

## 太陽能 LED 誘蟲燈系統之研製

# Design and Implementation of an Insect Trapping System with Solar Energy Fed LED

童嘉儀

梁從主

郭子瑄

Chia-Yi Tung

Tsrong-Jun Liang

Tzu-Shuan Kuo

國立成功大學電機工程系

台灣 台南市

Department of Electrical Engineering

National Cheng Kung University

Tainan City, Taiwan, R.O.C.

tjliang@mail.ncku.edu.tw

### 摘要

本文旨在研製一個太陽能 LED 誘蟲燈系統，此系統包含太陽能電池、LED、雙向充放電電路與蓄電池。本系統利用昆蟲對特定色光的正趨性吸引害蟲接近，進而達到捕捉及誘殺之效果。LED 具有低耗電、壽命長、反應快及體積小等優點，因此採用 LED 作為太陽能 LED 誘蟲燈系統的發光源，本系統採用升降壓型雙向充放電轉換器(Buck-boost converter)結合 LED 驅動電路，且此轉換器具有最大功率追蹤充電控制、定電壓充電控制及定電流 LED 驅動控制等功能，此外本系統以數位訊號處理器(TMS320LF2407A)來實現系統之數位控制，最後研製一組數位式太陽能 LED 誘蟲燈系統，以驗證本論文之理論及可行性。

關鍵詞：太陽能、LED 誘蟲燈、最大功率追蹤

### Abstract

The thesis presents the design and implementation of an insect trapping system with solar energy fed LED. The proposed system consists of a photovoltaic module, an LED lighting module, a bidirectional buck-boost converter, and a battery. Some insects are attracted by particular wavelengths and colors, so identifying the particular wavelengths and colors of insects' preference can reveal the critical factors for developing traps. The features of the LED include low power consumption, long-lasting life, fast response, and compact, so it is used for the light source of an insect trapping system with solar energy fed LED. The bidirectional buck-boost converter integrates a

charger/discharger and a driver circuit of LED lighting-module, which can fulfill maximum power point tracking charging control, constant voltage charging control, and LED drive control. In addition, a digital signal processor (TMS320LF2407A) is used to control the system. In the end, experimental results are provided to verify the theoretical analysis and design procedure of an insect trapping system with solar energy fed LED.

Keywords: Solar energy, LED insect light traps, MPPT.

### 一、前言[1]-[5]

台灣地處於亞熱帶，氣候高溫多濕，適合植物與昆蟲生長繁殖，因此台灣作物病蟲害非常嚴重，其中夜蛾類對蔬果作物的影響甚劇，因此防止害蟲啃蝕為有機耕作一主要課題。昆蟲在面對環境因素(如光、熱、引力、化學物質等)的刺激時所產生的反應運動稱為趨性，而誘引防治是根據昆蟲的趨性所設計。

現今運用較廣的趨性包括嗅覺與視覺，嗅覺趨性的研究，主要針對費洛蒙以及食物引誘物質的技術開發，主要應用在蟲害監測、直接防治及性別誘引上，現今已開發的產品包括各類害蟲之性費洛蒙與害蟲偏好的揮發性食物引誘劑。害蟲視覺的趨性是利用害蟲對特定顏色或光波長所具有的正、負趨性，會改變害蟲的活動行為，利用害蟲對特定波長的光具有正趨性，結合黏膠、誘集盒、水盤等資材達到防治的目的。在自然情況下，多數昆蟲對顏色表現出偏好是一種波長專一行為，意即對特定波長的趨光性。因此，我們可利用昆蟲對光波長

的趨性作為農業上防治害蟲的依據。

本文研製一太陽能 LED 誘蟲燈系統，系統在白天利用太陽能電池將光能轉換成電能，並將其電能儲存於磷酸鋰鐵電池中，於光線不足時系統自動點亮 LED，產生 400 nm 波長的紫光，該光線對夜蛾類與鞘翅類害蟲具有較強的正趨光性，可引誘害蟲撲向光源，並藉由配置陷阱來捕捉害蟲，達到害蟲防治的目的，此系統可廣泛應用於有機農業、林業、蔬菜、茶葉、煙草及果園等。

本文首先探討農作物害蟲誘引技術之發展與應用、太陽能電池之特性及最大功率追蹤控制法、接著介紹磷酸鋰鐵電池的特性及各類充電法、發光二極體特性及驅動電路。本系統具備最大功率追蹤充電控制、定電壓充電控制、LED 定電流驅動控制等功能。文中將介紹系統整體架構及說明系統控制與動作流程，且經由實驗結果來驗證此系統之效能。

## 二、系統電路架構與動作原理

### I. 系統架構[18]

本文研製之太陽能 LED 誘蟲燈系統，白天時將太陽能電池所產生的電能儲存於磷酸鋰鐵電池中，夜晚時再將存於蓄電池中的能量用於 LED 誘蟲燈以吸引害蟲落入陷阱。系統架構圖如圖 1 所示，系統包含升降壓型雙向轉換器、數位訊號處理器、LED、12 V/30 Ah 的磷酸鋰鐵電池以及 85 W 的太陽能電池。本文採用內含類比/數位轉換器的 DSP 晶片 TMS320LF2407A 作為控制器，數位控制器具有可程式化、體積小、重量輕、功能多樣化、提供較大的使用彈性及可實現更趨複雜的控制理論，滿足使用者多樣化的需求之優點，利用數位控制器，可輕易實現類比 IC 難達成之非線性控制或邏輯條件判斷。

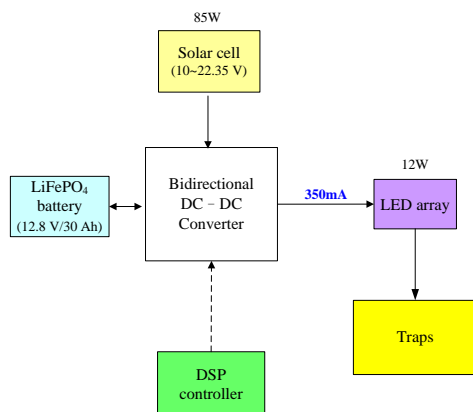


圖 1 太陽能 LED 誘蟲燈系統架構圖

### II. 主電路架構

圖 2 為主電路的架構圖，本電路為一將升降壓型轉換器及升壓型轉換器(Boost converter)結合而成的雙向充放電電路。在日照充足時，系統汲取太陽能板轉換的能量儲存於磷酸鋰鐵電池，日落後利用儲存於電池內部的能量點亮 LED 誘蟲燈。本系統以德州儀器所生產的 DSP 晶片 TMS320LF2407A 作為控制器，根據光敏電阻訊號大小判斷環境亮度，決定系統處於充電模式或放電模式。於充電模式時，控制器偵測電池的充電電壓( $V_{Bat}$ )及充電電流( $I_{Bat}$ )來完成系統的最大功率追蹤充電控制及定電壓充電控制；於放電模式時，系統偵測輸出端電阻上的電壓( $R_{sense}$ )，控制輸出至 LED 陣列的電流( $I_{LED}$ )。以下為充放電兩種工作模式的說明：

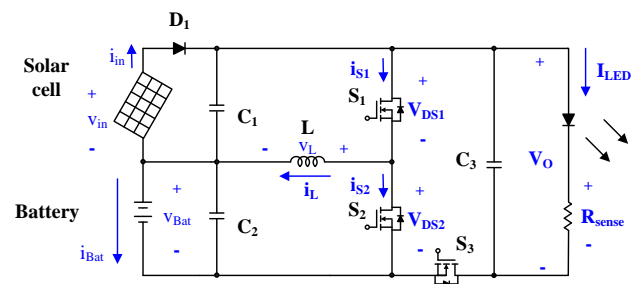


圖 2 主電路架構圖

#### A. 充電模式：

系統操作於充電模式時，等效於升降壓型轉換器，如圖 3 所示，充電模式所對應之主要波形如圖 4 所示，共可分為二個工作區間。

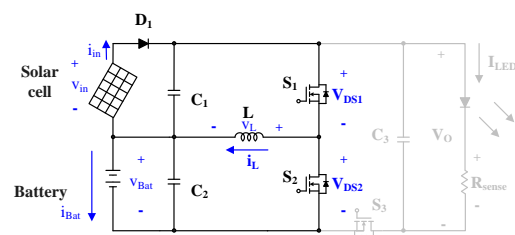


圖 3 充電模式等效電路圖

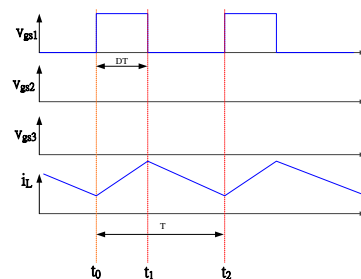


圖 4 充電模式主要波形圖

#### 工作模式 I：[ $t_0 \sim t_1$ ]

當  $t = t_0$  時，開關  $S_1$  導通，開關  $S_2$  與  $S_3$  截止，圖 5

所示為工作模式 I 之電流路徑圖，當電路操作在此模式時，太陽能電池產生的能量對電感 L 儲能。

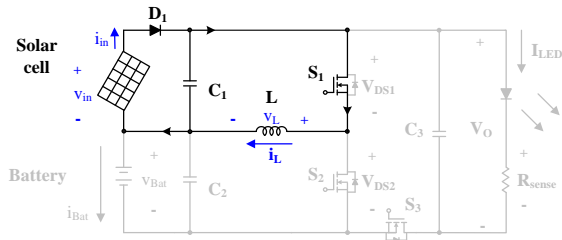


圖 5 工作模式 I 之電流路徑圖

### 工作模式 II：[t1~t2]

當  $t = t_1$  時，開關  $S_1$ 、 $S_2$  與  $S_3$  均截止，二極體  $D_{S2}$  導通，圖 6 所示為工作模式 II 之電流路徑圖，當電路操作在此模式時，儲存在電感 L 的能量經由二極體  $D_{S2}$  對蓄電池儲能。

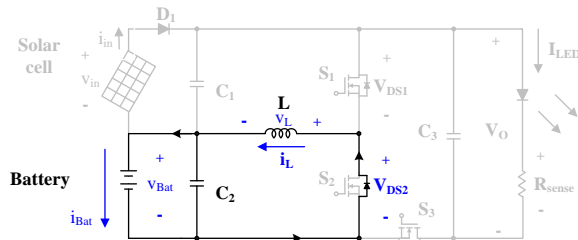


圖 6 工作模式 II 之電流路徑圖

### B. 放電模式

系統操作於放電模式時，等效於升壓型轉換器，如圖 7 所示，放電模式所對應之主要波形如圖 8 所示，共可分為二個工作區間。

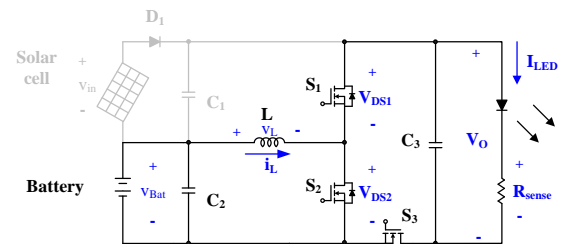


圖 7 放電模式等效電路圖

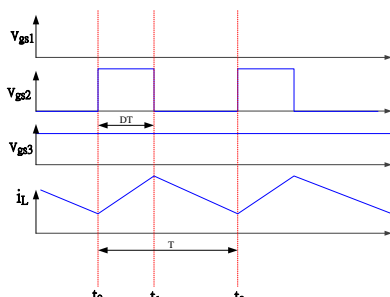


圖 8 放電模式主要波形圖

### 工作模式 I：[t0~t1]

當  $t = t_0$  時，開關  $S_2$  與  $S_3$  導通，開關  $S_1$  截止，圖 9 所示為工作模式 I 之電流路徑圖，當電路操作在此模式時，蓄電池儲存的電能對電感 L 儲能。

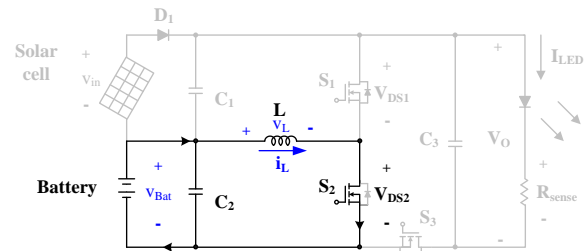


圖 9 工作模式 I 之電流路徑圖

### 工作模式 II：[t1~t2]

當  $t = t_1$  時，開關  $S_3$  導通，開關  $S_2$  截止，二極體  $D_{S1}$  導通，圖 10 所示為工作模式 II 之電流路徑圖，當電路操作在此模式時，儲存在蓄電池及電感 L 的能量經由二極體  $D_{S1}$  及開關  $S_3$  對 LED 發光模組釋能。

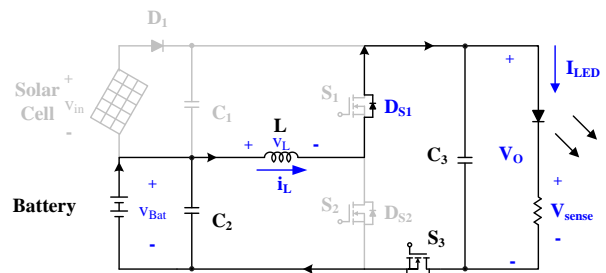


圖 10 工作模式 II 之電流路徑圖

## 三、系統軟體規畫[19]-[20]

### I. 系統流程

本系統以 TI 的 DSP 晶片 TMS320LF2407A 作為控制器，本控制器利用光敏電阻的訊號切換系統充放電模式，光敏電阻器的電阻值會隨著照射光的強度而有劇烈變化，通常在有光照 ( $>10 \text{ lux}$ ) 時，電阻值為幾  $\text{k}\Omega$  到幾百  $\text{k}\Omega$ ；但是在沒有光照時，電阻值將上升為幾  $\text{M}\Omega$  到幾十  $\text{M}\Omega$ ，為了避免瞬時的光影變化，如落葉、雲彩等陰影遮蔽所造成的量測誤差，本系統偵測到環境亮度變化時，先延遲 10 分鐘，當環境為恆亮或恆暗時，才進行模式的切換，以避免光敏電阻因一時的遮蔽造成模式切換判斷錯誤。系統於充電模式時，採用最大追蹤充電控制及定電壓充電控制，並使用延時取樣法及 PD 控制以確保系統的穩定性，圖 11 為系統流程圖。

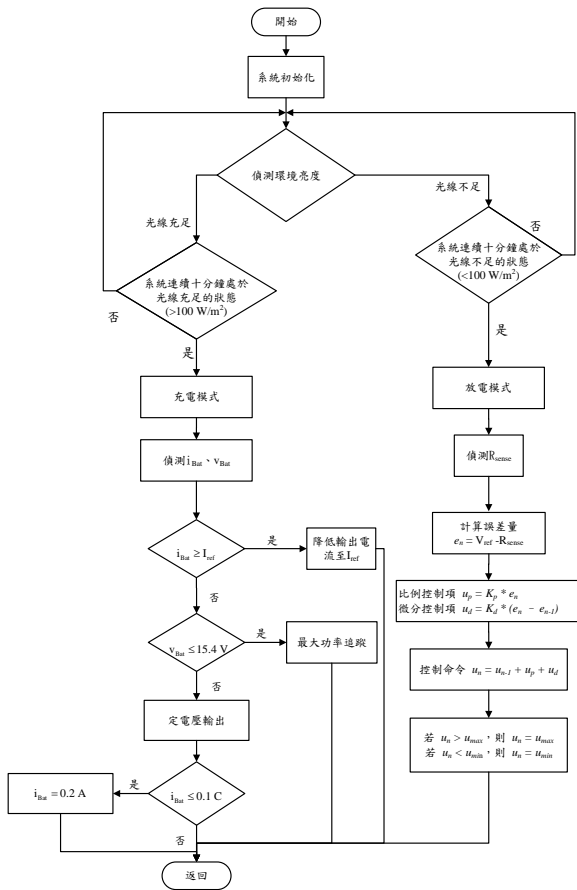


圖 11 系統流程圖

## II. 充電副程式[10]-[13]

本系統採用 12.8 V/30 Ah 的電池，依規格書內容，最大充電電流可達 1 C，而充電臨界電壓值則為 15.4 V。因此充電副程式同時偵測充電電流及充電電壓，分別以  $I_{ref}$  的充電電流以及 15.4 V 的電池電壓為界，將充電流程分為三個狀態，如下所述：

1. 當輸入功率過大，使充電電流超過轉換器的最大充電電流  $I_{ref} = 7 A$  時，控制器就必須降低太陽能板的輸出功率，將充電電流降至電池容許最大值以下，避免因充電電流過大，而造成主電路損傷。
2. 若充電電流未超過最大充電電流，且電池電壓小於 15.4 V 時，則表示電池尚未充飽，且充電電流還可再往上提升。此時控制器將操作模式採用最大功率追蹤演算法，以求能完全利用太陽能，並增加轉換器輸出功率，增加充電速度。
3. 當電池電壓達到 15.4 V 時，則表示電池已充飽，此時控制器將電壓維持在 15.4 V 並將充電電流降低，採涓流充電的方式維持電池電壓。若此時充電電流降至 0.1 C 以下，則判斷電池完全充飽，並將充電電流降至 0.2 A，以維持 DSP 運作。

## III. 延時取樣

由於開關切換時會造成電壓電流突波，若 ADC 的取樣時間與開關切換時間同步，則會取到電壓電流突波的數值而使取樣值偏差，造成系統以錯誤的數值計算。因此，本系統採用延時取樣方式，將取樣時間延後 5  $\mu s$ ，以避開突波，取得更準確的取樣數據。

## IV. 穩壓程式架構

本系統穩壓程式採用 PD 控制器控制 PWM 責任週期的變化量。由於本系統於充電模式時視為一升降壓型轉換器，於放電模式時視為一升壓型轉換器，責任週期變動時輸出電壓的變動量都較降壓轉換器 (Buck) 大許多。所以本系統利用 D 控制器偵測系統輸出電壓的變化量，並藉此預測系統反應，預防 P 控制器過量變化，使系統能更迅速的達到穩態。

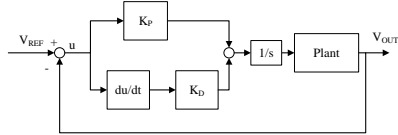


圖 12 PD 控制方塊圖

## V. 最大功率追蹤控制法程式架構[6]-[9]

本文的最大功率追蹤法採用擾動觀察法，藉由改變轉換器開關的責任週期以追隨到最大功率點輸出，程式流程圖如圖 13，電壓電流訊號透過 ADC 取樣至 DSP 中計算，並在每個開關周期變換 PWM 訊號的輸出，若 PWM 責任週期增加時，功率較上個周期增加，則 PWM 責任週期繼續增加；若功率減少，則減少 PWM 責任週期，反之亦然。

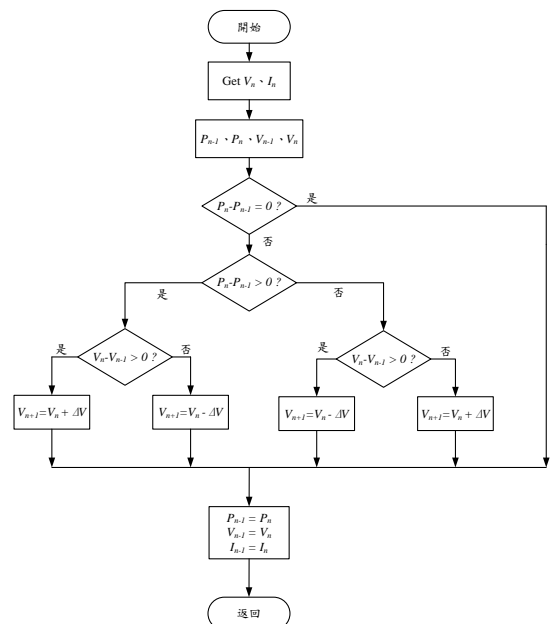


圖 13 擾動觀察法流程圖



#### 四、實驗結果與討論

##### I. 最大功率追蹤之驗證

要追蹤太陽能光電池的最大功率點，首先必須了解太陽能光電池在固定日照強度下的特性曲線，但在正常的環境中，很難得到穩定的日照強度和不變的溫度。因此本實驗製作了一個模擬光源提供太陽能電池使用，本實驗使用鹵素燈做為模擬光源，並利用風扇和空調來降溫，使溫度在短時間內不快速增加(約318K)，接著量測實驗數據。最後得到四組不同日照強度下(照度=120W/m<sup>2</sup>、照度=200W/m<sup>2</sup>、照度=340W/m<sup>2</sup>、照度=450W/m<sup>2</sup>)之太陽能電池I-V曲線，並繪製了P-V曲線如圖14(a)、14(b)、14(c)、14(d)所示。

接著量測在日照強度120 W/m<sup>2</sup>、200W/m<sup>2</sup>、40W/m<sup>2</sup>、450W/m<sup>2</sup>狀況下，控制器所追蹤到太陽能電池之電壓、電流(測試30次)，所追蹤到的最大功率點再和圖14(a)~(d)做比較，並繪製成圖15，從實驗結果可知本系統確實能正確地追蹤到太陽能光電板之最大功率點。

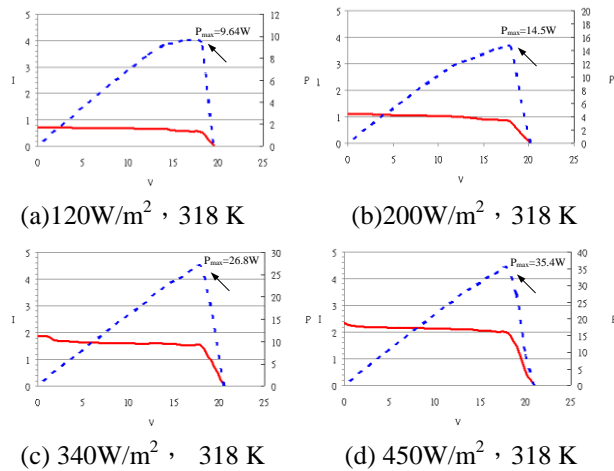


圖14(a)~(d)實測太陽能電池電流-電壓、功率-電壓特性曲線圖

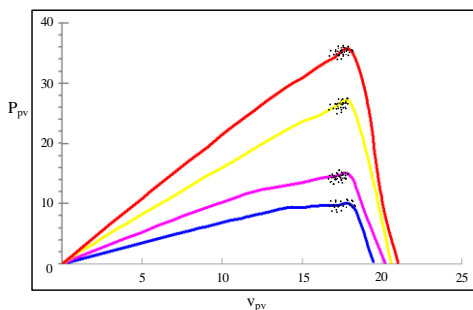
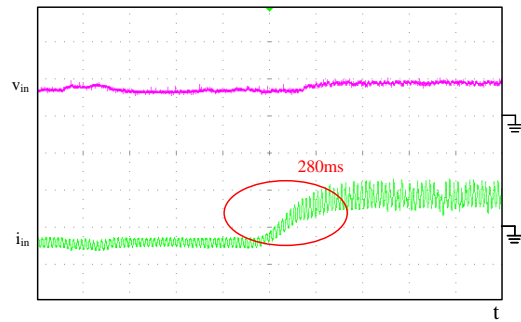


圖15實測太陽能電池功率-電壓特性曲線圖與最大功率追蹤實驗結果

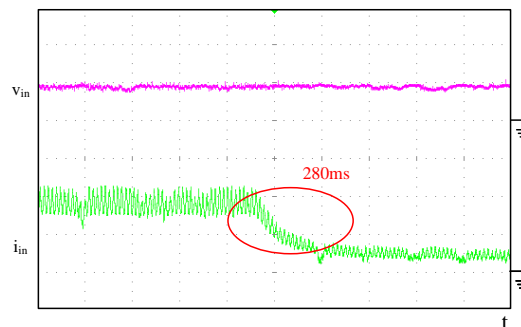
圖16與17為快速切換照度120 W/m<sup>2</sup>與照度340 W/m<sup>2</sup>下，控制器所追蹤到太陽能光電池的電壓及電流值

變化波形，其追蹤時間約為280ms，由此可知系統確實能迅速地追蹤到太陽能光電板之最大功率點。



( $v_{in}$ : 20 V/div ;  $i_{in}$ : 1 A/div ;  $t$ : 200 ms/div)

圖 16 照度由120 W/m<sup>2</sup>變化到340 W/m<sup>2</sup>之太陽能電池輸出電壓、電流波形圖

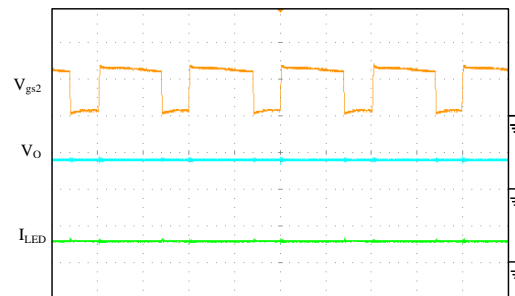


( $v_{in}$ : 20V/div ;  $i_{in}$ : 1A/div ;  $t$ : 200ms/div)

圖 17 照度由340 W/m<sup>2</sup>變化到120 W/m<sup>2</sup>之太陽能電池輸出電壓、電流波形圖

##### II. LED發光模組驅動[14]-[17]

本文以定電流方式驅動LED，圖18為輸入電壓為12.8 V，功率開關切換頻率 $f_s$ 為50 kHz，以定電流350 mA驅動LED的開關切換週期、LED發光模組的驅動電壓 $V_{LED}$ 與驅動電流 $I_{LED}$ 的波形圖。由實驗結果可知本系統在此測試條件下，轉換器的效率達到93%。圖4.19為戶外實際測試一個晚上的實驗成果，由實驗結果可知本系統確實能誘捕具趨光性的害蟲。



( $V_{gs2}$ : 10V/div ;  $V_O$ : 50V/div ;  $I_{LED}$ : 500mA/div ;  $t$ : 10 $\mu$ s/div)

圖 18 放電模式開關切換週期、 $V_O$ 、 $I_{LED}$ 的波形圖



圖4.19 戶外測試成果

### 五、結論

本文研製一個太陽能LED誘蟲燈系統，利用升降壓型雙向轉換器作為磷酸鋰鐵電池之充/放電器及發光二極體之驅動電路，並輔以數位控制晶片結合太陽能電池最大功率追蹤控制、磷酸鋰鐵電池的充放電控制、LED定電流驅動控制等功能。太陽能電池使用擾動觀察法追蹤最大功率點，經實驗測試後發現此系統的確能迅速並正確地追蹤到太陽能電池的最大功率點，在LED的驅動控制方法上，本論文採用定電流驅動法做為LED的驅動控制法則，可確保LED發光穩定度。此外本系統可根據光敏電阻之訊號大小判斷環境亮度，並決定系統處於充電模式或放電模式，而系統配置之磷酸鋰鐵電池在完全充滿的情況下，可提供系統連續工作30小時所需的電能。而在實務製作上，本文所採用之數位訊號處理器為德州儀器公司之DSP數位控制晶片TMS320LF2407A，用以節省外接類比/數位控制器的成本，同時可達到簡化電路的目的。

### 六、誌謝

本文承經濟部能源科技研究發展計畫 98 年度經費補助 (98-D0204-6)，及國立成功大學 LED 照明科技中心協助元件特性量測，特此申謝。

### 參考文獻

- [1] 王文哲、林大淵、白桂芳、陳榮五，「農作物害蟲誘引技術之發展與應用」，有機農業產業發展研討會專輯特刊96號，第31-38頁，民國98年。
- [2] 林孟穎，「微小害蟲顏色偏好之行為測試與開發應用」，國立臺灣大學生物資源暨農學院昆蟲學研究所碩士論文，民國98年。

- [3] A. Kelber, "Ovipositing butterflies use a red receptor to see green," *J. Exp. Biol.*, vol. 202, pp. 2619-2630, 1999.
- [4] A. Kelber, M. Vorobyev, and D. Osorio, "Animal colour vision - behavioural tests and physiological concepts," *Biol. Rev.*, vol. 78, pp. 81-118, 2003.
- [5] 楊恩誠、洪于善，「色誘昆蟲的理論基礎及應用」，跨世紀台灣昆蟲學研究之進展研討會，第69-77頁，民國90年。
- [6] 楊素華、蔡泰成，「太陽光能發電元件-太陽能電池」，科學發展，第390期，第51-55頁，民國94年。
- [7] 張品全，「太陽電池」，科學發展，第349期，第23-29頁，民國91年。
- [8] 吳財福、張建軒、陳裕愷，「太陽能供電與照明系統綜論」，全華出版社，民國89年。
- [9] 陳文璋，「應用於太陽能電池之多輸出轉換器研製」，成功大學電機工程研究所碩士論文，民國96年。
- [10] M. Thackeray, "Lithium-ion batteries: An unexpected conductor," *Nature materials*, vol. 1, pp. 81-82, Oct. 2002.
- [11] J. M. Tarascon and M. Armand, "Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries," *Nature materials*, vol. 414, pp. 359-367, Nov. 2001.
- [12] 林元凱，「探討有機添加劑對磷酸陰極材料之性能研究」，國立中山大學化學研究所，民國九十五年。
- [13] P. M. Hunter and A. H. Anbuky, "VRLA battery

virtual reference electrode: battery float charge analysis,” *IEEE Trans. on Energy Conversion*, vol. 23, no. 3, pp. 879-886, Sep. 2008.

- [14] J. Y. Tsao, “Light emitting diodes(LEDs) for general illumination,” *Optoelectronics Industry Development Association*, Oct. 2002.
- [15] C. Kittel, *Introduction to solid state physics*, John Wiley & Sons, Inc., 2004.
- [16] 林螢光,「光電子學-原理、元件與應用」,全華科技圖書股份有限公司,民國八十八年。
- [17] 史光國,「半導體發光二極體及固態照明」,全華科技圖書股份有限公司,民國九十四年。
- [18] 古必廣,「數位式高性能太陽能路燈系統之研製」,國立雲林科技大學電機工程系碩士論文,民國九十五年。
- [19] 林容益,「TMS320F240X組合語言及C語言多功能控制應用」,全華科技圖書股份有限公司,中華民國94年。
- [20] 龔應時、陳建武、徐永松,「TMS320F/C24x DSP 控制器原理與應用」,滄海書局,民國92年。