

# HOLTEK 太陽能電池板 MPPT 演算法應用

文件編號：AN0617TC

## 簡介

太陽能電池板輸出功率主要受到光照強度，溫、濕度等因素影響，因此其實際應用時輸出功率一直隨著環境變化而變化。MPPT 全稱太陽能最大功率點追蹤技術，用於追蹤太陽能電池板的最大功率輸出點，提高充電效率和最大化利用太陽能資源。

本文將詳細介紹 Holtek 太陽能電池板 MPPT 演算法庫的原理及使用說明，方便客戶開發 MPPT 式太陽能充電的相關產品。

## 工作原理

Holtek 太陽能電池板 MPPT 演算法庫採用 MPPT 演算法中的擾動觀察法作為基本原理，其追蹤準確率與電壓和電流的準確率在理論上無關，追蹤率可達到 99%以上。可應用於 MPPT 充電式的太陽能充電產品中。

太陽能電池板的輸出電壓和電流特性由製作工藝決定，其 I-V 特性曲線已由廠商決定，根據 I-V 特性曲線(圖 1a 和圖 2a)，我們可畫出對應的 P-V 特性曲線圖(圖 1b 和圖 2b)。在不同光照強度和溫度條件下，太陽能電池板的 I-V 和 P-V 特性曲線也隨著變化，具體就是最大功率點發生偏移。

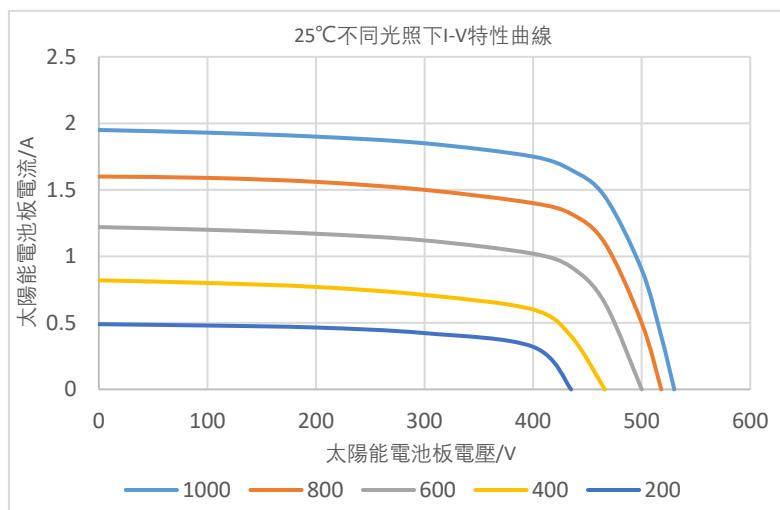


圖 1a. 不同光照強度下的 I-V 特性曲線

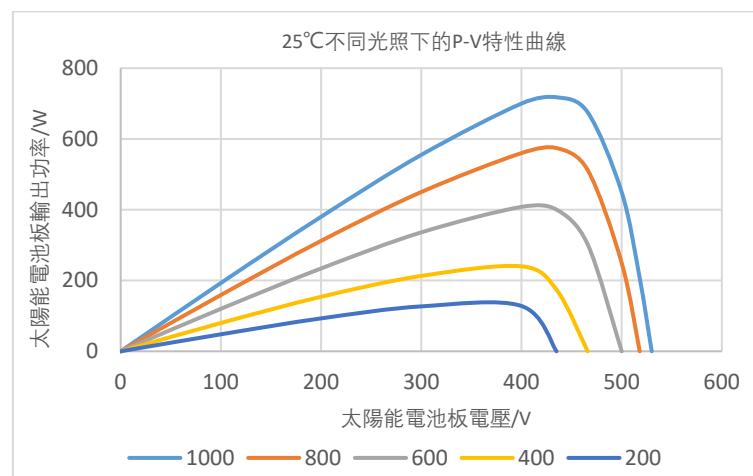


圖 1b. 不同光照強度下的 P-V 特性曲線

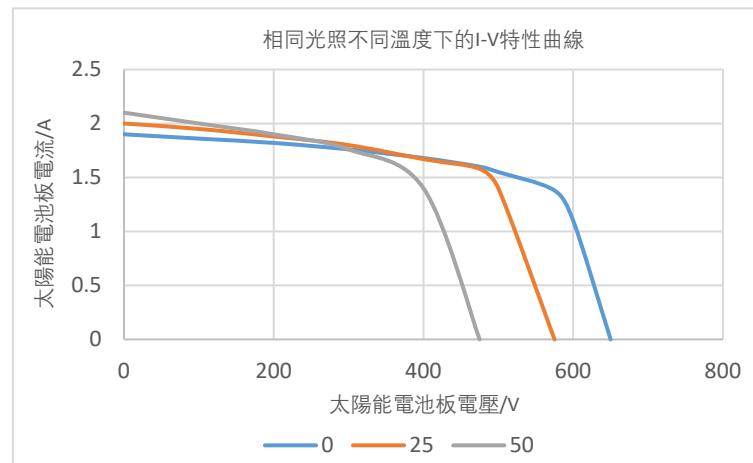


圖 2a. 不同溫度下的 I-V 特性曲線

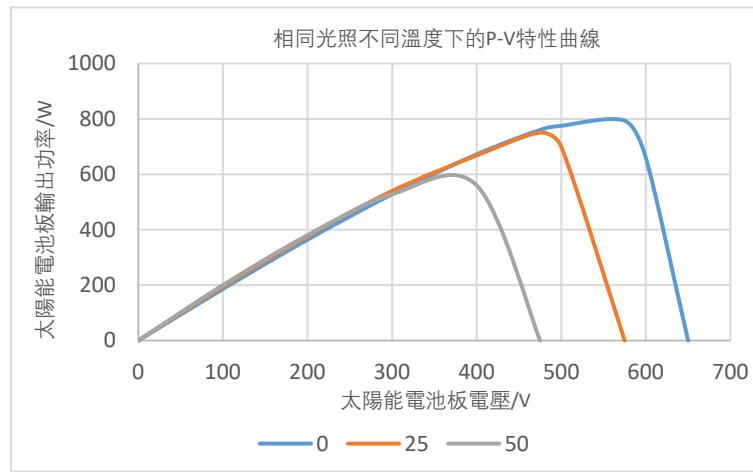


圖 2b. 不同溫度下的 P-V 特性曲線

圖 1 和 圖 2 顯示了不同輻照度對電池板電壓、電流和功率的影響。

通過特性曲線可知溫度主要改變電池板電壓工作點，而輻照度主要改變電池板工作電流。

觀察 P-V 特性曲線，我們可以看到最大功率點的位置，其有對應的電壓和電流值，最大功率追蹤就是使系統工作在最大功率點處，即找到最佳工作電壓。

### 擾動觀察法原理

P&O 法是最常討論和使用的 MPPT 演算法之一。該演算法在電池板工作電壓中引入了擾動。通過修改轉換器占空比來修改電池板電壓。此操作的實現方式對於一些轉換器拓撲很重要。

由 P-V 特性曲線可知，在最大功率點右側，降低輸出電壓可以提高功率，而在最大功率點左側，提高輸出電壓可以提高功率。這就是 P&O 法背後的主要思想。也就是說，提高電池板工作電壓後，演算法會將當前功率讀數與上一功率讀數進行比較。如果功率增加，則保持相同方向(提高電壓)，否則更改方向(降低電壓)。在每個 MPP 追蹤步長下均重複此過程，直到達到 MPP 為止。達到 MPP 後，演算法將在正確值附近自然振盪。

基本演算法使用固定步長來提高或降低電壓。步長決定了在 MPP 附近振盪時的偏差大小。使用小步長有助於減少振盪，但會降低追蹤速度，而使用大步長可加快達到 MPP 的速度，但會增加振盪時的功率損耗。要實現 P&O MPPT，應用需測量電池板電壓和電流。

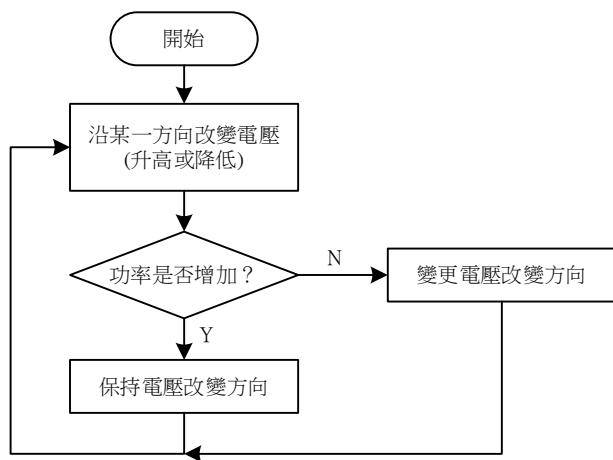


圖 3

### 程式庫說明

本程式庫主要處理太陽能電池板最大功率追蹤部分，提供 HT8 和 HT32 兩個版本，資源佔用以及其它規格如下面表格。

資源專案	HT8	HT32
ROM Size	671 Words	1416 Bytes
RAM Size	59 Bytes	56 Bytes
ADC 精度	12-bit	12-bit
電流值精度	8-bit	12-bit
電壓值精度	12-bit	12-bit

表 1

- 在 HT8 主控 MCU 選擇上，建議 RAM 的 BANK 0 區在 256 Byte 及以上，如若因 RAM 空間不足使得變數定義在 BANK1 區將加大 ROM 使用空間並影響程式運行速度；
- 若產品功能上需要增加顯示等 ROM 資源佔用較多的功能，建議 ROM Size 在 4KB 以上

### 檔案結構及說明

檔案名	說明
HT8_Solar_MPPT.obj	HT8-MPPT 程式庫
HT8_Solar_MPPT.h	HT8-MPPT 庫函數中變數及函式宣告
HT32_Solar_MPPT.obj	HT32-MPPT 程式庫
HT32_Solar_MPPT.h	HT32-MPPT 庫函數中變數及函式宣告

表 2

### 重要參數說明

HT8 版本庫程式的結構體 HT8\_v\_MPPT\_PNO 和 HT32 版本庫程式的結構體 HT32\_v\_MPPT\_PNO 內的參數說明如下：

狀態	全局變量	類型	說明	單位
R/W	MPPT_Duty_sum	CHAR	PWM Duty 總級數	-
R/W	MPPT_Duty_min	CHAR	PWM Duty 最小值	-
R/W	MPPT_Duty_max	CHAR	PWM Duty 最大值	-
R/W	Dutysize	CHAR	Duty 調節步長	-
R	Duty	CHAR	PWM Duty 值	-
R	BAT_I_max_Duty	CHAR	最大充電電流對應 Duty 值	-
R/W	MPPT_CHG_BATV_Max	INT	電池最大充電電壓	10mV
R/W	MPPT_CHG_BATV_MaxAdjust	INT	電池最大充電電壓調節值	10mV
R/W	MPPT_CHG_BATI_Min	CHAR	電池最小充電電流	10mA
R/W	MPPT_CHG_BATI_Max	INT	電池最大充電電流	10mA
R/W	MPPT_CHG_BATI_MaxAdjust	INT	電池最大充電電流調節值	10mA
R/W	MPPT_CHG_DeltaBat_Imin	CHAR	電池電流差值最小變化量	10mA
R/W	MPPT_PV_V_min	INT	太陽能板最小電壓	10mV
R/W	MPPT_PNO_Time	CHAR	擾動計時	呼叫週期
R/W	Mppt_process	CHAR	追蹤進程	-

表 3. HT8 參數說明

狀態	全局變量	類型	說明	單位
R/W	Duty_sum	SHORT	PWM Duty 總級數	-
R/W	Duty_min	SHORT	PWM Duty 最小值	-
R/W	Duty_max	SHORT	PWM Duty 最大值	-
R/W	Dutysize	CHAR	Duty 調節步長	-
R	Duty	SHORT	PWM Duty 值	-
R	Bat_max_I_duty	SHORT	最大充電電流對應 Duty 值	-
R/W	MPPT_CHG_CC_BATVMAX	SHORT	電池最大恆流充電電壓	10mV
R/W	MPPT_CHG_CV_BATVMAX	SHORT	電池最大恆壓充電電壓	10mV
R/W	MPPT_CHG_BATVMAXRipple	SHORT	電池最大充電電壓調節值	10mV
R/W	MPPT_CHG_BATIMIN	SHORT	電池最小充電電流	10mA
R/W	MPPT_CHG_BATIMAX	SHORT	電池最大充電電流	10mA
R/W	MPPT_CHG_BATIMAXRipple	SHORT	電池最大充電電流調節值	10mA
R/W	MPPT_CHG_DeltaBat_Imin	SHORT	電池電流差值最小變化量	10mA
R/W	MPPT_PV_V_min	SHORT	太陽能板最小電壓	10mV
R/W	Time_Debounce	SHORT	擾動計時	呼叫週期
R/W	Mppt_process	CHAR	追蹤進程	-

表 4. HT32 參數說明

以上參數需要使用者根據產品規格進行設定，需要注意的是部分參數設定值受限，各個參數的詳細說明請參見文件 HT8\_Solar\_MPPT.h 和 HT32\_Solar\_MPPT.h 。

如 Duty 總級數，Duty 級數與系統頻率  $f_h$  和拓撲開關頻率  $f$  的關係  $f_h = f \times \text{Duty}$ ，而開關頻率  $f$  由計時器產生，因而受到暫存器大小的制約。

### 其它變數說明

全域變數	類型	說明	單位
pv_I	unsigned int	太陽能板電流	10mA
pv_V	unsigned int	太陽能板電壓，MPPT 庫程式的輸入參數	10mV
Bat_I	unsigned int	電池電流，MPPT 庫程式的輸入參數	10mA
Bat_V	unsigned int	電池電壓，MPPT 庫程式的輸入參數	10mV

表 5

以上變數需要在 MPPT 庫程式外準備，並以 10 進制形式作為參數傳入 MPPT 庫函數。

### 副程式說明

MPPT 庫程式中，總共包含 2 個副程式，在電池充電流程中呼叫，以下是副程式說明，包括 HT8 和 HT32 版本。

函數名	void fun_HT8_mppt_chg_Config(void)
功能	MPPT 演算法初始化函數 (HT8 版本)
輸入	NULL
輸出	NULL
說明	在 MPPT 充電前需對 PWM Duty 範圍，調節步長，太陽能面板電壓，電池充電最大電壓&電流等參數進行配置；

表 6

函數名	Void Fun_MPPT_PNO_F_init (&gv_MPPT_PNO_LED)
功能	MPPT 演算法初始化函數 (HT32 版本)
輸入	NULL
輸出	NULL
說明	在 MPPT 充電前需對 PWM Duty 範圍，調節步長，太陽能面板電壓，電池充電最大電壓&電流等參數進行配置；

表 7

函數名	unsigned char Fun_MPPT_PNO_F_FUNC (u8 Chgmode)
功能	MPPT 演算法追蹤庫函數 (HT8 版本)
輸入	pv_V; //即時採集太陽能面板電壓 Bat_I; //即時採集電池電流 Bat_V; //即時採集電池電壓 Chgmode: 0x00 : disable 0x01 : enable
輸出	0x00 : error，關閉 PWM 充電或重新開啟追蹤充電 0x01 : 正常模式，Duty 可調節 0x80 : BAT I OCP or BAT V OVP，關閉 PWM 充電或重新開啟追蹤充電

表 8

函數名	unsigned char Fun_MPPT_PNO_F_FUNC(&gv_MPPT_PNO_LED,u8 Chgmode)
功能	MPPT 演算法追蹤庫函數 (HT32 版本)
輸入	pv_V; //即時採集太陽能面板電壓 Bat_I; //即時採集電池電流 Bat_V; //即時採集電池電壓 Chgmode: 0x00 : disable 0x01 : enable
輸出	0x00 : error，關閉 PWM 充電或重新開啟追蹤充電 0x01 : 正常模式，Duty 可調節 0x80 : BAT I OCP or BAT V OVP，關閉 PWM 充電或重新開啟追蹤充電

表 9

## 使用說明

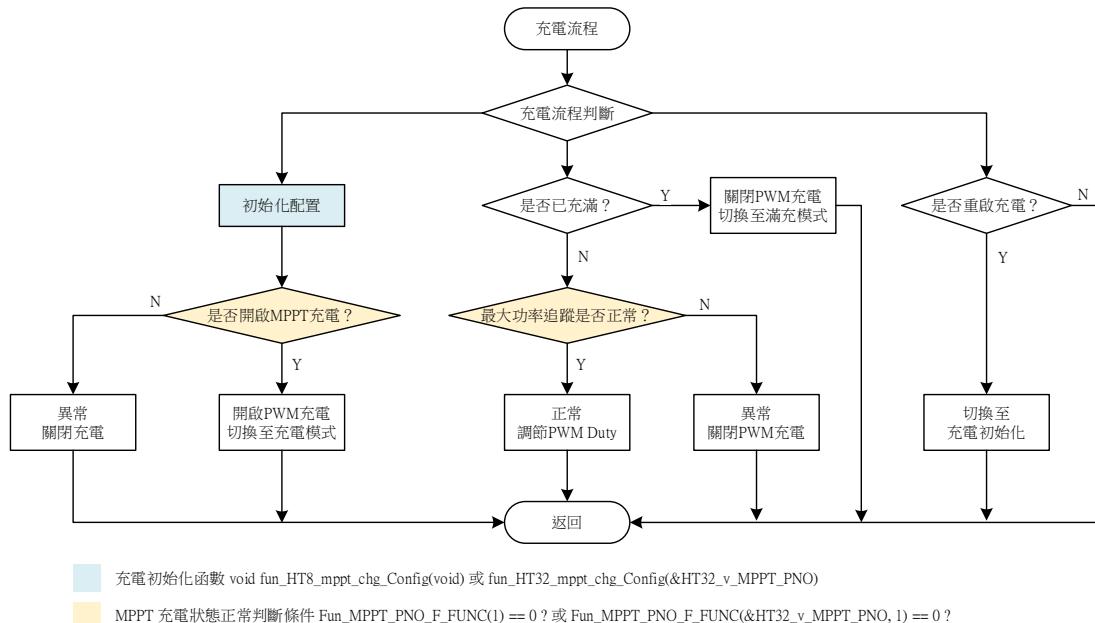


圖 4

1. MPPT 庫程式使用前需要完成基本的初始化設置，包括電池的規格，電池工作電壓電流範圍、太陽能板的工作電壓電流範圍和 MPPT 的其它相關設定，這是最重要的一環。
2. 即時採集電壓、電流及溫度資料，電壓和電流需轉換成十進制資料備用。
3. 電池充電狀態機週期呼叫 MPPT 庫函數。
4. MPPT 庫程式已包含電池 OCP 和 OVP 功能，太陽能板 UVP 功能，其餘保護需要在 MPPT 庫程式外實現。

## 應用範例

本節將結合 MPPT 太陽能路燈 Demo 板進行實際應用的範例介紹。

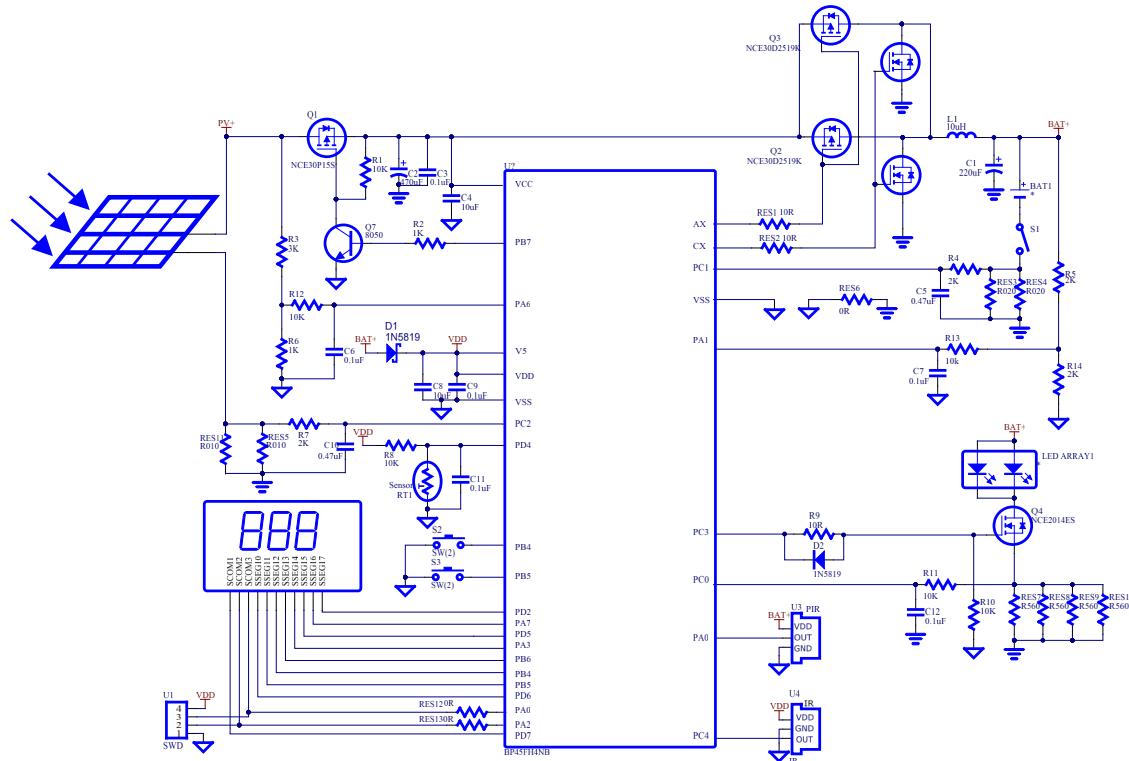


圖 5

MPPT 太陽能路燈 Demo 包含 DC-DC 降壓模組，電壓、電流和溫度採集模組，PIR 人體感應模組，數碼管顯示和按鍵等其它部分。



圖 6-A



圖 6-B

- Demo 主要規格

- 太陽能板：20W @ 6V/3.3A，開路電壓 7.2V，短路電流 4A。
- 電池：磷酸鐵鋰電池，3.2V @ 20Ah，工作電壓範圍 2.5V~3.6V。

- MPPT 庫程式參數設定

MPPT 庫程式參數需要根據太陽能板和電池的規格來設定。上述太陽能燈 Demo 主控為 HT8，故以 HT8 版本庫為例說明。

- 與太陽能板相關的參數只有 MPPT\_PV\_V\_min，因為使用到的電池是磷酸鐵鋰電池，考慮電池較低電壓時為 2.8V，可將 MPPT\_PV\_V\_min 設定為 300(參數單位為 10mV)，當太陽能板電壓低於 3V 時將退出 MPPT 充電流程。該參數的參考設定範圍是 280~360。
- 電池充電截止電壓約 3.65V，故 MPPT\_CHG\_BATV\_Max 可設定為 360(參數單位為 10mV)，MPPT\_CHG\_BATV\_MaxAdjust 可設定為 355(參數單位為 10mV)。
- 電池容量是 20Ah，若以 0.3C 計算最大電流即是 6A，MPPT\_CHG\_BATI\_Max 可設定為 600(參數單位為 10mA)，相應地 MPPT\_CHG\_BATI\_MaxAdjust 則可設定為 580。
- MPPT\_CHG\_DeltaBat\_Imin(參數單位為 10mA)是電池電流差值最小變化量，是判斷光伏板工作電壓方向的關鍵依據。該值不應小於 1-bit A/D 值對應的電流值，但也不能太大，否則 MPPT 追蹤效率下降。如太陽能板最大工作點電流是 3.3A，按 1% 計算則是 33mA，推算電池電流大概是 50~100mA，因而 MPPT\_CHG\_DeltaBat\_Imin 可在 5~10 範圍內。
- 該電池結構是單串 4 並聯，若以單串 50mA 計算最小電流，MPPT\_CHG\_BATI\_Min 可設定為 20(參數單位為 10mA)。
- MPPT\_Duty\_sum 將決定拓撲的開關頻率，其設定受到 MCU 暫存器大小限制。例如開關頻率  $f$  設定為 100K，則由  $MPPT_Duty\_sum=Fh/f$ ， $Fh=30M$ ， $MPPT_Duty\_sum=300$ ； $MPPT_Duty\_min$  和  $MPPT_Duty\_max$  即為 duty 的下限值和上限值，顯然在上訴條件下，下限不小於 0，上限不高於 300。
- Dutysize 是 duty 調節步長，太小導致 MPPT 追蹤速度慢，太大導致追蹤精度低和系統穩定性差。實際應用上，Dutysize 選擇 1~2 已適用。
- MPPT\_PNO\_Time 是 MPPT 摆動計時，即系統處於最大功率點持續時間超過該計時則開始改變 duty 值達到撆動目的。該值太小導致系統穩定性差，太大導致追蹤速度慢跟不上環境變化。該計時設定 5~10s 範圍是適宜的。

## 測試資料

電壓電流量測點及測試項目說明。

- 輸入電壓：PCB 板端光伏板正極點 PV+。
- 輸入電流：PCB 板端光伏板負極點 PV-處的採樣電阻。
- 輸出電壓：PCB 板端鋰電池正極點 BAT+。
- 輸出電流：PCB 板端鋰電池負極點 BAT-處的採樣電阻。
- 1~4 項目為短時測試，5~6 項目為長時間測試，使用 3.2V，20000mAh 磷酸鐵鋰電池，最大充電電流設定為 4A。

1) 充電功率與效率(模擬 20W@6V，3.33A 的光伏板，設定最大輸出功率為 10W)。

	輸入電壓 V	輸入電流 A	輸入功率 W	輸出電壓 V	輸出電流 A	輸出功率 W	充電效率%	能量利用率%
MPPT 充電	6.0	1.65	9.9	3.348	2.75	9.2	92.9	98.05

表 10

2) 充電功率與效率(模擬 20W@6V，3.33A 的光伏板，設定最大輸出功率為 20W)。

	輸入電壓 V	輸入電流 A	輸入功率 W	輸出電壓 V	輸出電流 A	輸出功率 W	充電效率%	能量利用率%
MPPT 充電	6.0	3.3	19.8	3.4	5	17	85.85	99

表 11

3) 充電功率與效率(模擬 10W@6V，1.66A 的光伏板，設定最大輸出功率為 5W)。

	輸入電壓 V	輸入電流 A	輸入功率 W	輸出電壓 V	輸出電流 A	輸出功率 W	充電效率%	能量利用率%
MPPT 充電	6	0.82	4.92	3.29	1.4	4.606	93.6	98.4

表 12

4) 充電功率與效率(模擬 10W@6V，1.66A 的光伏板，設定最大輸出功率為 10W)。

	輸入電壓 V	輸入電流 A	輸入功率 W	輸出電壓 V	輸出電流 A	輸出功率 W	充電效率%	能量利用率%
MPPT 充電	6	1.647	9.882	3.345	2.75	9.198	93.08	98.82

表 13

5) 以設定最大 4A 電池電流充電，電池由 2.9V-充滿充電曲線。

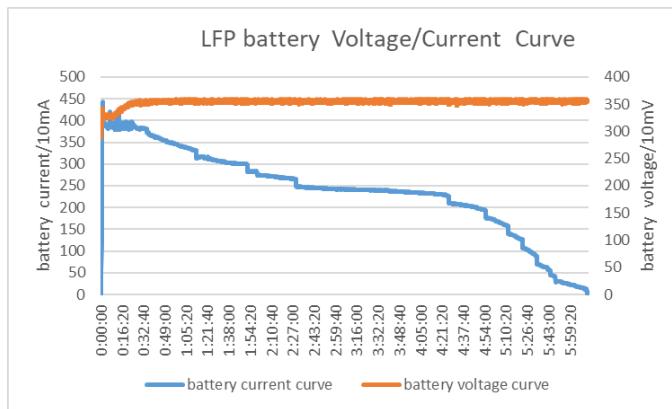


圖 7

6) 以最大 10W 輸入功率充電，電池由 2.9V-充滿充電曲線。

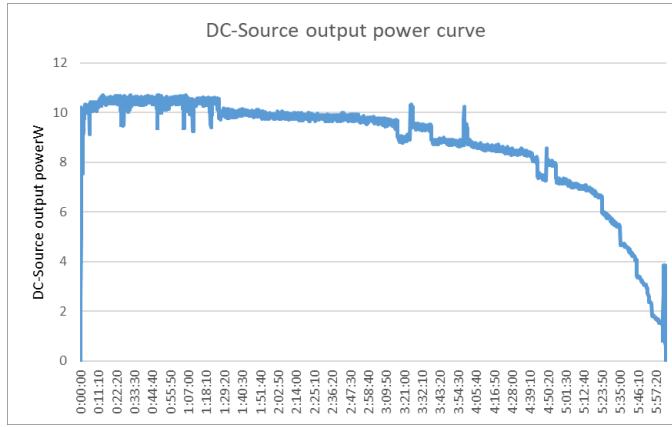
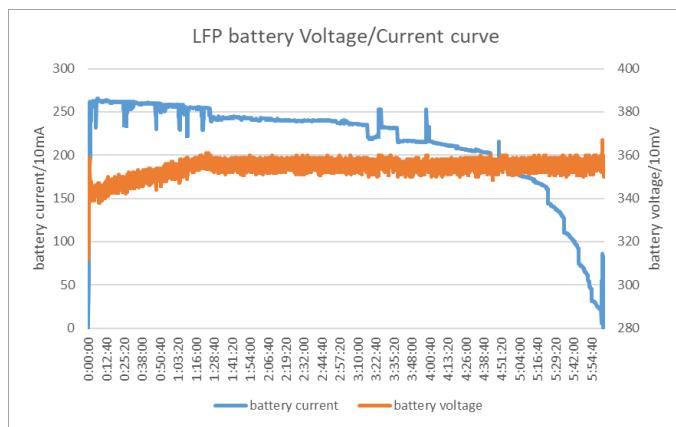


圖 8

**圖 9**

## 結論

本文以 MPPT 演算法程式庫以擾動觀察法為原理，通過監視充電過程中的電池電壓和電流來判斷太陽能電池板輸出功率的變化方向及追蹤其最大值，提高電池的充電效率並充分利用太陽能電池板的輸出功率，發揮出更優的性能。使用者可以根據實際應用的需要修改程式庫的參數，靈活應用在多種規格的產品上，縮短開發時間。由於不同產品需求有所差異，需請客戶針對產品功能進行詳細驗證與校調，以達到程式庫最佳效果。

## 參考資料

參考文件 BP45FH4NB Datasheet。

如需進一步了解，敬請瀏覽 Holtek 官方網站 [www.holtek.com.tw](http://www.holtek.com.tw)。

## 版本及修訂說明

日期	作者	發行	修訂說明
2022.05.05	譚林祥	V1.00	第一版

## 免責聲明

本網頁所載的所有資料、商標、圖片、連結及其他資料等 (以下簡稱「資料」)，只供參考之用，盛群半導體股份有限公司及其關聯企業 (以下簡稱「本公司」) 將會隨時更改資料，並由本公司決定而不作另行通知。雖然本公司已盡力確保本網頁的資料準確性，但本公司並不保證該等資料均為準確無誤。本公司不會對任何錯誤或遺漏承擔責任。

本公司不會對任何人士使用本網頁而引致任何損害 (包括但不限於電腦病毒、系統故障、資料損失) 承擔任何賠償。本網頁可能會連結至其他機構所提供的網頁，但這些網頁並不是由本公司所控制。本公司不對這些網頁所顯示的內容作出任何保證或承擔任何責任。

### 責任限制

在任何情況下，本公司並不須就任何人由於直接或間接進入或使用本網站，並就此內容上或任何產品、資訊或服務，而招致的任何損失或損害負任何責任。

### 管轄法律

本免責聲明受中華民國法律約束，並接受中華民國法院的管轄。

### 免責聲明更新

本公司保留隨時更新本免責聲明的權利，任何更改於本網站發佈時，立即生效。