

# 第八屆旺宏科學獎

## 成果報告書

參賽編號：SA8-145

作品名稱：夸父做不到的事——利用兩片太陽能板  
短路電流差及簡單的裝置進行追日

姓名：方怡琳

關鍵字：太陽能發電、追日系統、填充因子

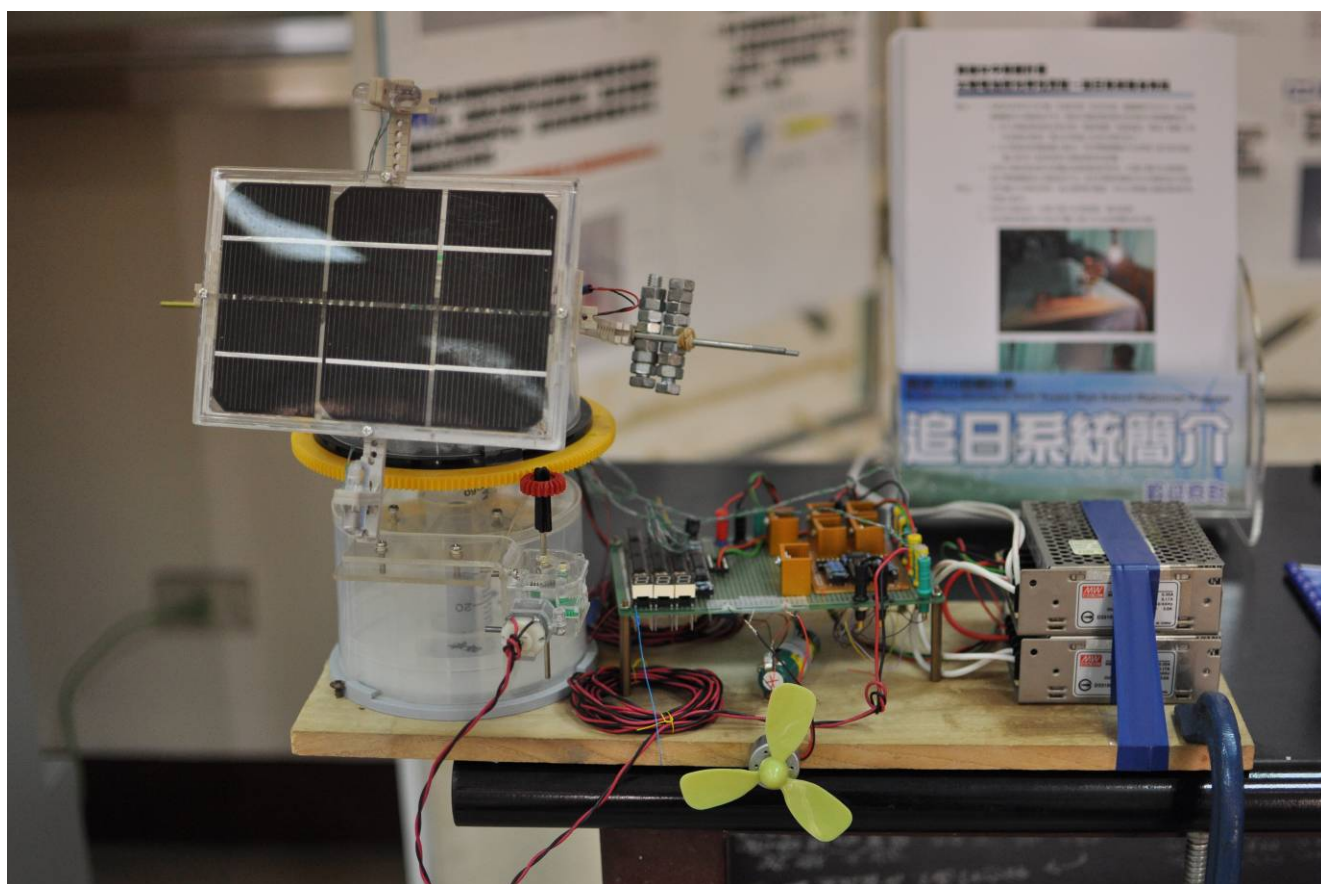
目錄	P. 01
摘要	P. 02
壹、研究動機	P. 03
貳、研究目的	P. 03
參、研究儀器設備	P. 04
肆、研究過程、結果與討論	
【實驗一】	P. 05
【實驗二】	P. 09
【實驗三】	P. 12
【實驗四】	P. 14
【實驗五】	P. 18
【實驗六】	P. 21
【實驗七】	P. 24
伍、結論	P. 26
陸、參考資料	P. 27

## 摘要

近年來由於可利用的能源都有枯竭之虞，在不久後勢必要被替換，永續經營的綠色能源將是未來能源發展的主要趨勢，而其中太陽能電池是最具有發展潛力的能源，然而其之所以未能全面取代現今使用所有能源，主要的癥結有：

1. 太陽能電池的轉換效率始終難以突破。
2. 由於能量來源是太陽，所以其供電十分容易受到太陽仰角、位置及日夜的影響。
3. 太陽能電池的量產有其材料來源與成本的限制。

在前面的諸多因素中，我們所研究的是改善太陽仰角及位置變化所造成的影響。利用簡單的原理及裝置來進行『追日』，而關鍵是利用兩片太陽能板所產生的電流之差值，作為馬達運轉的方向之依據。將追日系統運用於提升太陽能電池的效率，就是我們所研究的目標。



## 壹、研究動機

在綠色能源火紅發展的如今，生活中的許多地方處處可見到以永續發展為訴求的成果，例如：最近高雄即將舉行的世界運動會，在世運主場館的屋頂就設有太陽能光電系統、高雄的路燈更有許多已改為利用太陽能供電。然而，這些綠色建設仍受限於其效率、成本等諸多因素的限制，普及度仍舊不足。

在一年級的基礎物理課程中，我們學習到太陽能電池的基本結構及其性質，而且也認識了如今所面臨的能源危機，在深入了解永續的綠色能源發展所面臨的窘境以及其普及的急迫性以後，我們認為太陽能在諸多能源中是最具有發展潛力的能源。

由於太陽能電池是直接攫取太陽的能量，並將之轉換成可利用的電能，而且太陽在人類的有生之年尚無毀滅之虞，又根據估計，將太陽投射到地球的能量轉為供應人類的消耗仍是綽綽有餘，所以太陽能堪稱是可以取之不竭、用之不盡的能源。

我們認為太陽能電池在所有綠色能源中是最治本也最潔淨的能源，所以我們企盼我們的研究能為「太陽能電池的普及」有所裨益。

## 貳、研究目的

- 一、研究『入射光照度』對太陽能電池『輸出功率』的影響。
- 二、模擬太陽方位改變對太陽能電池的影響，尋找作為追日系統運作原理的依據
  - (一)測量光入射角度對太陽能電池開路電壓的關係。
  - (二)測量光入射角度對太陽能電池短路電流的關係。
- 三、『自製太陽方位感測器』並測量其輸出電流差與入射光角度的關係。
- 四、設計追日系統的運作電路，並測量其運作的靈敏度關係。
- 五、『自製雙軸轉動的追日系統』—利用 CD 盒及積木，組裝追日系統的平台及支架。
- 六、加裝計時器開關，進行追日系統實際測試一：  
比較置於追日系統的太陽能板與固定式太陽能板，全天的短路電流。
- 七、加裝計時器開關，進行追日系統實際測試二：  
比較置於追日系統的太陽能板與固定式太陽能板，全天對固定負載輸出的功率。

## 參、研究儀器設備

### 一、主要儀器設備：

- |              |                     |              |
|--------------|---------------------|--------------|
| (一) 筆記型電腦    | (二) 單槍投影機           | (三) 照度計      |
| (四) 三用電錶     | (五) 數據擷取器 Powerlink | (六) 電壓、電流感測器 |
| (七) 十轉精密可調電阻 | (八) 太陽能電池           |              |

### 二、電路部分材料：

- |           |             |             |
|-----------|-------------|-------------|
| (一) 運算放大器 | (二) PNP 電晶體 | (三) NPN 電晶體 |
| (四) 電容    | (五) 電路板     | (六) 電阻      |

### 二、追日系統平台部分材料：

- |             |                |           |
|-------------|----------------|-----------|
| (一) 圓筒 CD 盒 | (二) 注射針筒(60ml) | (三) 直流馬達  |
| (四) 低速齒輪箱   | (五) 壓克力板       | (六) 螺絲、螺帽 |

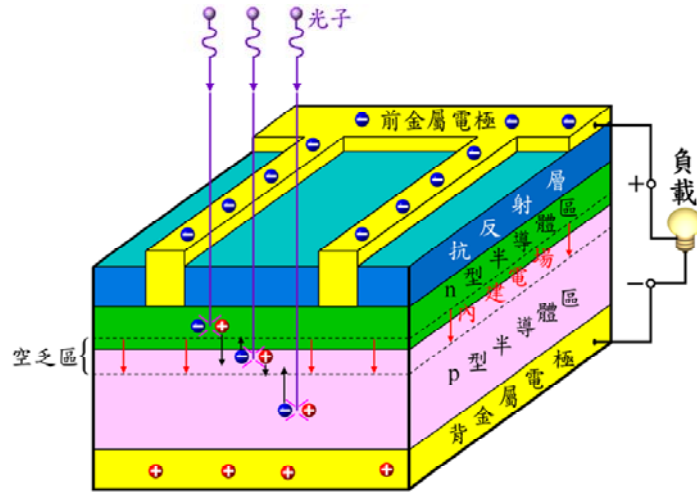


## 肆、研究過程、結果與討論

### 【實驗一】：研究『入射光照度』對太陽能電池『輸出功率』的影響。

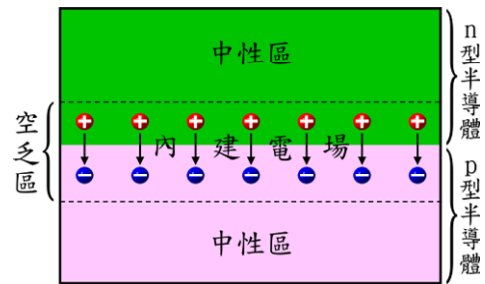
#### 一、原理探討：

(一)太陽電池最基本的結構可分為基板、PN 二極體、抗反射層、和金屬電極四個主要部分，如下圖(一)。



圖(一)

(二)PN 二極體：當 P 型及 N 型半導體互相接觸時，N 型半導體內的電子會湧入 P 型半導體中，以填補其內的電洞。在 P-N 接面附近，因電子－電洞的結合形成一個載子空乏區，在此區內 P 型半導體失去電洞，裸露出帶負電的受體離子；N 型半導體失去電子，裸露出帶正電的施體離子，因此形成一個內建電場，如圖(二)。



圖(二)：P-N接面內建電場示意圖

(三)光伏特效應(photovoltaic effect)：這是太陽能電池運作的主要原理，光子射到半導體內產生電子-電洞對(electron-hole pairs)，電子和電洞因半導體 PN 接面形成的內建電場作用而分離，電子和電洞往相反的方向各自傳輸至二端電極來輸出功率。

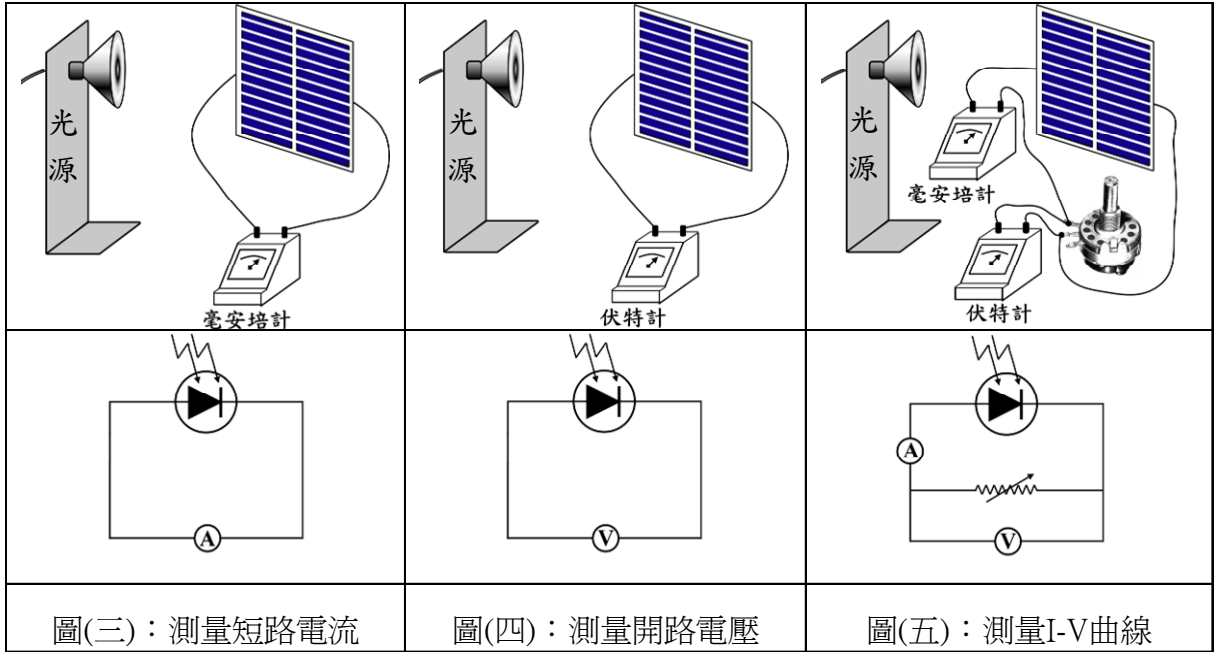
(四)太陽能電池的相關規格：

- 1.開路電壓( $V_{oc}$ )：外電路為『斷路』時，太陽能電池的輸出電壓。
- 2.短路電流( $I_{sc}$ )：外電路為『短路』時，太陽能電池的輸出電流。
- 3.最大功率( $P_m$ )：太陽能電池產生電壓與電流乘積最大時，即 I-V 圖上一點與兩軸有最大面積時。
- 4.填充因子(FF)：太陽能電池的最大功率( $P_m$ )和理想最大功率( $I_{sc} \times V_{oc}$ )的比值。

$$F.F.(\text{填充因子 Fill Factor}) = \frac{\text{最大功率}(P_m)}{\text{開路電壓 } V_{oc} \times \text{短路電流 } I_{sc}} \times 100\%$$

## 二、研究方法

### (一)線路圖：



(二)利用單槍投影機投射白色光作為照射太陽能電池的光源。

(三)實際測量時利用數據擷取器(Powerlink)的電壓、電流感測器(VI Sensor)取代上圖中的伏特器和安培計。

(四)藉由改變電阻，在測量太陽能電池輸出電流和電壓關係圖時，設定數據擷取器(Powerlink)每秒讀取10組數據，以較密的數據點描繪出I-V曲線。

## 三、研究步驟

(一)在暗室內，選定任一投影機與紙箱(其中太陽能電池平貼於箱底)之距離，投影機投射白光垂直照射太陽能電池，並藉照度計紀錄該處的照度。

(二)將太陽能板連接如圖(三)，記錄太陽能板所輸出之電流，即為短路電流。

(三)將太陽能板連接如圖(四)，記錄太陽能板所輸出之電壓，即為開路電壓。

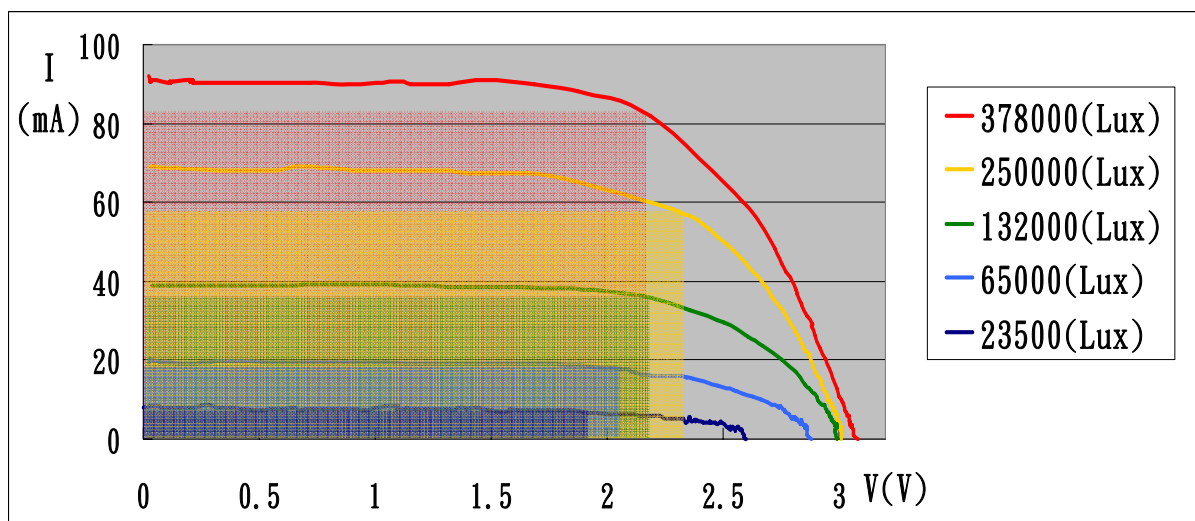
(四)將太陽能板連接如圖(五)，改變電阻，紀錄該照度下的電流(I)及電壓(V)。

(五)藉由改變投影機與紙箱的距離，以控制入射到太陽能板的照度，並重複(一)~(四)的步驟。



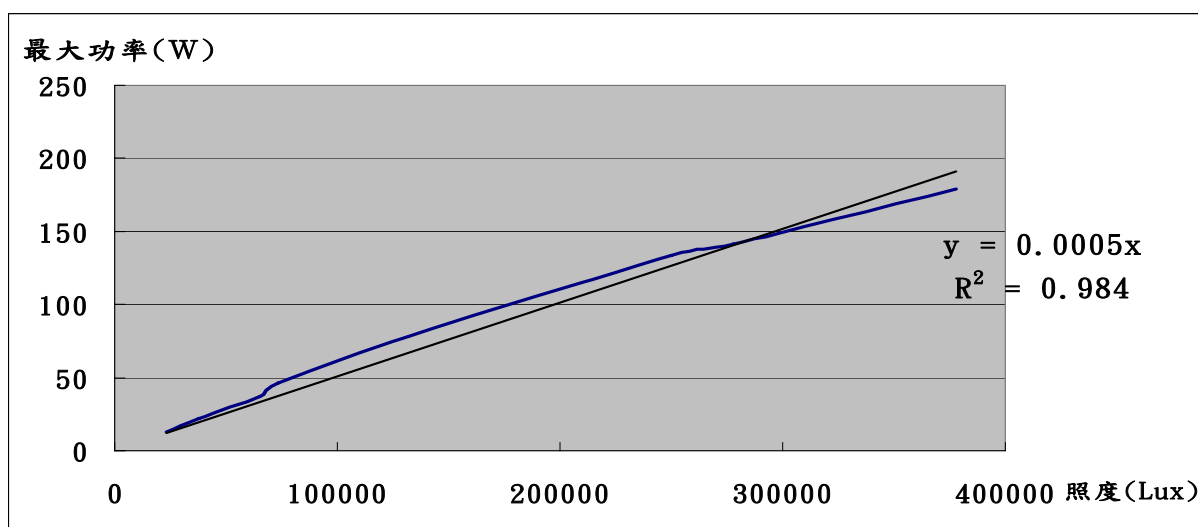
#### 四、研究結果

(一)在電腦中，以Excel繪出I-V圖，並找出I×V的最大座標點，此點與原點所圍之面積即為該照度下的最大功率。



圖(六)：在不同照度下的 I-V 圖

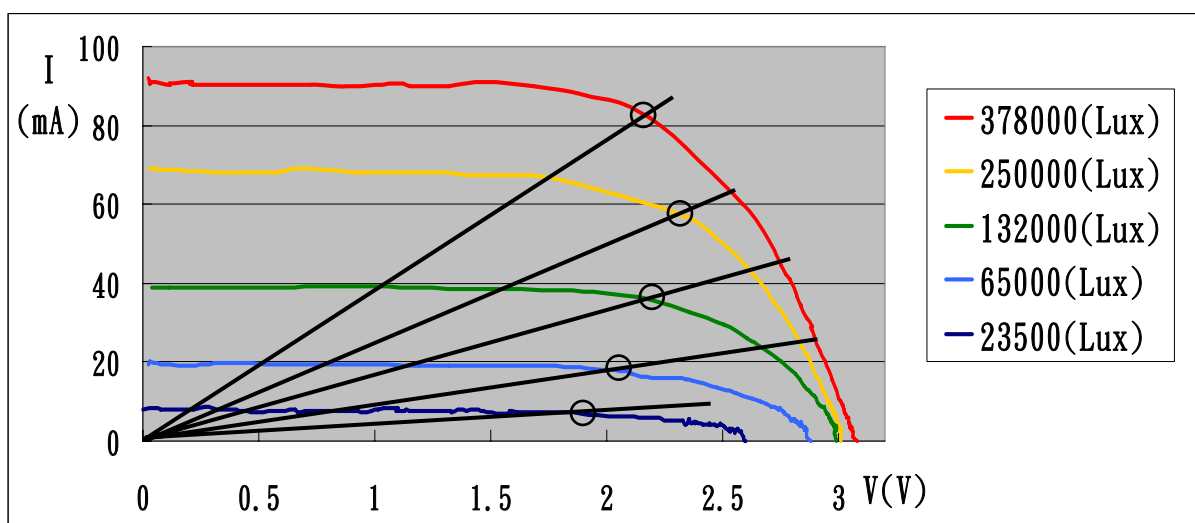
(二)在電腦中，以Excel繪出最大功率 $P_m$ -照度圖。



圖(七)：太陽能板輸出最大功率和照度的關係圖



(三)在電腦中，以Excel繪出I-V圖，並找出I×V最大值的座標點，畫出連接該點與原點的直線，此直線的斜率倒數即為太陽能電池所接負載的電阻值。



圖(八)：在不同照度下的 I-V 圖中通過最大功率點和與原點的直線

#### 四、實驗討論

(一)由圖(六)可知，當照度增加時太陽能板兩端的開路電壓( $V_{oc}$ )與短路電流( $I_{sc}$ )會隨之增加，故其理想最大功率( $I_{sc} \times V_{oc}$ )亦隨照度增加而變大。

(二)由圖(七)可知，太陽能板輸出的最大功率和照度近似成正比的關係，所以為提高太陽能電池的發電效率，可以從改變太陽能板接收之照度著手。

(三)將各種照度下，太陽能板的理想最大功率( $I_{sc} \times V_{oc}$ )、最大功率( $P_m$ )、填充因子(FF)整理如下表：

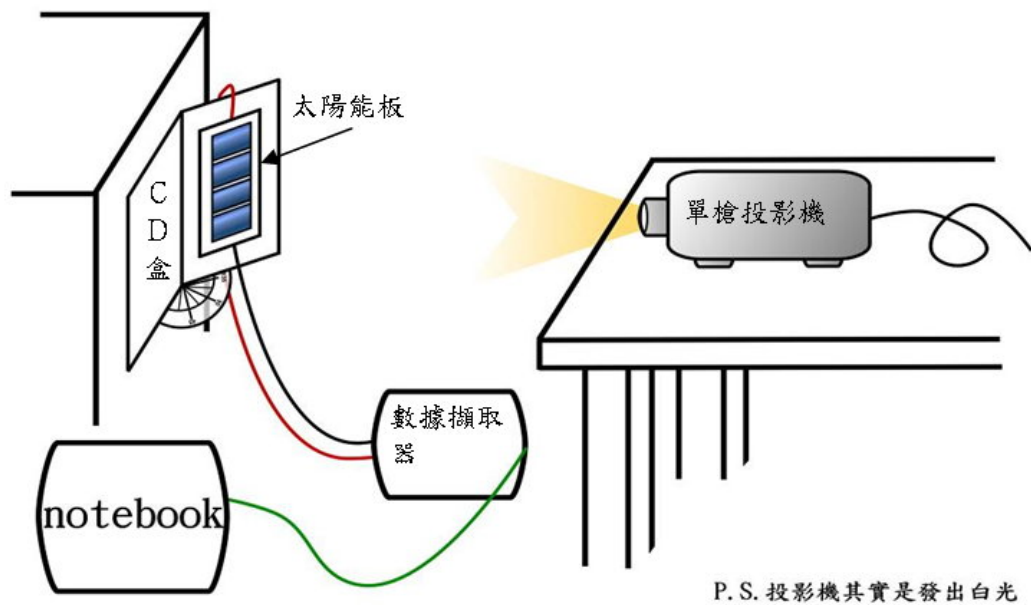
照度(Lux)	23500	65000	132000	250000	378000
理想最大功率(mW)	20.9	56.4	116.7	208.2	283.36
最大功率(mW)	13	36.8	78.2	133.2	178.9
填充因子	0.624	0.653	0.669	0.639	0.631

(四)由圖(八)可知，不同照度下要通過太陽能電池的最大功率點，其負載的電阻值要隨照度而改變，所以有些高級的太陽能發電系統，會採取動態配置負載或動態配置太陽能電池串、並聯方式，使其維持在最大功率點。

## 【實驗二】：模擬太陽方位改變時對太陽能板開路電壓、短路電流的影響。

### 一、研究方法

#### (一)裝置圖



圖(九)：實驗情境

(二)將太陽能板貼在 CD 盒蓋，在下方貼齊一量角器，並使其轉軸對齊量角器的原點，轉動 CD 盒蓋使光線以不同角度入射。

(三)太陽能板的輸出線連接數據擷取器，以測量開路電壓、短路電流。

### 二、研究步驟

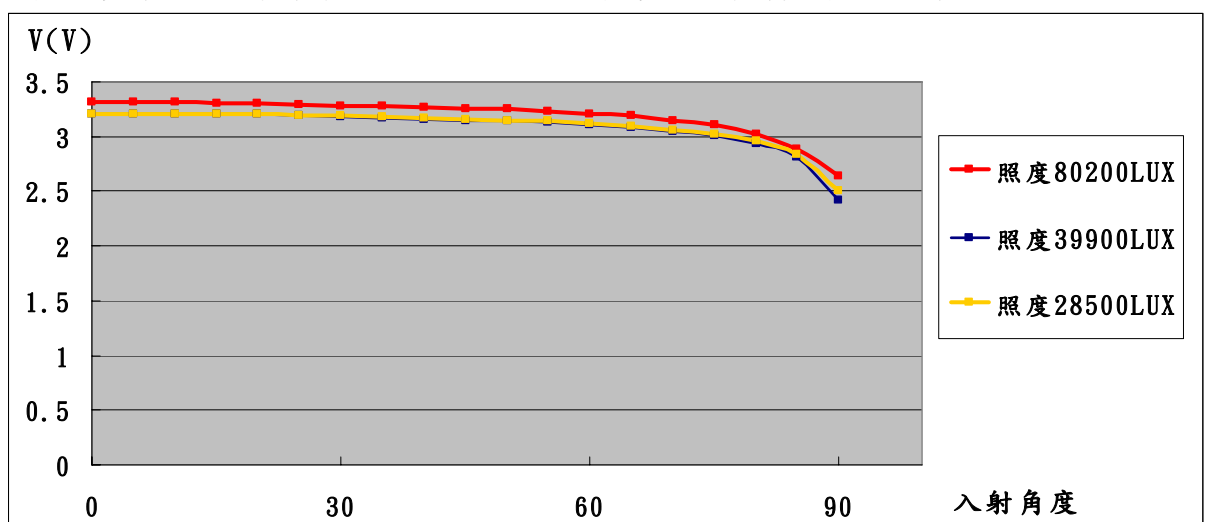
(一)將 CD 盒蓋合上，並調整單槍投影角度使其垂直照射太陽能板，此時入射角為 0 度，並藉照度計紀錄太陽能板上的照度。

(二)將 CD 盒蓋打開，每次增加 5 度，並記錄所對應之開路電壓、短路電流。

(三)改變投影機與紙箱的距離，並重複(一)、(二)步驟。

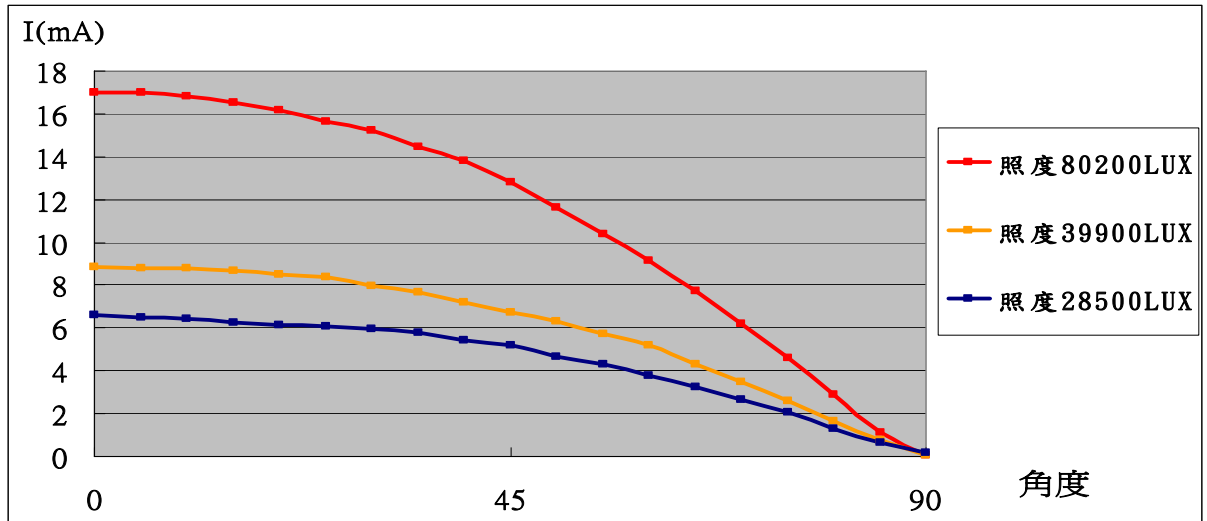
### 三、研究結果

(一)固定照度下，太陽能板開路電壓  $V_{oc}$  與入射角度  $\theta$  的關係。如圖(十)。



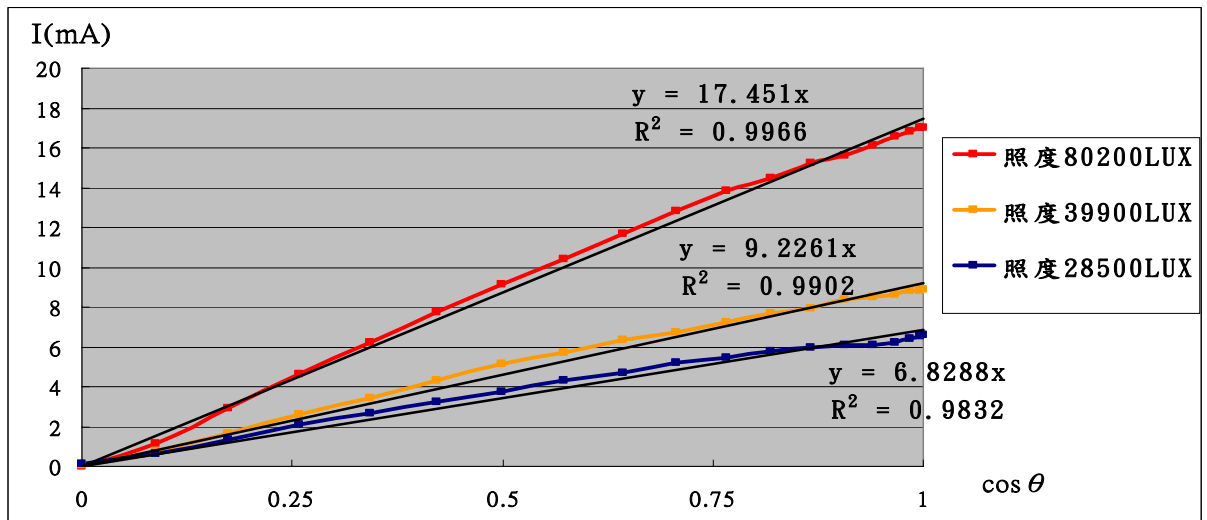
圖(十)

(二)固定照度下，太陽能板短路電流  $I_{sc}$  與入射角度  $\theta$  的關係。



圖(十一)

(三)固定照度下，太陽能板短路電流  $I_{sc}$  與入射角度餘弦  $\cos \theta$  的關係。

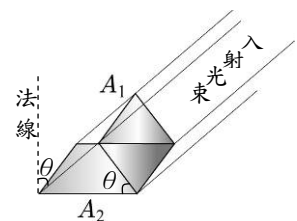


圖(十二)

#### 四、實驗討論

(一)如圖(十二)可以推知光束以入射角  $\theta$  照射平面  $A_2$  與垂直照射平面  $A_1$  時：

$$\text{照度 } E \propto \frac{1}{\text{照射面積 } A} \propto \cos \theta$$



圖(十三)

(二)由圖(十)可以知道：

- 1.入射角  $\theta$  在 0~80 度內，開路電壓  $V_{oc}$  改變非常小，大致維持在 3.2V 上下；只有在入射角  $\theta$  大於 80 度左右才有較為明顯的下降。
- 2.從圖中也可以看出在不同照度下，照度對太陽能板的輸出電壓並沒有明顯影響。

(三)由圖(十一)、(十二)可以知道：

- 1.入射角  $\theta$  對太陽能板短路電流  $I_{sc}$  的影響十分顯著。
- 2.太陽能板短路電流  $I_{sc}$  和入射角度餘弦  $\cos \theta$  成正比，又由討論(一)的結果可以推得：  
短路電流  $I_{sc}$  和照度  $E$  成正比。

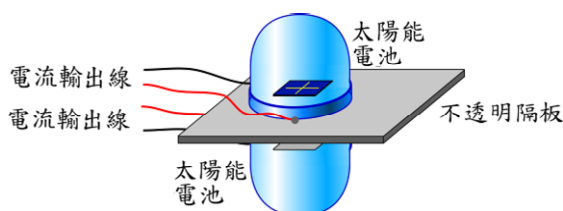
(四)綜合上述討論，我們認為利用「入射角度變化對太陽能板短路電流有顯著影響」此一特性作為追日系統判斷方向的依據，比利用開路電壓有較大的靈敏度。

## 【實驗三】：自製太陽方位感測器並測量其輸出電流差與入射光角度的關係。

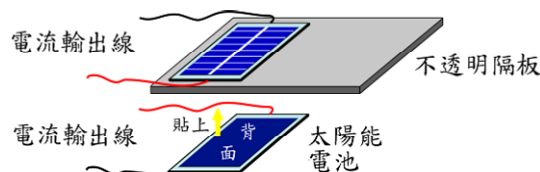
### 一、研究方法



(一)自製太陽方位感測器：利用兩片太陽能電池為一組，分別黏貼在不透明隔板的兩邊，如下圖(十四)、(十五)。



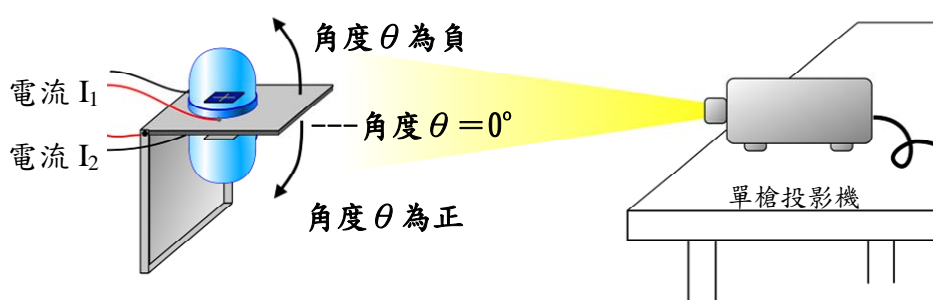
圖(十四)：利用燈泡型太陽能電池製作



圖(十五)：利用平板型太陽能電池製作

(二)原理：由實驗二，可知太陽光的入射角度對太陽能板產生的短路電流有顯著的影響，當太陽在不透明隔板上下不同方位時，兩太陽能電池輸出的短路電流差有正、負及大小變化，若不透明隔板正對太陽時，兩太陽能電池輸出的短路電流差應為零。

(三)實測裝置圖



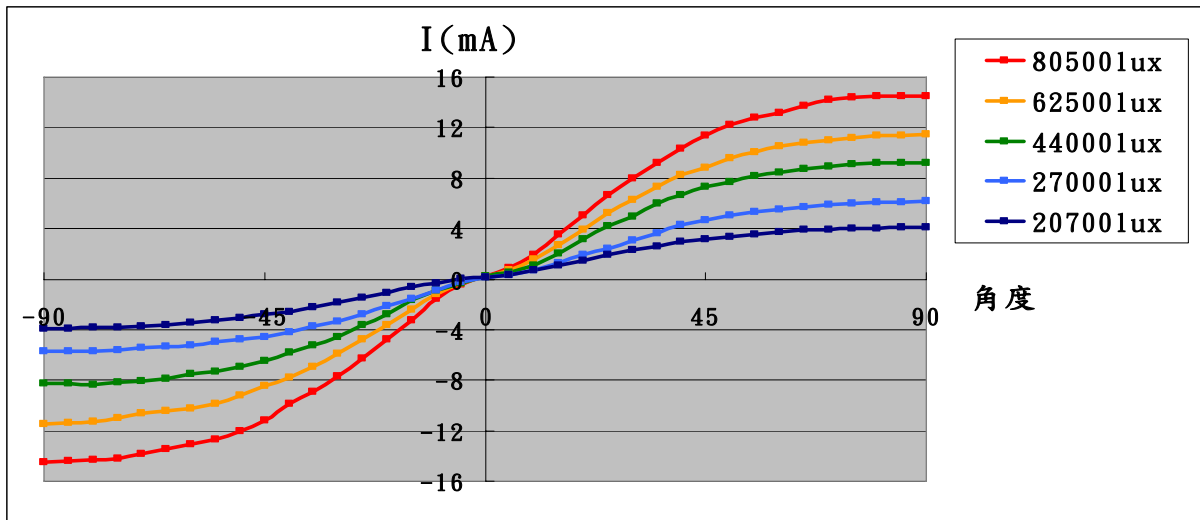
- 1.將太陽方位感測器貼在 CD 盒蓋，並在側面貼齊一量角器，並使其轉軸對齊量角器的原點，轉動 CD 盒蓋使光線以不同角度入射。
- 2.太陽能板的輸出線連接數據擷取器，以測量短路電流的差值( $I_1 - I_2$ )。

### 二、研究步驟

- (一)選定任意投影機與太陽方位感測器之距離，並藉照度計紀錄該處的照度。
- (二)角度  $\theta$  每改變 5 度就記錄一次兩片太陽能板輸出的短路電流。
- (三)藉由改變投影機與太陽方位感測器之距離，以改變入射光的照度，並重複步驟(一)、(二)。

### 三、研究結果

(一) 以電腦 Excel 處理將兩片太陽能板的輸出短路電流差( $I_1 - I_2$ )與角度  $\theta$  的關係繪製成圖。



圖(十六)：固定照度下，判斷方位之太陽能板兩端電流之差值與入射角度的關係。

### 四、實驗討論

(一)由圖(十六)可以看出：

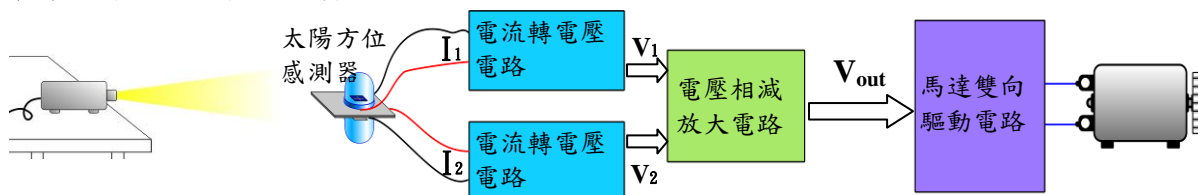
- 1、當不透明隔板正對單槍投影機( $\theta = 0^\circ$ )時，太陽能板的輸出短路電流差( $I_1 - I_2$ )為零。
- 2、當不透明隔板偏向上方( $\theta < 0^\circ$ )時，太陽能板的輸出短路電流差( $I_1 - I_2$ )為負值，且偏的越多，電流差值( $I_1 - I_2$ )越大。
- 3、當不透明隔板偏向下方( $\theta > 0^\circ$ )時，太陽能板的輸出短路電流差( $I_1 - I_2$ )為正值，且偏的越多，電流差值( $I_1 - I_2$ )越大。
- 4、當照度越大時，太陽能板的輸出短路電流差( $I_1 - I_2$ )變化的幅度越大。

(二)自製太陽方位感測器的輸出短路電流差( $I_1 - I_2$ )變化隨入射光的角度、方位有明顯的變化和正、負值，可以證明此太陽方位感測器做為追日系統的判斷方向依據的可行性。

## 【實驗四】：設計追日系統的運作電路，並測量其運作的靈敏度關係。

### 一、研究方法

#### (一)設計追日系統的運作電路



圖(十七)：概念流程示意圖

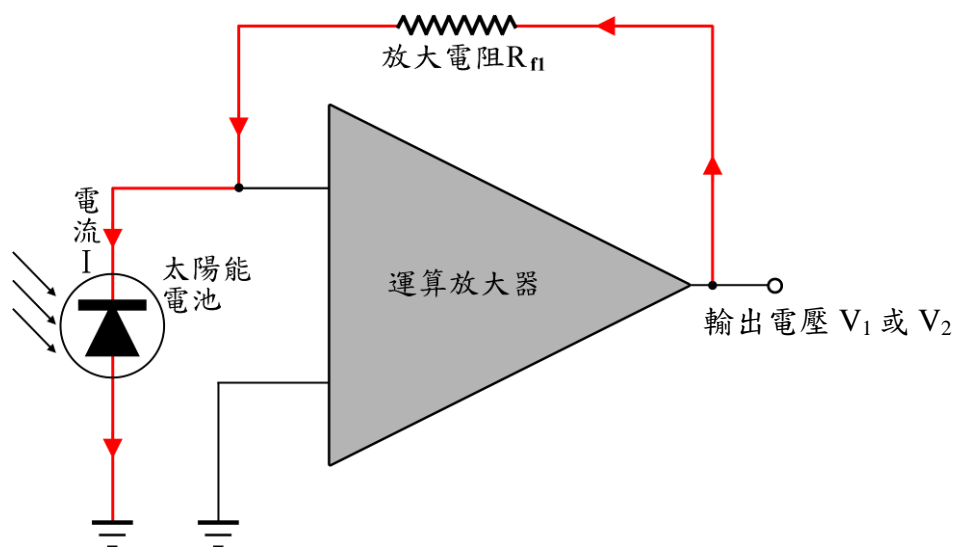
#### (二)原理：

1. 太陽方位感測器兩片太陽能板輸出的短路電流( $I_1$  和  $I_2$ )，經過『電流轉電壓電路』轉換為電壓訊號  $V_1$  和  $V_2$ 。
2. 電壓訊號  $V_1$  和  $V_2$  經過『電壓相減放大電路』運算，由相減( $V_1 - V_2$ )後的正、負值即可知太陽所在方位，和偏差的大小。
3. 利用電壓相減( $V_1 - V_2$ )後的正、負值，經由『馬達雙向驅動電路』，使馬達往不同方向轉動，目的是使太陽方位感測器的不透明隔板指向太陽。

(三)『電流轉電壓電路』、『電壓相減放大電路』和『馬達雙向驅動電路』，我們在網站上、高三物理課本有查到可以用的簡單電路，並經過實測證明其正確性：

#### 1. 電流轉電壓電路：

主要由一個運算放大器組成，當太陽能電池產生電流  $I$  時，通過放大電阻  $R_{f1}$  輸出電壓  $V = -I \times R_{f1}$ ，除了將電流訊號轉換為電壓訊號外，還有放大的作用。



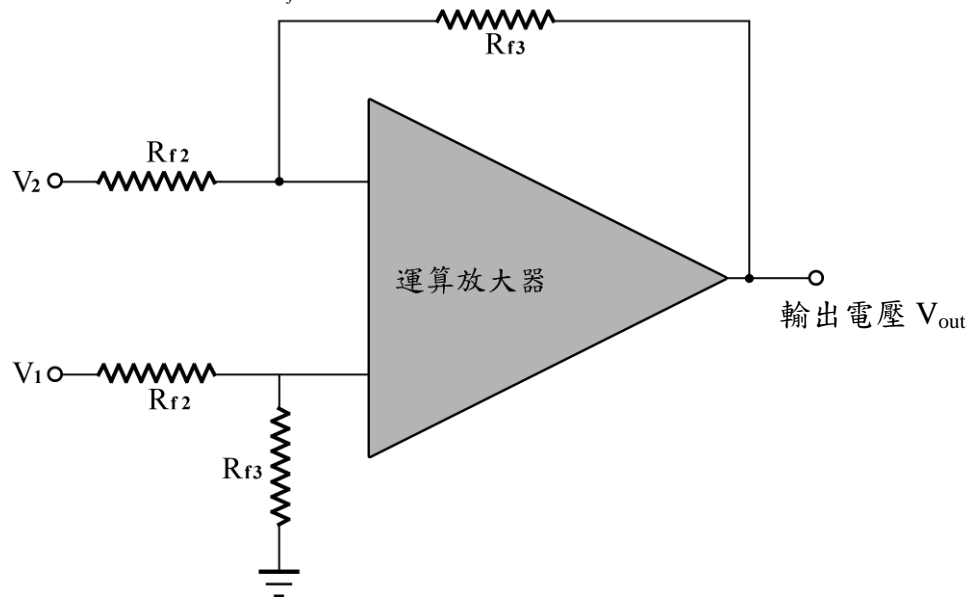
圖(十八)



### 2. 電壓相減放大電路：

主要由一個運算放大器組成，可以將電壓訊號( $V_1$  和  $V_2$ )作相減的運算，並乘以放大倍

率，輸出電壓  $V_{out} = -\frac{R_{f3}}{R_{f2}}(V_2 - V_1)$ 。



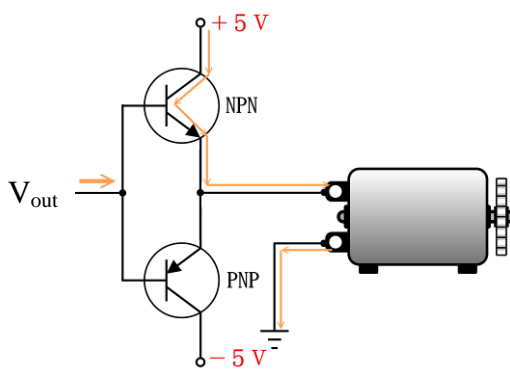
圖(十九)

### 3. 馬達雙向驅動電路：

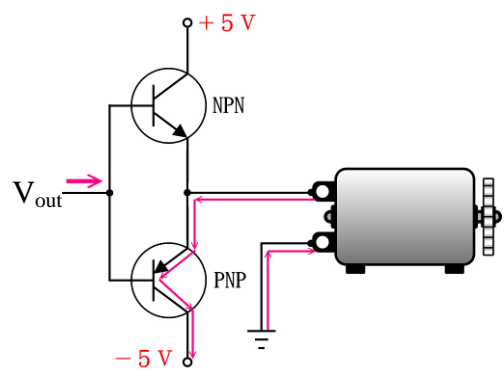
利用高三物理課程電晶體作為電子開關的教材中，更改設計成雙向開關，將電壓相減放大電路輸出電壓  $V_{out}$  接於電晶體的基極，設電晶體的導通電壓為  $V_t$ 。

(1) 當  $V_{out} > V_t$  將造成 NPN 電晶體為導通狀態，PNP 電晶體為截止狀態，所以電流將沿 +5V 端流入並驅動馬達，使馬達向下轉動再由接地端流出。

(2) 當  $V_{out} < -V_t$  將造成 PNP 電晶體為導通狀態，NPN 電晶體為截止狀態，所以電流將沿接地端流入並驅動馬達，使馬達向上轉動再由 -5V 端流出。



圖(二十)： $V_{out} > V_t$



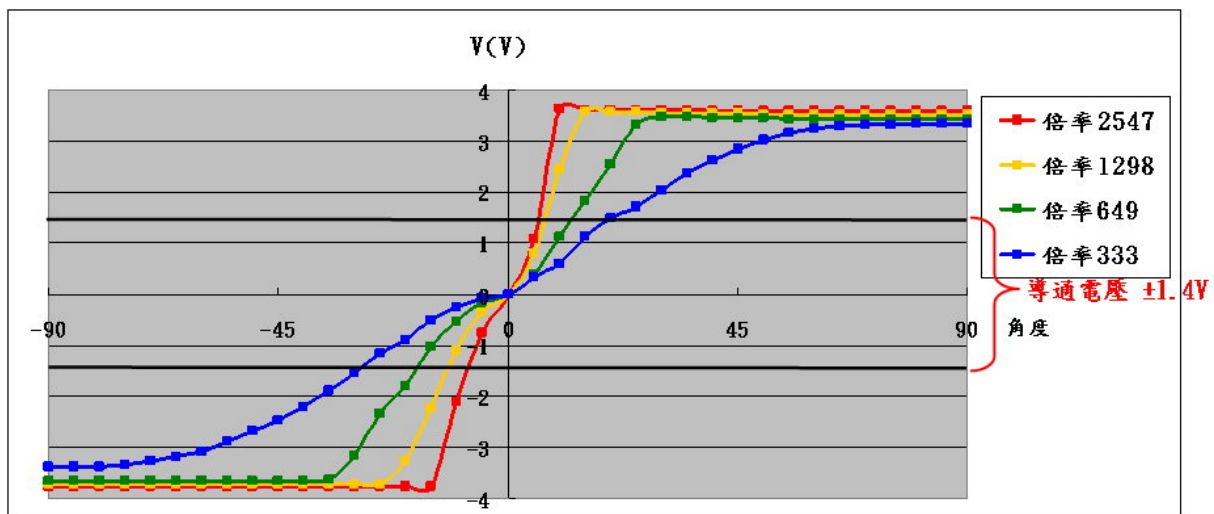
圖(二十一)： $V_{out} < -V_t$

## 二、研究步驟

- (一)組合好追日系統的運作電路，並將太陽方位感測器貼在 CD 盒蓋，並在側面貼齊一量角器，並使其轉軸對齊量角器的原點，轉動 CD 盒蓋使光線以不同角度入射。
- (二)選定任意投影機與太陽方位感測器之距離，並藉照度計紀錄該處的照度，並保持固定照度。
- (三)角度  $\theta$  每改變 5 度就記錄一次『電壓相減放大電路』輸出的電壓  $V_{out}$ ，並觀察馬達是否轉動及其轉動方向。
- (四)改變  $R_{f1}$ 、 $R_{f2}$ 、 $R_{f3}$  等電阻的大小，『電壓相減放大電路』輸出的電壓  $V_{out}$  有不同的放大率，重覆步驟(三)的測量。

## 三、研究結果

- (一)由實驗結果可知『電壓相減放大電路』輸出的電壓  $V_{out} > 1.4$  伏特及  $V_{out} < -1.4$  伏特時，馬達會啓動而且轉動方向相反。
- (二)以電腦 Excel 處理畫出『電壓相減放大電路』輸出的電壓  $V_{out}$  與角度  $\theta$  的關係圖。



圖(二十二)

#### 四、實驗討論

(一)由圖中可以看出  $V_{out}$  隨入射角度增大而增大，而且兩邊電壓正負不同，藉此可以作為馬達轉動方向的判斷依據。

(二)由圖中可知，隨著放大倍率的增大，在太陽方位感測器與光源的偏差角度  $\theta$  很小時， $V_{out}$  即可達到電晶體的導通電壓( $\pm 1.4$  伏特)，即追日系統的靈敏度會越高。

放大倍率	2547	1298	649	333
正向導通偏差角度 $\theta$	6°	7°	12°	19°
照度誤差百分比	0.0054	0.0074	0.0218	0.0544
負向導通偏差角度 $\theta$	7°	12°	17°	28°
照度誤差百分比	0.0074	0.0218	0.0436	0.117

(三)根據『電流轉電壓電路』和『電壓相減放大電路』的輸出電壓公式，可推算出：

$$V_{out} = -\frac{R_{f3}}{R_{f2}}(V_2 - V_1) = -\frac{R_{f3}}{R_{f2}}[(-I_2 \times R_{f1}) - (-I_1 \times R_{f1})] = -R_{f1} \frac{R_{f3}}{R_{f2}}(I_1 - I_2)$$

$V_{out}$  的整體放大倍率  $R_{f1}(\frac{R_{f3}}{R_{f2}})$  越大，越容易超過電晶體的啓動電壓  $V_t$ 。

(四)由【實驗二】的結論：短路電流  $I_{sc}$  和照度  $E$  成正比，可得出在太陽照度越大的情況下，追日系統靈敏度越大。

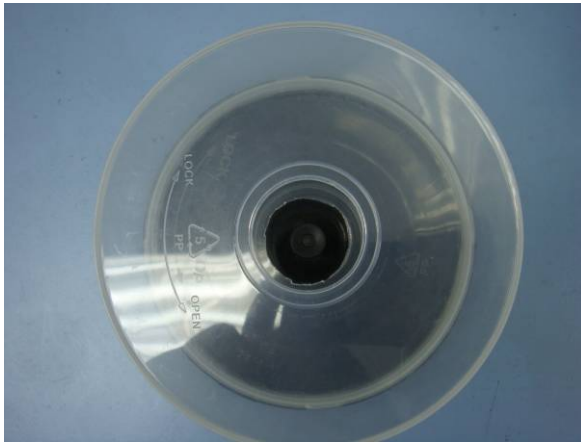
## 【實驗五】：自製雙軸轉動追日系統平台，以便進行追日系統實測。

### 一、研究方法

- (一)我們利用兩組自製太陽方位感測器及電路，判斷太陽位置的水平方位和垂直仰角變化，為使燈泡型太陽能電池能隨時正對太陽，所以設計可以雙軸(水平、垂直)轉動追日系統平台。
- (二)因為沒有精密的機械製造能力，所以我們製作的追日系統平台都是利用隨手可得，現成的零件。

### 二、製作流程：

- (一)將兩個 CD 筒上方中央處挖一個與針筒外徑相當的圓孔，上下結合作為水平轉動平台的軸承。(如圖二十三、二十四)



圖(二十三)

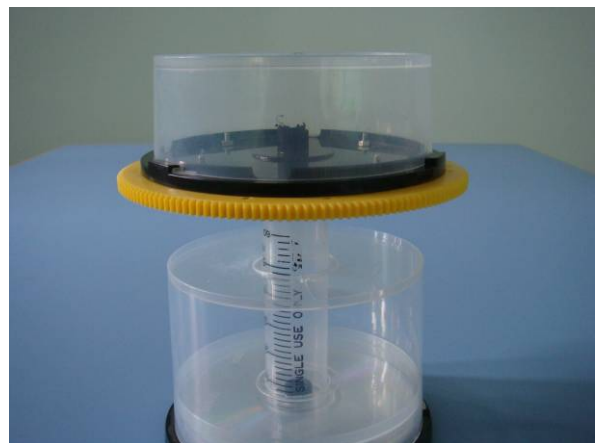


圖(二十四)

- (二)將注射筒和大齒輪，中型 CD 筒，以螺絲連接作為水平轉動的平台。(如圖二十五、二十六)

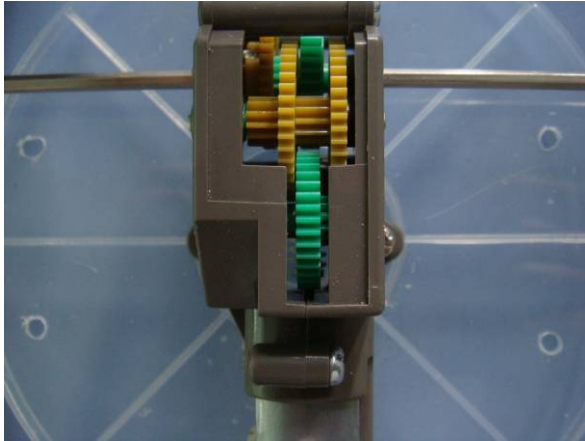


圖(二十五)

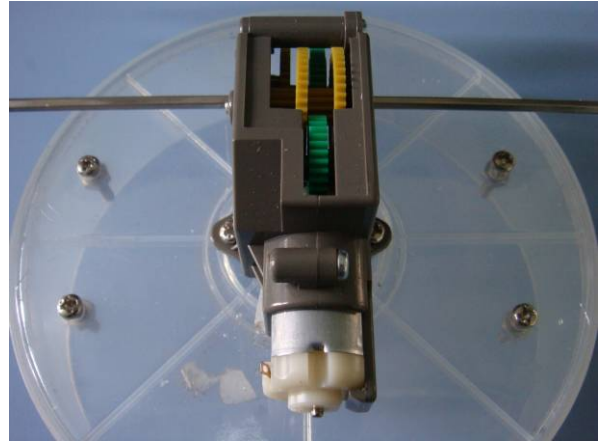


圖(二十六)

(三)在水平轉動隻平台上以螺絲固定一馬達，並用電鑽在平台上鑽四個孔。(如圖二十七、二十八)再用螺絲鎖緊平台。

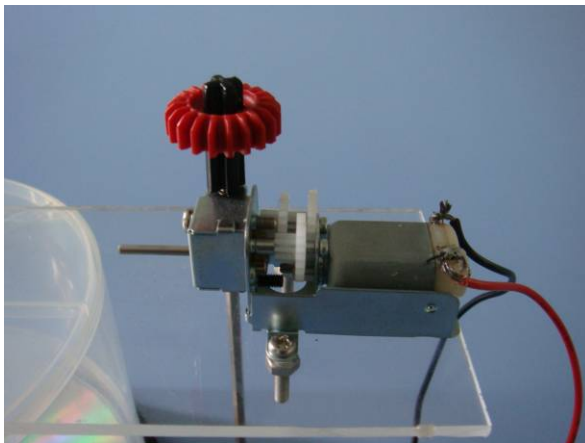


圖(二十七)

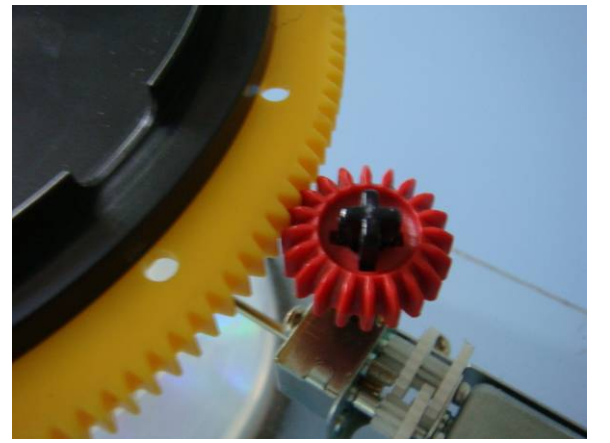


圖(二十八)

(四)將一片壓克力板切割成適當的尺寸與適當形狀，並再中央穿一個直徑大於針筒外徑的孔，並以螺絲將之固定於底層的 CD 筒上(如圖二十九)，將另一已焊好電線的馬達固定在此壓克力板上，使得小齒輪剛好可與大齒輪密合。(如圖三十)

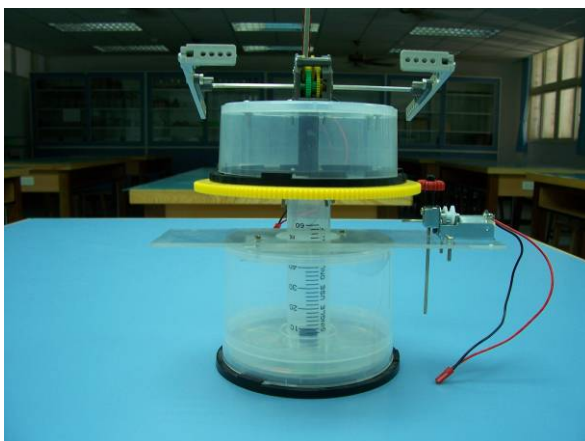


圖(二十九)



圖(三十)

(五)在馬達兩旁鎖上支架(如圖三十一)。在支架上用螺絲鎖一片壓克力板作為垂直轉動的平台，即為放置太陽能板的位置(如圖三十二)

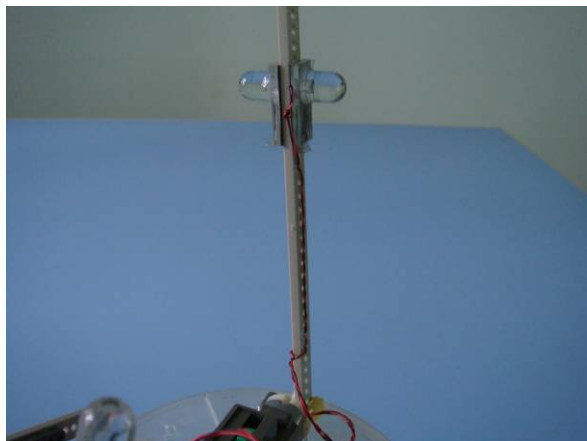


圖(三十一)

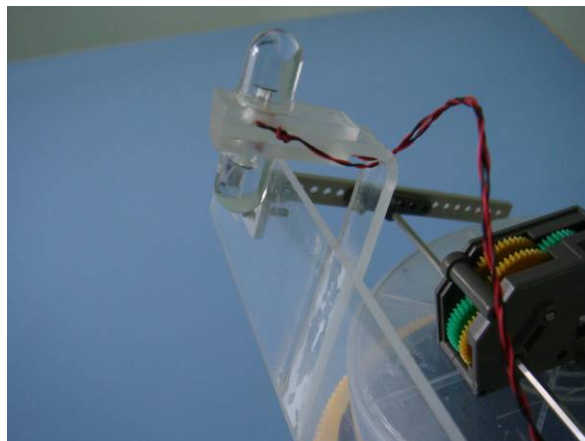


圖(三十二)

(六)將偵測太陽水平方位的自製感測器固定在水平轉動平台上（如圖三十三）。將偵測太陽垂直仰角的自製感測器固定在垂直轉動平台上（如圖三十四）。

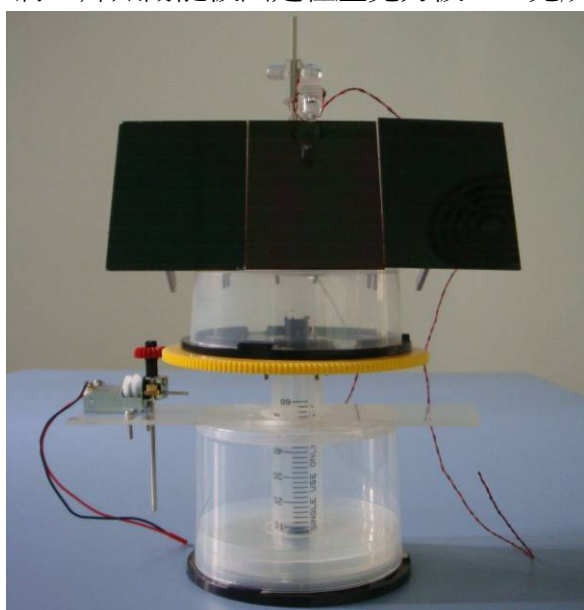


圖(三十三)



圖(三十四)

(七) 將三片太陽能板固定在壓克力板上，完成追日系統的組裝（如圖三十六）。



圖(三十五)



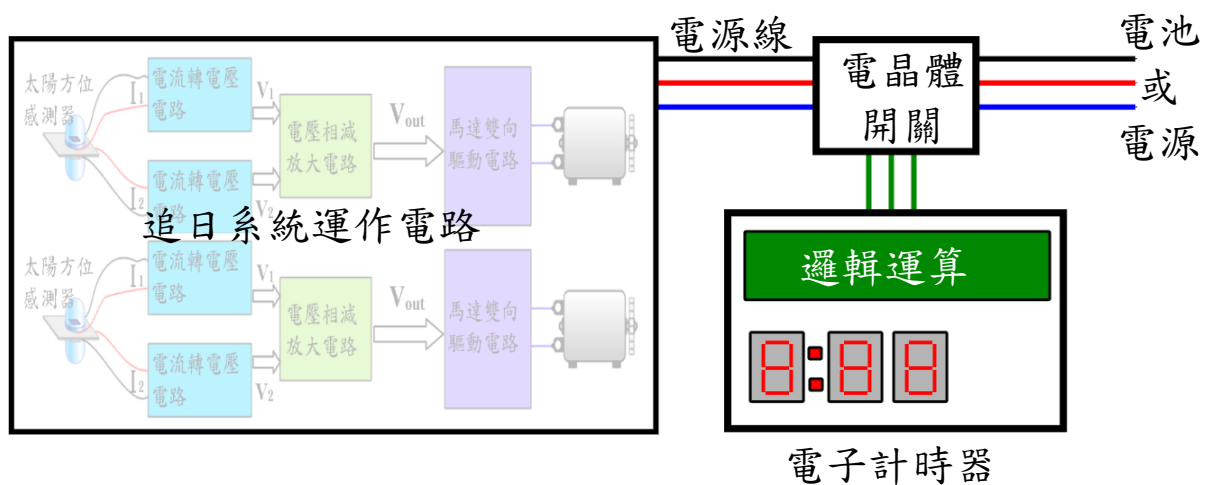
## 【實驗六】加裝計時器開關，進行追日系統實際測試一：

比較置於追日系統的太陽能板與固定式太陽能板的整日短路電流。

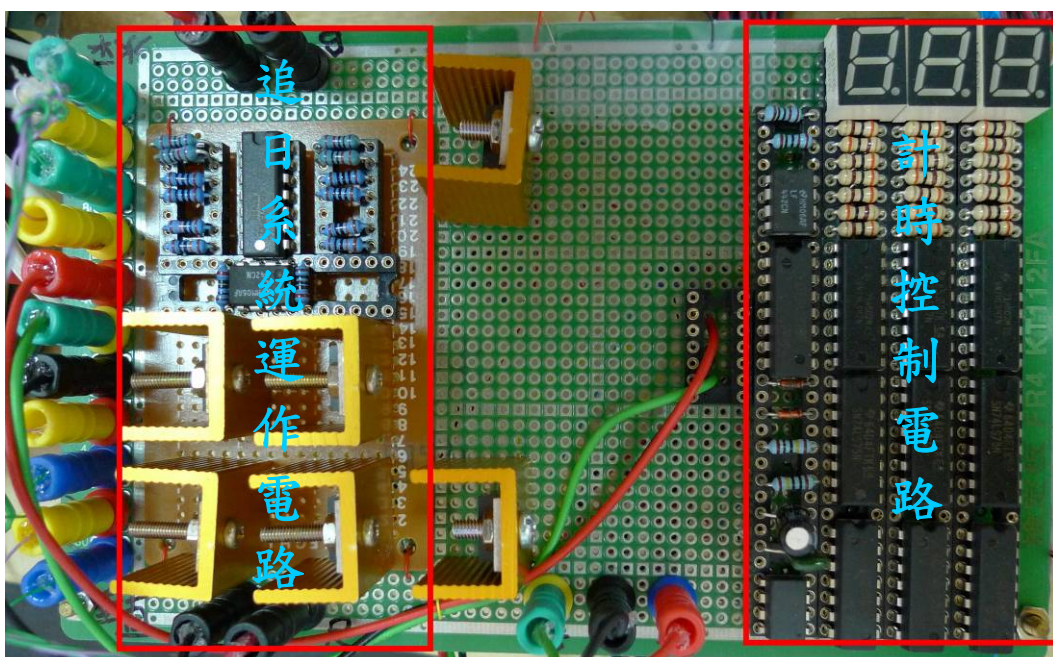
### 一、研究方法

#### (一)加裝計時器開關：

- 1、由於太陽的方位角及仰角變化很緩慢，以方位角為例：每 10 分鐘改變 2.5 度，其照度變化約 0.1%。
- 2、所以在追日系統的外接電源上加裝一計時器，以 10 分鐘為週期進行 1 分鐘的運作，其餘時間追日系統處於休眠狀態，達到節能的目標。
- 3、1 分鐘的運作時間內又以計時器的時脈，控制馬達作每隔 1 秒做間斷的運轉，使其逐步微調到正對太陽，以增加其穩定性。
- 4、電路示意圖：



- 5、電路原理：電子計時器由 555 振盪器，計數器及進位器構成，再取出其時間位元資料，由邏輯運算電路判斷是否達設定的時間，以控制電晶體開關形成通、斷路。
- 6、完成的追日系統電路板





(二)將太陽能板安裝上追日系統，另設置一固定的同型號之太陽能板使其以 23.5 度傾角面向正南方，放置在可全天都照射到日光的陽台。並使用數據擷取器以 2Hz 的頻率全天紀錄固定式和追日式兩太陽能板的短路電流。

(三)實測的情境如下，固定式太陽能板置放在在追日系統前，整體面向南方。



圖(三十八)：實驗裝置

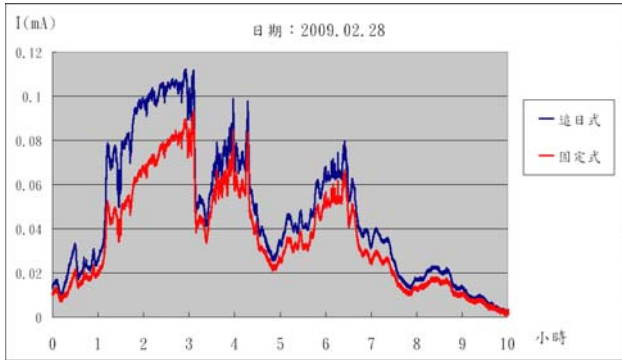
## 二、研究步驟

(一)每天早上七點整啓動追日系統，並開啓電腦透過數據擷取器以 2Hz 記錄短路電流。

(二)每天下午五點將裝置停止運轉，每天一共記錄十個小時。

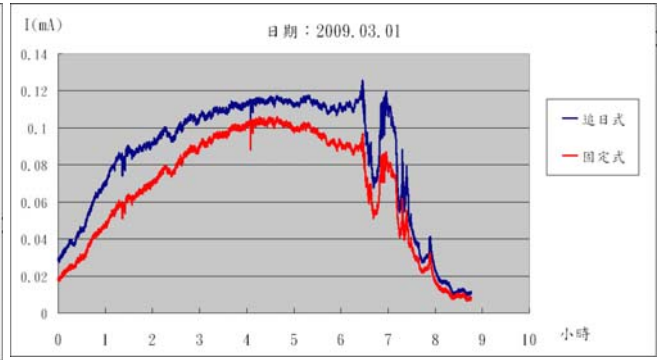
(三)匯集數日數據後，以電腦 Excel 繪出短路電流與時間的關係圖。

### 三、研究結果



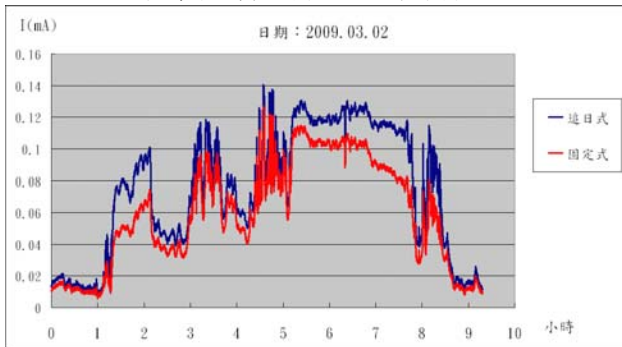
圖(三十九)

天氣：早上八點到十點天氣晴朗，但越到下午雲層增厚，天氣轉陰。



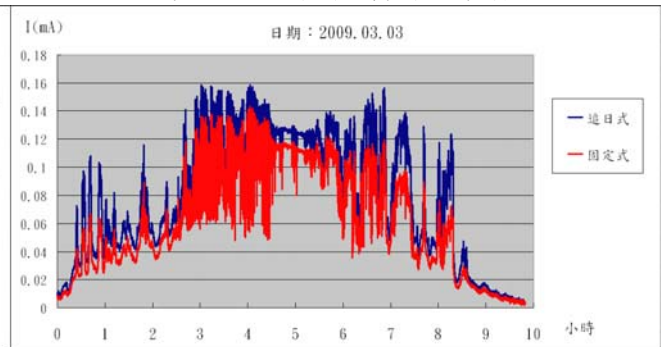
圖(四十)

天氣：上午天氣良好，一點後天氣轉陰，一直到四點前雲層都沒有散去。



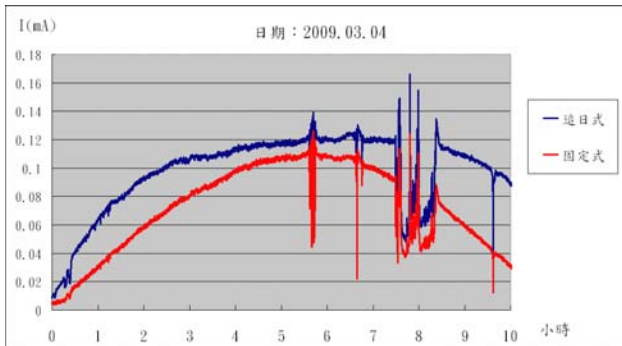
圖(四十一)

天氣：雲層聚散不定，唯八點到九點及十二點到三點天空較晴朗。



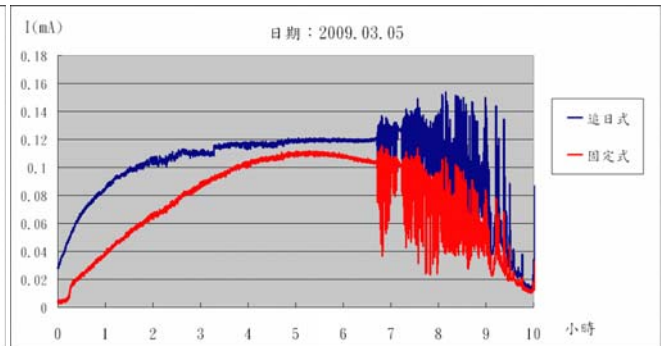
圖(四十二)

天氣：全天大致晴朗，但雲層持續聚散，使天空陰晴變化極大。



圖(四十三)

天氣：全天空皆十分晴朗，唯兩點半到三點半時有雲層略為遮蔽。



圖(四十四)

天氣：早上天氣晴朗，但下午兩點後有雲層遮蔽，天氣陰晴不定。

#### 四、實驗討論

(一)將實驗結果與整日的天氣狀況對照，可以知道天空越明亮，短路電流越大。而在現實的情況中，雲層、建築物影子、人為因素等皆有可能影響入射陽光的照度，但在實測時，我們已盡量排除影響的因素，唯雲層的影響無法避免。

(二)當天空有雲層時，雲層的聚散會使短路電流產生震盪，即雲層遮蔽使入射光照度減少，輸出短路電流降低。

(三)在全日的短路電流監控圖中，發現：

- 1、在天氣晴朗時，在早上和黃昏時追日系統上太陽能電池提升的比率最高，中午時提升比率較低。
- 2、在天氣晴朗時，追日系統上太陽能電池輸出的短路電流較為平穩，即接收的照度較為穩定，其最大功率點較不易偏離，若接固定負載，比較能維持負載匹配。

(四)追日式平均短路電流與固定式之比較：

日期	追日式平均 $I_s$ (mA)	固定式平均 $I_s$ (mA)	短路電流(照度)提升 的比率
2009.02.28	0.046	0.035	131%
2009.03.01	0.083	0.068	122%
2009.03.02	0.074	0.059	125%
2009.03.03	0.075	0.061	122%
2009.03.04	0.093	0.067	138%
2009.03.05	0.096	0.072	133%
平均值	0.078	0.060	130%

在這一週內天氣並不好有霧、多雲，短路電流(照度)平均增加 30%，推想若天氣晴朗提升的比率應會更高。

## 【實驗七】追日系統實際測試二：

比較置於追日系統的太陽能板與固定式太陽能板，全天對固定負載輸出的功率。

### 一、研究方法

- (一)在正中午照度最大時，測出太陽能電池最大功率點，並求出其最佳負載電阻  $R$ 。
- (二)將太陽能板接上追日系統，另設置一固定的同型號之太陽能板使其以  $23.5$  度傾角面向正南方，放置在陽台，使其全天都可以照射到日光。
- (三)太陽能板均接上步驟(一)測量出的負載電阻  $R$ (以水泥電阻模擬負載，並置於水杯中避免溫度上升太大)，並使用數據擷取器以  $2\text{Hz}$  的速率紀錄通過負載電阻的電流。

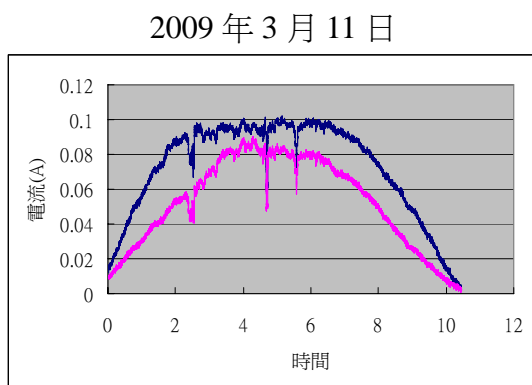
### 二、研究步驟

- (一)每天早上七點整啟動追日系統，並開啓電腦透過數據擷取器以  $2\text{Hz}$  記錄電流。
- (二)每天下午五點將裝置停止運轉，每天一共記錄十個小時。
- (三)匯集數日數據後，以電腦 Excel 繪出。

### 三、研究結果

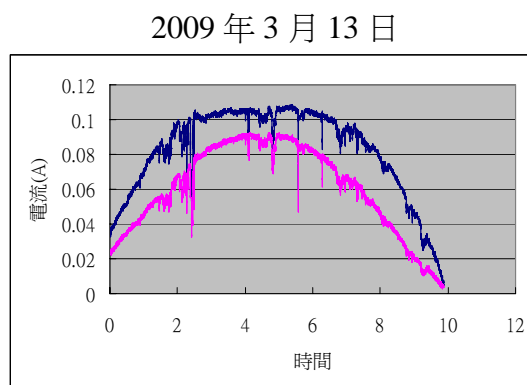
(一)在正中午太陽直射時，測得太陽能電池的最佳負載電阻  $R$  為  $21\Omega$ 。

(二)電流與時間的關係圖



圖(四十一)

天氣：雲層增厚，偶遮太陽。



圖(四十二)

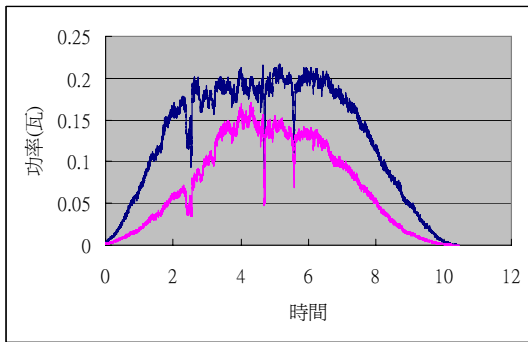
天氣：雲層增厚，偶遮太陽。

【註】3月5日後連續鋒面南下，只有偶而出現太陽，無法測得一整週的功率，只有在11、13日稍有太陽。

#### 四、實驗討論

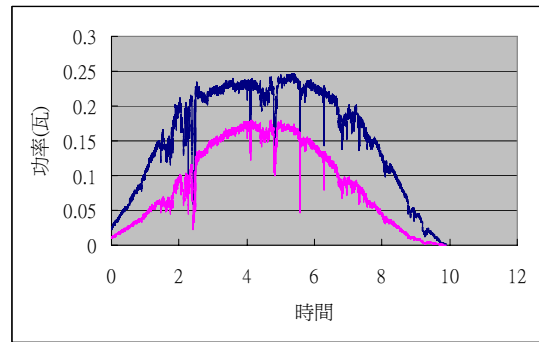
(一)固定負載電阻  $R$  時，太陽能電池的輸出功率  $P = \text{電流平方 } I^2 \times \text{電阻 } R$ ，計算出輸出功率  $P$  並作功率對時間關係圖如下：

2009年3月11日



圖(四十三)

2009年3月13日



圖(四十四)

(二)由上圖可發現：追日系統上的太陽能電池輸出的功率在上午 9 點~下午 2 點內，功率維持最大功率且極為穩定，而固定式太陽能電池發揮最大功率的時間較短暫。

⇒此為追日系統能維持照度平穩，不致因太陽方位改變而造成最大功率點偏離的結果。

(三)追日式與固定式太陽能電池之功率比較：

日期	追日式 全天平均功率 (w)	固定式 全天平均功率 (w)	平均功率(w) 提升的比率
2009.03.11	0.12665	0.07161	177%
2009.03.12	0.15651	0.08994	174%
平均值	0.14158	0.07578	175.5%

太陽能電池輸出的功率平均增加 75%，比短路電流(照度)的提升比率更高。

## 伍、結論

- 一、在【實驗一】中：太陽能板輸出的最大功率和照度近似成正比的關係，所以為提高太陽能電池的發電效率，可以從改變太陽能板接收之照度著手。
- 二、在【實驗一】中：不同照度下要通過太陽能電池的最大功率點，其負載的電阻值要隨照度而改變。
- 三、在【實驗二】的研究中，我們比較角度變化對太陽能板輸出的短路電流或斷路電壓所造成的影響，結果發現對短路電流的影響較為明顯。  
⇒我們決定利用太陽能電池『短路電流』做為追日系統判斷方向的依據。
- 四、在【實驗三】中我們利用簡單的原理：『向陽面和背陽面產生的短路電流不同』，來判斷太陽的方位，並利用兩個燈泡型的太陽能電池自製成太陽方位感測器，經檢驗其輸出的電流差正、負值，和太陽方位絕對相依性。
- 五、追日系統的運作電路主要由『電流轉電壓電路』、『電壓相減放大電路』和『馬達雙向驅動電路』所組成，在網路上找到的電路，我們均實際作實驗證明其正確性，才運用到電路上。
- 六、在【實驗四】測量追日系統的運作電路的靈敏度時，我們發現：
  - (一)由『電流轉電壓電路』的電阻  $R_{f1}$  和『電壓相減放大電路』的電阻比  $\frac{R_{f3}}{R_{f2}}$  可以控制其追日系統靈敏度。
  - (二)『馬達雙向驅動電路』的導通電壓為 $\pm 1.4$  伏特，運算電路輸出電壓  $V_{out}$  在 $\pm 1.4$  伏特範圍內是容許的太陽方位誤差，追日系統不會偏轉。
  - (三)太陽照度越大的情況下，追日系統靈敏度越大。
- 七、在【實驗六】實測時，我們發現不是靈敏度越高越好：
  - (一)因為容許的太陽方位角誤差在  $5^\circ$  時，經計算其照度和直射照度相差只有 0.5%，靈敏度太高，反而會使追日系統受到周圍建築物反光及馬達轉動精確度的影響而來回擺盪。
  - (二)『電流轉電壓電路』的電阻  $R_{f1}$  不可以太大，因為在太陽光強烈時，週遭的漫射光就會使得方位感測器的太陽能電池有較大的短路電流，會使運算放大器的電壓達到飽和電壓，造成判斷方向的錯誤，這個問題我們在實驗室內以單槍投影機測試時都沒發現，在室外實測時，這個問題困擾我們很久，後來才發現。
- 八、雖然我們沒有具備一些機械、齒輪的製作能力，但是利用常見的注射筒、CD 筒，玩具馬達、齒輪……等，組裝成雙軸轉動的追日系統平台模型，且足以擔任實測的工作。



九、在實測結果中，我們得到下列成果：

(一)追日系統可使太陽能電池在上午和下午的照度提升最多，靠近中午的照度維持較長時間的穩定，使最大功率點不致偏離。

(二)天氣晴朗時，追日式太陽能電池的短路電流(照度)最大可以提升 38%，整週平均提升 30%。

(三)功率方面提升的更多，可達 75%。

十、由於追日系統啟動次數過於頻繁而「耗電過多」，所以我們在運作電路部份加裝計時器。另外尚有「無法儲備電力」的缺點，所以我們加裝一蓄電池，在陰天、光線不足時得以使用蓄電池的電力。

## 陸、參考資料

一、著：松井邦彥、譯：林肇彬（民 92）。活用運算放大器的訣竅 100。〔臺北縣〕永和市：建興文化。

二、監修：高橋寬、著：內山明治、村野靖、譯：陳連春（民 92）。圖解簡明運算放大器。〔臺北縣〕中和市：建興文化。

三、中興大學物理系應用電子學網站。取自：<http://140.120.11.1/prophys/electron/index.htm>

四、楊素華、蔡泰成（民 94）。太陽光能發電元件－太陽能電池。科學發展，50-55。

五、蔡進譯（民 94）。超高效率太陽電池－從愛因斯坦的光電效應談起。物理雙月刊，704-706。