

2024仰望盃全國科學 HomeRun 實作大賽

決賽成果報告書

隊伍名稱： 魔鏡隊

作品名稱： 檔位自動選擇直流電壓量測錶

科學概念1： 依據**電壓分配定則(Voltage Divider Rule)**，配置五組不同倍數的串聯電阻分壓電路，依據檔位分壓值，以程式控制，自動切換繼電器模組，使待測電壓與五個檔位中最能準確量測之電阻分壓電路連接，再由 Arduino 的**類比讀取(AnalogRead)**腳位量測待測電壓。無需手動切換量測檔位，可直接測量0V~750V 的直流電壓。

科學概念2： 測量電壓時，難以避免有少量電流流經測量的儀器造成量測誤差，考量 Arduino 的類比讀取接腳對分壓電阻所造成的**負載效應>Loading Effect**，以程式計算修正量測誤差及時**校正(Calibration)**，提高電壓量測之準確度。在程式中以**旗標(flag)**控制，避免 void loop() 一直跑迴圈，檔位一直切換。

檔位自動選擇直流電壓量測錶

1. 發想動機：

不論是指針式或數位式電錶，在量測直流電壓時，必需先切換至最適當的檔位再來測量，才能獲得最準確的測量值。對於未知的電壓量測，標準操作方式需先切至高電壓檔位再測量，然後逐漸向下調整量測檔位，直到最適當的檔位。

電子電路多點電壓量測，在高、低不同電壓間的測量，必須頻頻更換量測檔位，再行測量實在不便。在高電壓時如不慎切至低電壓檔位，量測時可能會損壞電錶。如能一檔到底，各種範圍電壓直接測量，無需轉換測量檔位，使用上甚為方便。

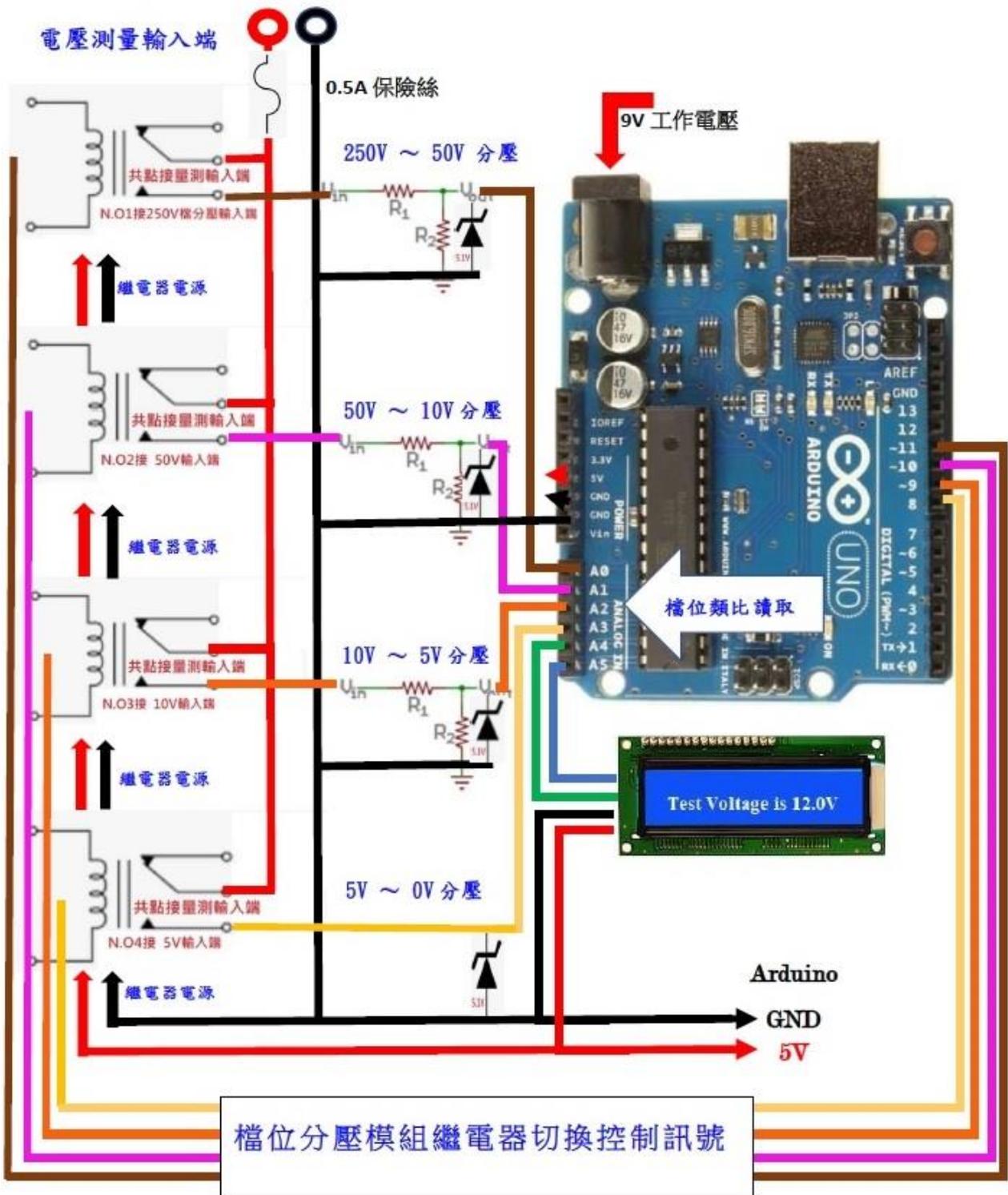
2. 作品創意性：

檔位自動切換、直接顯示測量數據。測量電壓範圍及小數位數，可依需求，自行彈性設計。對初學者或是未曾使用過的人，提供友善量測儀器。

Arduino 的類比讀取，辨識最小電壓變化量為0.004887V。以程式判斷受測電壓值，自動切換分壓檔位，智能選擇最適當分壓模組。模擬使用者依據標準操作程序，自動選擇分壓檔位，再以程式根據所讀取數據計算補償，最後顯示準確的測量電壓數值。

Arduino 使用的 IDE 程式，因 void loop 程式會不斷重複執行，導致繼電器模組不斷跳動，在程式中以旗標標示檔位，控制重複執行情形。測量電壓無變化時，繼電器模組不變動，受測電壓有變化時，才會重新切換檔位讀取電壓值。

3. 硬體及電路架構圖：



圖一 硬體及電路架構圖

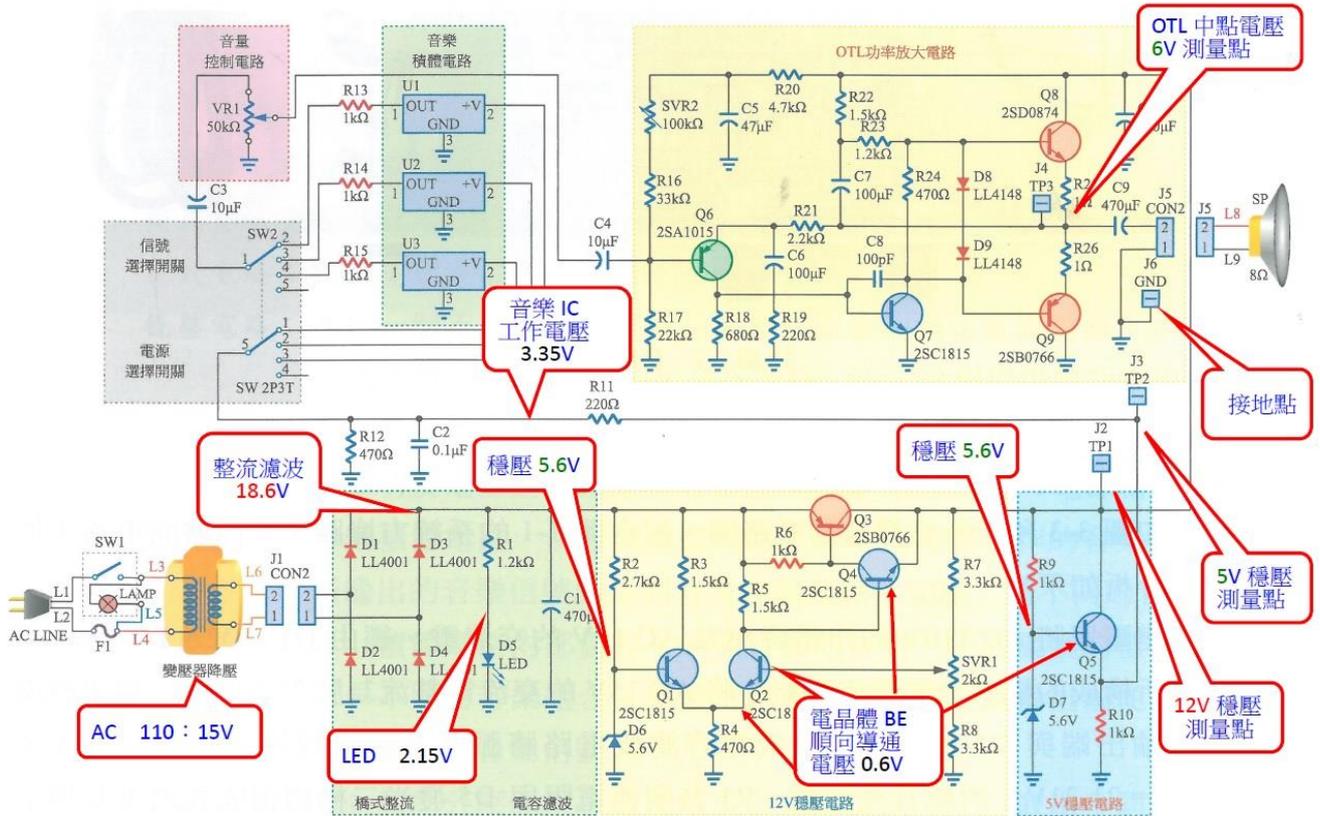
在測量輸入端串聯一0.5A 保險絲，保護本作品。另外在 A0~A3 四個類比讀取腳（使用 Arduino Nano 板加用 A6 腳作 750V 檔），分別並聯 1W 5.1V 稽納二極體（Zener diode），作為類比讀取腳輸入的保護。

本作品電源由 9V 電池供應，由電池扣連接至 Arduino 的 Vin 接腳，經開發板上的 7805 穩壓 IC 提供 5V 工作電壓，再供應繼電器模組及 LCD 顯示模組 5V 電壓。

4. 作品成果報告：

(1) 解決科學實驗的問題

在做有關電壓量測的各種科學實驗，在高、低不同電壓範圍的測量，必須頻頻更換測量檔位，才能正確測得電壓值。如果檔位不正確，輕者量測資料不準確，重則損壞電錶。本作品依量測電壓自動切換分壓檔位，數值顯示直流電壓測量錶。圖二是工業電子丙級檢定的電路，使用本作品量測電子電路電壓，無需頻繁更換電壓檔位，由程式依量測電壓，自動切換至最適當分壓檔位，提供最準確測量值。



註：電路圖中紅色標示為 SMD 元件。

工業電子丙級檢定 音樂盒電路圖

圖二 不同電壓範圍測量案例

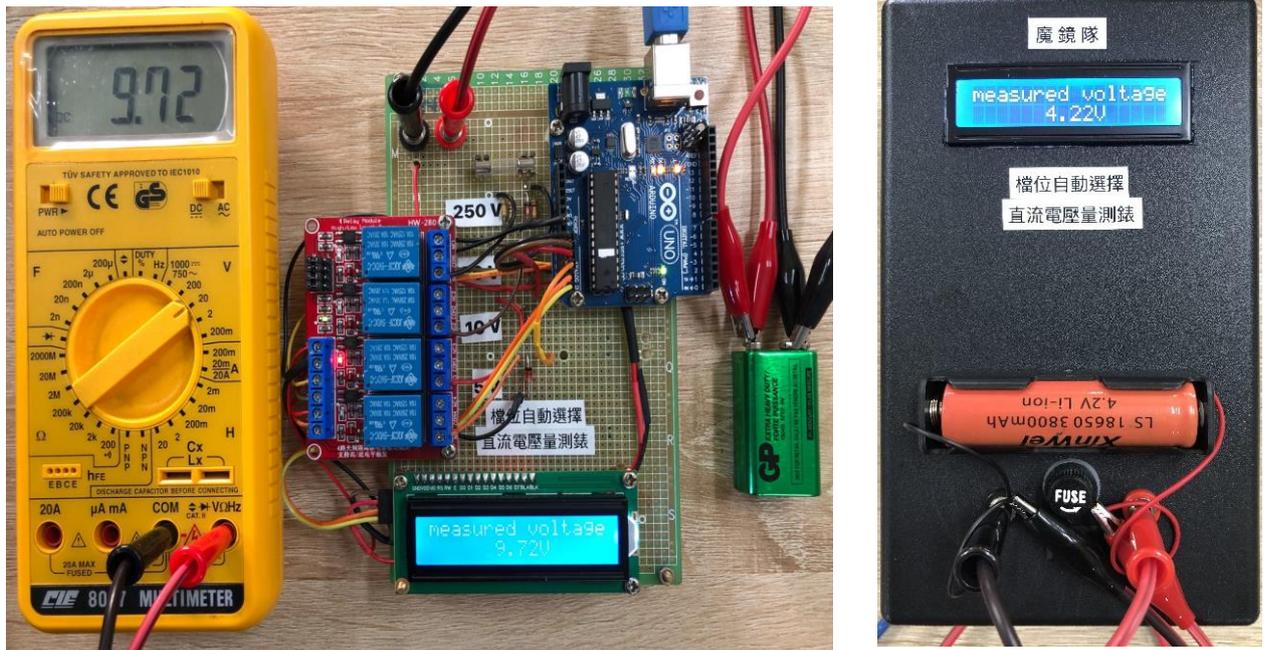
(2) 科學教具的製作發想

各檔位分壓電阻值

5V檔 不需分壓	10V檔	50V檔	250V檔	750V檔
	Rs RL	Rs RL	Rs RL	Rs RL
	10 10	90 10	490 10	1,490 10
	20 20	180 20	980 20	2,980 20
	30 30	270 30	1,470 30	4,470 30
	40 40	360 40	1,960 40	5,960 40
	單位：KΩ	單位：KΩ	單位：KΩ	單位：KΩ
直接讀取 程式換算	1/2分壓 2倍程式換算	1/10分壓 10倍程式換算	1/50分壓 50倍程式換算	1/150分壓 150倍程式換算

表一 各電壓檔位分壓電阻值

表一為各檔位所配置之分壓電阻值，以本作品的設計方式，可以依據各式電壓測量需求，自製適合測量需求範圍的電錶。



圖三 科學教具製作

依據常見電壓大小，以計算檔位分壓值，找出控制檔位切換的分壓值，由程式控制繼器切換，選擇最適當電阻分壓電路。表二為本作依據實驗常用之電壓量測設計之檔位。

各檔位分壓值及量測計算值

750V檔					250V檔					50V檔					10V檔					5V檔				
常用電壓	R _S	R _L	分壓值	電壓計算值	常用電壓	R _S	R _L	分壓值	電壓計算值	常用電壓	R _S	R _L	分壓值	電壓計算值	常用電壓	R _S	R _L	分壓值	電壓計算值	常用電壓	R _S	R _L	分壓值	電壓量測值
0.6	1490	10	0.004	0.6	0.6	490	10	0.01	0.6	0.6	90	10	0.06	0.6	0.6	10	10	0.30	0.6	0.6	0.01	10	0.60	0.60
1.5	1490	10	0.010	1.5	1.5	490	10	0.03	1.5	1.5	90	10	0.15	1.5	1.5	10	10	0.75	1.5	1.5	0.01	10	1.50	1.50
3	1490	10	0.020	3.0	3.0	490	10	0.06	3.0	3.0	90	10	0.30	3.0	3.0	10	10	1.50	3.0	3.0	0.01	10	3.00	3.00
4.5	1490	10	0.030	4.5	4.5	490	10	0.09	4.5	4.5	90	10	0.45	4.5	4.5	10	10	2.25	4.5	4.5	0.01	10	4.50	4.50
5	1490	10	0.033	5.0	5.0	490	10	0.10	5.0	5.0	90	10	0.50	5.0	5.0	10	10	2.50	5.0	5.0	0.01	10	5.00	5.00
6	1490	10	0.040	6.0	6.0	490	10	0.12	6.0	6.0	90	10	0.60	6.0	6.0	10	10	3.00	6.0	6.0	0.01	10	6.00	6.00
9	1490	10	0.060	9.0	9.0	490	10	0.18	9.0	9.0	90	10	0.90	9.0	9.0	10	10	4.50	9.0	9.0	0.01	10	9.00	9.00
10	1490	10	0.067	10.0	10.0	490	10	0.20	10.0	10.0	90	10	1.00	10.0	10.0	10	10	5.00	10.0	10.0	0.01	10	10.00	10.00
12	1490	10	0.080	12.0	12.0	490	10	0.24	12.0	12.0	90	10	1.20	12.0	12.0	10	10	6.00	12.0	12.0	0.01	10	12.00	12.00
15	1490	10	0.10	15.0	15.0	490	10	0.30	15.0	15.0	90	10	1.50	15.0	15.0	10	10	7.50	15.0	15.0	0.01	10	15.00	15.00
18	1490	10	0.12	18.0	18.0	490	10	0.36	18.0	18.0	90	10	1.80	18.0	18.0	10	10	9.00	18.0	18.0	0.01	10	18.00	18.00
24	1490	10	0.16	24.0	24.0	490	10	0.48	24.0	24.0	90	10	2.40	24.0	24.0	10	10	12.00	24.0	24.0	0.01	10	24.00	24.00
30	1490	10	0.20	30.0	30.0	490	10	0.60	30.0	30.0	90	10	3.00	30.0	30.0	10	10	15.00	30.0	30.0	0.01	10	30.00	30.00
36	1490	10	0.24	36.0	36.0	490	10	0.72	36.0	36.0	90	10	3.60	36.0	36.0	10	10	18.00	36.0	36.0	0.01	10	36.00	36.00
50	1490	10	0.33	50.0	50.0	490	10	1.00	50.0	50.0	90	10	5.00	50.0	50.0	10	10	25.00	50.0	50.0	0.01	10	50.00	50.00
60	1490	10	0.40	60.0	60.0	490	10	1.20	60.0	60.0	90	10	6.00	60.0	60.0	10	10	30.00	60.0	60.0	0.01	10	60.00	60.00
80	1490	10	0.53	80.0	80.0	490	10	1.60	80.0	80.0	90	10	8.00	80.0	80.0	10	10	40.00	80.0	80.0	0.01	10	80.00	80.00
100	1490	10	0.67	100.0	100.0	490	10	2.00	100.0	100.0	90	10	10.00	100.0	100.0	10	10	50.00	100.0	100.0	0.01	10	100.00	100.00
120	1490	10	0.80	120.0	120.0	490	10	2.40	120.0	120.0	90	10	12.00	120.0	120.0	10	10	60.00	120.0	120.0	0.01	10	120.00	120.00
190	1490	10	1.27	190.0	190.0	490	10	3.80	190.0	190.0	90	10	3.80	190.0	190.0	10	10	19.00	190.0	190.0	0.01	10	190.00	190.00
220	1490	10	1.47	220.0	220.0	490	10	4.40	220.0	220.0	90	10	4.40	220.0	220.0	10	10	22.00	220.0	220.0	0.01	10	220.00	220.00
250	1490	10	1.67	250.0	250.0	490	10	5.00	250.0	250.0	90	10	5.00	250.0	250.0	10	10	25.00	250.0	250.0	0.01	10	250.00	250.00
330	1490	10	2.20	330.0	330.0	490	10	2.20	330.0	330.0	90	10	2.20	330.0	330.0	10	10	11.00	330.0	330.0	0.01	10	330.00	330.00
550	1490	10	3.67	550.0	550.0	490	10	3.67	550.0	550.0	90	10	3.67	550.0	550.0	10	10	18.35	550.0	550.0	0.01	10	550.00	550.00
600	1490	10	4.00	600.0	600.0	490	10	4.00	600.0	600.0	90	10	4.00	600.0	600.0	10	10	20.00	600.0	600.0	0.01	10	600.00	600.00
750	1490	10	5.00	750.0	750.0	490	10	5.00	750.0	750.0	90	10	5.00	750.0	750.0	10	10	25.00	750.0	750.0	0.01	10	750.00	750.00

電阻單位：KΩ
量測條件 if Output0 > 1.67
1/150 分壓
量測範圍 750~250V

電阻單位：KΩ
量測條件 if Output1 > 1.00
1/50 分壓
量測範圍 250~50V

電阻單位：KΩ
量測條件 if Output2 > 1
1/10 分壓
量測範圍 50~10V

$$\text{分壓值} = \text{電壓(受測)} \times \frac{R_L}{R_S + R_L}$$

以分壓值大小決定量測檔位，程式控制繼電器模組與分壓電路連接

表二 各電壓檔位分壓值及量測計算值

(3)協助自然科學的觀察

實作電路時常需要之電壓量測，本作品所得數據未來可結合網路功能，上傳雲端紀錄，建立資料庫以供分析或運算。亦可經由 MQTT 發送給訂閱者，更可作為相關控制。

(4)以科學知識設計科學創意作品

不同分壓電阻值模組電壓量測表

RL=10KΩ				RL=20KΩ				RL=30KΩ				RL=40KΩ			
常用電壓	數位電錶量測值	Arduino無校正量測值	Arduino誤差												
DC 0.6V	0.599	0.61	-0.011	DC 0.6V				DC 0.6V				DC 0.6V			
DC 1.5V	1.500	1.54	-0.040	DC 1.5V				DC 1.5V				DC 1.5V			
DC 3V	3.00	3.06	-0.060	DC 3V				DC 3V				DC 3V			
DC 3.7V	3.71	3.78	-0.070	DC 3.7V				DC 3.7V				DC 3.7V			
DC 4.5V	4.50	4.59	-0.090	DC 4.5V				DC 4.5V				DC 4.5V			
DC 5V	5.00	5.11	-0.110	DC 5V				DC 5V				DC 5V			
DC 6V	6.00	6.13	-0.130	DC 6V	6.00	6.13	-0.130	DC 6V	6.00	6.24	-0.240	DC 6V	6.00	6.15	-0.150
DC 9V	9.00	9.06	-0.060	DC 9V	9.00	9.20	-0.200	DC 9V	9.00	9.33	-0.330	DC 9V	9.00	9.22	-0.220
DC 10V	10.00	10.19	-0.190	DC 10V	10.00	10.20	-0.200	DC 10V	10.00	10.30	-0.300	DC 10V	10.00	10.24	-0.240
DC 12V	12.00	12.24	-0.240	DC 12V	12.00	12.24	-0.240	DC 12V	12.00	12.34	-0.340	DC 12V	12.00	12.86	-0.860
DC 15V	15.00	15.33	-0.330	DC 15V	15.00	15.42	-0.420	DC 15V	15.00	15.47	-0.470	DC 15V	15.00	15.46	-0.460
DC 18V	18.00	18.41	-0.410	DC 18V	18.00	18.45	-0.450	DC 18V	18.00	18.64	-0.640	DC 18V	18.00	18.54	-0.540
DC 24V	24.0	24.55	-0.550	DC 24V	24.0	24.60	-0.600	DC 24V	24.0	24.74	-0.740	DC 24V	24.0	24.74	-0.740
DC 32V	32.0	32.7	-0.700	DC 32V	32.0	32.79	-0.790	DC 32V	32.0	32.84	-0.840	DC 32V	32.0	32.99	-0.990
AC 24V整流濾波	34.8	35.33	-0.530	AC 24V整流濾波	34.8	35.48	-0.680	AC 24V整流濾波	34.8	35.67	-0.870	AC 24V整流濾波	34.8	35.87	-1.070
AC 32V整流濾波	46.1	47.29	-1.2	AC 32V整流濾波	46.1	47.14	-1.0	AC 32V整流濾波	46.1	47.29	-1.2	AC 32V整流濾波	46.1	47.73	-1.6
AC 36V整流濾波	52.4	53.44	-1.0	AC 36V整流濾波	52.4	53.44	-1.0	AC 36V整流濾波	52.4	53.44	-1.0	AC 36V整流濾波	52.4	53.44	-1.0
AC 48V整流濾波	70.6	72.22	-1.6	AC 48V整流濾波	70.6	72.22	-1.6	AC 48V整流濾波	70.6	72.22	-1.6	AC 48V整流濾波	70.6	72.22	-1.6
AC 64V整流濾波	93.1	95.16	-2.1	AC 64V整流濾波	93.1	95.16	-2.1	AC 64V整流濾波	93.1	95.16	-2.1	AC 64V整流濾波	93.1	95.16	-2.1
AC 72V整流濾波	105.7	108.09	-2.4	AC 72V整流濾波	105.7	108.09	-2.4	AC 72V整流濾波	105.7	108.09	-2.4	AC 72V整流濾波	105.7	108.09	-2.4
AC 110V整流濾波	171.5	174.46	-3.0	AC 110V整流濾波	171.5	174.46	-3.0	AC 110V整流濾波	171.5	174.46	-3.0	AC 110V整流濾波	171.5	174.46	-3.0
AC 220V整流濾波	330.0	249.61	80.4	AC 220V整流濾波	330.0	249.61	80.4	AC 220V整流濾波	330.0	249.61	80.4	AC 220V整流濾波	330.0	249.61	80.4

表三 不同分壓電阻值模組電壓量測表

Arduino UNO 開發板之各檔電壓測量，AnalogRead 最大讀取值為5V。因此構思以電阻網路配置，將待測電壓等比例壓縮至5V，配合硬體再將分壓倍數以程式換算成實際電壓值。電阻的誤差值影響到本作品的準確度，實作上需精選電阻，盡可能減少誤差。因此，實作上希望有理想電阻，就是零誤差值。但是，實際上發現材料品質不一，即便是標榜1%誤差的精密電阻，其誤差值仍很大。最保險的方法是以數位電錶逐一測量，挑選誤差最小的電阻使用。

經計算的分壓電阻值，實際上不一定有那個數值的電阻，必需用數個電阻串聯組成所需的電阻值，但這樣會加大誤差值，盡量以兩個電阻串聯為主。

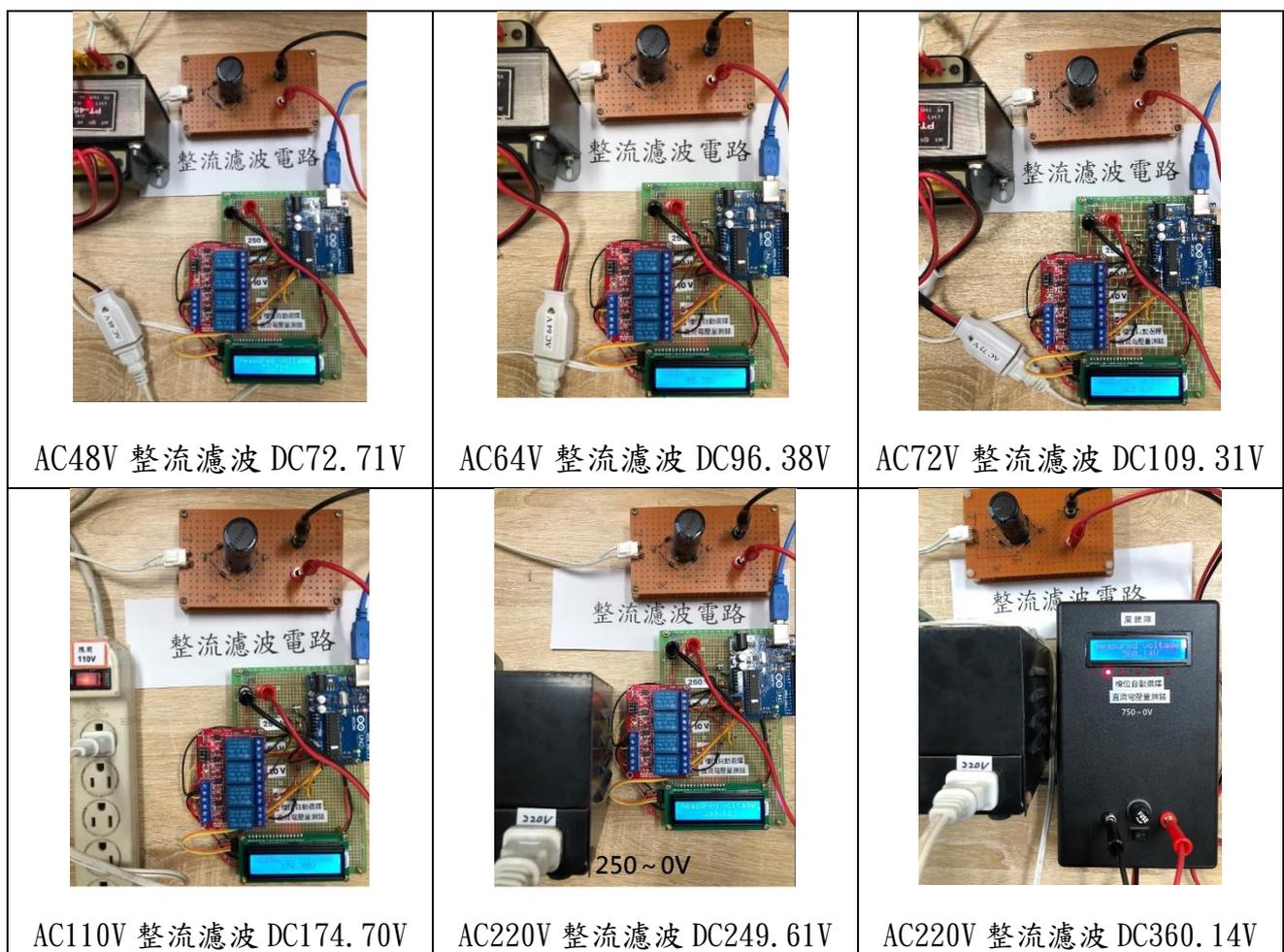
不同的負載電阻值，所構成的分壓電路，因負載效應，測量出來的數值亦不相同。本作品實際電壓測試如表三，基本上 Arduino 類比讀取換算後的計算值，都比數位電錶量測值高。因此，在程式的算換公式中調整校正，使之與數位電錶測量值一致。

表三中之 AC220V 經整流濾波後，以數位電錶直流檔位量測為330V，但本作品顯示為249.61V。係因整流濾波後直電壓為330V，而一開始設計，最高電壓測量到250V。實測時分壓後負載端電壓是6.6V，大於5.1V 稽納二極體，故電壓被穩壓在5.1V，換算值趨近250V，證實稽納二極體保護機制發揮作用。

利用電阻分壓概念，解決 Arduino UNO 開發板只能讀5V 的問題，並且可以任意調整分壓電阻以符合實際需求。

電阻並聯所產生的負載效應，所造成與計算值的差距，則微調程式中算換公式的電壓轉換值，達成校正，使之與數位電錶測量值一致。

ESP8266 ADC 分辨率與 Arduino UNO 相同，ADC 引腳具有10位元分辨率，同樣是獲得0~1023之間的值，但輸入範圍為0至3.3V。若使用 ESP32讀取類比值，則有12位元分辨率，可測得0~4095之間的值，也是測量0到3.3V之間的變化電壓位準。若要測量更微小電壓變化，適合採用 ESP32開發板。



圖四 交流電壓經整流濾波後展示50V 以上直流電壓測量

說明：二次側 AC 電壓隨一次側 AC 電壓變動，不同 AC 電源的二次側輸出值會不同

此外，傳統電錶只能讀取一處電壓，如果要同時讀取多處電壓，就必需同時使用多個電錶一起測量。運用本作品設計，可解決同時多點電壓讀取，例如使用 Arduino Mega 板，可有16路類比輸入腳，即可同時讀取16處電壓。

(5)以科學概念解決生活與學習問題

隨著綠能及工業產品應用發展更趨多元化，越來越多的工業產品使用大於60V以上的直流電壓，高壓直流(HVDC)應用，如電解、太陽能光電設備、電動車…等。

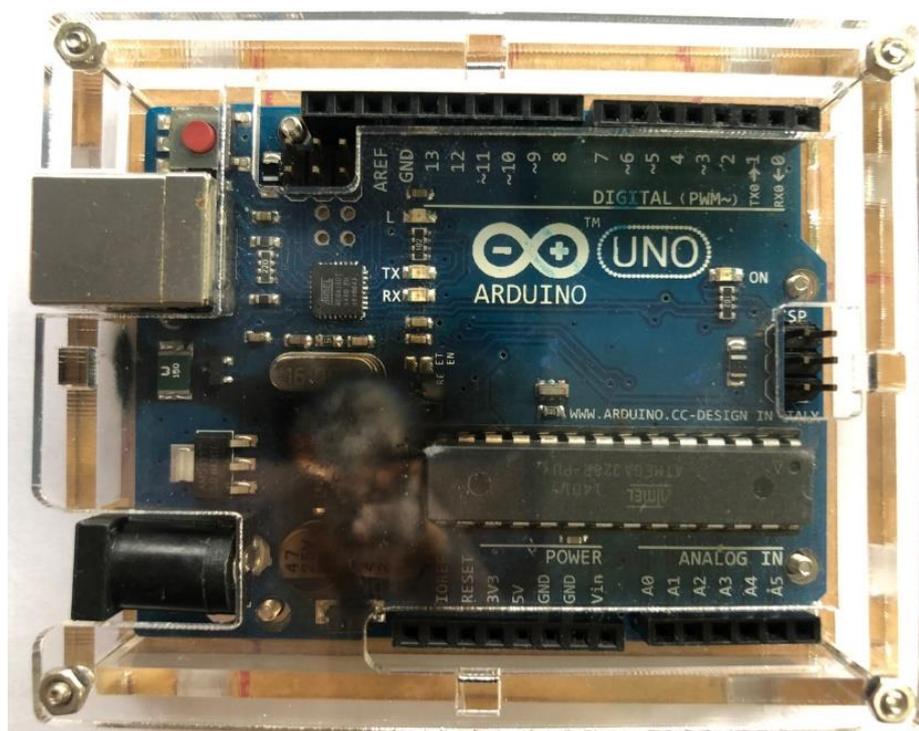
延伸應用：

(a)太陽能光電設備檢修：

太陽能模組通常輸出電壓為30-60V，實際施作當模組連接成串，組串電壓則可能高達600-1,500V。

(b)電動車檢修：

零電壓測量：測量車輛的不同位置與底盤接地間的電壓。



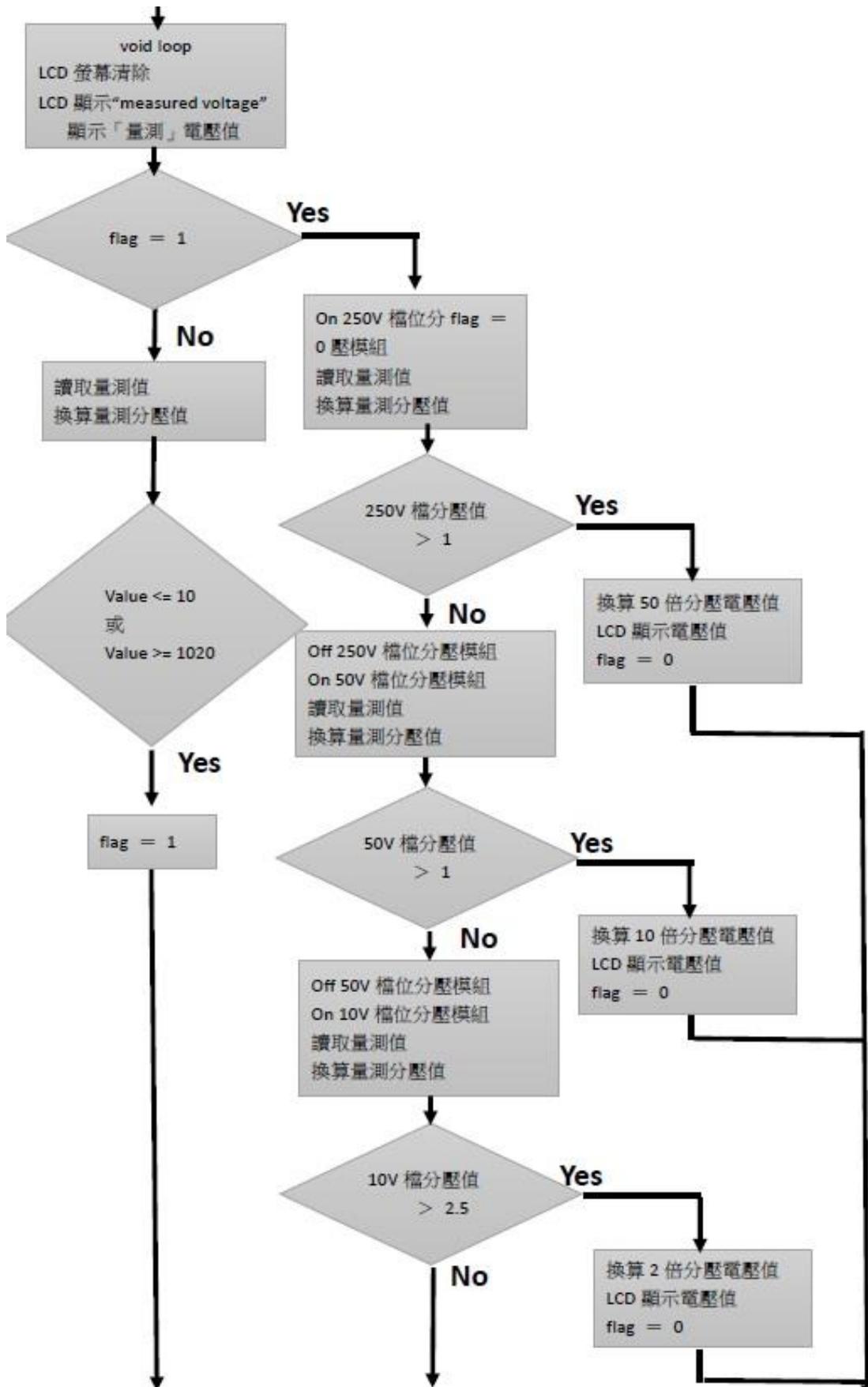
實作上的安全防護是不能忽略的，Arduino 加裝護板除了能避免底部接點短路外，萬一操作不慎導致元件損壞，爆裂、起火，要能對操作者有保護作用，避免受傷。

圖五 器材的安全措施

各式電錶都有一個共同的缺點，就是在低電壓檔位去量高電壓，這樣容易損壞電錶。所以，養成標準操作習慣是不二法門。然而，初學者、或是不常使用的新手，容易忽略正確量測流程，以致電錶損壞。一般電錶都有保險絲，本作品亦有此保護裝置。且在每一類比讀取腳，更有1W 5.1V 稽納二極體 (Zener diode)，作為類比讀取腳輸入端的保護。避免損壞電錶，亦是本作品要點。

(6)程式與流程圖

(a)流程圖摘要：



圖六 流程圖摘要

(b) 程式摘要：

```
if (flag == 1) { //用舉起旗幟來判斷需要從 250V 檔位重來
  digitalWrite(10,LOW);
  digitalWrite(9,LOW);
  digitalWrite(8,LOW);
  digitalWrite(11,HIGH); //啟動繼電器連接上 250v 分壓模組，關閉其他三個
  delay(100); //等繼電器連接上 250v 分壓模組
  value = analogRead(VinPin); //類比讀取值(0~1023)
  count250 = value * 0.00488;
  if (count250 > 1.00){ //類比讀取值×5÷1024(50V<測量<250V)
    Vout = 50 * count250; //換算測量電壓（50 倍分壓）
    flag = 0;
    delay(500); //拉開 250 檔位的時間看出有在切換
  }
}
else{
  digitalWrite(11,LOW); //關閉連接 250v 分壓模組
  digitalWrite(10,HIGH); //啟動繼電器連接上 50v 分壓模組
  delay(100); //等繼電器連接上 50v 分壓模組
  value = analogRead(VinPin); //類比讀取值(0~1023)
  count50 = value * 0.00488;
  if (count50 > 1.00){ //類比讀取值×5÷1024(10V<測量<50V)
    Vout = 10 * count50; //換算測量電壓（10 倍分壓）
    flag = 0;
    delay(500);
  }
}
```

5. 參考文獻：

- (1) 王成緒、胡孝慈(2022)。基本電學(上)，新北市：台科大圖書股份有限公司。
- (2) 林建平、吳局振（2019）。基本電學實習（乙版），新北市：台科大圖書股份有限公司。
- (3) 黃錦泉（2022）。新一代基本電學與實習，新北市：台科大圖書股份有限公司。
- (4) 楊明豐（2017）。Arduino最佳入門與應用—打造互動設計輕鬆學第二版，台北市：基峰資訊股份有限公司。
- (5) 趙英傑（2020）。超圖解Arduino互動設計入門第4版，台北市：旗標科技股份有限公司。