



太陽電池模組量測系統之研發

Development of Test Equipment for PV Modules

賴致全 張俊男 劉宗志 林克默

C.C. Lai C.N. Chang C.Z. Liu K. Lin

南台科技大學 機械工程系

摘 要

近來太陽能相關應用技術在再生能源科技上佔有相當重要的地位，且技術日益成熟，目前研究除了提升太陽能晶片的輸出功率外，對於太陽電池模組的檢測，也是一個重要課題。本文主要探討太陽電池模組之檢測技術，主要將自然環境下量測數據轉換成標準測試條件下之數據，且量測範圍依據電子負載機規格而定，目前所使用系統之負載功率為 1.2kW。

關鍵字：太陽電池模組、IV 量測

Abstract

Recently, the application techniques of solar energy have been maturing and played an important role in renewable energy technology. At present, besides enhancing the output efficiency of solar cells, testing PV modules is another important research subject. The purpose of this study is to investigate test techniques for PV modules. Our study focuses on transforming data measured in natural environment into data under Standard Test Conditions. The test range is based on the specifications of the electronic loader. The maximal power of our system is 1.2kW.

Keywords : PV Module, IV measurement

一、前言

由於地球上能源不斷被消耗，石化能源日漸枯竭，核能發電又有輻射及核廢料的問題，因此新能源的開發已是刻不容緩的問題。在眾多的再生能源技術中，太陽能的應用普遍受到重視。因為太陽能不會污染環境、加上取得容易，為一取之不盡，用之不竭的能源。

目前商用太陽電池模組主要以矽晶太陽電池晶片為主，其晶片的效率決定整個模組的輸出功率。而太陽電池模組本身很容易受到環境的影響，外來的灰塵、水氣、撞擊均可以輕易的損傷甚至破壞模組，降低其效率。因此，本研究嘗試建立一簡單、易使用的太陽電池模組檢測系統以檢測模組之效率。一般測試太陽電池模組的環境須採用標準測試條件(STC)，本研究所開發的系統可將自然環境下量測數值轉換為接近 STC 條件下的數值，以供進一步比較之使用。

二、內容

1. 檢測方法

1.1 理論分析

在實務應用上，量測太陽電池有效特性曲線時，若其量測值誤差在1%以內，便能滿足大多數應用的要求。圖1為太陽光電等效電路圖， I_L 表示光電流， R_{pv} 為太陽電池非歐姆式電阻

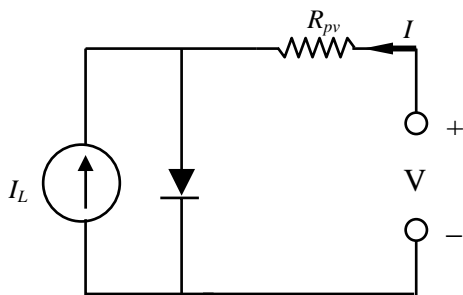


圖1 太陽電池等效電路圖

由於太陽電池具有二極體的特性，其特

性曲線方程式及功率可表示如下[1]：

$$I = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{U + IR_{pv}}{U_T}} - 1 \right) \quad (1.1)$$

$$\frac{dU}{dI} = - \left(\frac{U_T}{I_{ph} - I + I_0} + R_{pv} \right) \quad (1.2)$$

$$P = IU_T \ln \left(\frac{I_{ph} - I + I_0}{I_0} \right) - I^2 R_{pv} \quad (1.3)$$

$$\frac{dP}{dI} = U_T \ln \left(\frac{I_{ph} - I + I_0}{I_0} \right) - I \left(\frac{U_T}{I_{ph} - I + I_0} + 2R_{pv} \right) \quad (1.4)$$

其中， I_{ph} 為光電流、 I 為電流、 I_0 為二極體飽和電流、 U 為電壓和 U_T 為溫度電壓，理想的量測曲線形狀應如下圖 2 所示。

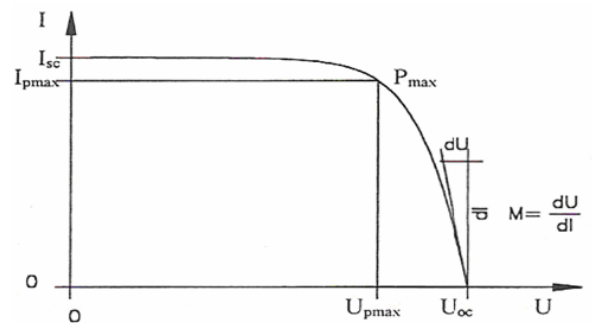


圖2 太陽電池特性曲線及重要參數說明。

其中， I_{sc} 為短路電流、 U_{oc} 為開路電壓、 P_{max} 處是所謂最大功率點(MPP)點，即在此負載條件下太陽電池的輸出功率最大。經由太陽電池特性曲線的量測我們可得到重要參數 I_{sc} 、 U_{oc} 、 U_{pmax} 、 I_{pmax} 。其他參數如 R_{pv} 、 U_T 、 I_0 和 I_{ph} 仍是未知，可由下列條件求得

$$\left. \frac{dU}{dI} \right|_{I=0} = M \quad U \Big|_{I=0} = U_{oc}$$



$$\left. \frac{dP}{dI} \right|_{I=I_{p\max}} = 0 \quad U \Big|_{I=I_{sc}} = 0$$

將特性參數組代入(1.1)~(1.4)可得

$$I_0 \left(e^{\frac{U_{p\max} + I_{p\max} R_{pv}}{U_T}} - 1 \right) - I_{ph} + I_{p\max} = 0 \quad (1.5)$$

$$I_0 \left(e^{\frac{I_{p\max} \left(\frac{U_T}{I_{ph} - I_{p\max} + I_0} \right) + 2R_{pv}}{U_T}} - 1 \right) - I_{ph} + I_{p\max} = 0 \quad (1.6)$$

$$I_0 \left(e^{\frac{U_{oc}}{U_T}} - 1 \right) - I_{ph} = 0 \quad (1.7)$$

$$I_0 \left(e^{\frac{I_{sc} R_{pv}}{U_T}} - 1 \right) + I_{sc} - I_{ph} = 0 \quad (1.8)$$

求解上列非線性方程式組可得太陽電池的其它參數 R_{PV} 、 U_T 、 I_0 、 I_{ph} 。

1.2 模組製作

1.2.1 封裝

本實驗所使用之模組為自行製作之模組，共串聯108片單晶矽太陽能晶片，開路電壓約為60V，短路電流約300mA。使用之封裝架構為Super Straight，上層覆蓋板為低鐵玻璃，基板為Tedlar/Mylar/Tedlar夾層，封止材則為EVA。將太陽能晶片上下各覆上一片EVA後，將之置於Tedlar基板及玻璃覆蓋板之間。然後使用真空熱壓機進行真空熱壓封裝，溫度參數如圖3所示。將真空熱壓機之Lower Chamber預熱至所需溫度後，將此模組置入，降下Upper Chamber並開始抽真空，待真空度穩定後再將溫度升至120°C並降低Upper Chamber之真空度使其能以一壓力差

施壓於模組上，以幫助排除氣泡，最後再將溫度升至140°C並保持40分鐘，以確保EVA能夠充分反應，再降至室溫即完成封裝製程[2]。

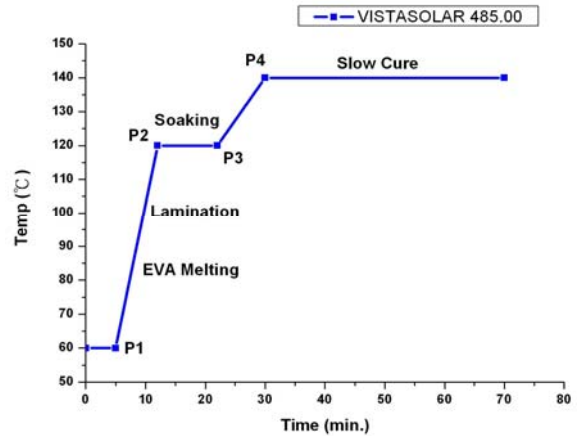


圖3 EVA封裝製程溫度參數

1.3 實驗步驟

1.3.1 現有太陽電池I-V曲線之量測技術

在本實驗室中，使用自製人工太陽光源，量測儀器則使用 KEITHLEY 公司的 2420 電錶(圖 4)：



圖 4 KEITHLEY 的 2420 數位電錶。

2420 數位電錶可以量測最高太陽電池電壓為 63V，最大電流為 3A，主要用來量測小片太陽能晶片或是微型 PV 模組，若是模組電壓過高或是電流過大，此儀器便無法量測。2420 數位電錶與 PC 端的溝通使用 GPIB 介面，而人機介面使用 LabView® [3,4]來架構，圖 5 為量測太陽能晶片所得到 I-V 曲線圖的例子，將電壓及電流的數值儲存之後，



便可以計算其功率值，並可找出最大功率點的電壓以及電流大小。

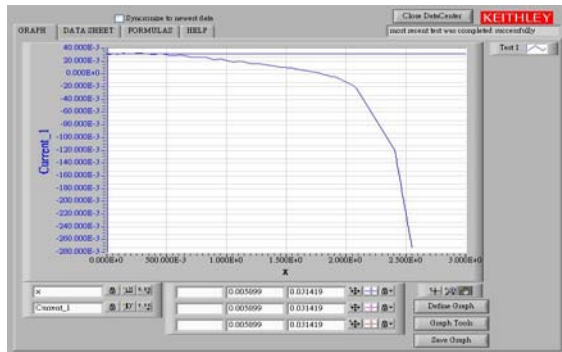


圖5 2420電錶之IV特性量測示意圖。

1.3.2 PV 模組之量測技術

一般標準 PV 模組峰值輸出功率 $P_{pk} = 80W_p$, $V_{oc}=21.5V$, $I_{sc}=3.5A$ 已超過一般 IV 量測儀器的工作範圍。本研究針對較大功率 PV 模組特性之量測，採用電子負載器作為太陽電池模組負載之模擬。

將太陽電池模組放置在電池待測端，再利用改變電子負載器之電壓，模擬不同負載的情形，如此一來便可以得到不同電壓之下，量測得到太陽電池模組電流的變化，將電壓電流的資料經由PC端儲存之後，便能夠繪製I-V曲線，測試系統架構如圖6所示

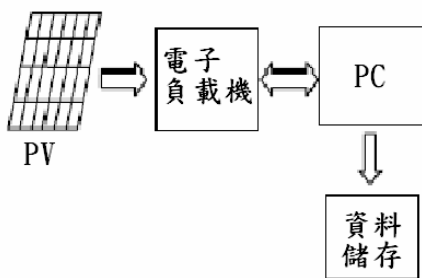


圖6 PV模組量測系統架構圖。

電子負載器與PC端的溝通使用 GPIB 介面，其中PC端的人機介面由 LabView® 程式所構成，除了可以擷取 PV 模組之電壓以及

電流變化情形，再導入功率計算公式以及計算出最大功率點之電壓及電流，便可用來評估太陽電池模組的效能。

由於電子負載器是大功率承載，也就是大電壓、大電流，所以量測的範圍較為廣泛，但量測速度較慢是其缺點；在自然光測量 I-V 曲線，應在 1 分鐘內完成，若要像 2420 電錶量測太陽能晶片特性以 100 個擷取點來量測所需時間約 2~3 分鐘，若減少擷取點數目，所得的特性曲線圖就無法像 2420 電錶量測的那麼平順；因此，我們在最大功率點電壓以上電壓範圍擷取較多的量測點，之後則取較少的量測點，以減少量測時間。上述方法的量測介面如圖 7 所示：

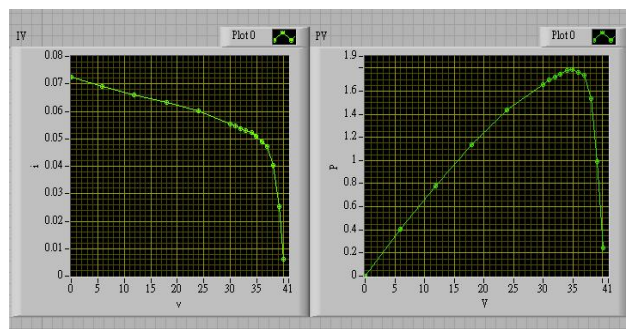


圖 7 以電子負載量測太陽電池模組的 LabView® 介面。

1.2.2 標準測試條件之換算

一般測試環境應符合標準測試條件 (Standard Test Condition : STC) 為：在 AM 1.5，太陽電池溫度為 25°C，日照量為 100mW/cm² 之情況。但在自然條件並不符合此一規定，因此比較時應換算成 STC 值。換算時，我們假設：

- 自然條件之光譜與 AM1.5 差異不大
- I_{sc} 及 I_{pmax} 分別與入射強度 E 成正比
- 晶片溫度與環境溫度成正比
- UT 與晶片溫度成正比



則利用(1-5)~(1-8)式所求得之 I-V 特性曲線，我們可計算得出 STC 下之 V_{oc0} ， I_{sc0} ， P_{max0} 值。

先以 Matlab®[5]計算並繪出太陽電池模組之 IV 曲線，參考圖 8，再由 LabView® 程式內建元件 Matlab Script 呼叫此子程式，最終圖示如圖 9 所示，呈現出實際量測點與 I-V 曲線。

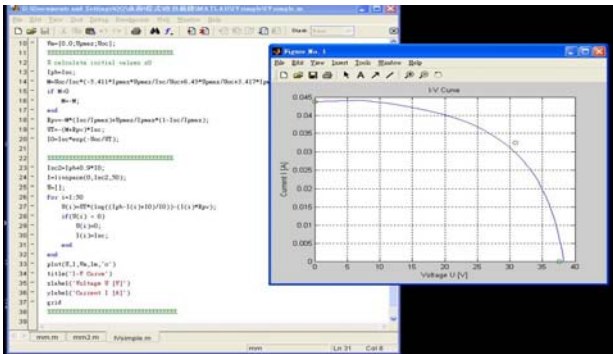


圖 8 利用 Matlab 求出太陽電池模組之 IV 特性曲線。

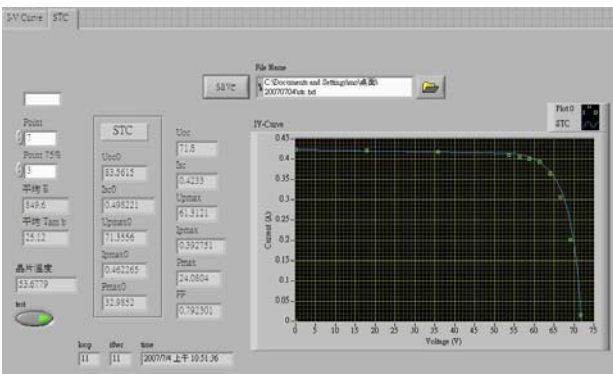


圖 9 LabView® 介面顯示量測值與太陽電池模組之 IV 曲線。

實驗結果

將自行製作之模組放置自然光下，可量測出實際晶片效率與 STC 下應有效率，如圖 10。圖 11 為本校太陽能車所採用太空級晶片之實際效率與 STC 下應有效率，材料為碲化

鎘。

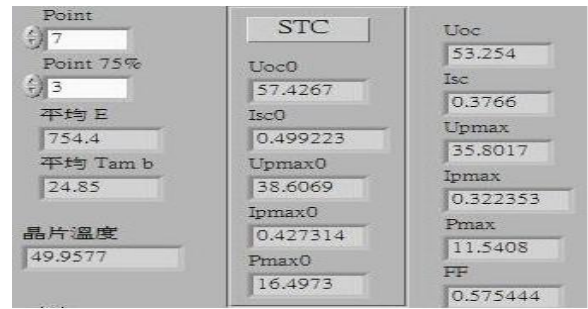


圖 10 自行製作單晶矽太陽能晶片量測數據

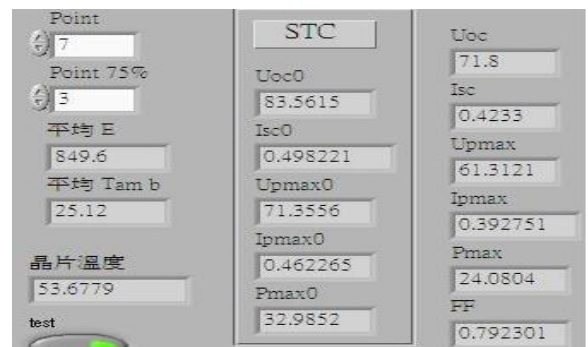


圖 11 碲化鎘太陽能晶片量測數據

遭遇困難與未來方向

本實驗在照度與溫度部份，採用日射儀與熱電偶器，經放大電路後，再由 DAQ 資料擷取卡，進入 LabView® 程式。但發現日射儀之精準度，不甚理想。

因此，未來希望能製作一顆參考太陽能晶片 (Reference Cell)，以便準確取得太陽光強度。

參考文獻

- [1] 莊善琛，太陽能工程-太陽電池篇，全華書局 (1997)。
- [2] 黃雄聖，黃文賢，劉宗志，張俊男，林克默，太陽光電模組檢測與封裝技術之探討，2005 能源與冷凍空調學術研討



- 會，台北科技大學 (2005)。
- [3] 惠汝生，自動量測系統-LabVIEW，全華書局 (2002)。
 - [4] 謝勝治，圖控式程式語言 LabVIEW(含自動量測資料擷取，全華書局 (2004)。
 - [5] 呂明和，黃逸群，MATLAB 6 在工程上的應用，高立書局 (2005)。