

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

網路遠端監控分散式太陽能光電發電系統之研製

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2213-E-212-030-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：大葉大學電機工程學系

計畫主持人：鍾翼能

計畫參與人員：共同主持人：大葉大學電機工程學系曾國境講師 協同主持人：成功大學電機工程學系孫育義教授

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 2 月 3 日

網路遠端監控分散式太陽能光電發電系統之研製

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 91 - 2213 - E - 212 - 030 -

執行期間： 九十一年八月一日至九十二年七月三十一日

計畫主持人：鍾翼能

共同主持人：曾國境

計畫參與人員：孫育義

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：大葉大學

中 華 民 國 年 月 日

網路遠端監控分散式太陽能光電發電系統之研製

計劃編號：NSC 91 - 2213 - E - 212 - 030 -

執行期限：九十一年八月一日至九十二年七月三十一日

主持人：鍾翼能

執行機關：大葉大學

共同主持人：曾國境

執行機關：大葉大學

協同主持人：孫育義

執行機關：成功大學

摘要

本計劃為太陽能充放電控制器之研製，以單晶片控制充放電控制系統，將太陽能板所產生的直流電力，儲備於蓄電池中以供負載輸出。由於太陽能電池板的輸出會隨著太陽照度與周圍溫度而變化，使用鉛酸電池來儲存太陽能電力時，必須依照電池的特性設計充放電電路，並對電池狀態設定：過溫、過充、低電壓、過電流等檢測感應，並由單晶片來管理充放電動作，並以 Pulse Width Modulation(PWM)的控制方式執行三階段充電的程序

一、前言

太陽能由於具有不污染環境、生態，又取之不竭、用之不盡。因此，太陽能作為替代能源已越來越受重視。目前，太陽能發電系統，漸漸被各式各樣場合使用普遍，高山、平地、離島等。由於台灣地區地小人稠土地取得困難，而分散型發電系統可同時避免土地徵收與公害問題，因此可行性較高，對於台灣地區每到夏季就頻頻限電之尖峰負載供電，實在可以做到積少成多之成效，對於供電系統可靠度也會有相當大的助益。在節約能源及尋求實用化替代能源中，太陽能電力的應用是最理想的方式之一；台灣地區尤其是中南部，日照充足，可更有效的利用太陽能電力，如路燈照明、警示標誌或夜間輔助電力等，均能發揮太陽能之功能。一般的直流充放電控制設計，有使用可程式邏輯控制器 Programmable Logic Controller(PLC)執行充放電處理、電壓電流檢測及計時電路切換等動作；雖然利用 PLC 來規劃控制程序較為簡便且快速，但因 PLC 的操作平

台體積龐大頗佔空間，無法裝設在小型機具裝置內，目前市面上性能較佳的 PLC 多數以進口為主，製造成本較難以掌握。同時，為使控制器能符合各種元件規格之要求，電路必將複雜且成本也會提高。近年來因半導體製造技術的提昇，所以單晶片做控制處理已不再是高成本的設計，不僅可提升效能，簡化電路，更使系統體積減小、重量輕，且易於維護與擴充等優點。

二、研究目的

太陽能電力是一種再生能源 (Renewable Energy) 又稱綠色能源 (Green Energy)，其優點在於將潔淨無污染的太陽光源轉換成可用的電力，且轉換過程簡單、環保、維護容易、系統使用年限長(可達 20 年)，但因其所提供之電力會因日照條件的差異造成輸出電力的不穩定，且光電轉換效率不高，所以欲善用太陽光電能就必須用儲能設備來儲存電力，再將電力轉換應用在實際的負載上。而儲能設備電池也就成為能量轉換的重要角色，不過電池特性卻又是儲蓄能源的另一個問題，不當的電池使用會嚴重影響電池特性，降低轉換效能，減損使用壽命。所以，適當的考量電池應有的充放電程序，方能達到電池的最佳使用率。

三、研究方法

蓄電池的主要功能就是儲備電力，而電池的使用壽命在於電池正負電極兩端間電位差的維繫值；當電池電壓過高時，必須將多餘的電力排除(放電)，若電池電力不足時，為避免影響電池特性，則應立即補充電力(充電)。所以，如何讓電池保持

在一個適當的儲存電壓值，即是充放電電路的主要工作。以鉛酸電池而言，在使用上必須注意其工作溫度、儲能狀態、充放電處理條件及浮充電壓值(Float Charge Voltage)等。操作環境溫度的高低與電池因過分充電或使用過度所引起的溫度變化，對電池的壽命有絕對的影響。大部份的充電器在初步充電時採用定電流及定電壓充電方式，以期電池能快速的達到滿充狀態(Full Charge State)，但因持續長時間以大電流對電池充電，會容易導致電池內部的電解液迅速起泡產生氣化現象，電池溫度亦隨之急劇上升，也加速電池的腐蝕情況，進而損害電池特性縮短使用壽命。同時在使用中的電池，亦不允許處於低電平狀態，否則會引起硫酸鉛的累積，使電池容量降低而減少壽命。常用的充放電方式有：

1. 定電流定電壓(CC、CV)充電法。
2. 脈波充電法。
3. Reflex 充電法

定電流定電壓(Constant Current, Constant Voltage)充電法，在充電初期先以大電流對電池充電，此階段必須保持充電電流的穩定，故稱為定電流充電；當電池電壓漸漸上升至滿充點後，電池電壓便不再上升，並保持在此滿充電壓點，這時候電池實際上並未達滿充飽和狀態，所以必須持續充電，而充電電流將會隨充電時間的增加逐漸遞減，直到滿充截止，此階段即為定電壓充電，所以又稱為二階段式充電法。如圖 1 之時序所示， T_1 為定電流充電時段， T_2 以後則為定電壓充電時段。另一種方式則在電池經過一段時間定電壓的滿充後，再以一更低的電流對電池繼續浮充充電(Float Charge)，以維持電池電力的飽滿狀態，此稱為三階段充電法。圖 2 為三階段充電法的時序圖， T_1 是定電流充電時段， T_2 開始定電壓滿充， T_3 則進入浮充階段。

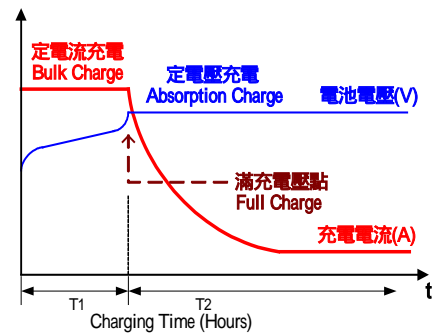


圖 1、定電流定電壓充電法之時序

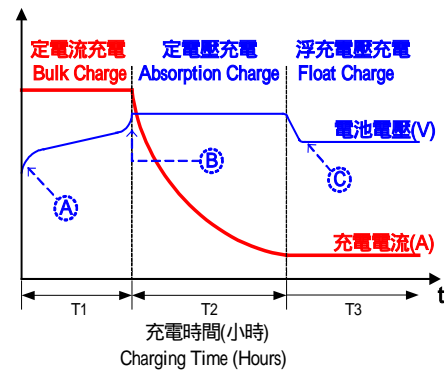


圖 2、三階段充電法之時序圖

脈波充電法則是將充電電流以週期性的脈衝方式對電池充電，也就是脈波寬度調變 PWM(Pulse Width Modulation)，固定之充電電流及改變工作週期時間(duty cycle)方式，或固定工作之週期及改變充電電流大小之方式，來執行間歇性充電。其充電時序如圖 3 所示， T 為工作週期， t_{on} 為充電時間， t_{off} 則停止充電時間。停止充電的過程，旨在讓電池內部的電解液於電化學反應上獲得中和緩衝時間，進而延長電池使用壽命，因此脈波充電法在充電時，可採用較大的脈衝電流以節省充電時間。

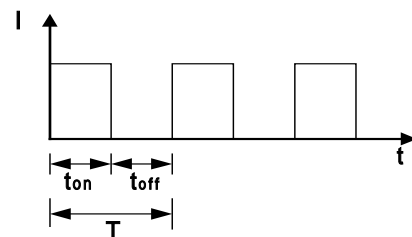


圖 3、脈波充電法之電流時序

Reflex 充電法為脈波充電法之改良方式，其特點即在充電脈衝之後，緊接著產生一個放電脈衝，此放電動作不僅可減緩電池內部的電化學反應，亦可防止電池的過充，避免電解液的氣化，電池壽命得以延長。Reflex 之充電時序如圖 4， t_1 為充電時間， t_2 為放電時間， t_3 為休息時間

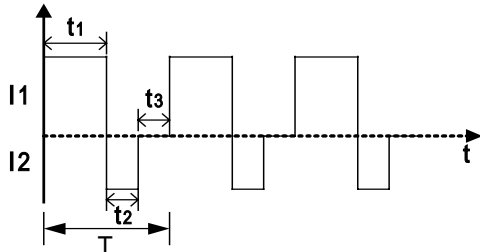


圖 4、Reflex 充電法之電流時序

圖 5、圖 6、圖 7 分別為三種充電法的電路架構。

本文之設計則是綜合三階段式及 PWM 的充電方法，充電初期(第一階段)以較大電流(接近滿週期)對電池充電，讓電池到達滿充點後改用 PWM 脈衝電流(第二階段)，變更充電週期的寬度，適度降低充電電流，並計時設定預計的時間長度使電池達到滿充狀態；在進入第三階段後，則改用更低的電流來做浮充，以維持電池電力的飽和狀態。雖然控制器的電力均來自電池，但 MCU 是 CMOS 型的低耗電元件，檢測電路的 OP Amp 也僅消耗十幾個 mA 電流。

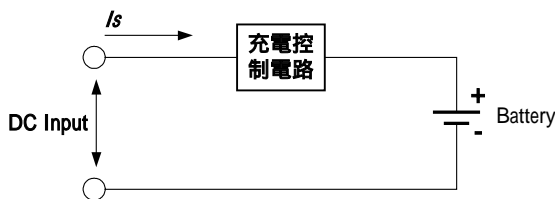


圖 5、定電壓定電流充電電路

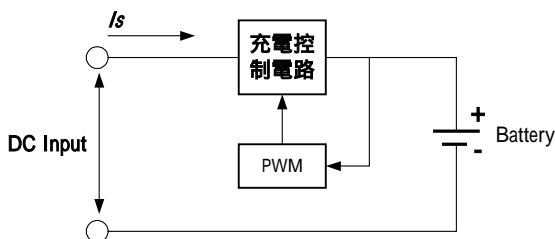


圖 6、脈波寬度調變充電電路

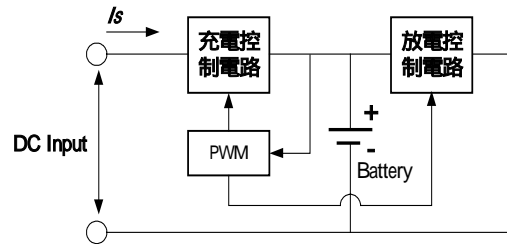


圖 7、Reflex 充電電路

四、研究成果

本計畫所完成的軟硬體製作及測試、分析，詳述如下：

(1) 太陽能光電板電力狀態檢測

為有效利用太陽能電力，在太陽能 PV 值達到可用的預定電位時，便依蓄電池狀態執行充電程序；而在 PV 值低落於設定範圍後，可開啟電力輸出開關，以提供電力至負載。

本系統是採用德國西門子的 M46 單晶太陽能光電板，其規格為：

- 最大功率：46W
- 額定電流：3.15A
- 額定電壓：14.6V
- 短路電流：3.35A
- 開路電壓：18V

(2) 電池過充監視檢測

本設計採用美國 Power Battery Company, Inc. PRC-1290X 電池，其規格為：

- 最大充電電壓：2.37V.p.c. (14.22V)
- 滿充電壓：2.16V (12.96V)
- 終值電壓：1.75V.p.c. (10.5V)
- 浮充電壓：2.25~2.27V.p.c. (23~56mA)
- 13.50V~13.62V

圖 8 為電池的開路電壓與殘餘能量曲線，圖中顯示電池電壓低於 12.4V 時就必須要充電，而滿充電壓是 12.96V，所以可用來充電的 PV 值要選擇在此範圍內。在電池電壓達到滿充點 12.96V 時，便是進入第二階段的定電壓充電時序，MCU 會改用脈衝充電電流，利用計時器繼續對電池充電，讓電池達到滿充狀態。

(3) 電池低電壓監視檢測

電池在供負載消耗電力後，電池的蓄存電力降低，必須儘速充電以補充電量，

尤其電池電壓是不允許處於偏低狀態，否則會損及儲電效能。從圖 8 曲線中可看出，電池在 11.88V 時的電力能量已低至無法使用的地步，為防止電池電壓過低時會對電極板造成永久性的損害，將低電壓偵測準位定在高低兩點間的平均值 1/2 處 (12.40V)，以保證電池運作在額定的電壓使用範圍內。當 OP 檢知低電壓狀態時，會將再充電的要求送出，MCU 立即中斷負載輸出，並準備回到第一階段的定電流充電

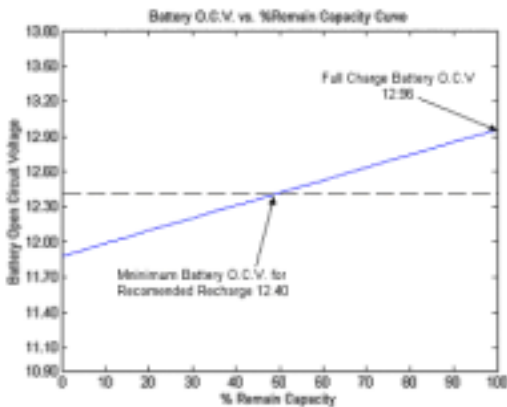


圖 8、PRC-1290X 電池開路電壓與殘餘能量曲線

(4) 過電流保護

在負載輸出狀態下，為避免因負載消耗過大之電流或因不正常之輸出短路而危及電路安全，從輸出迴路中，設計電流迴授檢測電路，隨時監控輸出狀態，當異常狀態時，MCU 立即關閉輸出開關，以維護電路的正常運作。

(5) 負載輸出

輸出端是利用功率 MOSFET 來當控制開關，輸出電流設在 2A。由於採用 MCU 檢測電流過載狀態，及用外部中斷觸發來啟動安全保護動作。

(6) 控制分析與設計

1. 主控制流程

在主控流程中，首先是檢查電池的蓄電狀態，若電池電力不足時，則做充電處理，以提供足夠的直流電壓輸出，並維持電池電力的穩定；同時為使太陽能應用於最佳效能，所以程式要持續觀察 PV 值，且

利用脈波寬度調變方式(PWM)，依電池充電情況適時調整脈波寬度週期，將電力儲存於電池中，達到太陽能電力的有效利用。

控制模式的選擇上，可依實際之需求而變更動作程序。自動模式：就是以太陽能光源的觀察(如日昇、日落)，作為啟動負載開關的參考，以路燈控制之應用即為例子。計時模式：則再加上計時器(Timer)裝置，作為啟動負載開關的附帶條件。圖 9 即為主控制流程圖。

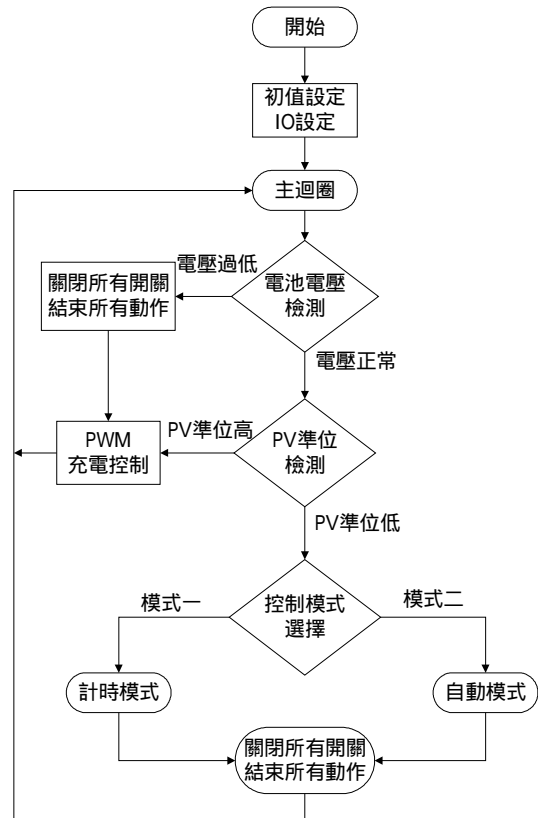


圖 9、主控制流程圖

2. 電池充放電流程

圖 2 的時序裡，A 點即為開始充電的要求，也就是電池電壓已低於圖 8 中 12.40V 的再充電值，必須先以較大的電流充電，所以 MCU 啟動充電電路讓太陽能板上的電流直接對電池充電，形成第一階段的定電流充電的 T_1 時間。在進入 B 點後，即達到滿充的初步的條件，MCU 改用脈波寬度調變方式，減短脈衝電流所通過的時間，並設定 Timer 為 4 小時的計時 (T_2)，繼續對電池充電以達到電池飽和狀態。由於電流採用脈衝方式，能間歇性的讓電池有暫停充電的時段，可避免滿充時的過電流持續充電所

造成的問題。進入 T_3 的第三階段時，MCU 再次將脈波寬度減短，以提供足夠但微弱的充電電流，持續的對電池浮充充電。

圖 10 是三階段充電流程圖，在充電過程中，仍會先檢測 PV level 的高位點，以確認 PV 有足夠的電壓電流以供充電。

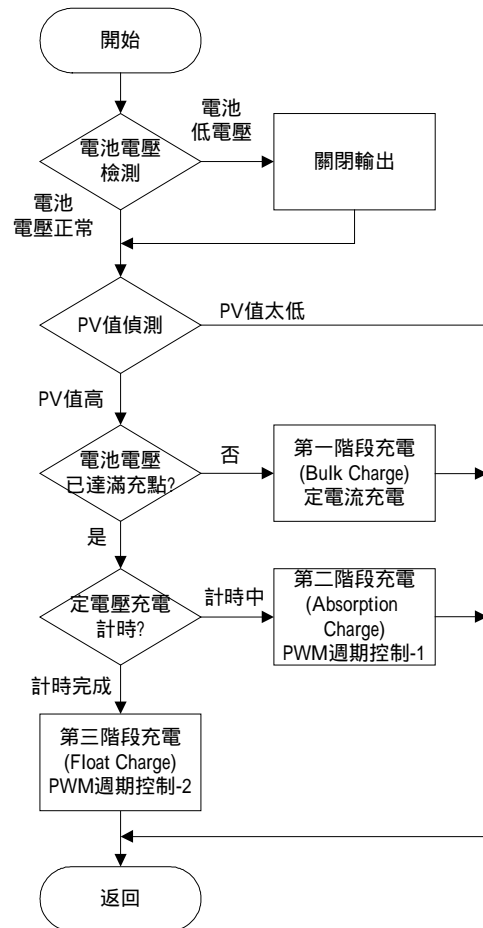


圖 10、三階段充電流程圖

(7) 實驗結果

實驗中以 60Hz 為週期，於第一階段使用較長的充電脈波時間執行充電，在第二階段則縮短為約 50% duty，到第三階段則改用更短的脈波時間浮充。圖 11、圖 12 和圖 13 分別為三個階段的充電脈波時序圖。CH2 為電池電壓，CH1 為 MOSFET 的輸入脈波。

在遇到電池電壓過低時，必須關閉負載輸出開關，圖 14 即為輸出負載 MOSFET 的控制波形。當電池電壓(CH2)低於 12.4V 時，MCU 送出關閉輸出 MOSFET 的控制訊號(CH1)。

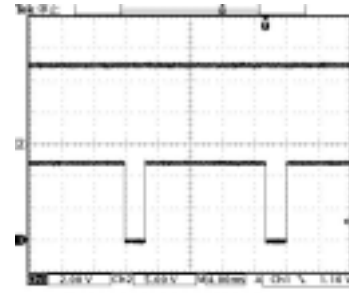


圖 11、第一階段充電脈波波形

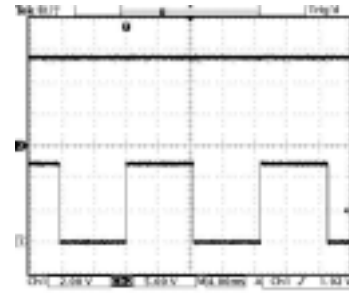


圖 12、第二階段充電脈波波形

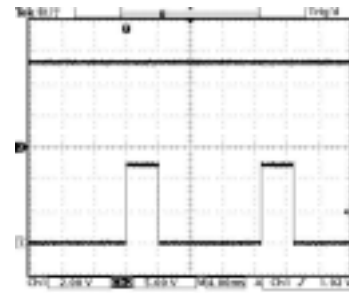


圖 13、第三階段充電脈波波形

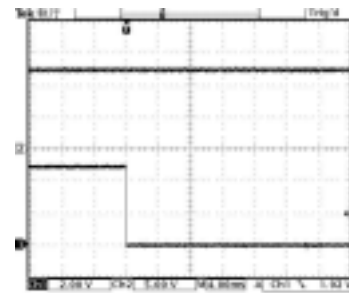


圖 14、輸出負載 MOSFET 之控制波形

參考文獻

- [1] C.C. Chang, G.K. Horng, C.L. Chen "Design and Implementation of Solar Energy Conversion System", 中華民國第二十一屆電力工程研討會。
- [2] Chin-Chiang Hua, Meng-Yu Lin "Study of Fast Charging Characteristics of Battery for Electric Vehicle and Implementation of Charging Monitoring System", 中華民國第二十一屆電力工程研討會。
- [3] 鍾翼能、曾國境、孫育義。“三階段式充電系統之研製”，中華民國第十九屆電力工程研討會，Nov, 1998。

- [4] Intel® “Microcontroller Handbook”, 1984
- [5] Millman, Halkias “Electronic fundamentals and applications for Engineers and Scientists”, 1976。
- [6] 梁適安, “ 交換式電源供給器之理論與實務設計 ”, 全華圖書有限公司, 1994
- [7] <http://www.microchip.com/1010/pline/picmicro/index.htm>
- [8] Power Battery Company, Inc. Service Manual。
- [9]<http://www.batterytender.com/catalog>
- [/chargingbasics.html](#)
- [10] <http://www.amerace-mplp.com/faq.asp>
- [11] http://www.cdtechno.com/cd/library/manual/f6741/Charging_Battery.htm
- [12] <http://www.accuoerlikon.com/html/accud06.htm>
- [13] David F.Stout/Milton Kaufman, Editor “Handbook of Operational Amplifier Circuit Design”, McGraw-Hill,

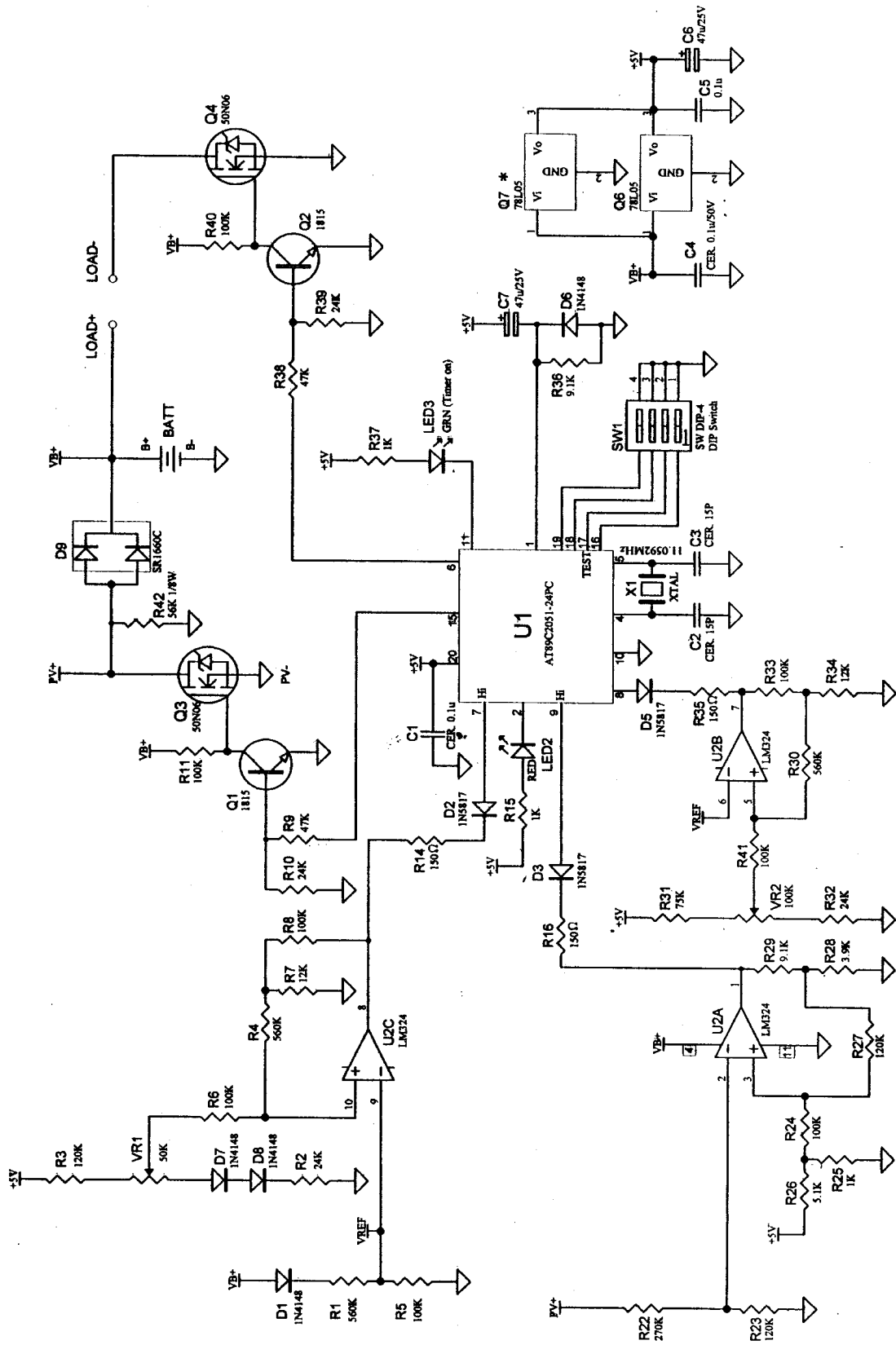


圖 A 充放電控制器電路圖

附件二

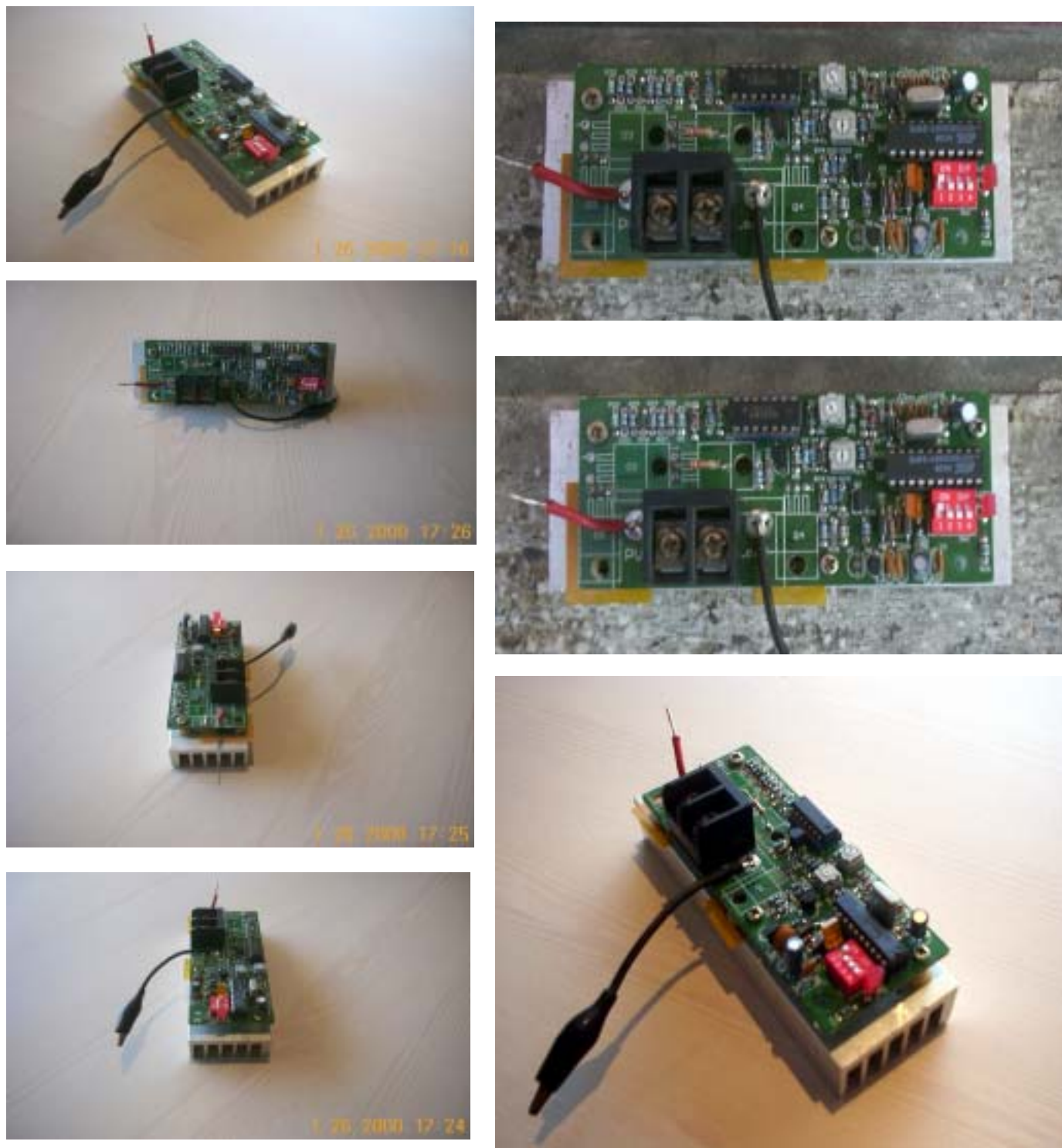


圖 B 充放電控制器系統實體