陽能板控制系統電路圖

捲軸式太陽能板控制系統電路圖，如圖 4-6 所示。電路板設計及電路板製作，委託電子材料行協助製作，帶 PCB 製作完成後即可進行焊接與組裝，捲軸式太陽能板控制印刷電路板設計圖，如圖 4-7 所示。硬體電路與軟體設計測試完成後。印刷電路板製作完成後，再依電路圖將各元件焊接於印刷電路板，再進行軟體下載燒錄及測試。

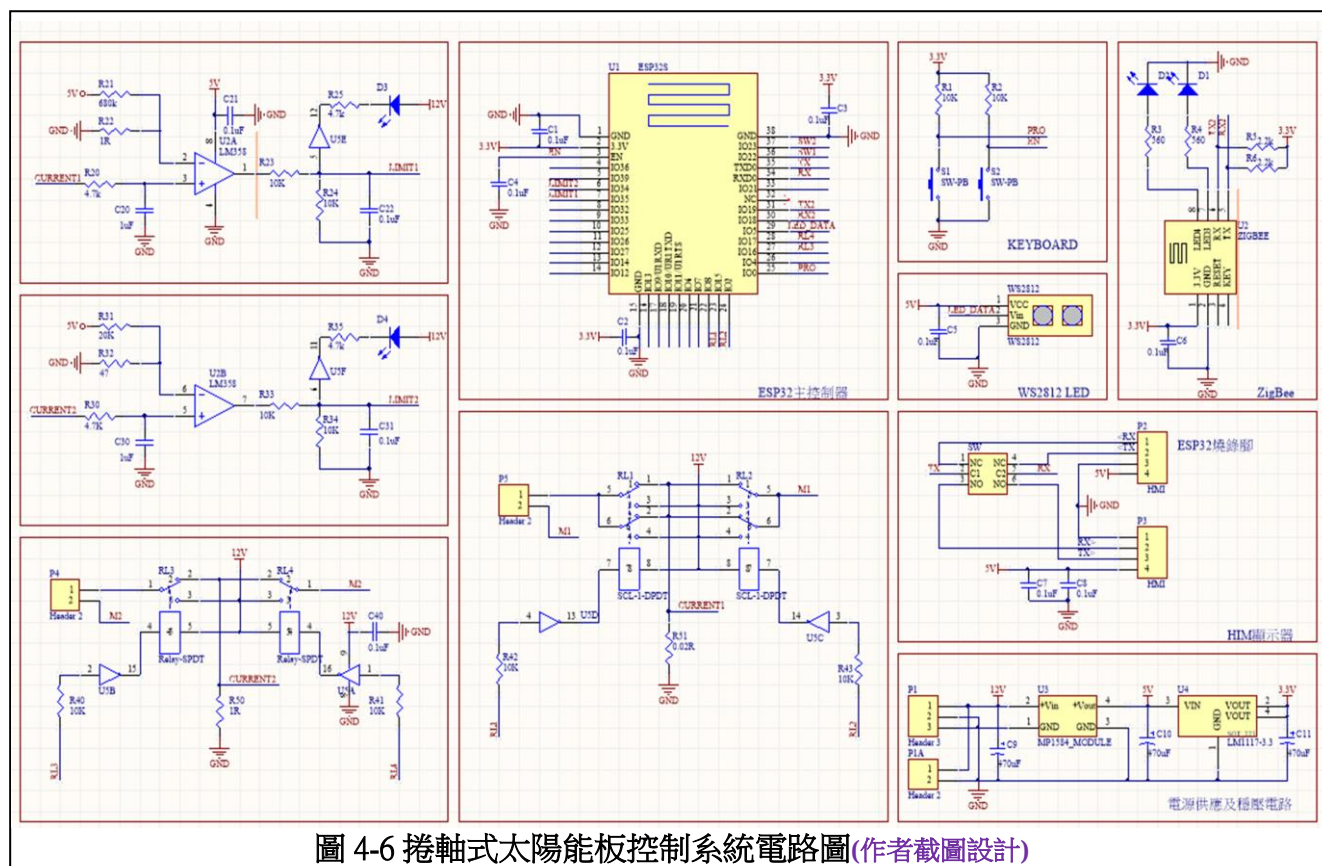


圖 4-6 捲軸式太陽能板控制系統電路圖(作者截圖設計)

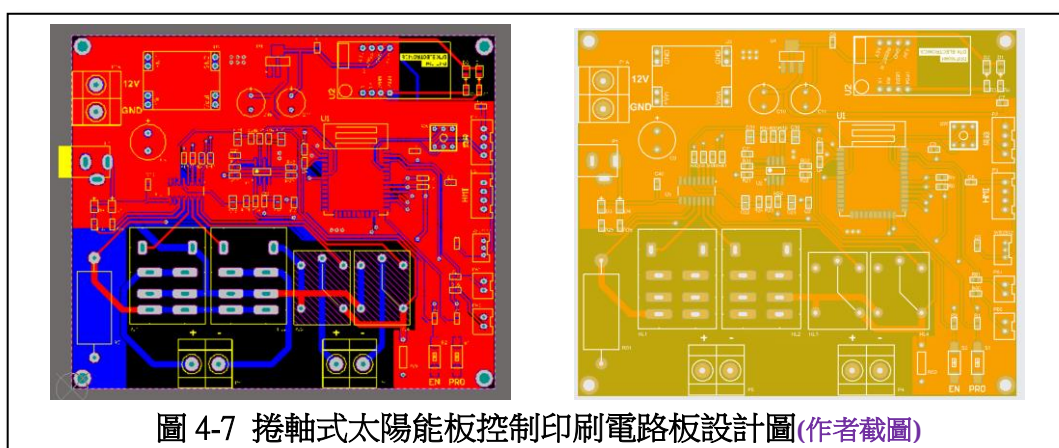


圖 4-7 捲軸式太陽能板控制印刷電路板設計圖(作者截圖)

七、電路板製作與焊接

進行捲軸式太陽能板控制電路板焊接，如圖 4-8 所示。遠端監控系統電路板圖，如圖 4-9 所示。捲軸式太陽能板控制組裝 PCB，如圖 4-10 所示。遠端監控顯示器，如圖 4-11 所示。捲軸式太陽能板控制機構，如圖 4-12 所示。目前所安裝的太陽能板為 2 串 13 並聯，其輸出串

聯電壓為 10V，太陽能板並聯連接後輸出電流為 $13 \times 80\text{mA} = 1040\text{mA}$ 。安裝製作過程，如圖 4-13 所示。



圖 4-8 捲軸式太陽能板控制電路板焊接
(作者截圖)



圖 4-9 遠端監控系統電路板圖(作者截圖)



圖 4-10 捲軸式太陽能板控制組裝 PCB
(作者截圖)



圖 4-11 遠端監控顯示器(作者截圖)



圖 4-12 捲軸式太陽能板控制機構(作者截圖)

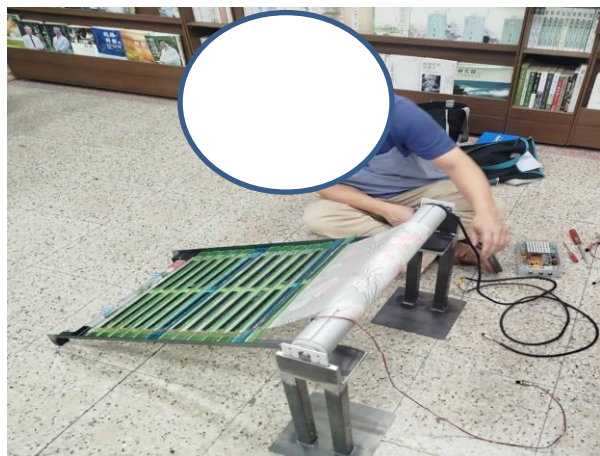


圖 4-13 安裝製作過程(作者截圖)

八、捲軸式太陽能板控制功能操作

系統整合測試與操作，分別為防災功能、發電功能、清潔功能、遮陽功能、太陽能板電壓檢測，捲軸式太陽能板控制功能操作，如圖 4-14 所示

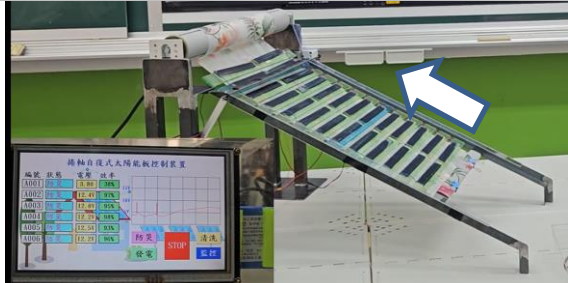
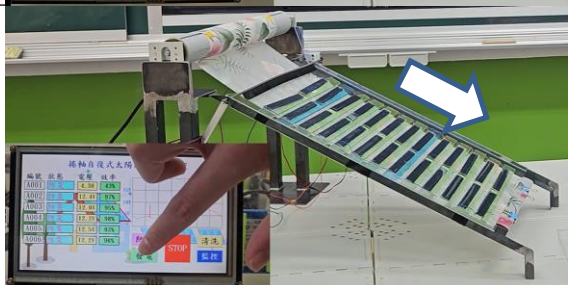
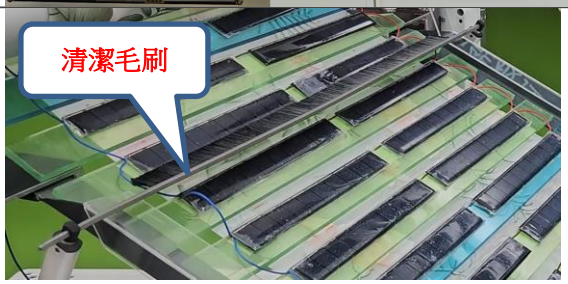
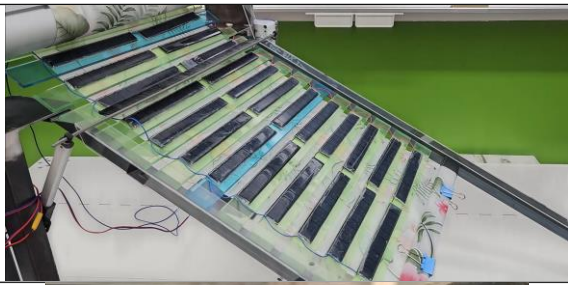
操作動作	動作說明	
防災功能	- 遠端監控系統，按下防災鈕，此時馬達運轉，將太陽能板收於機箱內。 - 此時控制狀態燈號顯示箭頭向上。	
發電功能	- 遠端監控系統，按下防災鈕，此時馬達運轉，將太陽能板收於機箱內。 - 此時控制狀態燈號顯示箭頭向下。	
清潔功能	- 遠端監控系統，按下清潔鈕，控制狀態燈號顯示雙箭頭。此時微型電動缸帶動刷向下，到達定位後停止。 - 馬達運轉，將太陽能板收起，此時毛刷即清潔太陽能板。	
遮陽功能	- 啟動遮陽模式，太陽能板捲起 50%位置，到達定位後停止。 - 結束可按下發電鈕，此時太陽能板展開至發電位置。	
太陽能板電壓檢測	- 在發電模式，檢測太陽能板偵測電壓，顯示於遠端監控顯示器，並將電壓值顯示於畫面。 - 效率計算 = $\frac{\text{輸出}}{\text{輸入}} = \frac{9.2}{10} = 92\%$。	

圖 4-14 捲軸式太陽能板控制功能操作(作者拍攝截圖設計)

伍、討論：

- 一、「捲軸式太陽能板控制系統」即針對高災害風險環境下，太陽能設施脆弱易損的問題提出創新解方。其特色在於結合「災害防護」與「智慧能源管理」，能在惡劣天候來襲前自動收納板面，避免損壞，並結合清潔與多功能應用。
- 二、可拆卸式的設計，維修時不需要整組拆掉，可以保留完整的零件，裝修時也只需要將管狀馬達架上即可，這樣的設計不僅減少零件的花費，也減少了裝修的費用。
- 三、保養清潔可以讓設備零件運轉更順暢，維持原有的效能，不僅可以延長設備壽命，也減少人力成本。
- 四、太陽能板因為長期暴露在戶外受損的機率極高，因此我們結合災害防護與智慧能源管理，災害來臨前自動收納板面，將太陽能板捲起收入防護機箱，可以讓受損的頻率降低，也大大減少了維修成本。
- 五、彎曲半徑限制會直接決定捲軸尺寸，設計時須考量太陽能板的寬度，在設計捲軸圓直徑，避免造成切線現象，無法密合將太陽能板收於捲軸上。
- 六、捲軸式太陽能板裝置，需增加控制電路及馬達控制電路，需要額外的電力供應，可將太陽能發電部分電力儲存於裝置中，控制時在提供電力給裝置使用。
- 七、遠端監控：電量、發電功率、展開長度、自主紀錄發電參數及使用壽命，建構預知故障檢測，自動故障報修功能。
- 八、預防損壞：定期檢查和保養能及早發現並處理小問題，防止問題擴大，避免演變成昂貴且耗時的大修。
- 九、延長設備壽命：良好的保養習慣可以確保設備保持良好運作狀態，延長其整體使用年限。
- 十、提升效率與性能：保養清潔得當可以讓設備零件運轉更順暢，維持其應有的效能，甚至提高能源效率。

陸、結論：

一、機構的穩定性及太陽能發電效率，建構成本增加，如何在災害發生所造成的太陽能板損失中取得平衡點。

二、未來技術成熟發展軟性太陽能板，以捲軸式發電也能避免風災引響，現今市面的軟性太陽能板彎曲角度不能大於 120 度，因此作品先以多晶矽太陽能板進行設計。

三、創意性：

(一) 創新結構設計：創新突破傳統太陽能板固定安裝方式，以「捲軸式結構」因應颱風來襲防護機制。颱風來時只要將太陽能板捲起收納，即可減少太陽能板受風面積，達到保護成效。

(二) 功能整合：集防災、清潔、發電、遮陽於一體，兼顧能源效益與生活應用。

(三) 跨領域應用：結合偵測，透過數據紀錄與互動操作提升簡易性，智慧化科技裝置。無線通訊則以 ZigBee 傳輸，完成區域性 IOT 物聯網架構。

(四) 環境永續：延長太陽能板壽命，降低廢棄物產生，同時解決魚電共生爭議，平衡能源與生態。

(五) 安裝與維修更簡便，傳統太陽能板尺寸 175x113.4cm，須一片一片的安裝於機構，大面積的鋪設不易，改成捲軸式只要將整組的太陽能板掛上即可。

(六) 裝置安全防護機制：機械限位器防止捲軸過度旋轉，避免過捲或脫軸，自動反轉功能，當捲動過程偵測到異常阻力（例如手或物體被壓住），馬達自動反轉鬆開。

四、效益性

(一) 太陽能板建置費用 1kW=\$4 萬~\$7 萬，太陽能板材一片費用\$6,000~\$10,000，風災損壞的太陽能板達 20 萬片，總受損費用達 20 億元，因此改用我們作品就能減少 20 億的損失。

(二) 作品捲軸自復式太陽能板控制裝置費用會略高一些，但就整體其效益性，遠高於傳統固定式太陽能板裝置為優。

(三) 經濟效益：保養重於修理、修理重於換置，同理能減少損失，即能獲得最大經濟效益。對於作品設計整個成本略微提高，但對於無價的損失，顯然更值得發展與創作。

(四) 一般太陽能板清洗須靠人力完成，清理太陽能板的方式需要兼顧安全、效果與避免損傷，

需專業人員進行清理，在人力缺乏下更難找到工人來清理。且清理時間不能中午高溫時段，高溫板面遇水可能會產生熱衝擊導致玻璃破裂。設計具有自動清潔太陽能板能力，裝置捲起與展開即可同步清洗太陽能板。

五、操作性：

捲軸式太陽能板控制系統四種操作模式，環境可依需求切換：

- (一) 防災模式：颱風或豪雨警報發布時，系統自動將太陽能板收進防護機箱。
- (二) 發電模式：天氣穩定時，太陽能板自動展開至最佳角度進行發電。
- (三) 清潔模式：透過捲軸機制，於展開與收合過程中自動完成清潔。
- (四) 遮陽模式：在非發電需求時，太陽能板可展開作為遮陽設施，提升生活應用價值。

柒、參考資料及其它：

【一本書】

- 1.施士文(2022/08/03)。Arduino 微電腦應用實習。台科大圖書。
- 2.陳明熒(2023/11/20)。ESP32 物聯網實作入門與專題應用。博碩圖書。
- 3.鐘國家、侯安桑、廖忠興(2022/11/21)。感測器原理與應用實習。全華圖書。
- 4.劉政鑫、莊凱喬(2024/06/12)。ESP32 微處理機實習與物聯網應用。台科大圖書。
- 5.楊明豐(2021/06/03)。Arduino 最佳入門與應用打造互動設計輕鬆學。基峰資訊股份有限公司
- 6.馮堃生(2009/01/01)。太陽能發電原理與應用。五南圖書出版股份有限公司。

【學位論文】

- 1.柯志輝(2013)。添加奈米碳管應用於捲軸式製程製備 CISS 太陽能電池之研究。[碩士論文]。國立成功大學/博碩士論文系統。
- 2.林浚綻(2026)。太陽能板清潔維護對發電性能提升之效益及其經濟分析之研究。[碩士論文]。國立雲林科技大學/博碩士論文系統。
- 3.簡嘉慧(2021)。棚架式太陽能板設計在建築屋頂之風能潛力分析。[碩士論文]。國立臺北科技大學/博碩士論文系統。