

## V 型槽聚光型太陽光電發電系統設計

蘇義傑 蔡煥良

大葉大學電機工程學系

51591 彰化縣大村鄉學府路 168 號

### 摘 要

本文提出 V 型槽聚光型太陽光電發電系統設計，首先建立的模擬模型是由通用型太陽能電池模組和 V 型槽完成，使用 Simulink 套裝軟體，模擬商用的太陽能電池、模組、陣列加裝 V 型槽聚光板模型，並且能夠輕易的在模擬平台上使用。本文提出的模型設計一套使用者友善的圖形遮罩介面和操作容易的使用者對話框，像是使用 Simulink 圖形資料庫一樣方便。這使得聚光型太陽能電池模組容易被模擬，並且分析日照強度對太陽能電池溫度和輸出特性的影響。經由設計加裝一組鏡面不銹鋼反射板的太陽光電模組在實際工作環境進行實驗量測，可以相互驗證 V 型槽聚光型太陽光電發電系統設計理論分析與實驗量測的吻合性。

**關鍵詞：**太陽能電池模組，V 型槽，Simulink

## Design of a V-Trough Concentration Photovoltaic Generation System

YI-JIE SU and HUAN-LIANG TSAI

*Graduate School of Electrical Engineering, Da-Yeh University*

*No. 168, University Rd., Dacun, Changhua 51591, Taiwan, R.O.C.*

### ABSTRACT

This report presents the design and validation for a V-trough concentration photovoltaic (PV) module. First, a model built from a generalized photovoltaic module and V-trough is implemented by using Simulink software. This generalized model can represent a PV cell, module, and array. The proposed model is also designed with a user-friendly icon and a dialog box such as those in Simulink block libraries, thereby making a concentrated V-trough PV model easy to simulate and analyze. When the impact of sunlight intensity on the temperature of a solar cell is considered, the characteristics of the output power and current of such a model can be simulated by using our proposed design. Finally, through experimental measurements, this model is validated by a V-trough with stainless steel reflectors and a commercial PV module. The results indicate that the concentration effects of the measured data on the V-trough PV module approximately agree with the predicted ones.

**Key Words:** photovoltaic (PV) module, V-trough, Simulink



## 一、前言

現今在國際能源危機的情況下，世界各國刻正積極的尋找永續的、可再生的及淨潔的替代能源，如太陽能、風能、氫能、生質能等再生能源，而太陽能正是其中最具有發展潛力的能源。太陽能分佈廣闊，獲取方便；儘管由於地理和氣象條件的差異，各地可以利用的太陽能資源多少有所不同，但它既不需要開採和挖掘，又不需要運輸，可以就地利用。這對解決偏遠地區以及交通不便的鄉村、高山及離島的電力能源供應，具有很大的優越性。

利用太陽能作為能源供應，沒有廢渣、廢料、廢水、廢氣排出，沒有噪音，不產生對人體有害的物質，因而不會污染環境，所以沒有公害。這是太陽能的優點，遠非其他能源可比擬的。只要太陽存在，就有太陽能。因此利用太陽能作為能源，可以說是取之不盡、用之不竭，且具有永續性、可再生性、淨潔無汙染。

本文所設計的 V 型槽聚光型太陽光電發電系統首先提出模擬模型，是由通用型太陽能電池模組和具有聚光能力的 V 型槽完成，最後經由實驗量測驗證其可行性及理論值、實際量測值的吻合性。聚光型太陽光電技術在 1970 年代開始發展，最早 1971 年 Hollands 應用於薄膜太陽能電池 [7]，接下來的二十年間，許多研究著重於 V 型槽集光器的光學性能 1-5，另外，1998 年 Fraidenraich 完成 V 型槽的設計流程 [6]，直到 2004 年後開始研究具有聚光效能的 V 型槽應用在太陽能電池及性能分析實驗，特別是建立在太陽能電池的成本降低上 [1, 11-12]；其中 2008 年 Sangani 等人 [11] 使用一塊陽極的鋁板作為反射鏡和一個被動的散熱器來解決一些溫度問題。然而這些研究都著重於實驗結果分析，並沒有結合理論基礎與實驗量測的相互驗證。另一方面太陽能電池 I-V 輸出特性的數學模擬，已經被研究超過四十多年，我們延續先前研究成果 [13]，建立 V 型槽聚光型太陽光電模型，經由實驗量測進而驗證模擬分析結果。

## 二、理論基礎

### (一) 太陽能電池模組理論

太陽能電池是由 p-n 接面結構的晶圓或是薄膜半導體組成，基本上，光電轉換是直接將太陽光輻射轉換成電力，當光子的能量大於半導體的能帶間隙時，將會跳躍出來產生電子電洞對，p-n 接面在內部電場的影響下，會使這些電子電洞對分離，電子和電洞往相反的方向各自傳輸至二端電極輸

出形成電流。受到日照強度和電池溫度的影響，使太陽能電池輸出特性展現出一非線性的 I-V 和 P-V 曲線。

### 1. 太陽能電池模型

太陽能電池的實際等效電路是由光電流、二極體、並聯電阻、串聯電阻組成，而並聯電阻表示漏電流、串聯電阻表示內電阻，如圖 1 所示。

太陽能電池的輸出電壓－電流特性方程式可表示成：

$$I = I_{PH} - I_S \left\{ \exp \left[ \frac{q(V + IR_S)}{kT_C A} \right] - 1 \right\} - \frac{V + IR_S}{R_{SH}} \quad (1)$$

其中  $I_{PH}$  是光電流， $I_S$  是飽和電流， $q$  為單位電量 ( $=1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ )， $k$  為波茲曼常數 ( $=1.38 \times 10^{-23} \text{J/K}$ )， $T_C$  為電池工作溫度， $A$  為理想因素， $R_{SH}$  為並聯電阻， $R_S$  為串聯電阻。光電流的大小主要受到日照強度和電池工作溫度影響，表示成：

$$I_{PH} = [I_{SC} + K_I(T_C - T_{Ref})] \lambda \quad (2)$$

其中  $I_{SC}$  是在  $25^\circ\text{C}$  和  $1 \text{ kW/m}^2$  標準測試條件下的短路電流， $K_I$  是太陽能電池短路電流的溫度係數， $T_{Ref}$  是太陽能電池的參考溫度， $\lambda$  為日照強度，單位為  $\text{kW/m}^2$ 。太陽能電池的飽和電流是隨太陽能電池的溫度變化而改變，可表示成：

$$I_S = I_{RS} \left( \frac{T_C}{T_{Ref}} \right)^3 \exp \left( \frac{qE_G}{kA} \left( \frac{1}{T_{Ref}} - \frac{1}{T_C} \right) \right) \quad (3)$$

其中  $I_{RS}$  為參考溫度和日照強度下的逆向飽和電流， $E_G$  是太陽能電池上所使用的半導體材料的能帶間隙，理想因素  $A$  是依據光電半導體材料 [13] 所選擇的，單晶矽的  $A$  值為 1.2。

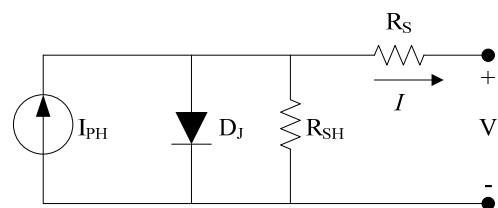


圖 1. 實際的太陽能電池等效電路圖

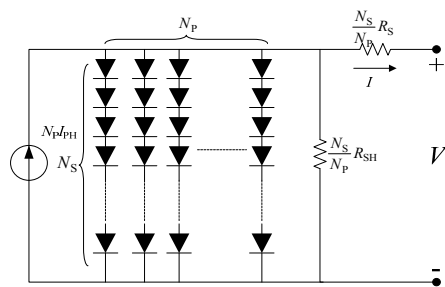


## 2. 太陽能電池陣列模組

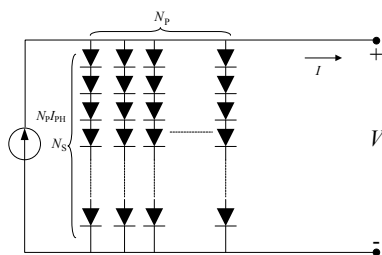
一個典型的太陽能電池輸出端電壓大約在 0.5 V 左右，其輸出功率是低於 2 W，因此太陽能電池必須以串並聯的方式設計成模組，才能產出足額的電力。在大多數商業太陽能電池產品裡，為了獲得額定工作電壓通常是以串聯方式連接形成太陽光電模組，太陽光電陣列發電系統通常排成以串並聯的結構方式達到所需要的工作電壓輸出、輸出功率。對太陽能系統來說，太陽能電池陣列是由數個太陽能電池模組，經由串聯和並聯的方式達到所需的電流和電壓。圖 2 是太陽能電池陣列上的  $N_p$  並聯和  $N_s$  串聯的等效電路 [8-9]。對於單一太陽能電池而言，它可以表示成  $N_p = N_s = 1$ ，不失其通用性。圖 2(a) 所示實際太陽能電池陣列模型的輸出電流－電壓方程式則表示成 [13]：

$$I = N_p I_{PH} - N_p I_S \left\{ \exp \left[ \frac{q}{k T_{PV} A} \left( \frac{V}{N_s} + \frac{I R_S}{N_p} \right) \right] - 1 \right\} - \frac{\frac{N_p}{N_s} V + I R_S}{R_{SH}} \quad (4)$$

事實上，太陽能電池的效能是很容易受到串聯電阻的影響而改變，但不容易被並聯電阻所影響。因此太陽能電池模



(a) 實際模型



(b) 理想模型

圖 2. 太陽能電池模型的等效電路圖

組或陣列，在串聯電阻明顯的增加重要並且假設並聯電阻趨近無窮大。對太陽能模組或陣列來說，並聯電阻可以忽略並視成開路，其方程式可以改寫成：

$$I = N_p I_{PH} - N_p I_S \left\{ \exp \left[ \frac{q}{k T_{PV} A} \left( \frac{V}{N_s} + \frac{I R_S}{N_p} \right) \right] - 1 \right\} \quad (5)$$

最後，若不考慮串聯電阻的話，實際模型可以再簡化成理想的太陽能電池模組，其等效電路如圖 2(b) 所示，輸出特性方程式如下：

$$I = N_p I_{PH} - N_p I_S \left[ \exp \left( \frac{qV}{N_s k T_C A} \right) - 1 \right] \quad (6)$$

### (二) V 型槽聚光理論

加入 V 型槽聚光型的太陽能電池模組的示意圖如圖 3。首先只考慮直射和第一次反射，即光線到達太陽能電池模組之前沒有超過一次的反射，V 型槽的幾何學的參數是依據幾何聚光比 (Geometric concentration ratio, GCR)  $\gamma_{GCR}$  和 V 型槽角度  $\theta_V$  所設計，兩者關係方程式表示如下 [7]：

$$\gamma_{GCR} = \frac{W_V}{W_{PV}} = \frac{W_{PV} + 2W_{RF} \sin(\theta_V)}{W_{PV}} \quad (7)$$

其中  $W_V$ 、 $W_{PV}$  和  $W_{RF}$  分別為 V 型槽的寬度、太陽能電池的寬度和反射板的寬度。

從光學的觀點來看，當太陽光以等於或小於最大的入射角度到達反射板時，V 型槽的太陽能電池模組的表面能夠被均勻的照射。若只考慮直射和第一次反射，光線的入射角  $\theta_{in}$  限制在  $\pm\theta_{max}$  區間內，對一個固定時間週期的追蹤模式來

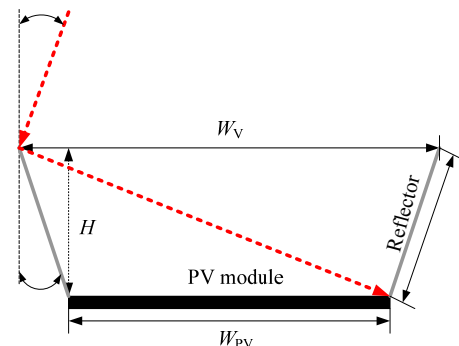


圖 3. V 型槽聚光型太陽能示意圖



說，最大入射誤差角度大約  $9^\circ$ ，對更準確的追蹤設計來說，最大入射角度可以透過下式獲得：

$$\theta_{\max} = \frac{T_{tr}}{8} \quad (8)$$

其中  $T_{tr}$  是追蹤週期，單位為分鐘。例如，每 24 分鐘追蹤太陽二次，允許太陽光入射角  $\theta_{in}$  大約介於  $-3^\circ$  和  $3^\circ$  之間的範圍。為了使陽光照射能夠均勻照射在太陽能電池上，其入射角小於  $\theta_{in}$  時，V 型槽角度的範圍可由下式獲得：

$$\frac{90 - \theta_{in}}{2} \geq \theta_V \geq \frac{90 + \theta_{in}}{4} \quad (9)$$

透過 V 型槽聚光後太陽能模組的獲得均勻光線的必要條件為

$$\gamma_{CR} \geq 1 + 2 \cos 2\theta_V \quad (10)$$

為了獲得一個解析的結果，V 型槽反射板的聚光比可以用一個反射係數  $\rho$  來表示 [2]，假設理想的反射板為係數是  $\rho=1$ ，V 型槽的聚光比與 V 型槽角度、入射角的關係函數可表示為：

$$\gamma_{CR} = \frac{\sin[(2n+1)\theta_V + \theta_{in}]}{\sin(\theta_V + \theta_{in})} \quad (11)$$

其中  $n$  是反射次數。V 型槽的邊長由下式獲得：

$$\frac{W_{RF}}{W_{PV}} = \frac{\sin[(2n+1)\theta_V + \theta_{in}] - \sin(\theta_V + \theta_{in})}{2 \sin(\theta_V + \theta_{in}) \sin \theta_V} \quad (12)$$

1998 年 Fraidenraich [6] 所提出均勻照射的 V 型槽聚光比可由下式計算：

$$\gamma_{CR} = 1 + \frac{2 \sin(n\theta_V) \cos[(n+1)\theta_V]}{\sin \theta_V} \times \frac{1 + \tan \theta_{in} \tan[(n+1)\theta_V]}{1 - \frac{\tan \theta_{in}}{\tan \theta_V}} \quad (13)$$

實際上，當入射角為零度時，方程式 (11) 和 (13) 的聚光比是相等的。對一更好的追蹤誤差值來說，最大的入射角度是第一次入射時的角度。假設均勻的照射，即只有考慮直射

和第一次反射，聚光比計算於方程式 (11)。最後，相同長度的太陽能電池模組和反射板其寬度的關係式為：

$$\frac{W_{RF}}{W_{PV}} = \frac{\gamma_{CR} - 1}{2 \sin \theta_V} \quad (14)$$

### 三、模型建立及模擬結果

#### (一) 以 Simulink 建立太陽電池模組

完整的太陽能電池模組的模型包括獨立的光電流源溫度，二極體的飽和電流，和一個串聯電阻，以上這些都被建立於蕭特基二極體方程式。所有模型的參數可以由太陽能電池產品的製造說明書來決定。最重要的參數是描述電池電氣特性的開路電壓  $V_{OC}$  和短路電流  $I_{SC}$ ，開路電壓  $V_{OC}$  的參數值是由假設輸出電流為零所獲得，在參考溫度下並且忽略漏電流對太陽能電池開路電壓的影響，則逆向飽和電流近似於 (15) 式：

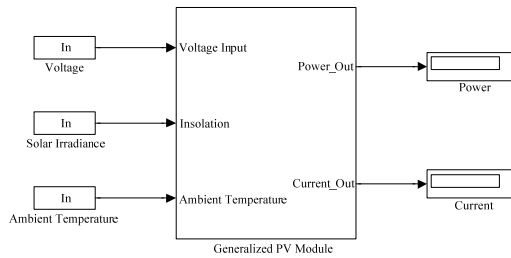
$$I_{RS} = \frac{I_{SC}}{\exp\left(\frac{qV_{OC}}{kAT_{Ref}}\right) - 1} \quad (15)$$

使用 Simulink 建立通用型太陽能電池模型來說明和驗證太陽能電池模組的非線性 I-V 和 P-V 輸出特性曲線。本文所完成的模型顯示在圖 4。圖 4(a) 和圖 4(b) 階層化的通用型太陽光電模型，其中圖 4(b) 為圖 4(a) 的子模；同時為了使通用型的模型更容易使用和瞭解，我們使用一個太陽能模組圖示的影像來做為圖示，這個圖示顯示在圖 4(c)，另外模型上設計一個對話方塊，如圖 4(d)，太陽能電池模組的參數設定能夠像在使用 Simulink 方塊資料庫一樣的方式。

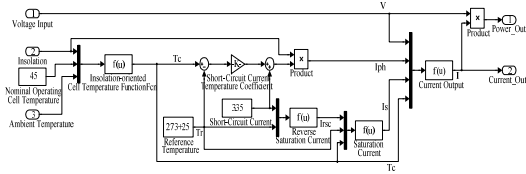
#### 1. 考慮日照強度對電池溫度影響的模型

透過陽光的照射，太陽能電池產生電位差而輸出電力，光線剩餘的能量將直接加熱在太陽能電池上，導致太陽能電池的溫度上升。因此，電池操作在高於預期的環境溫度之上，並且電池溫度是環境溫度和日照強度的函數。當太陽能電池裝進模組時，模組通常會包覆在金屬內，並且塗上抗反射的塗料，為的就是使反射減到最小，另外使用特別多層的板子做為機械保護。部分被吸收的太陽光不會轉換成電力，這使得太陽能電池整體溫度隨著日照強度而改變。太陽能電池工作溫度的估測值能夠以相當準確的以線性近似值表示，依據文獻 [10] 方程式如下：

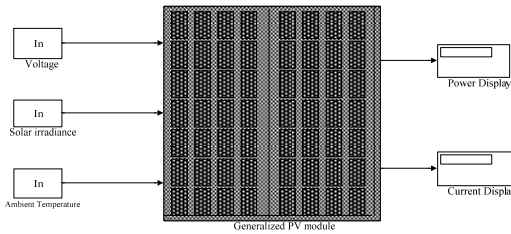




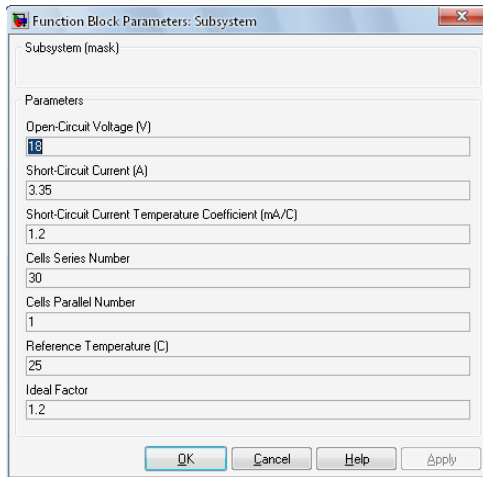
(a) 通用型太陽能電池模型圖



(b) 子系統模型圖



(c) 含有太陽光電模組圖形遮罩的模型



(d) 使用者對話框

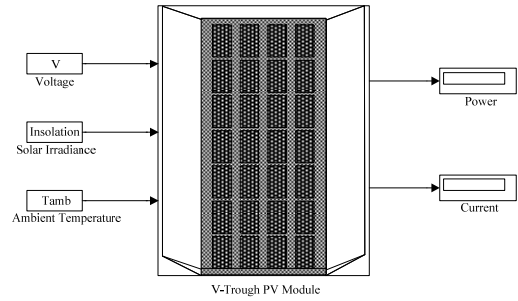
圖 4. 太陽能電池模組的模型圖

$$T_C = T_{Amb} + \left( \frac{T_{NOCT} - 20}{0.8} \right) \lambda \quad (17)$$

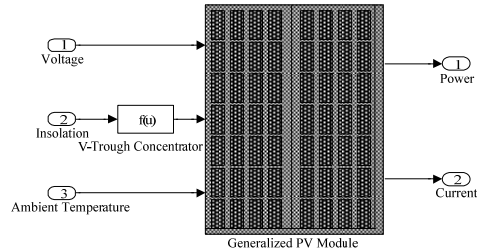
其中  $T_{Amb}$  是環境溫度， $T_{NOCT}$  是電池一般操作溫度 (nominal operating cell temperature, NOCT)，在環境溫度 20°C、日照強度 AM 1.5 和  $\lambda = 0.8 \text{ kW/m}^2$ 、風速小於 1 m/s 的測試條件下。

2. V 型槽聚光型太陽光電模組

從太陽能電池的討論上得到，透過一個 V 型槽的模型和一個發展良好的通用型太陽能電池模型結合起來，建造一個通用型的聚光 V 型槽太陽能模型是容易的。為了使完成的模型更實際，在這裡考慮日照強度對電池溫度的影響。一個通用型的 V 型槽太陽能電池模型建立在通用型太陽能電池模型上，其模擬模型如圖 5 所示，圖 5(a) 設計使用者友善的圖像介面顯示，圖 5(b) 顯示模組化的子系統圖，圖內結合 V 型槽聚光比函數及通用型太陽能電池模型再運用，圖 5(c) 設計一個使用者對話方塊。



(a) 含有圖型遮罩 V 型槽聚光太陽能電池模型



(b) V 型槽太陽能電池子系統圖



(c) 使用者對話方塊圖

圖 5. V 型槽太陽能電池模型圖





所有模型主要的參數皆可由太陽能電池產品的製造說明書設定，而 V 型槽的結構則依據太陽能電池模組的尺寸大小來設定。給定一個 V 型槽角度  $\theta_v$  和在  $\pm\theta_{\max}$  範圍內的太陽光入射角，則 V 型槽反射板的聚光比率和寬度可以透過模擬模型自動計算。

## (二) 模擬結果

透過上述的理論分析，我們已經將太陽能電池模組和 V 型槽聚光模組建立，接著我們將依序模擬太陽能電池及加上 V 型槽聚光板後的差異。

### 1. 太陽能電池模組模擬結果

我們以太陽能電池模組 Siemens SM 46 來研究，太陽能電池模組的電氣特性通常描述在 I-V 和 P-V 曲線上，太陽能電池模組的 I-V 和 P-V 輸出特性在不同的溫度和日照強度下完成，其結果顯示在圖 6 和圖 7。從圖 6(a) 和圖 6(b) 得知，電池溫度增加，太陽能電池模組的短路電流增加，然而工作

電壓和最大功率輸出則減少。因為輸出電流的增加小於電壓的減少，在高溫下功率大約減少  $0.45\%/^{\circ}\text{C}$ 。在特定工作溫度的情況下，不同日照強度使得電流增加，而電壓跟著增加，輸出功率同樣隨之升高，如圖 7(a) 和圖 7(b)。若考量日照強度對電池溫度的影響下，太陽能電池模組在各種不同日照強度和溫度下的 I-V 和 P-V 輸出特性顯示在圖 8(a) 和圖 8(b)。

### 2. V 型槽聚光後模擬結果

在太陽能電池模組加上聚光 V 型槽後，在不同的溫度和日照強度下，太陽光電模組輸出特性模擬結果如圖 9 和圖 10 所示。由圖中可以得知，加上 V 型槽後電池溫度增加，太陽能電池模組的工作電流增加，然而工作電壓和最大功率輸出則減少，但工作電流和輸出功率接近為未加上 V 型槽時的兩倍，如圖 9(a) 和圖 9(b)。當日照強度增強時，工作電流會隨之增加，而工作電壓也略為提高，如圖 10(a) 所

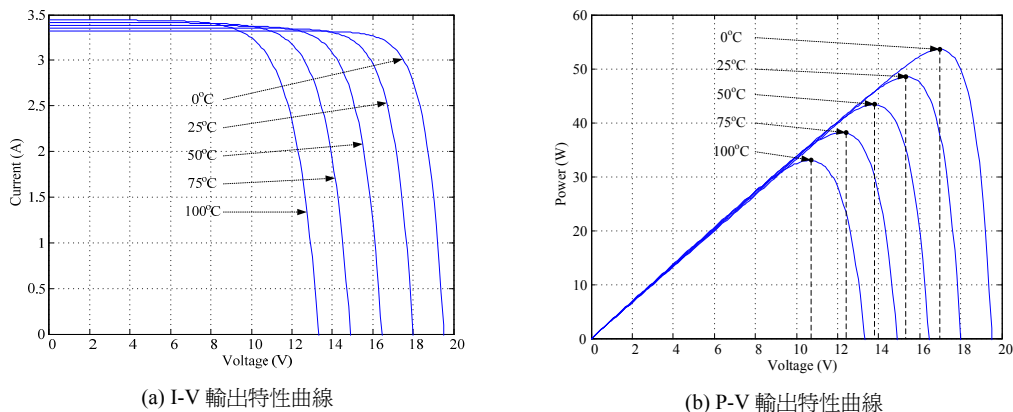


圖 6. 不同電池溫度下太陽光電模組的輸出特性曲線

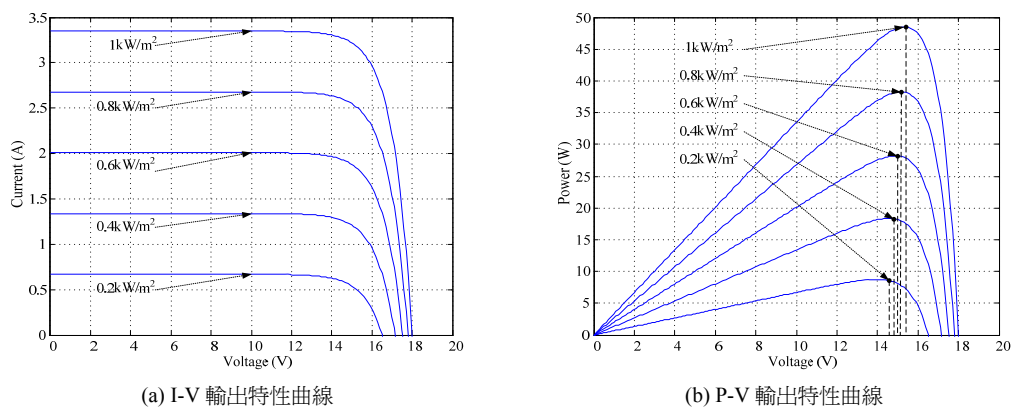


圖 7. 不同日照強度下太陽光電模組的輸出特性曲線



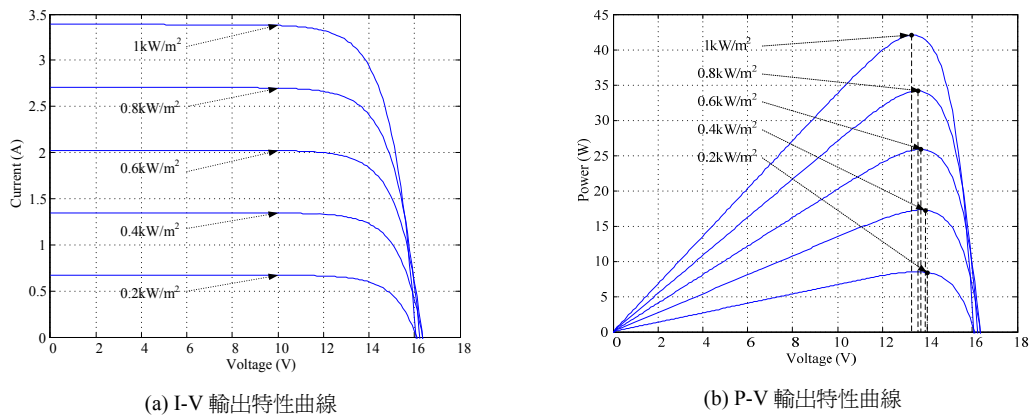


圖 8. 考量日照強度電池溫度影響下太陽光電模組的輸出特性曲線

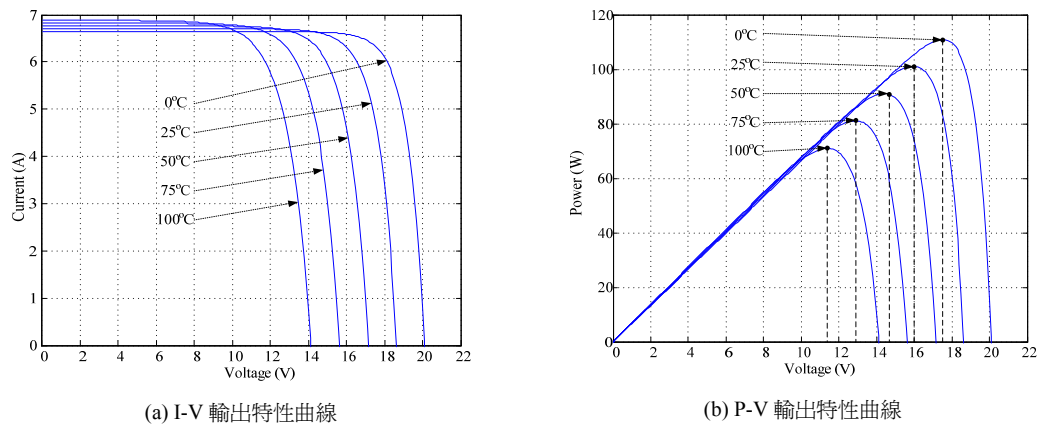


圖 9. V 型槽聚光型太陽光電模組在不同溫度下輸出特性曲線圖

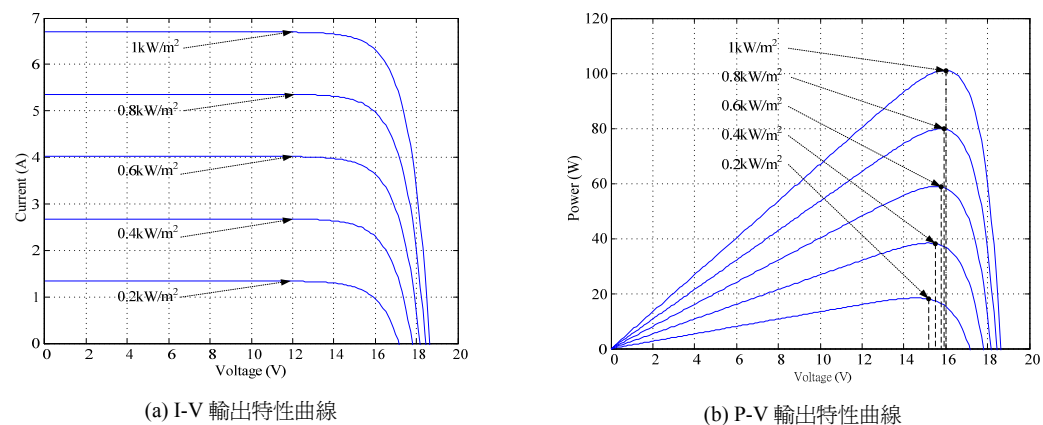
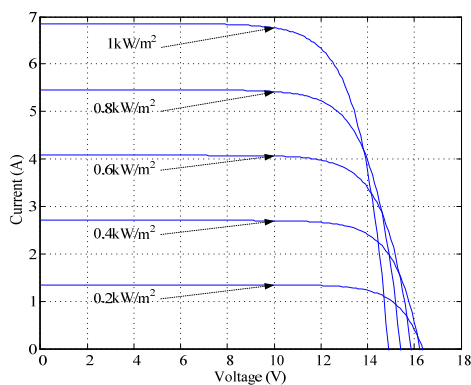


圖 10. V 型槽聚光型太陽光電模組在不同日照強度輸出特性曲圖

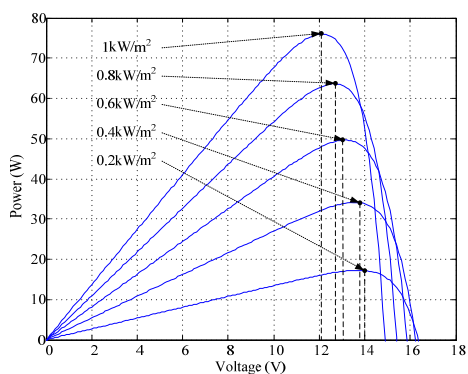
示；最佳輸出功率點的工作電壓較為集中，由於輸出電流受日照強度增強而增加近兩倍，輸出功率增加近兩倍，如圖 10(b) 所示。

實際考量日照強度對電池溫度影響下，太陽能電池模組在各種不同日照強度的 I-V 和 P-V 輸出特性曲線如圖 11 所示。





(a) I-V 輸出特性曲線



(b) P-V 輸出特性曲線

圖 11. V 型槽聚光型太陽光電模組考量日照強度對電池溫度影響的輸出特性曲圖

#### 四、實驗建構及實際量測

##### (一) 實驗目的

利用實驗的結果，來驗證用 Simulink 所建立的太陽能電池模組及聚光 V 型槽太陽能電池模組的數學模型是否正確無誤。

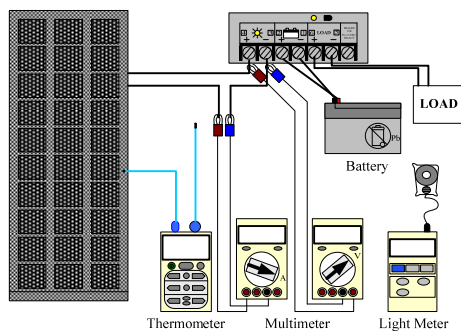
1. 利用太陽能電池模組，驗證理論與實際的電壓-電流及電壓-功率的輸出特性曲線是否正確。
2. 利用聚光 V 型槽提高日照強度，驗證聚光 V 型槽太陽能電池的電壓-電流及電壓-功率的輸出特性曲線與理論是否相符。
3. 量測太陽能電池的溫度是否影響太陽能電池的電壓、電流及功率。

##### (二) 實驗設備

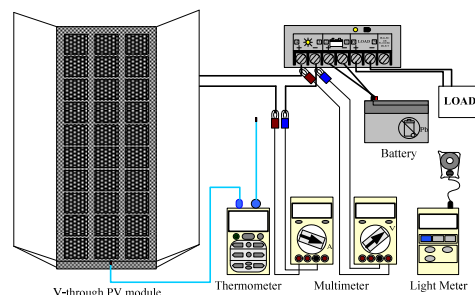
本實驗所需設備為太陽能電池模組、V 型槽、日照計、熱耦計、三用電表、最大功率追蹤器、蓄電池及負載和實驗紀錄表，並且需要絕緣的設備，以防止接地漏電流，影響到實驗量測值，在此選用木板材質的桌子，來達到絕緣效果，而所有設備擺放的位置和組裝的方式如圖 12(a) 設備儀器配置圖及圖 13(b) 實體圖。為了比較方便，我們同時完成不加裝 V 型槽聚光板太陽光電模組的量測，實驗配置圖及實體圖如圖 12(b) 及圖 13(b) 所示。

##### (三) 實驗步驟

1. 將太陽能電池、日照強度計、電子溫度計、三用電表、最大功率追蹤器、蓄電池及負載依照圖 12 設備儀器配置圖放置，並且必須不被其他物品的影子所遮蔽住。
2. 接著馬上量測電池溫度、環境溫度以及日照強度和工作電壓，然後打開負載以消耗蓄電池的電力，讓太陽能電池模組能夠對蓄電池達到最大的充電效能，在此同時量測工作電流，紀錄完畢則將負載關掉或切斷。
3. 每隔五分鐘做一次上述量測步驟，持續 70 分鐘，然後將結果紀錄下來，達到 15 次的採樣率以提高準確度。
4. 最後將聚光 V 型槽加上太陽能電池模組，完成聚光 V 型槽太陽能電池模組的組裝，接著同樣重複步驟 1 至 3，將



(a) 不含 V 型槽



(b) 含 V 型槽

圖 12. 設備儀器配置圖





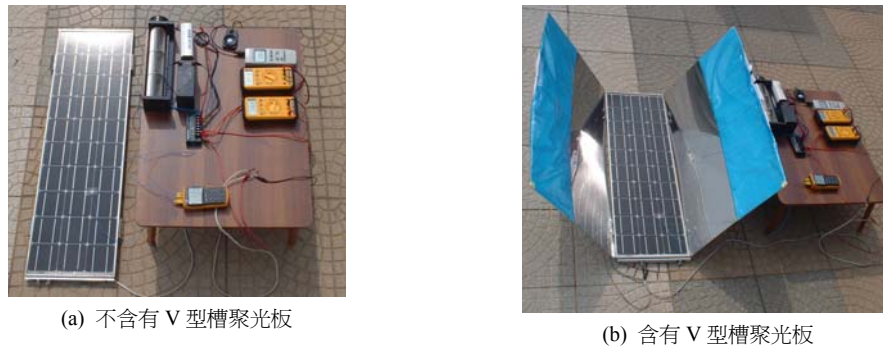


圖 13. 商用太陽能電池實驗設備實體圖

量測的結果紀錄下來。

#### (四) 實驗結果

由於實際量測時，會有其他因素的影響，如風的吹動、雲層的飄動，因此會有些許的小誤差，我們依實際的日照強度、環境溫度、電池溫度和太陽光電模組的工作電壓、輸出電流等將量測結果記錄，並繪製在原 I-V 和 P-V 輸出特性曲線。不加裝 V 型槽聚光板的太陽能電池模組的量測結果繪製在原 I-V 和 P-V 輸出特性曲線上如圖 14 所示，在考量實際的電池溫度和日照強度變化下，由圖中可以看出日照強度在  $0.792 \text{ kW/m}^2$  至  $0.865 \text{ kW/m}^2$  之間，其工作電流為  $2.28 \text{ A}$  至  $2.83 \text{ A}$  和預測  $0.8 \text{ kW/m}^2$  下的電流接近，可以得知實際量測值與模擬預測值是相當接近的；當最大功率追蹤器的值為  $13 \text{ V}$  上下，日照強度在  $0.792 \text{ kW/m}^2$  至  $0.865 \text{ kW/m}^2$  之間時，其功率為  $29.34 \text{ W}$  至  $37.86 \text{ W}$  之間和理論考量電池溫度受日照強度影響的模擬預測值接近，可以看出實驗量測值和理論預測的數值相當吻合。

另一方面，考量實驗所採用鏡面不銹鋼板的 V 型槽反射效率為  $0.7$ ，首先模擬 V 型槽聚光板太陽能電池模組的 I-V

和 P-V 輸出特性，並加裝 V 型槽聚光板太陽能電池模組的量測結果繪製在 I-V 和 P-V 輸出特性曲線上，如圖 15 所示。外加上聚光 V 型槽後，太陽能電池的工作電壓透過最大功率追蹤器的作用和電池溫度上升的影響，漸漸的降低至  $13 \text{ V}$  以下，但工作電流則為接近原來的兩倍，而鏡面不銹鋼板的 V 型槽反射效率為  $0.7$ ，經過實際的計算聚光比為未加 V 型槽時的  $1.66$  倍，在日照強度為  $0.773 \text{ kW/m}^2$  至  $0.883 \text{ kW/m}^2$  時，電池的工作電流為  $3.9 \text{ A}$  至  $4.3 \text{ A}$ ，而輸出功率則為  $47.16 \text{ W}$  至  $52.98 \text{ W}$ ，實際量測的輸出電流與功率與考量電池溫度受日照強度影響的模擬結果相同，由圖中可以看出，實際量測值和理論模擬的結果相當接近。比較圖 14 及圖 15，可以明顯看出，加裝鏡面不銹鋼板的 V 型槽可以增加太陽光電模組的輸出功率。

## 五、結論

V 型槽聚光型太陽能電池模組利用 Simulink 在不同溫度和日照強度下建立模型，和實際量測後的結果相對照。得知有無使用聚光 V 型槽，其工作電壓受最大功率追蹤器的

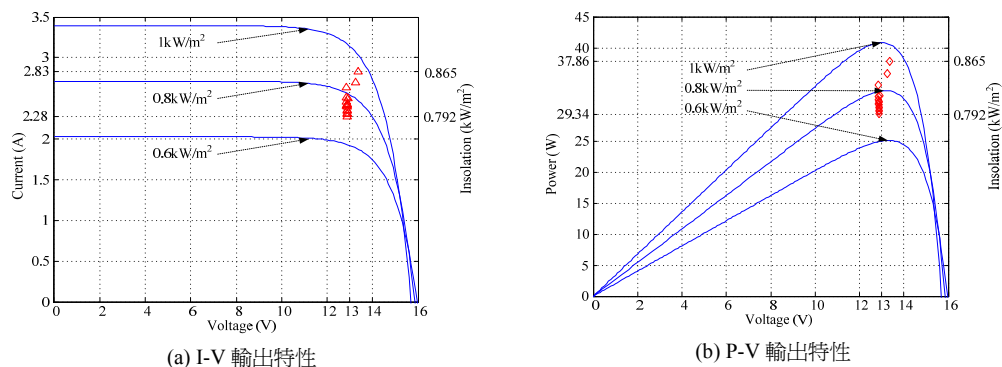


圖 14. 未加 V 型槽聚光板太陽能電池輸出圖



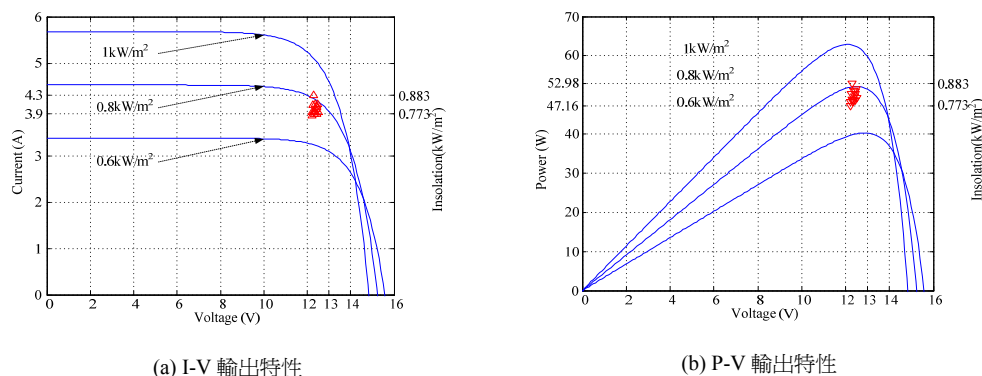


圖 15. V 型槽太陽能電池輸出特性圖

作用和電池溫度的上升影響，而工作電流則增加為 1.66 倍，在日照強度  $1 \text{ kW/m}^2$  下輸出功率增加至接近  $65 \text{ W}$ ，比原來未加 V 型槽時增加約  $23 \text{ W}$ 。由此得知，本文所設計的 V 型槽聚光型太陽能電池模組，能夠有效的達到功率提升的作用，並且能夠節省太陽能電池的成本。

建立了太陽能電池模組及聚光 V 型槽太陽能電池模組，能夠有效的模擬商業化的太陽能電池模組在不同日照強度、電池溫度的變化，所產生的電壓、電流和功率，並且能夠達到節省成本就可以提升接近一倍的功率，這使得在相同面積下的太陽能電池模組，能夠發揮更大的作用。

### 參考文獻

1. Bione, J., O. C. Vilela and N. Fraidenraich (2004) Comparison of the performance of PV water pumping systems driven by fixed, tracking and V-trough generators. *Solar Energy*, 76(6), 703-711.
2. Burkhard, D. G., G. L. Strobel and D. R. Burkhard (1978) Flat-sided rectilinear trough as a solar concentrator: An analytical study. *Applied Optics*, 17(12), 1870-1883.
3. Fraidenraich, N. and G. J. Almeida (1991) Optical properties of V-trough concentrators. *Solar Energy*, 47(1), 147-155.
4. Fraidenraich, N. (1992) Analytical solution for the optical properties of V-trough concentrators. *Applied Optics*, 31(1), 131-139.
5. Fraidenraich, N. (1995) Analytic solutions for the optical and radiative properties of non-accepted light radiation of V-trough concentrators. *Applied Optics*, 34(22), 4800-4811.
6. Fraidenraich, N. (1998) Design procedure of V-trough

cavities for photovoltaic systems. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 6(1), 43-54.

7. Hollands, K. G. T. (1971) A concentrator for thin-film solar cells. *Solar Energy*, 13(2), 149-163.
8. Kim, I. S. and M. J. Youn (2005) Variable-structure observer for solar array current estimation in a photovoltaic power-generation system. *IEE Proceedings-Electric Power Applications*, 152(4), 953-959.
9. Kim, I. S., M. B. Kim and M. J. Youn (2006) New maximum power point tracker using sliding-mode observer for estimation of solar array current in the grid-connected photovoltaic system. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 53(4), 1027-1035.
10. Messenger, R. and J. Ventre (2000) *Photovoltaic Systems Engineering*, CRC Press LCC, Boca Raton, FL.
11. Sangani, C. S. and C. S. Solanki (2007) Experimental evaluation of V-trough (2 suns) PV concentrator system using commercial PV modules. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 92(6), 453-459.
12. Solanki, C. S., C. S. Sangani, D. Gunashekar and G. Antony (2008) Enhanced heat dissipation of V-trough PV modules for better performance. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 192(12), 1634-1638.
13. Tsai, H. L., C. S. Tu and Y. J. Su (2008) Development of generalized photovoltaic model using MATLAB/SIMULINK. Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2008, San Francisco, CA.

收件：98.07.09 修正：99.03.08 接受：99.05.17



## 符號說明

$A$	理想因子
$E_G$	能階 (eV)
$I$	輸出電流 (A)
$I_{PH}$	光電流 (A)
$I_{RS}$	逆向飽合電流 (A)
$I_S$	隱藏飽合電流 (A)
$I_{SC}$	短路電流 (A)
$K_I$	飽合電流溫度係數 (A/K)
$k$	波茲曼常數 ( $=1.38 \times 10^{-23}$ J/K)
$N_p$	太陽能電池並聯數
$N_s$	太陽能電池串聯數
$q$	電子量 ( $=1.6 \times 10^{-19}$ C)
$R_s$	串聯電阻 ( $\Omega$ )
$R_{SH}$	並聯電阻 ( $\Omega$ )
$T_{Amb}, T_C$	週遭溫度、電池溫度 (K)
$T_{Ref}, T_{NOCT}$	電池參考溫度和一般操作溫度 (K)
$V$	輸出電壓 (V)
$W_{PV}, W_{RF}, W_V$	太陽能電池、反射板和 V 型槽的寬度
$\gamma_{GCR}, \gamma_{CR}$	幾何聚光比、聚光比
$\theta_{in}$	太陽光入射角
$\theta_v$	V 型槽角度
$\lambda$	日照強度 ( $kW/m^2$ )
$\rho$	反射率

