

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 工程學(一)科

052308

照明設備故障自動修護系統

學校名稱：高雄市私立大榮高級中學

作者： 高二 孫振勳 高二 李尚叡	指導老師： 王智萍 林進雄
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：路燈、照明、LED

摘要

地球自轉一周，需要 24 小時，因此地球一面處於白天，另一面則是夜晚，從外太空看地球越先進的國家的夜晚，燈火通明點亮整個城市。當愛迪生發明第一個燈泡時，讓世界夜晝變白晝，照明設備的演進，也照亮人類的文明，各式照明設備有相對的使用壽命，當路燈或照明設備故障時，需要專業維修人員或水電師傅進行更換，有時也讓照明設備久久未能即時修護。本作品設計概念，用於路燈或照明設備，路燈發生故障不亮時，系統偵測故障時並進行自動修護，將不亮的燈泡變成會亮的燈泡，達到即時修護的目的。作品以單晶片微電腦為主控制，LED 驅動電路、霍爾電流感測器、使用 Zigbee 建構區域網路、步進馬達控制，結合 IOT 物聯網概念，設計具有故障自動修護及回報功能系統。

壹、研究動機：

- 一、路燈、照明設備數量，是都市發展最重要指標，燈亮也是用路人及駕駛人基本的安全防護裝置，良好的照明設備可以防止交通事故發生，也能降低都市犯罪率。
- 二、在夜間常常看見路燈，一閃一閃的或不亮的情況時常發生，此時需通知 1966 或道路養護單位做即時報修，當未有任何善心人士報修時，或路燈養護單位人力不足時，往往無法達到即時修護的可行性，卻讓路燈故障時間達數日之久，影響用路人及駕駛人的安全。
- 三、每當看見路燈維修人員，需要夜間搶修故障的路燈或照明設備，主要是確保用路人、市民及駕駛的安全，路燈維修人員既辛苦又勞累，更需 24 小時輪班待命，完成路燈故障修護，當需要夜間施工修護時，也增添維修人員的危險性。
- 四、有時候在白天時間，看見路燈未熄滅除浪費能源，而影響 LED 壽命，最主要的原因可能是控制系統故障所造成，主要的原因是沒有即時通報系統，也沒有可以隨時監控的設備，因此我們希望導入科技讓路燈更具智慧。

貳、研究目的：

- 一、確保每一盞路燈都是亮的，就能減少夜間施工次數，可減少路燈維修人員夜間施工的危險性，故障的路燈或照明設備，白天在進行修護即可。
- 二、以 Zigbee 建構區域網路，可以遠端監控每一盞路燈工作狀況，也可經由監控中心設定夜間路燈點亮時間即關閉時間，可監控每一盞路燈工作電壓、電流，在夜間人車稀少時系統可進行節電模式，將 LED 路燈降載為 30%~40% 功率輸出。當路口有人車經過時，在以緩啟動方式將路段每一盞路燈點亮。
- 三、照明設備科技化、智慧化，讓路燈照明不只是侷限在亮與不亮的問題。作品研究將導入能隨時監控路燈的工作電壓、電流值，可以做到預知故障能力及使用壽命。設計能自動檢測故障並能自動修護裝置。
- 四、路燈故障自動報修系統，以 LINE 群組方式通知單位主管及維修人員。並收集故障路燈編號，進行批次維修方式進行維修，建立維修排程逐次進行維修，可減少維修人員東跑西跑漫無目地的維修設備，或是只有一處故障就馬上維修，浪費人力成本。

參、研究設備及器材：

設備名稱	數量	備註
工業電腦	1	監控程式，Arduino 程式撰寫 5V
3D 印表機	1	機構、外殼列印
數位示波器 100MHz	1	輸出電壓波形測量及觀察
交換式電源供應器(+12V、±5V)	1	電路實驗、系統電源供應
印刷電路雕刻機	1	電路板製作、LED 燈板製作
ArduinoUno R3 控制板	1	單晶片微電腦硬體電路設計及模擬
數位三用電表	1	電壓量測與電流量測
麵包板	1	硬體電路實驗、免焊萬用板
ACS712	5	霍爾元件電流偵測
Zigbee 2.4GHz	5	區域網路無線傳送模組
Zigbee 轉 USB	1	Zigbee 與電腦資料傳遞介面
石英晶體(16MHz)	5	提供單晶片微電腦之工作時脈
積體電路 ATmega328P	6	Arduino 單晶片為系統核心
MOSFET IRF2807	4	LED 控制半導體元件
UAL2003	4	步進馬達驅動積體電路
PMM8713	4	步進馬達控制積體電路
伺服馬達 12V/180 度	5	旋轉控制實驗
步進馬達 12V/1.8 度	5	燈板旋轉、日光燈、燈板旋轉
5050 白光 LED	150	模擬燈板照明
人體紅外線感應開關	1	人體偵測
繼電器 12V	2	LED 控制
PC817	4	光耦合器、極限開關輸入控制
LM1117-3.3	5	+3.3V 電源穩壓

肆、研究過程或方法：

4-1 系統架構圖

系統架構圖，如圖 4-1 所示。系統架構以 IOT 概念建構路燈故障報修系統，分別為路燈維修工處監控系統、LINE 訊息通知系統，照明設備故障自動修護系統，三個系統所建構而成。在路燈維修工處監控系統，主要是以 Zigbee 建構區域網路節點、透過 Coordinator 傳送命令給每個 Router，或接收每一個 Router 所傳回的訊息。系統透過網際網路發送 LINE 訊息，主電腦則以 Visual Basic2016 撰寫監控程式，達到資料收集及監控目的。照明設備故障自動修護系統，為系統命脈，以 Arduino 單晶片微電腦為主控器，進行軟硬體設計，以 Zigbee 無線模組作為區域網路的 Router 端，負責接收/傳送訊息給 Coordinator。

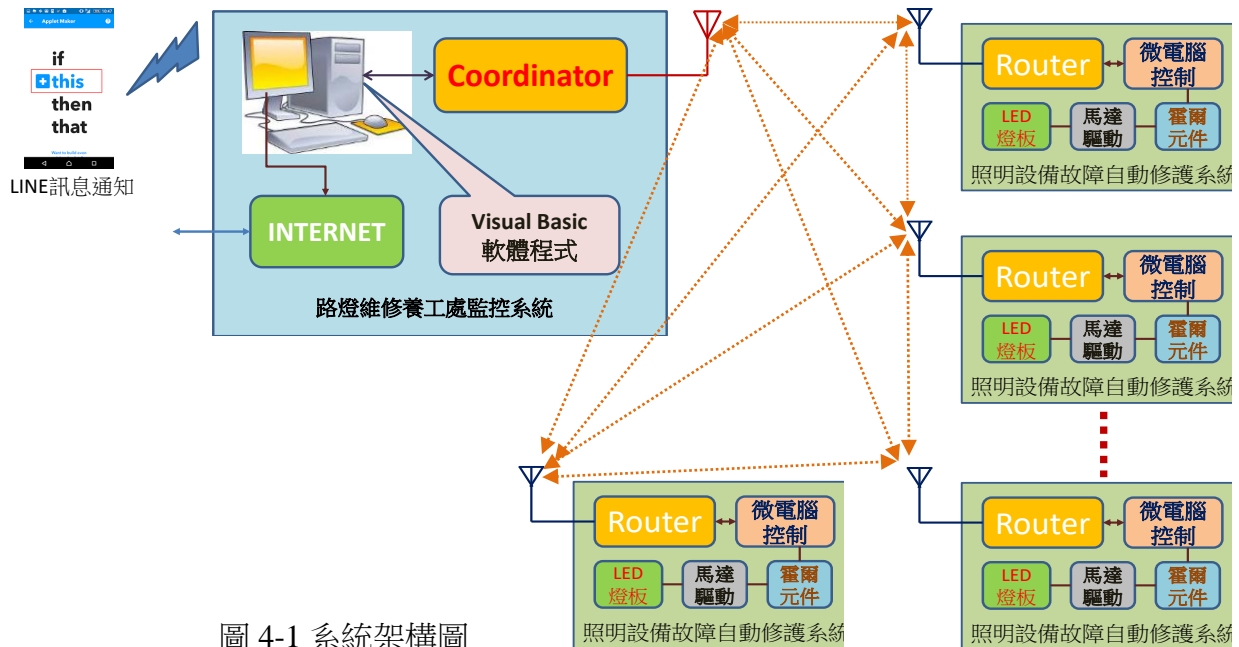


圖 4-1 系統架構圖

4-1-1 照明設備故障自動修護系統方塊圖

照明設備故障自動修護系統方塊圖，如圖 4-2 所示。照明設備故障自動修護系統，共有九個單元分別有 Arduino 單晶片微電腦控制單元、LED 驅動控制單元、定位控制單元、步進馬達控制單元、LED 燈板單元、霍爾電流感測單元、運算放大電路單元、Zigbee 無線控制單元，電壓偵測單元。Arduino 單晶片微電腦控制單元，是系統核心主要控制輸出與輸入介面，處理經由串列傳輸介面傳送/接收訊息至遠端監控系統。LED 驅動控制單元，主要是控制 LED ON/OFF 裝置，經由 D5~D6 腳位控制 A、B 等板。定位控制單元，主要是定位步進馬達旋轉位置，經 D7~D10 輸入極限開關數位信號。步進馬達控制單元，經由 Arduino 控制步進馬達，控制 LED 燈板旋轉 0°~180°範圍。LED 燈板單元，設計一組燈板，分別將燈板固

定於馬達轉動軸 A 組 0°位置、B 組 180°位置。霍爾電流感測單元，主要是用來量測 LED 燈板工作電流。運算放大電路單元，主要電路有減法器、非反相放大器，因霍爾電流感測器輸出電壓 A/V 範圍小，須將其輸出電壓放大，以獲得更精確的電流值。Zigbee 無線控制單元，主要是接收/傳送訊息給 Coordinator。電壓偵測單元，主要是經由 Arduino A1 量測電壓。

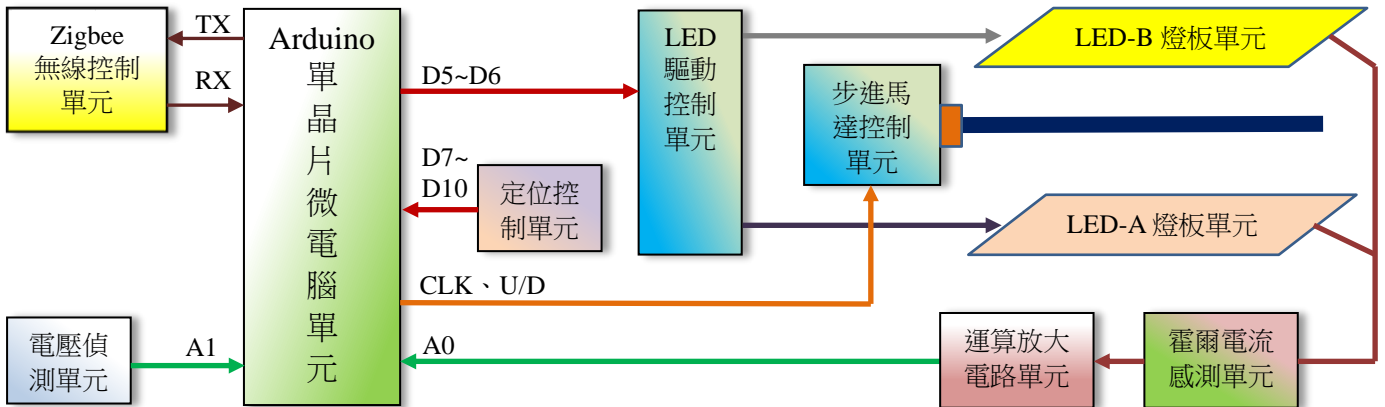


圖 4-2 照明設備故障自動修護系統方塊圖

4-2 Arduino 單晶片微電腦單元

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，因此系統設計我們選用市面常用的 Arduino 控制器，他是屬於單晶片微電腦系統，微電腦硬體基本結構圖，如圖 4-3 所示。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。

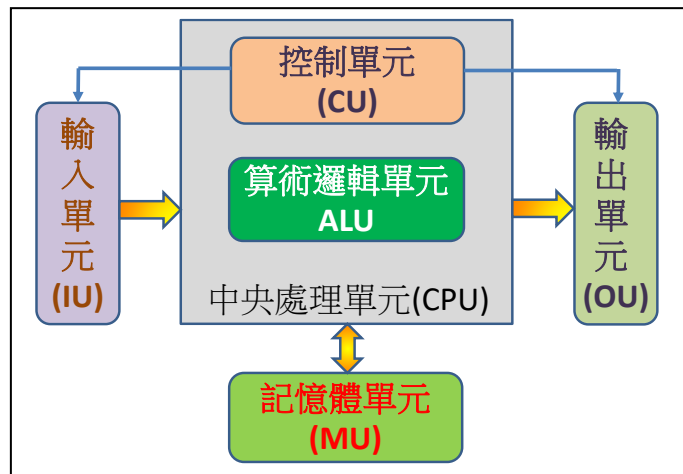


圖 4-3 微電腦系統硬體基本結構圖

Arduino 單晶片微電腦(Single-chip-microcomputer)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。

4-2-1 Arduino Uno R3 控制器

作品我們選用 Arduino UNO R3，Arduino 單晶片微電腦為控制器，如圖 4-4 所示。它使用 Atmel AVR 單晶片，採用開放原始碼的軟硬體平台，構建於開放原始碼 simple I/O 介面板，並具有使用類似 Java，C 語言的 Processing/Wiring 開發環境。Arduino Uno Rev. 3 微控制器使用 Atmel ATmega328 晶片，8 位元微控制器 (MCU) 為基礎。Arduino Uno 具備 14 個數位輸入/輸出腳位（其中 6 個用於 PWM 輸出）、6 個類比輸入，以及 1 個 16MHz 石英晶體。Arduino UNO R3 也包含 USB 連線、電源插孔、線路內序列程式設計 (ICSP) 插頭，以及重設鍵。

4-2-2 Arduino 開發環境

Arduino 提供使用者開發平台為，Arduino IDE 提供程式設計、編譯/連結、除錯與燒錄等功能，Arduino IDE 為綠色程式無須安裝，只要上網到官方網站即可下載，並提供繁體中文環境，Arduino IDE 開發環境，如圖 4-5 所示。



圖 4-4 Arduino Uno 控制器



圖 4-5 Arduino IDE 開發環境

4-2-3 Arduino 硬體接腳圖

Arduino 控制板接腳功能，如圖 4-6 所示。具有 14 支數位 I/O 接腳可以當作 input 使用，也可以當作 output 使用，類比信號輸入腳 A0~A5，使用方法是透過 `pinMode()`, `digitalWrite()`, and `digitalRead()` 這幾個函式。這 14 支數位 I/O 接腳，其中幾支腳有特殊的功能。



圖 4-6 Arduino 控制板接腳功能

4-3 LED 驅動控制單元

LED 驅動控制單元，以特定的電壓、電流以驅動 LED 發光的電壓轉換器，LED 點亮須以直流電供應，依 LED 規格則須選用不同的直流電源供應器。一般家庭用電稱之為市電為 AC110V/60Hz，屬於交流電壓，因此需將交流電壓轉變為直流電壓，才能提供給 LED。而啟動 LED 電源核心電路，可使用開關控制、繼電器、電晶體、MOSFET，即可控制 LED，ON/OFF。

4-3-1 繼電器、電晶體控制 LED 電路設計

作品控制 LED 點亮時，我們先選擇繼電器控制，但繼電器需要較大控制電流，接點又有火花現象，可能照成單晶片當機或誤動作，一般市面常用的繼電器，如圖 4-7 所示。繼電器的內部構造有一個電磁鐵，在沒有訊號提供時，內部的簧片會在上方，這時候「常閉」與「公共端」是通路，「常開」和「共接端」是斷路。當電磁鐵透過訊號通電，就會將內部的簧片往下吸附，此時「常閉」與「共接端」變成斷路，「常開」和「共接端」變成通路，繼電器動作原理，如圖 4-8 所示。繼電器有交流電壓控制及直流電壓控制兩種，在控制方面大都選用輸入以直流電壓去驅動的繼電器，在輸出部分接上負載與交流電源，以小電壓控制大電壓大電流之負載，在使用上需注意該接點所能承受的電流與電壓值，如 120V/2A，代表接點只能承受 2A 的電流，因此，需視負載電流的大小，選用適當的繼電器。



圖 4-7 繼電器

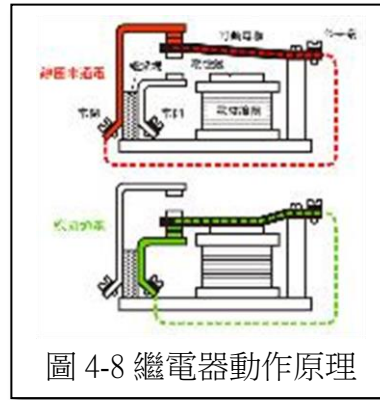


圖 4-8 繼電器動作原理

Arduino I/O 接腳輸出無法直接驅動 LED 負載，所以須使用繼電器來進行控制，繼電器控制電路，如圖 4-9 所示。繼電器控制負載有接點火花問題，其瞬間突波也會引響單晶片微電腦工作，造成誤動作或當機現象。因此在直流負載控制，也可以使用電晶體做為控制元件，電晶體控制電路，如圖 4-10 所示。

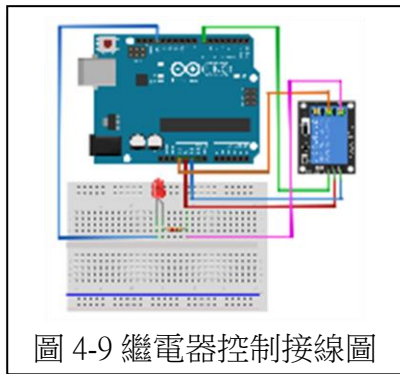


圖 4-9 繼電器控制接線圖

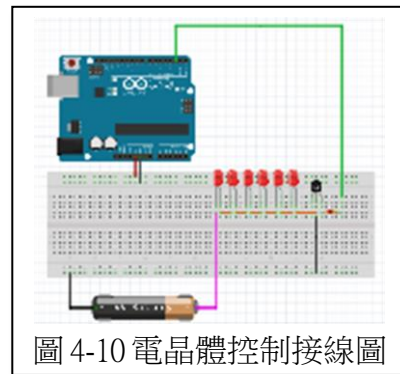


圖 4-10 電晶體控制接線圖

4-3-2 MOSFET 控制 LED 電路設計

電晶體材料主要分為兩大類，雙極性電晶體（Bipolar Junction Transistor, BJT）和場效應電晶體（Field Effect Transistor, FET）。場效應電晶體又分為接面場效電晶體(junction FET, JFET)，金屬氧化半導體場效電晶體(MOSFET)，如圖 4-11 所示。再 LED 燈板點亮控制，我們使用 MOSFET 作為開關電路，由 Arduino D5 輸出為 HIGH，則點亮 A 燈板，D6 輸出為 HIGH，則點亮 B 燈板，D5、D6 具有 PWM 控制輸出，控制 PWM 工作週期，即可改變 LED 亮度，MOSFET 控制 A、B LED 燈板接線圖，如圖 4-12 所示。



圖 4-11 金屬氧化半導體場效電晶體

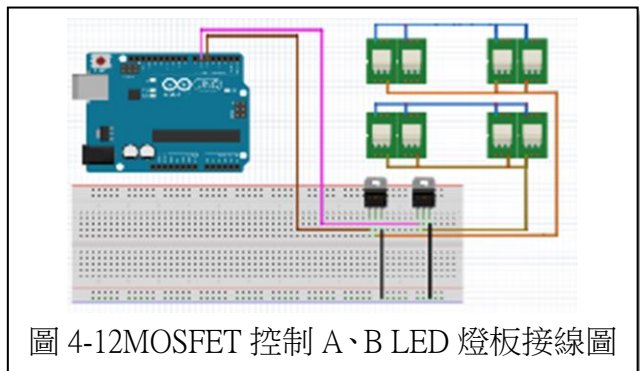


圖 4-12 MOSFET 控制 A、B LED 燈板接線圖

4-4 LED-A、B 燈板單元

LED 燈板設計，我們必須先了解 LED 特性及相關規格與參數，一般用於照明裝置的 LED 可分為白光與暖白光兩類，作品選用白光 LED 設計，模擬照明設備之 LED 燈板，在 LED 燈板設計我們選用 5050 貼片 LED，如圖 4-13 所示。5050 貼片 LED 尺寸為 5mm*5mm*1.6mm，光強可以達到 5500-6000mcd（LED 晶粒亮度的單位，mcd 為 micro cd 的縮寫，也就是微燭光），工作電壓為 3.2-3.4V，電流為 60mA。LED 電源供應我們選用 12V 電源，須將 LED 以串並連方式連接，以四顆 LED 串聯，則所需工作電壓為 $V_{LED}=3.2*4=12.8V$ 。我們設計 LED 燈板尺寸圖，如圖 4-14 所示。燈板長寬=240mm × 26mm，使用 24 顆 5050SMD LED，以四串六並方式連接。燈板工作電壓=12V，工作電流=240mA，



圖 4-13 5050 貼片 LED

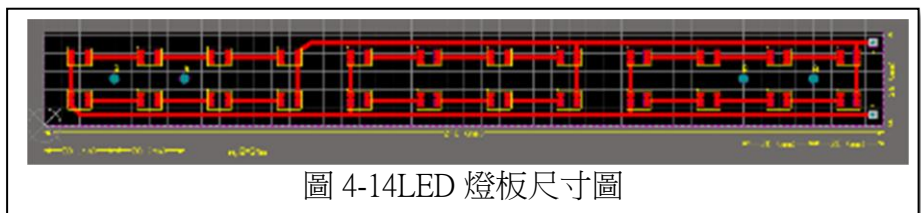


圖 4-14 LED 燈板尺寸圖

4-5 電流感測單元

檢測流動電流的方法大致可分為電阻檢測型和磁場檢測型，電流感測器（current sensor）是指檢測電路中流動的電流值的感測器，是可以偵測導線或負載內電流的裝置，並且產生和電流成比例的信號，產生的信號可以是類比的電壓或是電流信號，也可以是數位信號，電流偵測也會依所選用的感測器不同，電路設計也會有不同的設計，依不同的電流感測器進行探究。

4-5-1 電阻電流感測器

以電阻作為電流檢測器，電流檢測電阻，如圖 4-15 所示。串聯電流檢測法，如圖 4-16 所示。所需元件為檢測電阻、運算放大電路、ADC 類比/數位轉換電路、控制電路。電阻電流感測器、優勢：成本低、精度較高、體積小。劣勢：溫度漂移較大，須使用精密電阻的選擇較難，無隔離效果。



圖 4-15 電流檢測電阻

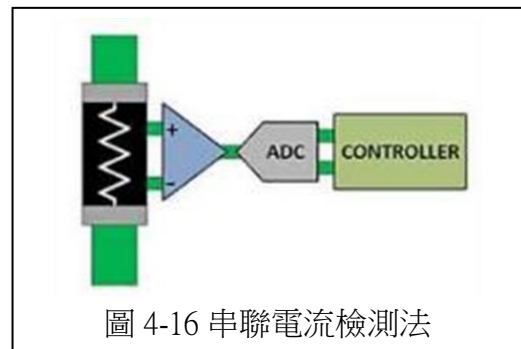


圖 4-16 串聯電流檢測法

電流流經電阻器，在電阻器的兩端將會產生電壓差。以歐姆定律 $I = \frac{V}{R}$ ，電壓值除以電阻值，即為通過電阻器的電流值。如果為獲得較大的壓差而增大電阻值，會有電阻器發熱的問題。因此，要使用盡可能小的電阻值進行檢測。壓差過小時，需要使用運算放大電路來放大檢測電壓。當電路負載電流 $I_{LOAD}=10A$ ，選用 0.1Ω 做為檢測電阻，則檢測電阻兩端電壓 $V_O=I_{LOAD} \cdot R=10 \cdot 0.1=1V$ ，電阻功率為 $P = I^2 R = 10^2 \times 0.1 = 10W$ ，選用 0.01Ω 做為檢測電阻，則檢測電阻兩端電壓 $V_O=I_{LOAD} \cdot R=10 \cdot 0.01=0.1V$ ，電阻功率為 $P = I^2 R = 10^2 \times 0.01 = 1W$ ，前者檢測輸出電壓值大，所需電阻功率大，負載效應大。後者檢測輸出電壓值小，所需電阻功率較小，負載效應小。

4-5-2 霍爾電流感測器

ACS712 封裝解剖圖，如圖 4-17 所示，可以看出電流只是從晶片內部流過，與偵測電路並沒有接觸，電流輸入端與控制端是隔離的，迴路電流流過會產生一個磁場，霍爾元件根據磁場感應出一個線性的電壓訊號，經過內部的放大、濾波電路，輸出一個電壓訊號。ACS712 模組，如圖 4-18 所示。ACS712 所能量測的電流範圍可分為三個規格：5A、20A、30A。ACS712 的 V_{CC} 工作電壓為 5V。輸出與輸入的關係為 $V_{out}=0.5V_{CC}+I_p \cdot \text{Sensitivity}$ 。一般輸出的電壓訊號介於 0.5V~4.5V 之間。輸入與輸出之間的響應時間為 5 μ s。頻寬為 80KHz，通過調整濾波腳與地之間的濾波電容。



圖 4-17 ACS712 封裝解剖



圖 4-18 ACS712 模組

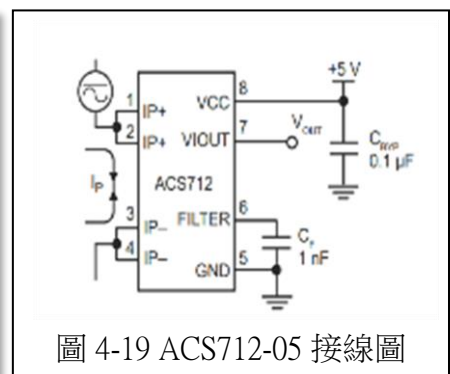


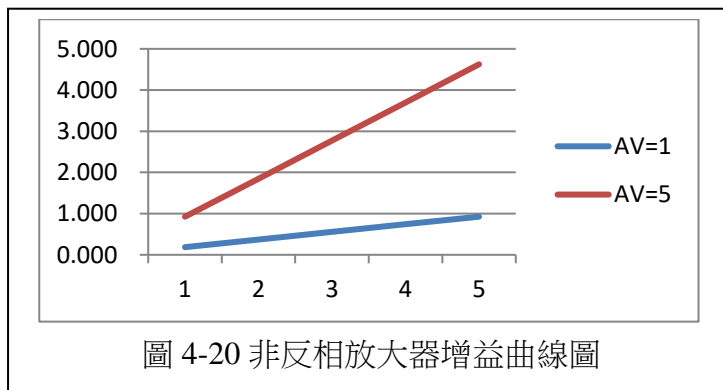
圖 4-19 ACS712-05 接線圖

在電流檢測我們選用 ACS712-05 編號的霍爾電流感測器，ACS712-05 接線圖，如圖 4-19 所示。霍爾元件可以使用偵測 AC/DC 電流，其輸出感應電壓為 185mV/A 的變化量，當輸入電流值為 $I_p=0A$ 時，ASC712 電壓準位輸出 $V_{OUT}=2.5V$ 。當輸入電流值為 $I_p=5A$ 時，則 ASC712 輸出 $V_{OUT} = 2.5 + 5 \times 0.185 = 3.425V$ 。當輸入電流值為 $I_p=-5A$ 時，則 ASC712 輸出 $V_{out} = 2.5 + (-5 \times 0.185) = 1.575V$ 。對於小電流輸入時 $I_p=0.01A$ 時，則 ASC712 輸出 $V_{OUT} = 2.5 + 0.01 \times 0.185 = 2.50185V$ ，輸出電壓之解析度差，無法得到所量測的微電流變化。

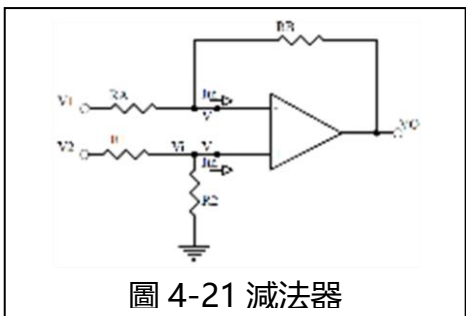
4-6 運算放大電路單元

運算放大器 (Operational Amplifier, 或簡稱 op-amp), 放大器是用來將微弱信號轉換成較大信號的裝置, 可設計為電壓放大、訊號放大及功率放大。它們用途廣泛, 常用於類比電路中(如: 電壓、電流、聲音、溫度、速度、壓力)檢測電路。Arduino 類比轉換器有 10Bits 解析度, 轉換參考電壓為 5V 時, 則每一位元電壓解析度為 4.88mV, 作品所使用的 ACS712-05 電流檢測輸出電壓為 185mV/A, 準位參考電壓 2.5V。電路增加電流檢測解析度, 將檢測電壓放大 5 倍時, 則每 1A 的檢測電壓 $V_o=925\text{mV/A}$, 則 10mA 輸入檢測電流輸出 $V_o=9.25\text{mV}$, 在 1mA 輸入檢測電流輸出 $V_o=0.925\text{mV}$, 以低於 A/D 轉換的最小值 4.88mV, 電路無法量測低於 10mA 電流值。

在放大電路設計只需要放大感應電流, 則需減去 ACS712 準位電壓 2.5V, 否則電路會連同參考電壓 2.5V 一起放大。因此運算放大器電路設計, 將 ACS712 V_{IOUT} 輸出先以減法器, 減去準位電壓 2.5V, 再將檢測電壓送到非反相放大器放大, 分別以不同放大倍率 $AV=1$ 、 $AV=5$, 可以得到非反相放大器增益曲線圖, 如圖 4-20 所示。兩者最大差異性為各點電流值, 輸出電壓解析度為 $AV5>AV1$ 。放大倍數設計其放大輸出電壓不可高於 Arduino A/D 轉換電壓 5V。



運算放大電路設計需要減法器與非反向放大器。減法器, 如圖 4-21 所示。兩個輸入信號由非反相端與反相端輸入, 然後分別經過非反相放大與反相放大, 最後在輸出端獲得兩輸入電壓間之差值放大信號。則輸出電壓 V_o 、如公式 1 所示。當 $R_1=R_A$, $R_2=R_B$, 輸出電壓 V_o , 公式 2 所示。



$$V_o = \frac{R_2}{R_1(1+\frac{R_2}{R_1})} (1 + \frac{R_B}{R_A}) V_1 + (-\frac{R_B}{R_A}) V_2 \dots\dots\dots \text{公式 1}$$

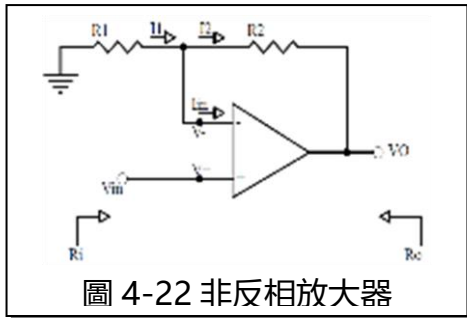
若選擇 $\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_B}{R_A}$ 或 $R_1 = R_A$, $R_2 = R_B$, 化簡上式得

$$V_o = \frac{R_2}{R_1} V_1 + (-\frac{R_B}{R_A}) V_2 = \frac{R_B}{R_A} (V_1 + V_2) \dots\dots\dots \text{公式 2}$$

輸出電壓等於兩輸入電壓差的放大, 其增益大小為 $\frac{R_B}{R_A}$

非反相放大器 (non-inverting amplifier), 如圖 4-22 所示。不同於反相放大器的是信號改由非反相端直接輸入; R_1 端則接地。回授電阻 R_2 依舊由輸出端接回反相輸入端形成負回授。

則非反相放大器，輸出電壓 V_o ，如公式 3 所示。



輸出電壓

$$V_o = V_- - I_2 R_2 = V_{in} - I_1 R_2 = V_{in} - \left(\frac{-V_{in}}{R_1}\right) R_2$$

得 $V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{in}$ 公式 3

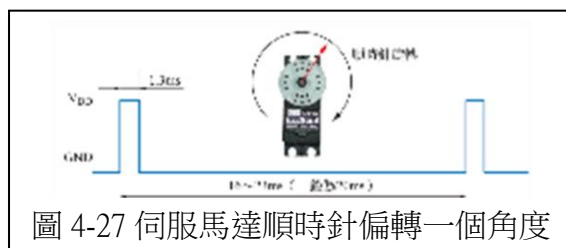
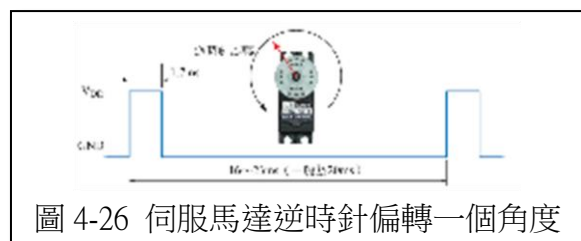
4-7 伺服馬達控制單元

伺服馬達，如圖 4-23 所示，伺服馬達之所以稱之「伺服」馬達，主要是因為「伺服 servo」表示馬達會依照指示命令動作，由程式控制馬達旋轉幾度，馬達就會轉幾度，但伺服馬達有機械結構上的限制，一般可分為有兩類，分別為定位型旋轉的角度界於 $0^\circ \sim 180^\circ$ 之間，還有 360° 連續旋轉型，兩種馬達均是利用脈波寬度調變(PWM)控制巡轉角度或速度，選用 180° 伺服馬達用於機構控制 LED 燈板旋轉。



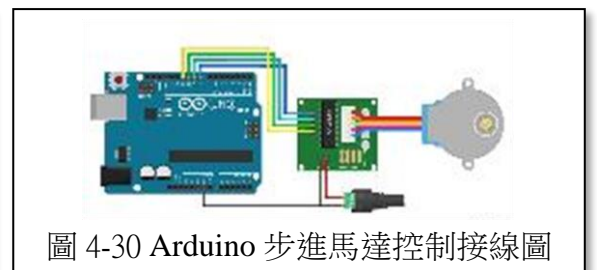
4-7-1 伺服馬達控制方式

伺服馬達位置或速度可以透過穩定工作週期來控制，只要輸入高準位脈波寬度(PWM), 大小即可控制伺服馬達旋轉角度，當脈波在 1.5ms 時，伺服馬達角度在中心點位置 90° ，如圖 4-25 所示。當脈波 $> 1.5ms$ 時，伺服馬達則中心點位置逆時針偏轉一個角度 $^\circ$ ，如圖 4-26 所示。當脈波 $< 1.5ms$ 時，伺服馬達則中心點位置順時針偏轉一個角度，如圖 4-27 所示。



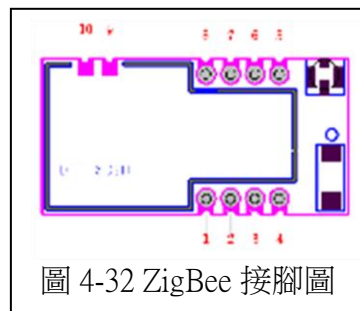
4-7-2 步進馬達控制方式

剛開始在設計燈板旋轉角度控制時，發現伺服馬達無法精準定位在 $0^{\circ}\sim 180^{\circ}$ 位置之間，誤差角度約 10° ，因此最後我們選擇以步進馬達作為角度控制裝置，再則伺服馬達轉動軸無法與傳動軸連接，機構設計困難之因素。步進馬達，如圖 4-28 所示。我們選用 12V/1.8° 步進馬達，如使用步進馬達控制，定位角度控制方式，有三種控制方法，第一種可使用光遮斷器、第二種可使用 AS5600 霍爾磁場絕對角度感測器，如圖 4-29 所示。第三種則使用極限開關，比較簡單最容易達到控制目的。如使用極限開關或霍爾磁場絕對角度感測器，均可作為步進馬達旋轉的角度控制，即可精準定位在 $0^{\circ}\sim 180^{\circ}$ 之間角度。二則最大差異性是線路控制的複雜度，最後作品位置定位我們則以極限開關定位方式設計。Arduino 步進馬達控制接線圖，如圖 4-30 所示。



4-8 Zigbee 無線控制單元

無線網路的規格種類繁多，像是最常見的 Wi-Fi，則屬於高速的傳輸標準，以無線區域網路(WLAN)讓行動裝置無線化的連接。至於在智慧家庭、智慧建築、無線感測網路等領域，則大多不是採用 Wi-Fi，而是採用 ZigBee 的技術來做傳輸。我們選用中鼎泰克，ZigBee 模組，如圖 4-31 所示。ZigBee 以短距離、低功耗、低成本等特色，由於 ZigBee 的網路拓樸跟網際網路那樣，具有多種傳輸途徑，每個 ZigBee 節點本身可以擷取資料，或傳遞來自其他節點的資料。因此當一個 ZigBee 網路節點被移除或是斷訊，其周遭的 ZigBee 裝置能夠透過 ZigZag 曲折的傳輸方式、連接到其目的地。ZigBee 接腳圖，如圖 4-32 所示。ZigBee 接腳名稱，如圖 4-33 所示。

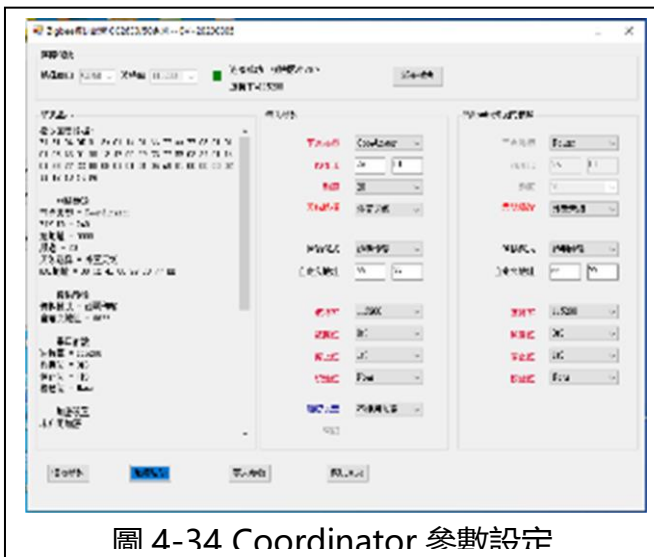


Pin	Name	Power
1	VCC	3.3V/5V
2	GND	GND
3	DATA	DATA
4	DATA	DATA
5	DATA	DATA
6	DATA	DATA
7	DATA	DATA
8	DATA	DATA
9	DATA	DATA
10	DATA	DATA

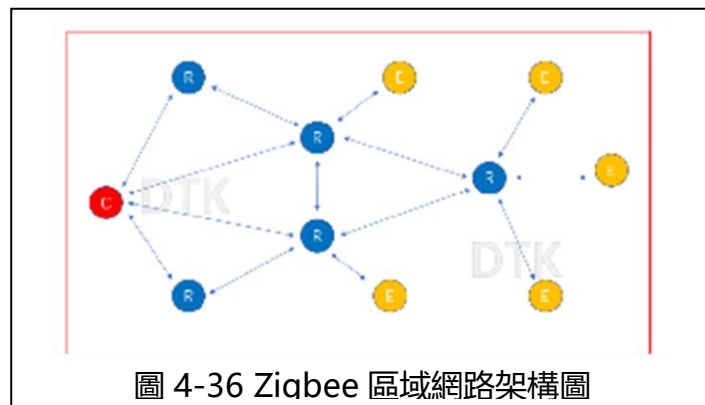
圖 4-33 ZigBee 腳位名稱

4-8-1 Zigbee 參數設定

開啟 DTK Zigbee 參數設定軟體，先建立 Coordinator，首先讀取 Zigbee 參數資料，新購的 Zigbee 出廠值預設為 Router，設定模組為 Coordinator，各項參數設定後，須將設定寫入 Zigbee 模組，Coordinator 參數設定，如圖 4-34 所示。在更換新 Zigbee 模組後讀取 Zigbee 參數資料，需與 Coordinator 所設定的頻道、串輸率、PAN ID 值相同，再將設定值寫入模組，Router 參數設定，如圖 4-35 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 4-36 所示。Zigbee 網絡路由器可以自動加入，無需特別設置。



4-9 系統設計流程規劃

4-9-1 系統硬體電路設計流程圖

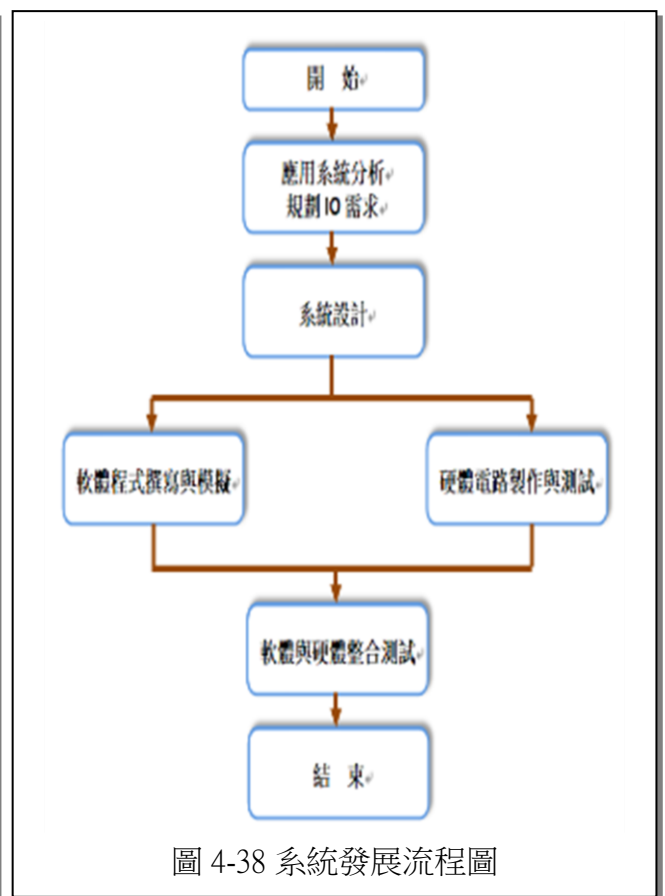
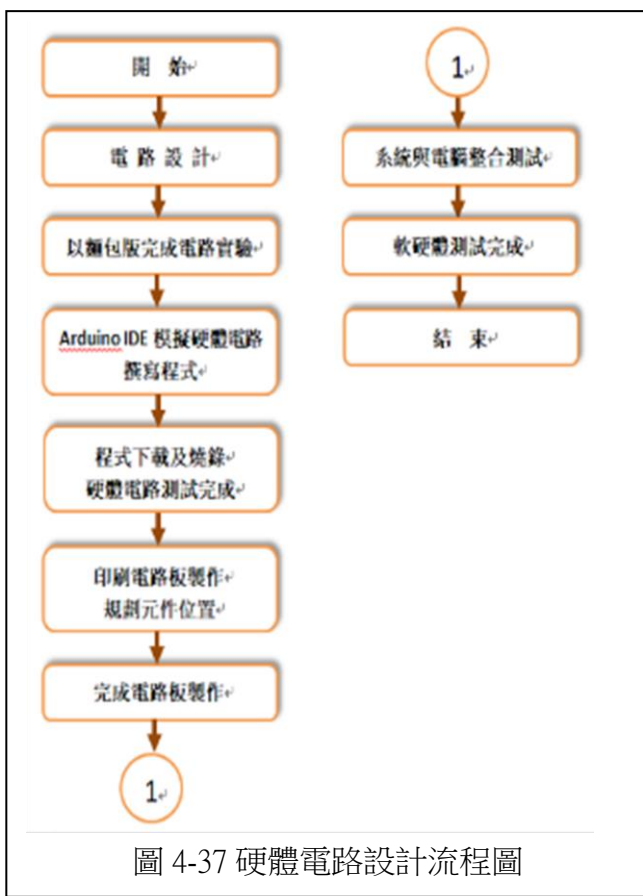
硬體電路之設計與規劃是系統的命脈，軟體與硬體整合互通性要高，相關資料之收集、參考、整理、構想，硬體電路設計與製作，數據的量化測試抽樣及準確度，將硬體電路與

軟體程式結合測試使能達到正常連線動作。

硬體電路設計流程圖，如圖 4-37 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。

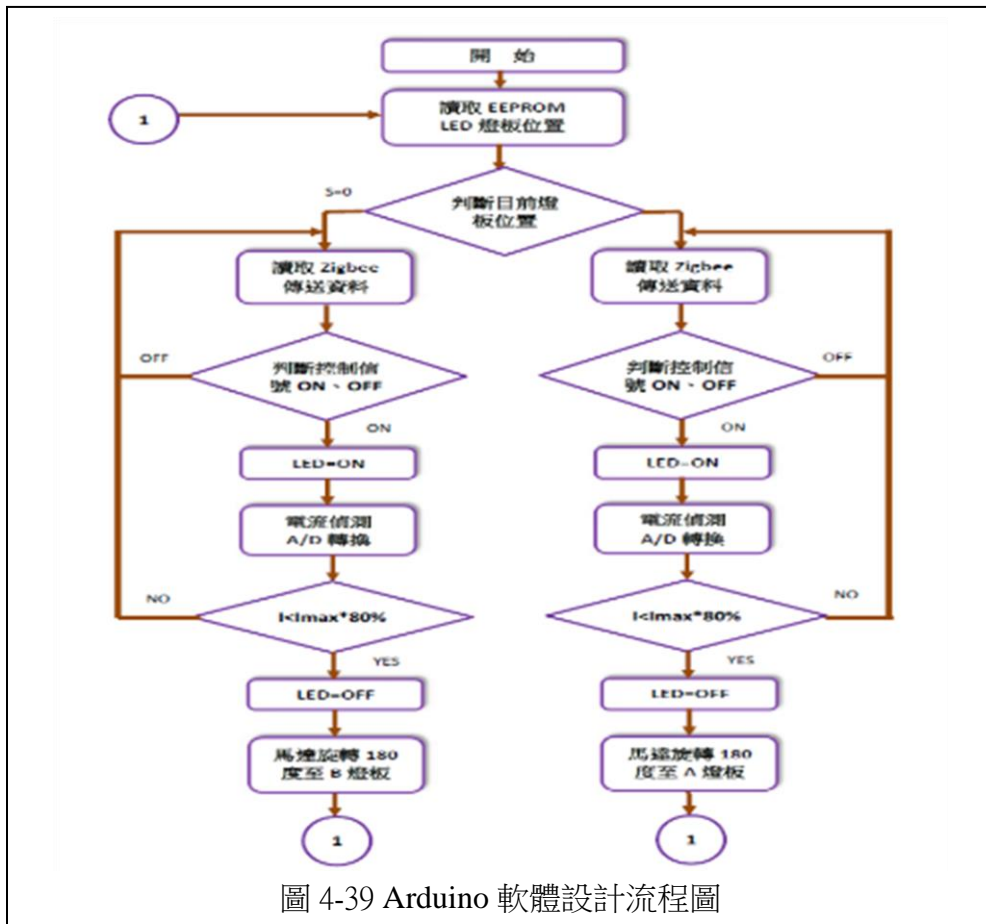
4-9-2 系統發展流程圖與步驟

硬體電路以 Arduino 單晶片微電腦設計主軸，單晶片微電腦 Atmega328P 的應用，是以軟體程式來控制硬體電路工作，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 4-38 所示。



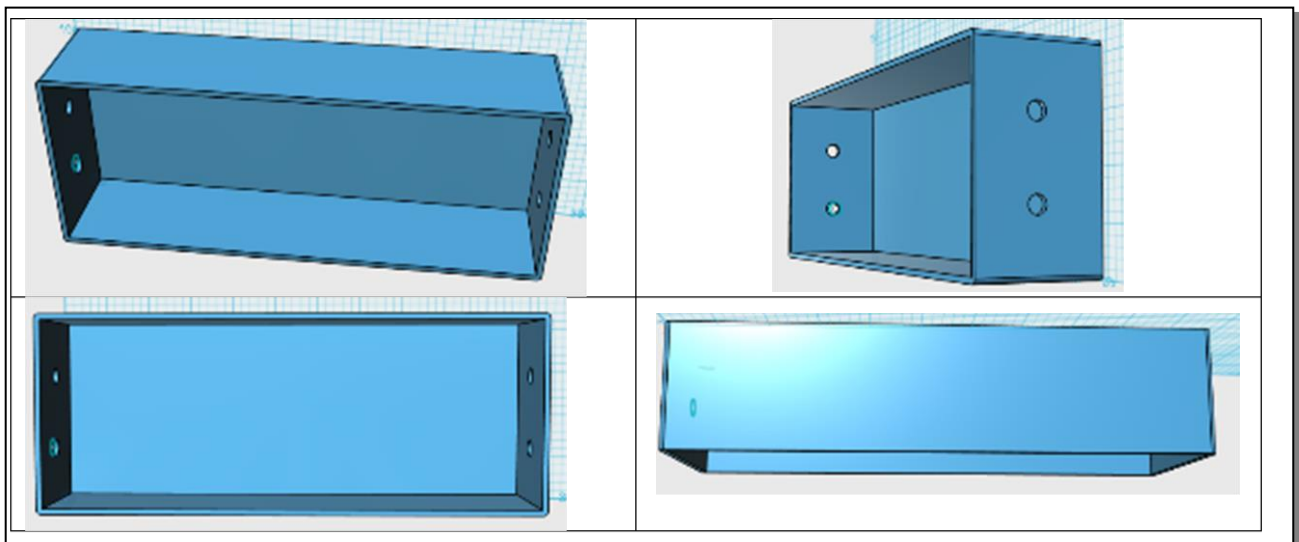
4-9-3 Arduino 軟體設計流程圖

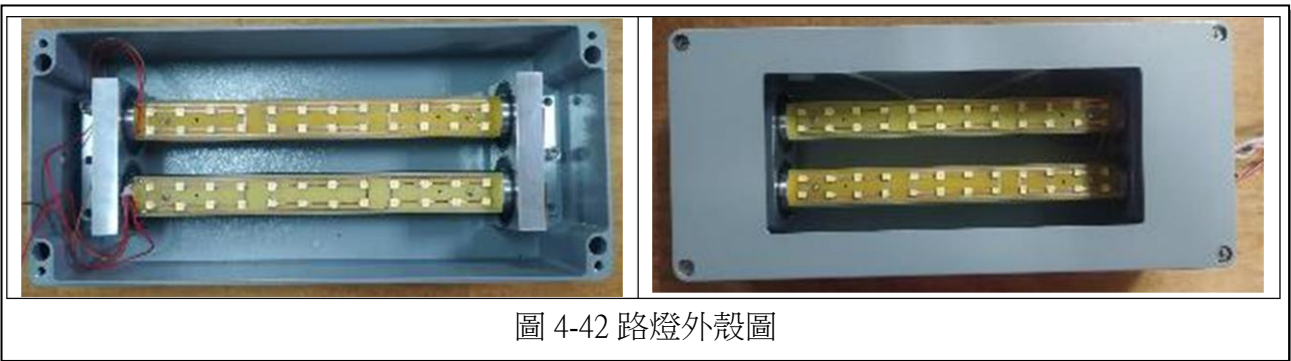
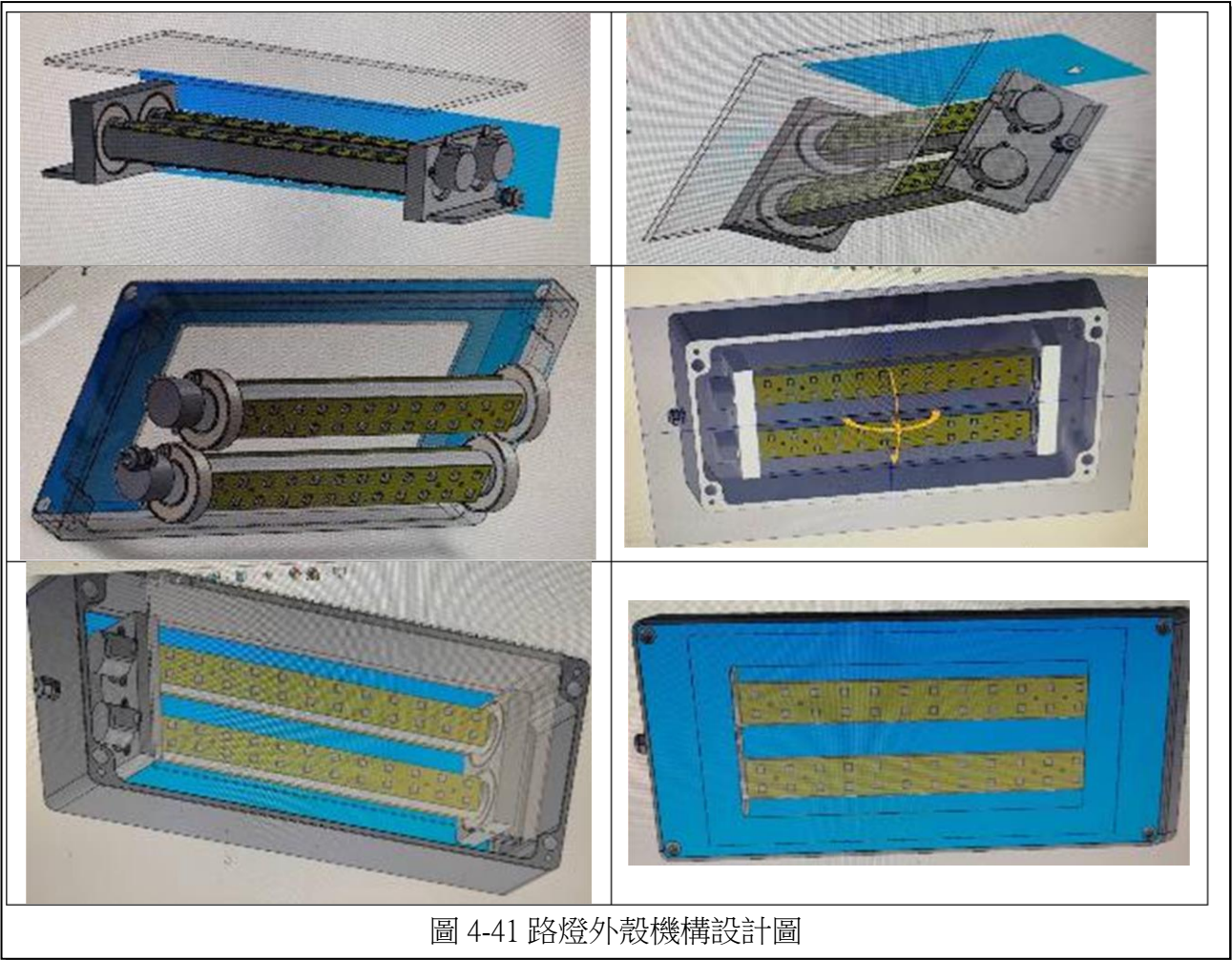
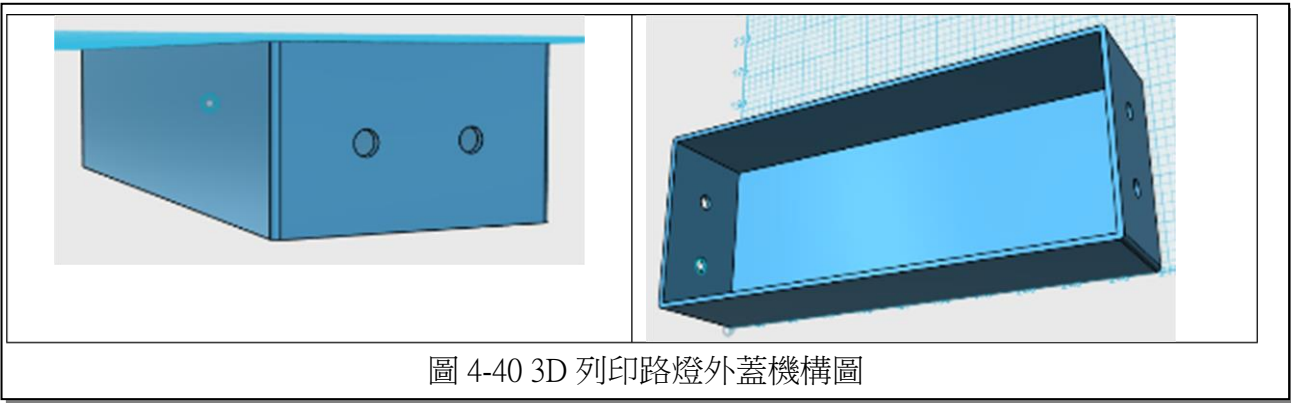
Arduino 軟體設計流程圖，如圖 4-39 所示。使用 Arduino IDE 程式語言(C)，分別撰寫控制程式，為達到系統穩定要求因此設計原則如下：系統控制分成兩個主系統，分別為照明設備故障自動修護系統、路燈維修養工處監控系統。



4-10 機構設計

在燈蓋部分，我們設計兩燈板照明裝置，旋轉控制需要兩個馬達，外殼一側安裝步進馬達，馬達軸心連接圓形傳動軸，再將 A、B 燈板安裝於傳動軸上下，傳動軸穿過外殼另一側作為旋轉定位軸心，實驗為了減少旋轉造成偏移現象，則以 3D 列印出路燈外蓋機構圖，如圖 4-40 所示。所使用軟體為 AUTO DESK123D 繪製外殼，完成後再以 3D 印表機列印。作品先以 3D 列印的外殼安裝馬達及 LED 燈板進行測試無誤後。再進行路燈外殼機構設計圖，如圖 4-41 所示。尋找現有外殼作為路燈外殼，設計兩傳動軸旋轉燈板機構，將設計外殼部分委外請機械廠代為加工。路燈外殼圖，如圖 4-42 所示。





伍、研究結果：

5-1 前言

研究結果針對所設計的電路進行測試，系統電路動作及功能是系統設計的命脈，藉由測試結果校正電路動作，完成"照明設備故障自動修護系統"整合工作。系統測試依其功能屬性，分成硬體電路測試及軟體測試兩部份。

5-2 照明設備故障自動修護系統

照明設備故障自動修護系統電路圖，如圖 5-1 所示。控制晶片使用 ATmega328 為主控制器，將 MCU TX 控制線接至 Zigbee RX、RX 控制線接至 Zigbee TX，D10 腳位分別接紅色 LED，為 A 燈板故障顯示燈號，D11 腳位分別接上黃色 LED 為 B 燈板故障顯示燈號。D12 腳接至 MOSFET 控制 A 燈板 ON/OFF，D13 腳接至 MOSFET 控制 B 燈板 ON/OFF，D2~D5 腳接至 M1 步進馬達 A、B 兩個相位共四條線，D6~D9 腳接至 M2 步進馬達 A、B 兩個相位共四條線。LED 燈板正極接+12V，負極接至 MOSFET 汲極 (Drain)、源極 (Source) 輸出再接至 ACS712IP+腳，IP-接至電源(-)。ACS712 Vout 電壓輸出接至 LM358 第三腳，運算放大器 U2A 為減法器電路，U2B 為非反相放大電路。LM358 第 7 腳輸出接至 Arduino A0 腳，A0 腳為類比電壓輸入腳位。

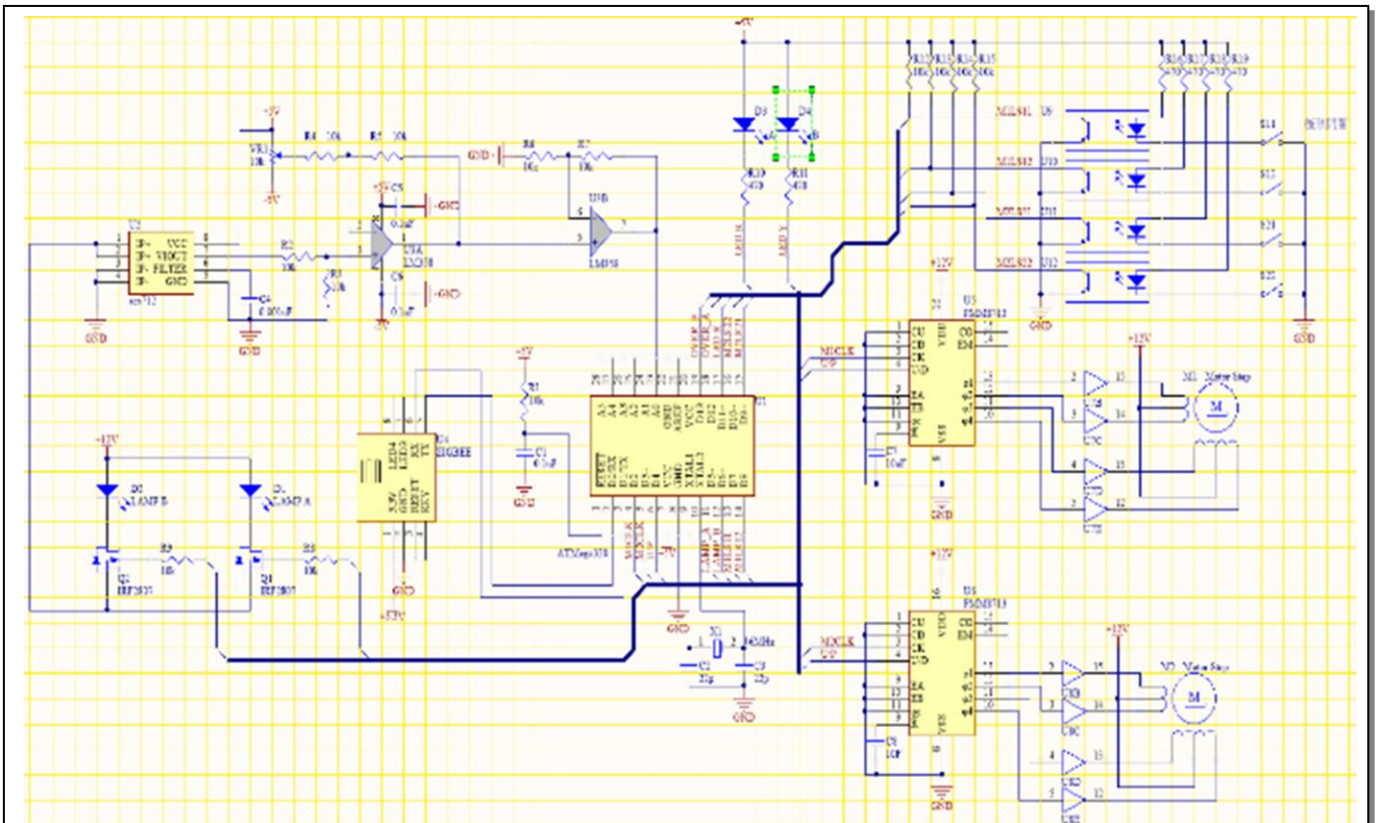
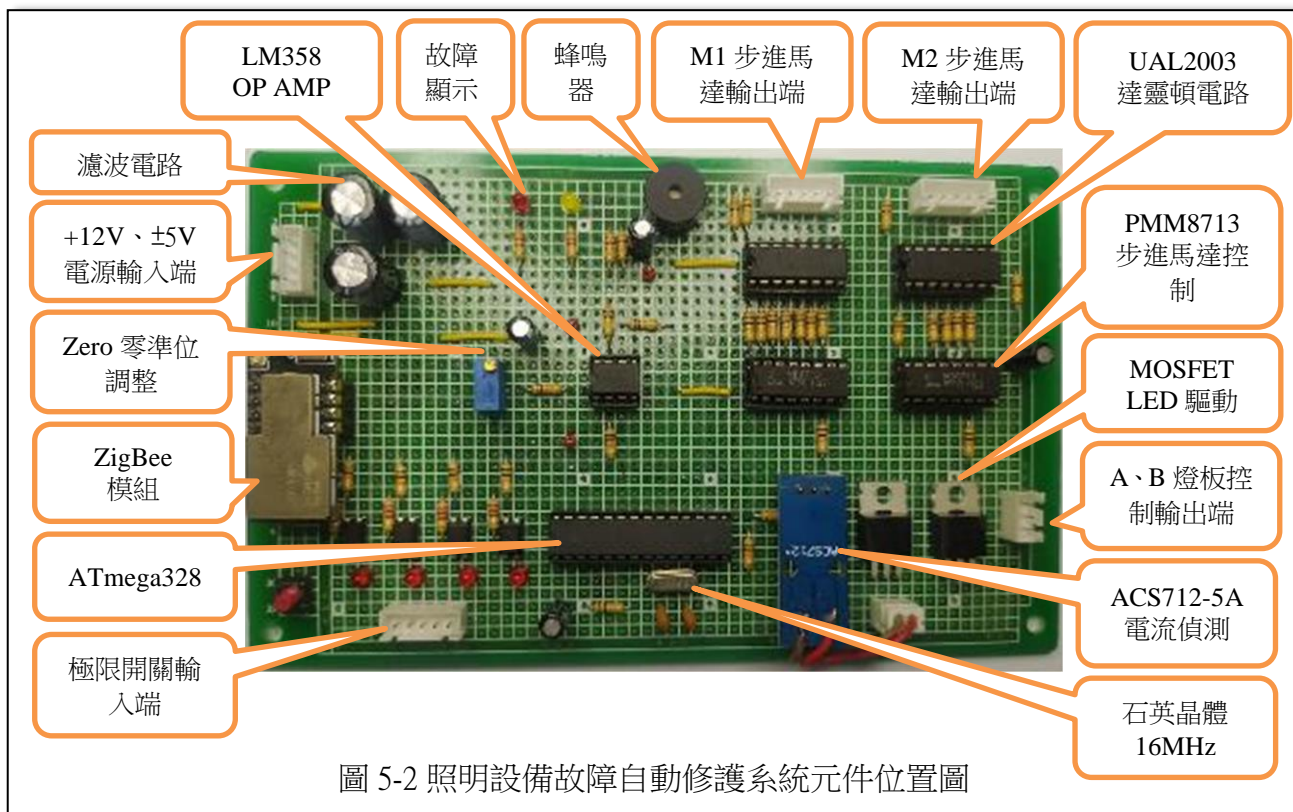


圖 5-1 照明設備故障自動修護系統電路圖

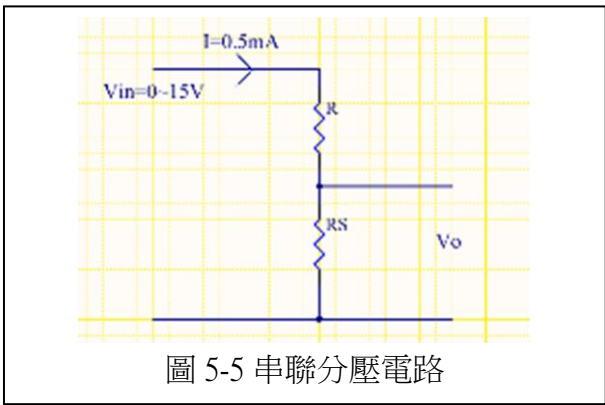
在電路實驗還是先以麵包版進行各項測試及程式撰寫，最後再將元件位置設計並製作再 IC 洞洞板上，照明設備故障自動修護系統元件位置圖，如圖 5-2 所示。輸出端部分有；步進馬達 M1、M2 及 A、B 燈板元件，輸入端則為+12V 電源，因此電路板上設計端子座，提供外部連接控制用。各元件位置名稱如圖說明。電路板製作使用洞洞板焊接，費工費時，未來考量使用學校電路板雕刻機製作印刷電路板。



LED 單燈板電流測試，如圖 5-3 所示，電源供應器輸出電壓調整為+12V，在+12V 正極輸出接至數位三用電表紅色測試棒，黑測試棒至接至 LED 燈板+端，LED 燈板-端再接至電源供應器負極，電流測量與術數三用電表串聯，量測電流值為 208.9mA，加上另一塊燈板計算其耗電流為 417.8mA，測試 LED 雙燈板電流值，如圖 5-4 所示。實際量測雙燈板，所量測電流值為 0.41A，與計算值接近。



電壓、電流量測方式，我們使用 Arduino 類比信號輸入端 A0~A5 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 A0~A5 輸入端，因此使用 ACS712 霍爾元件內部已做 I/V 轉換。在直流電壓測量時，Arduinio A/D 轉換輸入電壓必須 $\leq 5V$ ，在考量待測電壓值為 12V，需設計一串聯分壓電路，如圖 5-5 所示。因此設量測電壓範圍 0~15V，串聯迴路電流 $I=0.5mA$ ， V_o 輸出 0~5V，求分壓電阻值 $R=20k\Omega$ 、 $R_S=10k\Omega$ ，其衰減倍率=3，當 $V_{in}=12V$ 經分壓電路則輸出為 $V_o=4V$ ，再送至 A1 腳位，經 Arduino 轉換後電壓值為 4V，因此須將電壓轉換值 \times 衰減倍率，即可得到實際電壓值 $=4 \times 3=12V$ 。



分壓電阻 $R_S=?$

$$R_S = \frac{V_o}{I} = \frac{5V}{0.5mA} = 10k$$

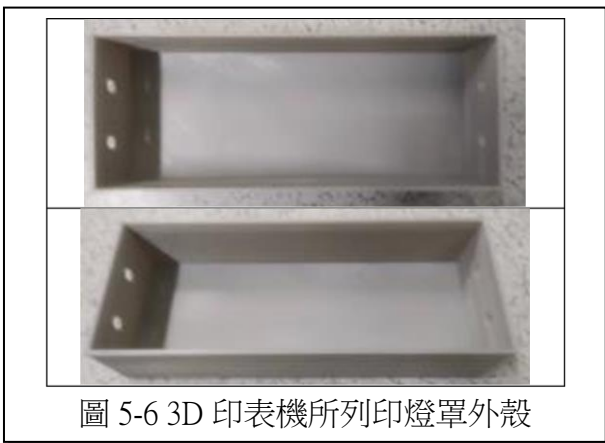
$$R = \frac{V_{in} - V_o}{I} = \frac{15 - 5}{0.5mA} = 20k$$

輸入電壓 $V_{in}=12V$ ；則

$$V_o = 12 \times \frac{10k}{20k + 10k} = 4V$$

則實際電壓值 $=4 \times 3=12V$

以 3D 印表機所列印燈罩外殼，如圖 5-6 所示。將步進馬達、LED 燈板，傳動軸安裝於燈照外殼，路燈模擬組裝圖，如圖 5-7 所示。



5-2-1 照明設備故障自動修護系統測試與調整

電路板焊接無誤後，接上電源進行測試與調整步驟如下：(1)電源電路電壓測量+12V 及 $\pm 5V$ 。(2)TP1 霍爾感測器輸出電壓測量。(3)減法電路調整，調整 VR1 可變電阻，測量 TP2 $\approx 0V$ 。(4)串聯分壓電路，測量 TP3，並將各點電壓測量結果紀錄於，表 5-1。

測試點位置	電源供應器 +12V	電源供應器 +5V	電源供應器 -5V	TP1	TP2	TP3
測量值	12.38V	5.00V	-4.85V	2.484V	8.9mV	4.112V

5-2-2 數位濾波電路測試

濾波技術常應用於訊號處理，濾波器依照達成的方式可分為類比濾波與數位濾波。在類比訊號取樣時，很容易因為外在因素產生的雜訊導致訊號失真，我們所設計的 Arduino 類比轉換電路也是如此。而濾波器的功能就在消除這些雜訊，類比濾波主要以電子元件來構成其濾波器，類比轉換電路測試，如圖 5-8 所示。電路完成後撰寫 Arduino 測試程式，以 100mS 速度取樣，以 Arduino 序列繪圖家，繪製未經濾波類比轉換波形圖，如圖 5-9 所示。轉換值變化量落在 750~752 之間。則再運算放大器信號輸出端接 10uF 電解電容器進行濾波，輸出電解電容器濾波類比轉換波形圖，如圖 5-10 所示。

數位濾波的原理是將類比訊號經過 AD（類比／數位）轉換，再由數位訊號處理，我們設計所建立之濾波轉移函數達到濾波效果，其濾波特性與其濾波轉移函數有關，我們以均值濾波器，將類比信號連續取樣 10 次累加，再將濾波轉移函數平均，所獲的為數位濾波波形圖，如圖 5-11 所示。因此其濾波的特性較為精準，而不像類比濾波器精確度差。

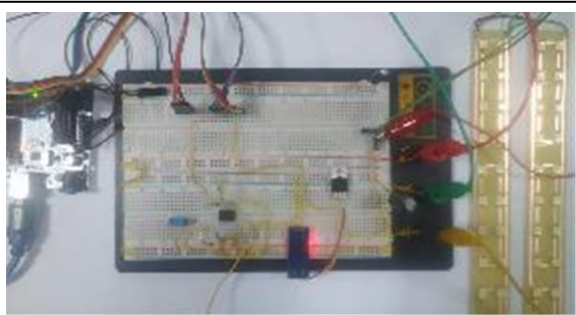


圖 5-8 類比轉換電路測試

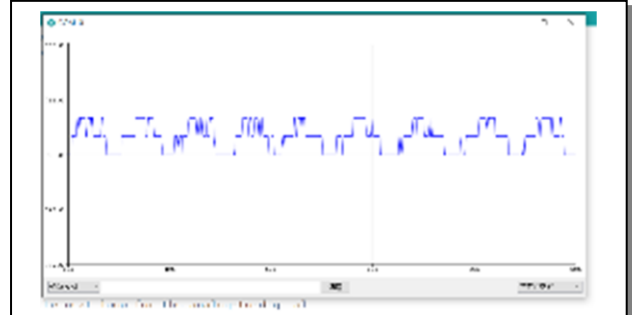


圖 5-9 未經濾波類比轉換波形圖

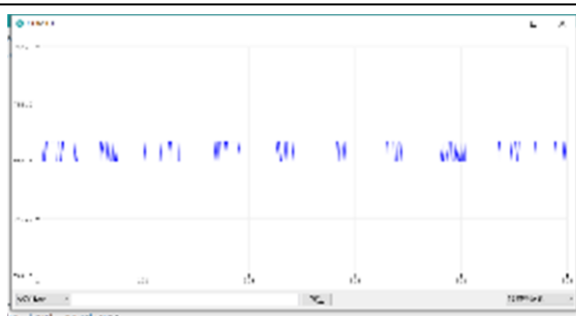


圖 5-10 電解電容器濾波類比轉換波形圖

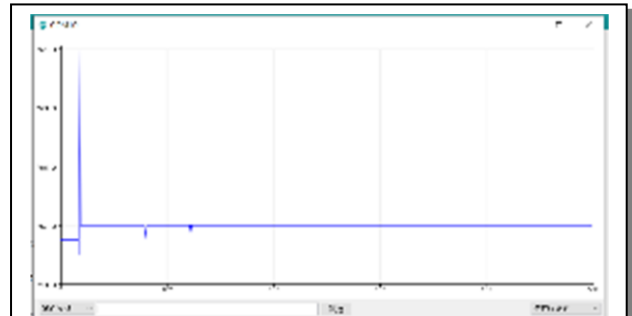


圖 5-11 數位濾波波形圖

5-2-3 PWM 節能電路測試

在節能控制我們選用 analog(類比)輸出腳位，控制輸出 PWM 工作週期，以數位三用電表測量在不同工作週期 LED 燈板輸出電流值並紀錄，如表 5-2 所示。

表 5-2 不同工作週期 LED 燈板輸出電流值

PWM 工作週期	100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%
測量值	274.5mA	255.6mA	239.2mA	219.6mA	199.0mA	174.6mA	144.5mA	112.6mA

5-3 路燈維修養工處監控系統

監控系統以我們 Visual Basic 2016 撰寫控制程式，首先要先建立系統控制主畫面，如圖 5-12 所示。再將所需物件放置在表單主畫面位置，設定物件屬性，再以事件發生撰寫程式，設定 COM PORT5 為 USART 串列通訊，傳輸速率 115200，訊息交換以詢問式，依序逐一呼叫各路燈編號，被詢問到路燈再將資料回傳至監控系統，資料傳送格式，如表 5-3 所示。Zigbee 傳送的每一筆資料格式為：“H30601,A,12.6,1.52,3409”，由系統計算總電流，換算成所耗功率。



圖 5-12 系統控制主畫面

表 5-3 資料傳送格式

路燈編號	燈板位置	電壓(V)	電流(A)	運轉時間
H30601	A	12.6	0.49	3409sec
H30602	B	12.2	0.63	3409sec
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
H30610	A	11.5	0.52	3409sec

5-4 日光燈故障自動修護裝置

一般家庭、學校最常使用就是日光燈管，因此作品也設計一款日光燈管適用的日光燈故障自動修護裝置圖，如圖 5-13 所示。日光燈是圓形裝置，有圓形燈管包覆 LED 燈板，其機構更容易設計，旋轉控制更簡單，以步進馬達控制燈管旋轉即可，當到達定位停止，並啟動另一面 LED 點亮。

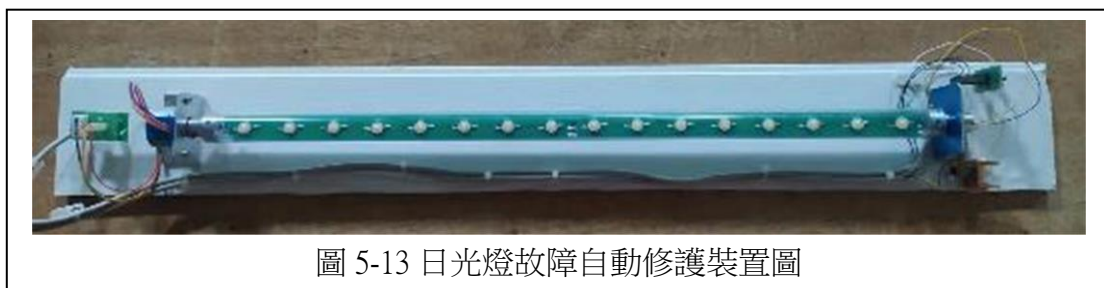


圖 5-13 日光燈故障自動修護裝置圖

5-5 IFTTT 通訊實驗設定

在 LINE 故障通報系統，首先需要至 IFTT 官網，申請依帳號，軟體才能呼叫 LINE 訊息傳送，所謂 IFTTT 是 “If This, Then That.” 的縮寫，代表「若發生這個事件，則執行那個動作」，其核心理念是「讓網際網路為你工作（” Put the Internet to work for you”）」，自動串聯手機 App、網站和硬體裝置。而在 IFTTT 的服務裡，大概也都是用這種模式在進行，IFTTT 本身沒有太特別的功能，但最厲害的地方就是它串接了許多知名平台的服務。

IFTTT，是一個新生的網絡服務平台，通過其他不同平台的條件來決定是否執行下一條命令。即對網絡服務通過其他網絡服務作出反應。IFTTT 得名為其口號「if this then that」。「IFTTT」是一個頗受好評的「網路自動連結」服務，例如我自己在 IFTTT 上使用了一份「動作（Recipes）」，內容是「只要我在 Youtube 有人按讚，那麼訊息通知就會自動發送到我的 LINE」，這滿足了我把 A 服務內容串連到 B 服務的需求，並且我不用自己動作，IFTTT 可以自動幫我完成上述動作。簡言之，IFTTT 讓各個網路服務之間不再靜態分佈，可以把不同網路串連成「行動」，「如果」A 服務發生什麼事情，「那麼」B 服務就做出什麼反應。我們設計 IFTTT 的架構，如圖 5-14 所示。

IFTT 帳號申請，須先登入 Iftt 網站後點按上方，點選「My Applets」，如圖 5-15 所示。在 +this 區域，如圖 5-16 所示。按下滑鼠左鍵。在搜尋框輸入 Webhook，執行搜尋，得到一個名為[Webhooks]的服務，按下方方塊圖[Webhooks]，如圖 5-17 所示。選擇要觸發的方式，只有一種透過 web request 的選項，如圖 5-18 所示。輸入觸發 Trigger 的事件名稱(Event Name)，如圖 5-19 所示。這個名稱很重要，未來每次觸發都會用到這個名稱。回到以下畫面，繼續按 + that ，如圖 5-20 所示。(如下圖紅框處)。選擇執行回應的服務，請輸入 Line 後，點選下方左圖 Line，如圖 5-21 所示。輸入傳送訊息的內容，要給哪個群組？可以使用變數，帶入不同值送出給 Line 的人員或群組，格式及變數調整完成後，按下 [Create action]，如圖 5-22 所示。

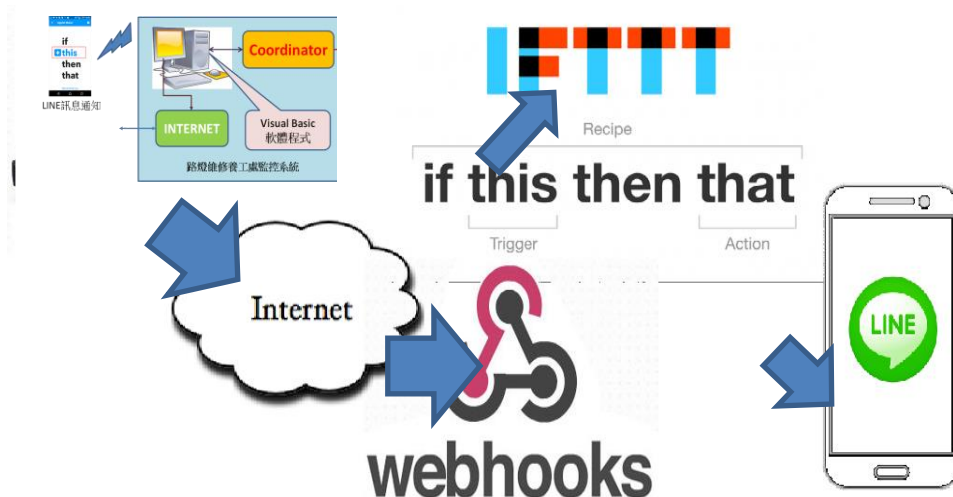


圖 5-14 IFTTT 的架構



圖 5-15 點選「My Applets」



圖 5-16 +this 區域



圖 5-17 [Webhooks]



圖 5-18 web request 的選項



圖 5-19 觸發 Trigger 的事件名稱



圖 5-20 : 按 + that



圖 5-21 點選下方左圖 Line

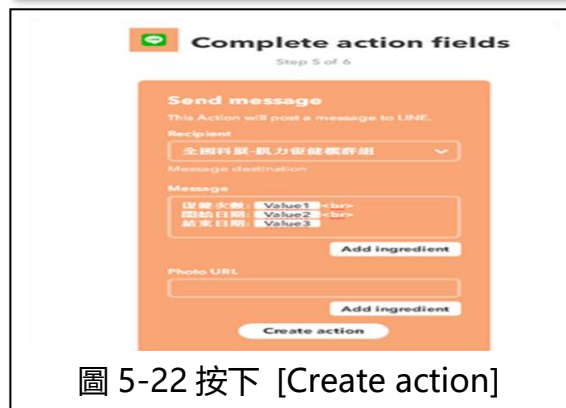


圖 5-22 按下 [Create action]

5-6 系統整合測試

在各項測試完成後，最重要的就是將硬體與軟體做整合測試，目前我們先以二組照明設備故障自動修護系統進行模擬測試，開啟路燈維修養工處監控系統軟體。在主畫面設計有路燈監測各項參數顯示，總耗電流計算，總功率計算顯示，夜間路燈開啟時間設定，節電模擬

按鈕，主要是模擬夜間人車稀少時，控制 LED 以 40%PWM 微亮輸出控制。節電復歸按鈕，控制 LED 以 100%PWM 全亮輸出控制。

當系統時間到達所設定夜間啟動時間，由系統傳送” ON” 控制命令給所有的路燈並啟動點亮 LED，啟動監控時，系統開始詢問各路燈目前運轉情形，並逐一將各路燈資料回傳至監控中心，路燈維修養工處監控系統畫面，如圖 5-23 所示。

當 H81301 路燈 A 燈板不亮時，會由照明設備故障自動防護系統進行控制，在啟用狀態所偵測的電流值 $I=0A$ 或 $I<I_{set}*30\%$ ，表示路燈故障控制關閉 A 燈板電源，在控制步進馬達選轉 180° 至 B 燈板位置，再控制啟動 B 燈板電源，此時會將故障原因回傳至監控中心，路燈故障顯示狀態畫面，如圖 5-24 所示。監控中心收到故障訊息，系統自動以 LINE 方式將故障問題傳送至維修群組，LINE 訊息通知截圖，如圖 5-25 所示。維修人員或單位主管即時透過手機了解故障問題，照明設備在沒有照明產生安全情形狀況下，維修工作於日間時段再派人維修。當維修完成後再按下” 故障已排除” 鈕，即可清除故障問題狀態。



圖 5-23 路燈維修養工處監控系統畫面



圖 5-24 路燈故障顯示狀態畫面



圖 5-25 LINE 訊息通知截圖

5-6-1 節電控制測試

路燈夜間啟動 LED 全亮控制，如圖 5-26 所示。於路段路口處設立感應裝置，經過 10 分鐘時間，沒有車輛經過時則啟動節電控制，主要還是以感應線圈進行偵測，行人則以紅外線人體感應開關偵測。目前我們在主畫面選單中，設計節電模擬測試，當按下節電按鈕時，由監控系統送出節電命令給各路燈，當路燈接收控制命令後，控制 LED 燈板以 40%PWM 輸出，如圖 5-27 所示。當路口又有人車經過時，經由感應線圈或紅外線人體感應偵測到控制信號，此時系統以緩啟動方式再將 LED 燈點亮，減少眼睛瞳孔適應不良問題。日光燈裝置控制，如圖 5-28(A~D)。在啟動日光燈全亮電流值為 0.53A，進行節電電流值為 0.18A，節電百分比為 $P\% = 0.18 \div 0.53 * 100\% = 33.9\%$ ，輸出功率降至 33.9%，共節省 66.1% 功率。照明設備故障修護系統，如圖 5-29(A~B)所示。

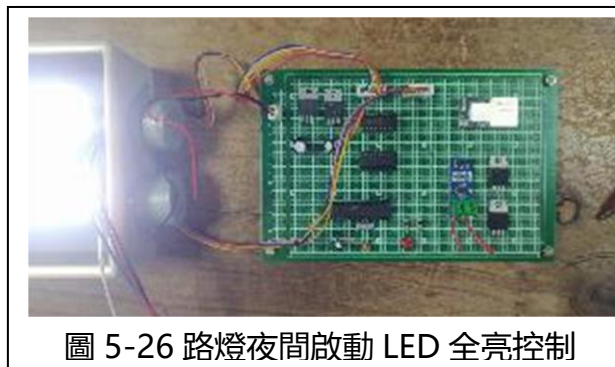


圖 5-26 路燈夜間啟動 LED 全亮控制

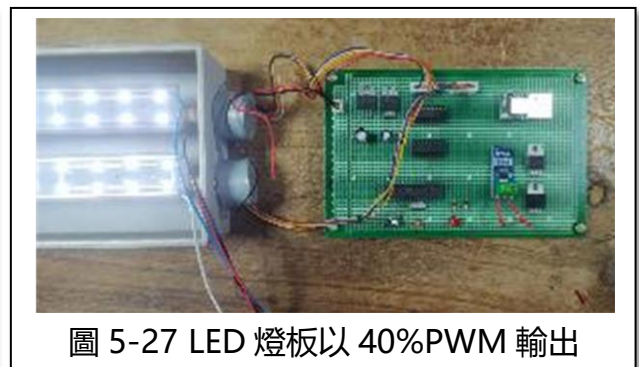


圖 5-27 LED 燈板以 40%PWM 輸出



圖 5-28(A)日光燈裝置控制

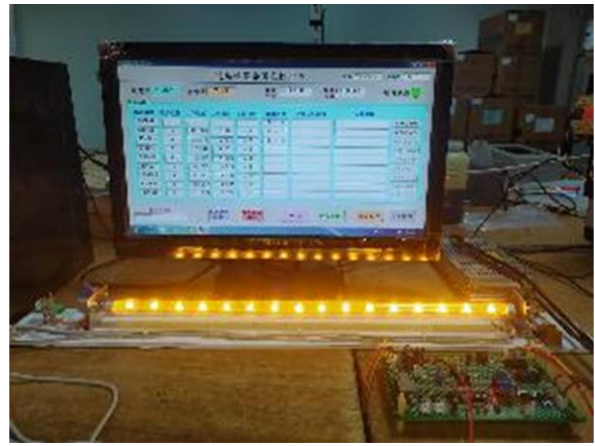


圖 5-28(B)日光燈裝置全亮控制



圖 5-28(C)日光燈裝置全亮電流(0.53A)



圖 5-28(D) 日光燈裝置節電電流(0.18A)



圖 5-29(A)照明設備故障自動修護系統



圖 5-29(B)照明設備故障自動修護系統

陸、討論：

- 一、在機構設計考量下外殼的大小取決於燈板數量與燈板寬度，旋轉直徑是燈板空間也是外殼的高度，當燈板寬度為 10 公分，則外殼高度需>10 公分，因此外殼高度過高、不美觀、太過笨拙。所以燈板可以使用多燈板型方式設計，減少燈板寬度，即可降低外殼高度。但也要考量照度與照射角度的因素。
- 二、使用電流檢測電阻，也會造成電路負載效應，當電流流經電阻也會產生熱，造成檢測溫度上升、檢測電壓漂移較大，穩定性差，所量測電流誤差大，大電流量測需使用精密低電阻，在材料選擇較難，電阻檢測對電路無隔離效果，電路干擾雜訊大。
- 三、可將作品應用於各式照明設備或顯示裝置，如：交通號誌、汽車大燈，方向燈、廣告招牌、路燈、工廠照明、家庭日光燈、隧道照明..等等。
- 四、LED 所使用的電源為直流電供應，一般電源電路可分為定電壓與定電流，LED 在電亮時會產生熱，溫度上升會引響 LED 特性變化，LED 屬於半導體特性，為負電阻性變化元件，如果使用定電壓源供應，溫度上升電阻下降，依歐姆定律 $I = \frac{V}{R}$ 、電流變大，流過 LED 電流變大，造成 LED 溫度再上升，電流再上升，因此很容易造成 LED 燒毀，所以大部分的 LED 路燈都採用定電流源供應。
- 五、照明裝置或路燈，亮與不亮取決於負載是否有電流流過，以電流方式即可偵測照明是否故障，電路具有過載及短路保護，過載則表示電流已過設定值，短路也是如此。
- 六、在電流偵測使用 Arduino A/D(類比轉數位)轉換，輸出的電壓值變動率高，很難精準取得正確值，我們上網查詢有關數位濾波方法，最後使用均值方式濾波比較簡單，經處理後數位資料 $data = \frac{\text{取樣}(n0+n9)}{10}$ ，10 次的均值後轉換值變動變小。
- 七、節約用電是一種美德，透過系統在完全無疑慮下，可節電約為 66.1%，路燈數量多時節電的效能更佳。

柒、結論：

- 一、燈亮、路平、水溝通，是選舉的口號與政見，也顯示燈亮對於市民、駕駛人的重要性。照明設備故障自動修護系統，是作品最的特色與創意，目前市面上尚未有類似裝置，具有自動修護能力，作品也利用 A/D 轉換電路偵測電源供應電壓，當電壓異常時系統會透過 Zigbee 將電壓偵測值回監控中心，如果是電源故障時，必然路燈還是不會亮，也失去作品特色，未來也可考量設計有各別的電源供應主系統、備用系統，哪一個元件故障時就跳至備用系統繼續工作。
- 二、在太空科技與航空飛行系統中，對於系統的要求極高須達到穩定性、安全性，準確性，因此在系統設計方面，將會使用兩套系統來因應突發狀況與危險狀態，當主系統發生故障時，控制會啟動備用系統，取代主系統工作，因此作品創意思考點，將其優點應用於照明設備。
- 三、有些工廠、學校禮堂、戲院，運動場館，往往照明設備位於高處維修不易，更換時需要鷹架或高空作業車，花費的成本也會相對增加，故障多盞照明時在一次性維修。當 A、B 燈板同時故障時，如果影響照明時是需要即時修護的，如果單一故障原因就交給系統自動修護即可。
- 四、社會日益進步，對於生活要求水準日益提高，因此公共設施也需升級，在路燈 1.0 時代，路燈大都使用燈泡、水銀燈，日光燈，照度流明度差。在路燈 2.0 時代，路燈以省電 LED 取代傳統的照明裝置，LED 會隨時間造成光衰，或部分的燈珠不亮影響照明。對於未來路燈 3.0 時代，以 AIOT 雲端技術建構更完善的路燈管理系統，具有故障自動修護能力的路燈與節電路燈為時代主流。
- 五、未來照明設備創新設計成交替式照明，在一特定時間以交替切換另一照明裝置，可以增加照明使用壽命，如果照明裝置使用壽命有 5 年時間，將照明裝置設計主照明與備用照明，當主照明故障時系統會啟用備用照明繼續點亮，經換算後照明所使用時間可達 10 年，都不用在換燈管、燈泡了。
- 六、經濟效益：降低路燈損壞率，延長路燈使用壽命，維修通報更簡易。人本效益：降低夜間施工危險性、減少人力支出，減少維修次數。

捌、參考資料及其它：

【一本書】

陳志遠、宋文財、鄭佳忻、王國棟、邱聖逢(2020.11.11)。智慧居家監控實習。台科大圖書股份有限公司。

梅克 2 工作室(2022.03.18)。Arduino 微電腦控制實習。台科大圖書股份有限公司。

許庭嘉教授團隊(2021.03.12)。AIoT 實作好好玩 - 使用 micro:bit、MIT App Inventor、語音辨識及影像辨識。台科大圖書股份有限公司。

林聖修、徐瑞茂(2021.01.04)。Arduino 輕鬆入門物聯網 IoT 實作應用。台科大圖書股份有限公司。

陳會安(2013/11/28)。程式邏輯與 Visual Basic 程式設計。全華圖書股份有限公司。

鐘國家、侯安桑、廖忠興(2011/2/9)。感測器原理與應用實習(第二版)。全華圖書股份有限公司。

【學位論文】

洪啓豪(2014)。利用電力線傳輸資訊進行大樓照明設備之即時電流分析。[碩士論文]。逢甲大學。

蔡榮華(1995)。道路招牌、交通號誌、照明設備等所受風力規範之研擬。[碩士論文]。

鍾淑真(2023)。考量路燈服務水準之修復派遣系統。[碩士論文]。國立中興大學。

葉哲均(2018)。高速公路照明燈具之可靠度分析。[碩士論文]。國立屏東科技大學。

周良駿(2008)。LED 照明模組之設計與應用。[碩士論文]。國立彰化師範大學。

【評語】 052308

1. 本作品探討路燈或照明設備之故障偵測與自動修護，值得鼓勵！
2. 作品希望路燈發生故障時，系統偵測並進行自動修護，將不亮的燈泡用備用燈泡替代，這是不錯的想法，但也會造成燈泡成本的增加，實務上的可行性要仔細評估。或許可以考慮此系統其他適用的場域。
3. 節電控制構想最具特色，初步構想已能產生節能效益。可以對真實的情境進行較深入的分析，更能落實於實際運用。
4. 作品利用了 Zigbee 建構區域網路，即時通報照明設備故障情形，是個很好的想法。

作品海報

照明設備故障自動修護系統

摘要

地球自轉一周，需要 24 小時，因此地球一面處於白天，另一面則是夜晚，從外太空看地球越先進的國家的夜晚，燈火通明點亮整個城市。當愛迪生發明第一個燈泡時，讓世界晝變白晝，照明設備的演進，也照亮人類的文明，各式照明設備有相對的使用壽命，當路燈或照明設備故障時，需要專業維修人員或水電師傅進行更換，有時也讓照明設備久久未能即時修護。本作品設計概念，用於路燈或照明設備，路燈發生故障不亮時，系統偵測故障時並進行自動修護，將不亮的燈泡變成會亮的燈泡，達到能即時修護的目的。作品以單晶片微電腦為主控制，LED 驅動電路、霍爾電流感測器、使用 Zigbee 建構區域網路、伺服馬達控制，結合 IOT 物聯網概念，設計具有故障自動回報功能。

壹、研究動機：

- 一、路燈、照明設備數量，是都市發展最重要指標，燈亮是用路人及駕駛基本的安全防護裝置，良好的照明設備可以防止交通事故外發生，也能降低都市犯罪率。
- 二、在夜間常常看見路燈，一閃一閃的或不亮的情況時常發生，此時需通知 1966 或道路養護單位做即時報修，當未有任何善心人士報修時，或路燈養護單位人力不足時，往往無法達到即時修護的可行性，卻讓路燈故障時間達數日之久，影響用路人及駕駛人的安全。
- 三、每當看見路燈維修人員，需要夜間搶修故障的路燈或照明設備，主要是確保用路人、市民及駕駛的安全，路燈維修人員既辛苦又勞累，更需 24 小時輪班待命，完成路燈故障修護，當需要夜間施工修護時，也增添維修人員的危險性。

貳、研究目的：

- 一、確保每一盞路燈都是亮的，就能減少夜間施工次數，可減少路燈維修人員夜間施工的危險性，故障的路燈或照明設備，白天在進行修護即可。
- 二、以 Zigbee 建構區域網路，可以遠端監控每一盞路燈工作狀況，也可經由監控中心設定夜間路燈點亮時間即關閉時間，可監控每一盞路燈工作電流，夜間人車稀少時系統可進行節電模式，將 LED 路燈降載為 70%~80% 功率輸出。當路口有人車經過時，在啟動路段每一盞燈全亮。
- 三、路燈故障自動報修系統，LINE 群組方式通知單位主管及維修人員。並收集故障路燈編號，進行批次維修方式進行維修，依維修排程進行維修，可減少維修人員東跑西跑漫無目地的維修設備，或是只有一處故障就馬上維修，浪費人力成本。
- 四、使用本系統更能確保每一盞路燈都是亮的，施工單位不用於夜間維修，設計能自動檢測故障並能自動修護裝置。

參、研究設備器材：

設備名稱	數量	備註
筆記型電腦	1	監控程式，Arduino 程式撰寫
3D 印表機	1	機構、外殼列印
雙電源直流電壓供應器	1	電路實驗
印刷電路雕刻機	1	電路板製作、LED 燈板製作
Arduino Uno R3 控制板	1	單晶片微電腦硬體電路設計及模擬
數位三用電表	1	電壓量測與電流量測
麵包板	1	硬體電路實驗、免焊萬用板
ACS712	5	霍爾元件電流偵測
Zigbee	5	區域網路無線傳送模組
Zigbee 轉 USB	1	Zigbee 與電腦資料傳遞介面
石英晶體(16MHz)	5	提供單晶片微電腦之工作時脈
積體電路 ATmega328P	6	Arduino 單晶片為系統核心
MOSFET IRF2807	4	LED 控制半導體元件
AC/DC 雙電源供應器(12V/8A)	1	提供電路直流電源
伺服馬達 12V/180 度	5	旋轉控制實驗
步進馬達 12V/1.8 度	5	燈板旋轉、日光燈、燈板旋轉
5050 白光 LED	100	模擬燈板照明
RGB LED	2	三顏色實驗測試

肆、研究過程或方式：

4-1 系統架構圖

系統架構圖，如圖 4-1 所示。系統架構以 IOT 概念建構路燈故障報修系統，由路燈維修養工處監控系統、LINE 訊息通知系統，照明設備故障自動修護系統，三個系統所建構而成。路燈維修養工處監控系統，主要是以 Zigbee 建構區域網路節點、透過 Coordinator 傳送命令給每個 Router，或接收每一個 Router 所傳回的訊息，系統接上網際網路發送 LINE 訊息，

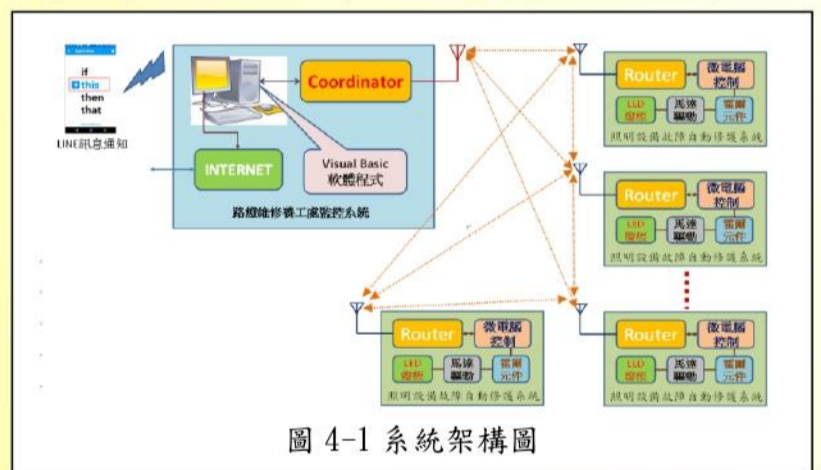


圖 4-1 系統架構圖

4-1-1 照明設備故障自動修護系統方塊圖

照明設備故障自動修護系統方塊圖，如圖 4-2 所示。照明設備故障自動修護系統，共有八個單元分別有 Arduino 單晶片微電腦控制單元、LED 驅動控制單元、解多工器控制單元、步進馬達控制單元、LED 燈板單元、霍爾電流感測單元、運算放大電路單元、Zigbee 無線控制單元。

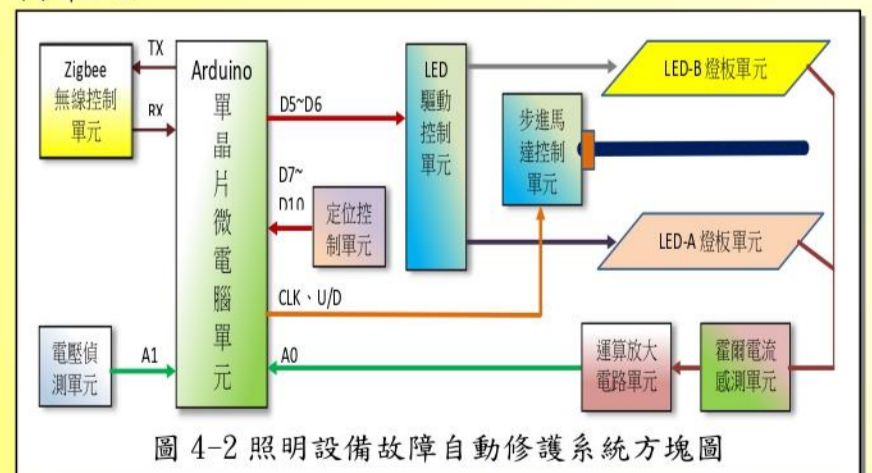


圖 4-2 照明設備故障自動修護系統方塊圖

4-2 LED 驅動控制單元

以特定的電壓、電流以驅動 LED 發光的電壓轉換器，LED 點亮須以直流電供應，依 LED 規格則須選用不同的直流電源供應器。

4-3MOSFET 控制 LED 電路設計

電晶體材料主要分為兩大類，雙極性電晶體 (Bipolar Junction Transistor, BJT) 和場效應電晶體 (Field Effect Transistor, FET)。

場效應電晶體又分為接面場效電晶體(junction FET, JFET)，金屬氧化半導體場效電晶體(MOSFET)，如圖 4-11 所示。LED 燈板點亮控制，我們使用 MOSFET 作為開關電路，由 Arduino D5 輸出為 HIGH，則點亮 A 燈板，D6 輸出為 HIGH，則點亮 B 燈板，D5、D6 具有 PWM 控制輸出，控制 PWM 工作週期，即可改變 LED 亮度，MOSFET 控制 A、B LED 燈板接線圖，如圖 4-12 所示。



圖 4-11 金屬氧化半導體場效電晶體

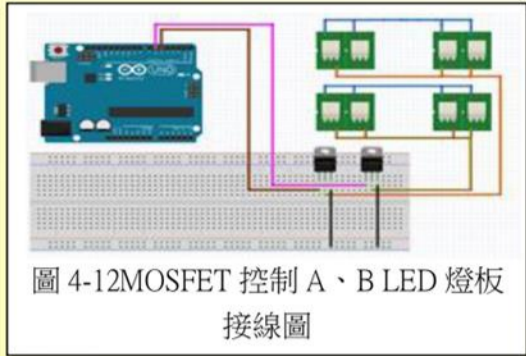


圖 4-12 MOSFET 控制 A、B LED 燈板接線圖

4-4 LED-A、B 燈板單元

LED 燈板設計，我們必須先了解 LED 特性及相關規格與參數，一般用於照明裝置的 LED 可分為白光與暖白光兩類，作品選用白光 LED 設計，模擬照明設備之 LED 燈板，在 LED 燈板設計我們選用 5050 貼片 LED，如圖 4-13 所示。我們設計 LED 燈板尺寸圖，如圖 4-14 所示。燈板長寬=240mm×26mm，使用 24 顆 5050SMD LED，以四串六並方式連接。燈板工作電壓=12V，工作電流=240mA。



圖 4-13 5050 貼片 LED

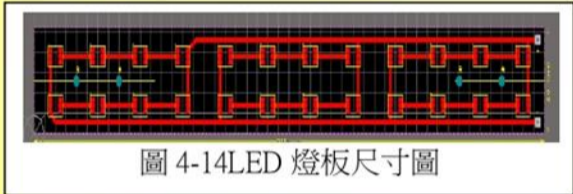


圖 4-14 LED 燈板尺寸圖

4-5 電流感測單元

檢測流動電流的方法大致可分為電阻檢測型和磁場檢測型，電流感測器 (current sensor) 是指檢測電路中流動的電流值的感測器，是可以偵測導線或負載內電流的裝置，並且產生和電流成比例的信號，產生的信號可以是類比的電壓或是電流信號，也可以是數位信號，電流偵測也會依所選用的感測器不同，電路設計也會有不同的設計，依不同的電流感測器進行探究。

4-5-1 電阻電流感測器

以電阻作為電流檢測器，電流檢測電阻，如圖 4-15 所示。串聯電流檢測法，如圖 4-16 所示。所需元件為檢測電阻、運算放大電路、ADC 類比/數位轉換電路、控制電路。電阻電流感測器、優勢：成本低、精度較高、體積小。劣勢：溫度漂移較大，須使用精密電阻的選擇較難，無隔離效果。



圖 4-15 電流檢測電阻

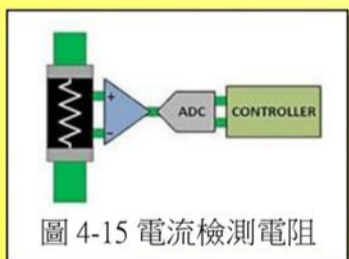


圖 4-15 電流檢測電阻

電流流經電阻器，在電阻器的兩端將會產生電壓差。以歐姆定律 $I=V/R$ ，電壓值除以電阻值，即為通過電阻器的電流值。

4-5-2 霍爾電流感測器

ACS712 封裝解剖圖，如圖 4-17 所示，可以看出電流只是從晶片內部流過，與偵測電路並沒有接觸，電流輸入端與控制端是隔離的，迴路電流流過會產生一個磁場，霍爾元件根據磁場感應出一個線性的電壓訊號，經過內部的放大、濾波電路，輸出一個電壓訊號。ACS712 模組，如圖 4-18 所示。ACS712 所能量測的電流範圍可分為三個規格：5A、20A、30A。ACS712 的 Vcc 工作電壓為 5V。輸出與輸入的關係為

$V_{out}=0.5V_{cc}+I_p*Sensitivity$ 。一般輸出的電壓訊號介於 0.5V~4.5V 之間。輸入與輸出之間的響應時間為 5us。頻寬為 80KHz，通過調整濾波腳與地之間的濾波電容。



圖 4-17 ACS712 封裝解剖圖

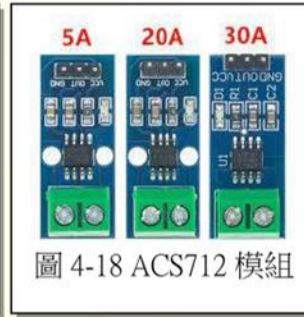


圖 4-18 ACS712 模組



圖 4-19 ACS712-05 接線圖

在電流檢測我們選用 ACS712-05 編號的霍爾電流感測器，ACS712-05 接線圖，如圖 4-19 所示。霍爾元件可以使用偵測 AC/DC 電流，其輸出感應電壓為 185mV/A 的變化量，當輸入電流值為 $I_p=0A$ 時，ASC712 電壓準位輸出 $V_{OUT}=2.5V$ 。當輸入電流值為 $I_p=5A$ 時，則 ASC712 輸出 $V_{OUT}=2.5+5\times 0.185=3.425V$ 。當輸入電流值為 $I_p=-5A$ 時，則 ASC712 輸出 $V_{out}=2.5+(-5\times 0.185)=1.575V$ 。對於小電流輸入時 $I_p=0.01A$ 時，則 ASC712 輸出 $V_{OUT}=2.5+0.01\times 0.185=2.50185V$ ，輸出電壓之解析度差，無法得到所量測的微電流變化。

4-6 運算放大電路單元

運算放大器 (Operational Amplifier, 或簡稱 op-amp)，放大器是用來將微弱信號轉換成較大信號的裝置，可設計為電壓放大、訊號放大及功率放大。在放大電路設計只需要放大感應電流，則需減去 ACS712 準位電壓 2.5V，否則電路會連同參考電壓 2.5V 一起放大。因此運算放大器電路設計，將 ACS712 V_{IOUT} 輸出先以減法器，減去準位電壓 2.5V，再將檢測電壓送到非反相放大器放大，再以 $AV=1$ 、 $AV=5$ 不同放大倍數後，可以得到非反相放大器增益曲線圖，如圖 4-20 所示。兩者最大差異性為各點電流值，輸出電壓解析度為 $AV5>AV1$ 。放大倍數設計其放大輸出電壓不可高於 Arduino A/D 轉換電壓 5V。

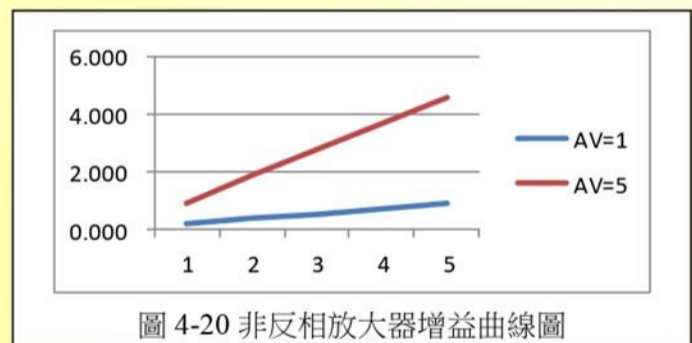


圖 4-20 非反相放大器增益曲線圖

運算放大電路設計需要減法器與非反向放大器。減法器，如圖 4-21 所示。兩個輸入信號由非反相端與反相端輸入，然後分別經過非反相放大與反相放大，最後在輸出端獲得兩輸入電壓間之差值放大信號。

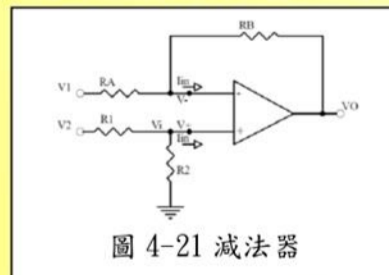


圖 4-21 減法器

$$V_o = \frac{R_2}{R_1 \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)} \left(1 + \frac{R_B}{R_A}\right) V_1 + \left(-\frac{R_B}{R_A}\right) V_2$$

若選擇 $\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_B}{R_A}$ 或 $R_1 = R_A, R_2 = R_B$ ，化簡上式得

$$V_o = \frac{R_B}{R_A} V_1 + \left(-\frac{R_B}{R_A}\right) V_2 = \frac{R_B}{R_A} (V_1 + V_2)$$

4-7 步進馬達控制方式

剛開始在設計燈板旋轉角度控制時，發現伺服馬達無法精準定位在 $0^\circ \sim 180^\circ$ 位置之間，誤差角度約 20° ，因此我們選擇以步進馬達作為角度控制裝置，再則伺服馬達轉動軸無法與傳動軸連接，機構設計困難因素。



圖 4-28 步進馬達

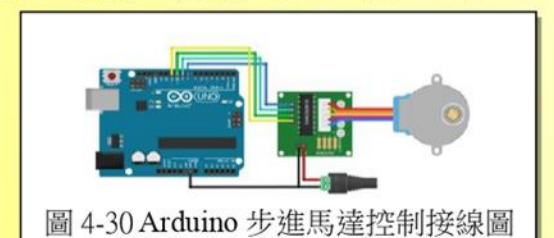


圖 4-30 Arduino 步進馬達控制接線圖

4-8 Zigbee 無線控制單元

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 4-35 所示。Zigbee 網絡路由器可以自動加入，無需特別設置。

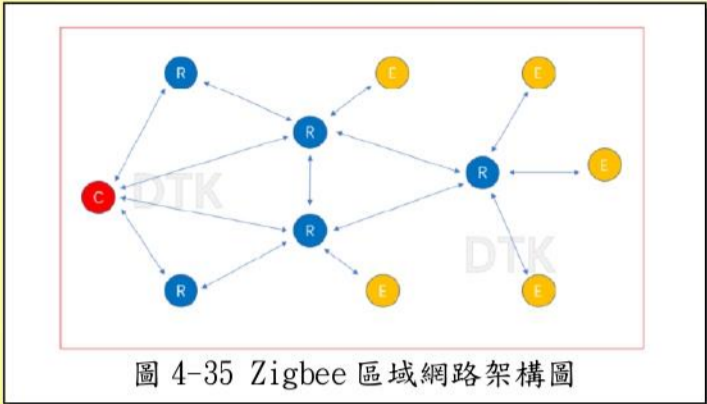


圖 4-35 Zigbee 區域網路架構圖

4-9 機構設計

在燈蓋部分，設計兩燈板照明裝置，旋轉控制需要兩個馬達，一側安裝步進馬達，馬達軸心連接圓形傳動軸，將燈板安裝於傳動軸上下，傳動軸穿過外殼另一側作為旋轉定位軸心，減少旋轉造成偏移現象，以 3D 列印路燈外蓋機構圖，如圖 4-35 所示。使用 AUTO DESK123D 繪製外殼，完成後再以 3D 印表機列印。

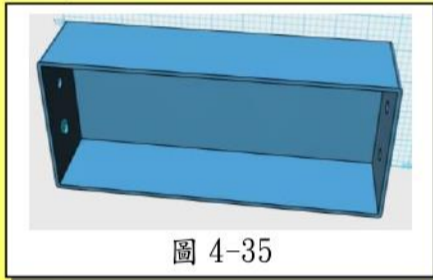


圖 4-35

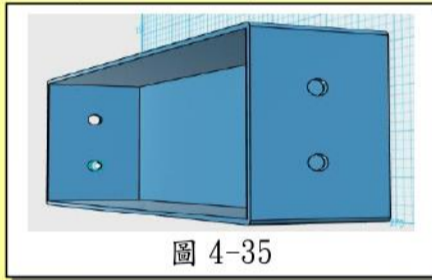


圖 4-35

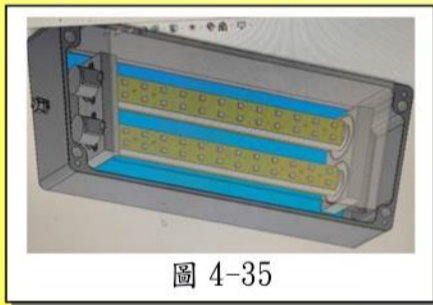


圖 4-35

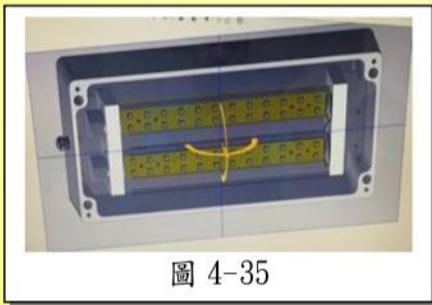


圖 4-35

伍、研究結果：

5-1 照明設備故障自動修護系統

照明設備故障自動修護系統電路圖，如圖 5-1 所示。照明設備故障自動修護系統元件位置圖，如圖 5-2 所示。

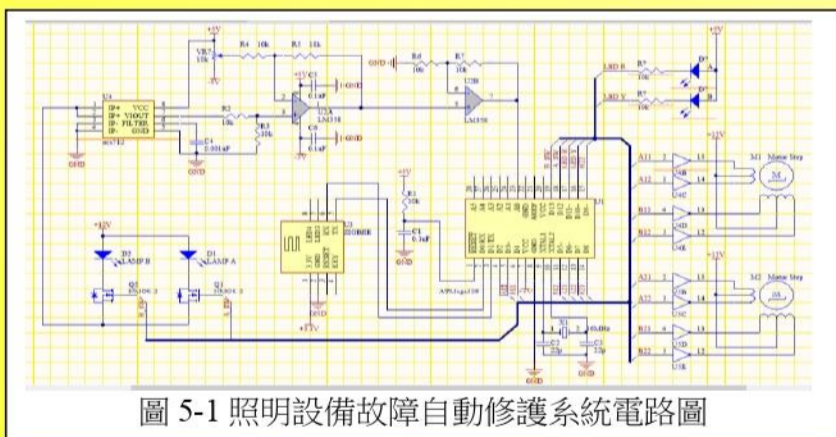


圖 5-1 照明設備故障自動修護系統電路圖

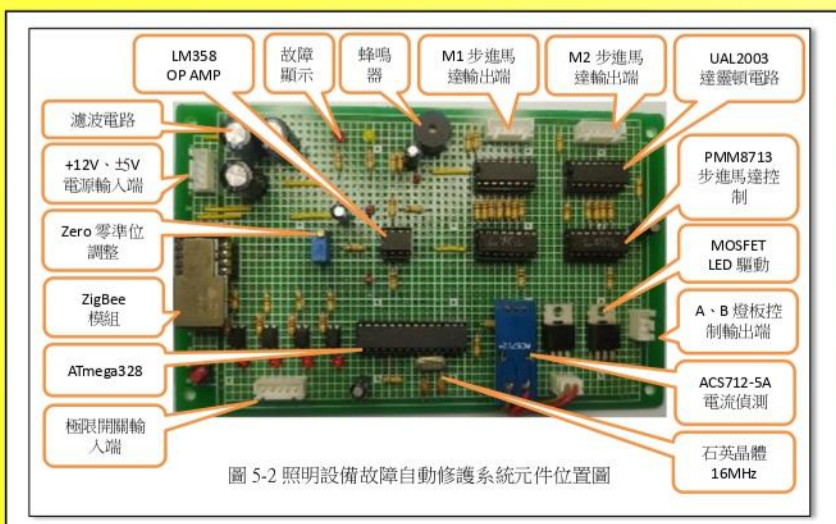


圖 5-2 照明設備故障自動修護系統元件位置圖

在電壓、電流量測方式，我們使用 Arduino 類比信號輸入端 A0~A5，進行電壓與電流量測，

將輸入電壓值進行 A/D 轉換，電流量測須將電流變化轉為電壓變化，才能送至 A/D 轉換輸入端，因此使用 ACS712 霍爾元件做 I/V 轉換。在測量直流電壓測量時，A/D 轉換輸入電壓 $\leq 5V$ ，在考量待測電壓值為 12V，需設計一串聯分壓電路，如圖 5-5 所示。

燈罩外殼，如圖 5-6 所示。將步進馬達、LED 燈板，傳動軸安裝於燈照外殼，路燈模擬組裝圖，如圖 5-7 所示。

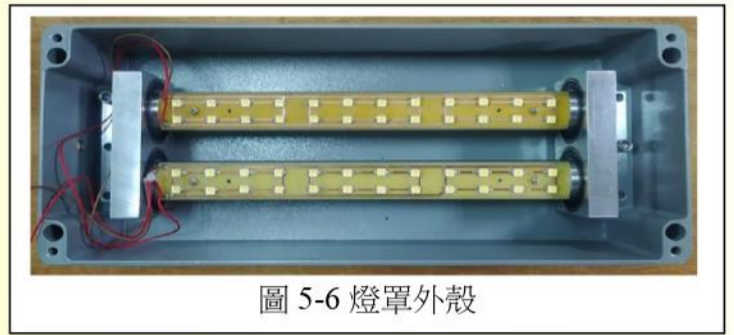


圖 5-6 燈罩外殼

5-2 路燈維修養工處監控系統

監控系統以我們 Visual Basic 撰寫控制程式，首先要先建立系統控制主畫面，如圖 5-8 所示。再將所需物件放置在表單主畫面位置，設定物件屬性，再以事件發生撰寫程式，設定 COM PORT5 為 USART 串列通訊，傳輸速率 115200，訊息交換以詢問式，依序逐一呼叫各路燈編號，被詢問到路燈再將資料回傳至監控系統，由系統計算總電流，換算成所耗功率。



圖 5-8 控制主畫面



圖 5-8 控制主畫面

陸、討論：

1. 使用電流檢測電阻，也會造成電路負載效應，當電流流經電阻也會產生熱，造成檢測溫度上升、檢測電壓漂移較大，穩定性差，所量測電流誤差大，大電流量測需使用精密低電阻，在材料選擇較難，電阻檢測對電路無隔離效果，電路干擾雜訊大。
2. 照明裝置或路燈，亮與不亮取決於負載是否有電流流過，以電流方式即可偵測照明是否故障，電路具有過載及短路保護，過載則表示電流已過設定值，短路也是如此。

柒、結論：

1. 燈亮、路平、水溝通，是選舉的口號與政見，也顯示燈亮對於市民、駕駛人的重要性。照明設備故障自動修護系統，是作品最的特色與創意，目前市面上尚未有類似裝置，具有自動修護能力。當電壓異常時系統會透過 Zigbee 將電壓偵測值回監控中心。
2. 有些工廠、學校禮堂、戲院，運動場館，往往照明設備位於高處維修不易，更換時需要鷹架或高空作業車，花費的成本也會相對增加，故障多盞照明時在一次維修。當 A、B 燈板同時故障時，如果影響照明時是需要即時修護的，如果單一故障原因就交給系統自動修護即可。
3. 經濟效益：降低路燈損壞率，延長路燈使用壽命，維修通報更簡易。人本效益：降低夜間施工危險性、減少人力支出，減少維修次數。