

太陽能電動車之研製

趙貴祥 王孟輝 陳家祥

國立勤益技術學院電機工程科

摘要

本文主要在研究將太陽能以高效率方式引入蓄電池儲存系統，並結合電動車形成一小型太陽能電動車驅動系統。首先根據車體之結構，自行組立一包括懸吊系統、剎車系統、轉向裝置、差速器及直流馬達之車體，並架設車架，用以置放太陽能板。並且以單象限截波器驅動直流馬達帶動車體達控速之目的，進而組成一小型電動車。在太陽能驅動控制電路架構方面，研究中先設計一降壓型電源轉換器，將太陽能轉存至蓄電池，再經由蓄電池供電至直流馬達用以驅動電動車。接著提出太陽能最大功率追蹤控制器，使得電動車在行進中以高效率方式將太陽能轉移至蓄電池及直流馬達。根據所提之方法，實際製作電路，並以一些實測結果，顯示所研製之太陽能供電電動車系統之性能。

關鍵詞：太陽能、截波器、降壓型電源轉換器、最大功率追蹤控制器。

一、簡介

近年來，隨著工業科技的快速發展，各類工廠如雨後春筍般林立，進而帶動了運輸工業之大量成長，所以車輛成長率大幅上升。因此，汽車所排放之廢氣成比例的增加，因而造成了日益嚴重之環境污染[1]。迫使世界各國開始注重環保問題，針對車輛紛紛擬定了各種空氣污染防治計畫。其中，更包括訂定電動車中長期發展計畫。電動車之推廣除可降低空氣汙染外，其能源來源方式亦較之內燃機車輛多元化，而且若以能源的使用效率來看，根據工研院的研究[2]，電動車的能源使用效率(在定速下)為18.1%，較內燃車輛的能源使用效率約12.8%為佳。電動車除具有上述之優點外，若其採用電力電子技術作能量轉換控制[3]將使其在啟動操作上方便迅速，且無內燃車輛在怠速時之能源浪費。同時，目前控制技術上已可回收電動車的煞車能量，將使電動車能源使用率大大提高，達到節約能源之效益。由此可見，無污染無能源危機問題的電動車勢必成為未來發展之趨勢。然而，我們所使用的能源總有一天會用盡，為了使用新的能源且避免產生污染，太陽能之使用是未來能源發展的趨勢。因此，將太陽能和電動車結合[4,5]，既無污染也可免除能源使用殆盡的問題。而且，因功率半導體控

制技術之發展[3]，使得能量間之轉換變得容易，加上製造技術之進步，太陽電池之造價已有降低的趨勢。預料下一世紀，由太陽光電池所供給之電力將超過傳統電力[6]。然而，建立太陽電池系統價格昂貴，且由太陽電池供電之電力價格較傳統電力來源價格高。因此，太陽電池必須控制使其能在任何溫度、照度下，均可操作在其最大輸出功率點。過去幾年研究所提出之太陽電池最大功率點追蹤(Maximum power point tracking, 簡稱 MPPT)控制方法[7-14]，基本上大致可分為兩類:(1)增量電導法(Incremental conductance method)[7-9];(2)擾動觀察法(Perturbation and observation method)[10-14]。雖然前者在快速之天候變化下，可得良好之性能，但卻需外加四個感測器來完成計算，故導致有較大之功率損失。而後者，若其執行速度增快，則系統損失將減少，而且僅需二個感測器，故降低硬體之複雜度及成本。因此，本文採用簡易型擾動觀察法控制太陽電池之輸出電壓及電流以達最大功率追蹤控制。

本文在研究中，首先組立了一簡易型之實驗電動車車體，並製作一單象限截波器用以驅動控制其車速。為有效分配能源結構，在車上配置太陽電池並將其能量以直流/直流轉換器轉換至蓄電池。然後，擬定一易於實現之太陽電池電壓調控技術，使太陽電池能在當時日照量及溫度下輸出最大功率。圖一所示即為此太陽能電動車系統之組態方塊圖。此系統包括一蓄電池組、直流馬達負載、作車速控制之單象限截波器、作能量轉換控制之降壓型 (Buck) 直流/直流轉換器及太陽電池最大功率追蹤控制器。

二、電動車之車體結構

車體的結構決定了一輛車的性能，所以一輛車的好壞也必須考慮車子的結構，而本文所組立之車體系統主要包括有直流他激式電動機、懸吊系統、剎車系統、車架、差速器、轉向裝置及前輪校正。

(一)、懸吊系統

懸吊主要機件有彈簧、避震器、平穩桿。懸吊彈簧理想為彈簧下部之重量要輕，彈簧上部之重量要重，彈簧要軟，則路面震動時才不致影響。而避震器可減弱彈簧的震動，提高輪胎之貼地性，以提高駕駛安全。

(二)、剎車系統

欲使行駛中的汽車減速，停駐之車輛不致產生移動，通常利用摩擦力，將車之動能變成熱能而散於空氣中。欲具有優越之制動性能應具備：

- 1.制動力強大能有效停住車輛，但不可因此損害乘坐舒適性。
- 2.不可以影響到轉向性能。
- 3.操作容易，不會使駕駛員產生疲勞。
- 4.性能可靠、耐用和檢查、保養容易。

本文所採用的是盤式液壓煞車，於前輪各加上一組機車用碟式煞車。利用油壓，推動鉗夾體中的活塞，活塞推出抵住煞車掌，煞車掌與碟片摩擦而減低車輪轉速，最後使電動車停止，達到煞車目的。

(三)、車架

車架為汽車之骨架，是汽車行駛所必須且最重要的地方，並用以承載車身之全部載重，支持前後軸傳來的反作用力且汽車行駛中受到路面衝擊會產生很大的壓力，因此車架必須有很高之強度及剛性。

(四)、差速器

驅動力經傳動軸端驅動小齒輪插入差速器。驅動小齒輪與大環齒輪咬合，而環齒輪將隨驅動小齒輪而轉動。

(五)、轉向裝置

汽車為了改變方向而設計了許多機械裝置來操縱它，總稱為轉向系統。此系統對於汽車行駛安定性與輕巧靈活有密切關係，故應具備：

1. 轉向機構必須輕巧靈活。
2. 轉彎弧度小時，方向盤不必轉很多圈。
3. 直向前進時應穩定且無蛇行現象。
4. 車輪的震動及擺動不致使方向盤轉動。

(六)、前輪校正

前輪一方面承載車子前面的重量，並用以控制行駛方向，對行車安全及機件壽命有相當重要關係。為達到滿意的效果，前輪部份各相角度必須非常準確。

綜合以上對車體結構之要求，本研究組立了外觀如圖二所示之電動車車體。

三、電動車之控速

圖三所示為電動車之實作控速電路。圖中之單象限降壓型截波器經脈寬調變(Pulse width modulation, 簡稱 PWM)控制可改變輸出電壓大小。其平均輸出電壓 V_o 和輸入電壓 V_{in} (即蓄電池電壓，其值為 24V) 間之關係為[3]

$$V_o = \frac{t_{on}}{T} V_{in} = DV_{in} \quad (1)$$

其中 t_{on} 為開關元件導通時間(單位:秒)， T 為截波週期(單位:秒)及 D 為截波器之責任週期(Duty cycle)。此可變直流電壓用以驅動經由減速機耦合至電動車軸承之直流馬達，而達控制電動車之車速。PWM 控制信號係由 NE566 產生頻率為 10Khz 之三角波與由電動車油門控制之直流位準 V_c ，經由 LM311 比較器

作比較得到。此信號用來控制 IGBT(Insulated gate bipolar transistor)之導通。因此，電動車馬達之輸入電壓便可控制。故要控制馬達之轉速只要改變 V_c 之大小，就能改變脈波寬度。而要改變 V_c 就需改變電動車之油門，油門之結構操控如圖四(a)及(b)所示，其由遮光板、發光二極體及光敏電阻 (R) 所組成，利用發光二極體的亮度來改變光敏電阻之大小就能調整 V_c ，也就能控制速度了。其操控情形如下：

- (1): 當踩下油門踏板時，如圖四(a)所示，此時小彈簧把遮光板拉走而使發光二極體照射到光敏電阻上，使光敏電阻值變小， V_c 變大，而車速將隨光的強度而增快。
- (2): 若腳逐漸放開時，則腳踏板彈簧把遮光板慢慢拉回定位，此時光敏電阻受到之光照強度減弱，而使光敏電阻的電阻值變大，此時 V_c 將隨光之減弱而減小，導致車速變慢。
- (3): 若腳完全放開時，如圖四(b)所示，此時腳踏板彈簧將把遮光板拉回定位，而使光二極體完全無法照射到光敏電阻， V_c 變為 0，而使電動車完全不動。

藉由以上之控制，可使電動車依駕駛者之操作而在高速或低速甚至停止間運轉。

四、太陽能供電之電動車

(一)、太陽電池之電氣特性

欲善用太陽電池之能量，必須對其電氣特性有所了解，然後才能進一步有效地設計其能量轉換器及控制系統。太陽電池係一非線性元件，根據其物理特性[15]可得端電壓及端電流之關係如下：

$$I = I_s - I_0 \left[e^{\frac{q}{AKT}(V + IR_s)} - 1 \right] \quad (2)$$

其中

I : 太陽電池端電流(A)

V : 太陽電池端電壓(V)

I_s : 某日照量下產生之光電流(A)

I_0 : 太陽電池無日照量下之反向飽和電流(A)

q : 電子電荷量($=1.6 \times 10^{-19}$ 庫倫)

K : 波茲曼常數($=1.38 \times 10^{-23}$)

T : 絕對溫度($^{\circ}K$)

A : 理想因數(介於 1~2 之間)

R_s : 太陽電池等效串聯電阻(Ω)

若定義一假設之二極體電流成

$$I_D = I_0 \left[e^{\frac{q}{AKT}(V+IR_s)} - 1 \right] \quad (3)$$

則太陽電池模式可以圖五之等效電路來表示。由圖中可知太陽日照量大小可視為一與日照量有關之等效電流源 I_s ，而等效二極體之電壓與電流關係則與太陽電池絕對溫度 T 及串聯電阻 R_s 有關。

本研究採用德國西門子(SIEMENS)公司出廠之 M55 太陽電池，其單模組之規格如下：

溫度：289⁰ K，A=1.2， $R_s = 0.5\Omega$ ，日照量：1kw/cm²

額定功率輸出：55W，負載電流：3.08A，負載電壓：14~17V

短路電流：3.8A，開路電壓：21.7V

根據式(2)及上述規格，此太陽電池在不同日照量及溫度下之電流-電壓(I-V)特性和功率-電壓(P-V)特性關係分別如圖六(a)~(d)所示。由圖中得知，太陽電池在不同日照量及溫度時均有一個最大功率輸出點，且該點因不同之日照量及溫度而發生在不同處。基於此特性，為了有效利用太陽電池在不同日照量及溫度下產生之能量，宜配合電力電子能量轉換器之控制，使太陽電池隨時隨地輸出最大功率。

(二)、太陽電池之能量轉換

為初步驗證太陽電池產生之能量可用電力電子能量轉換器將其轉換至適當之負載，首先設計如圖七所示之應用電路。此電路係使用一降壓型電源轉換器，將太陽能轉換至蓄電池。此降壓型電源轉換器之工作原理和單象限截波器相同，於此不再贅述。本文所組立之電動車車頂可置放五塊 M55 太陽能板，故先將其以串聯方式連接，而後取出 2 塊太陽能板電壓約 32V(有載下)，作為具電壓回授 PWM 控制 IC TL494 之工作電壓，而太陽能板串聯後之電壓接至轉換器輸入端。此時將 20k Ω (R_2) 可調電阻於輸出端分壓所得之 V_f 回授電壓信號接至 TL494 之第 1 腳，此回授電壓之設定，係依負載端所需要之電壓而定。因蓄電池電壓為 24V，為確認可對其充電，一般其充電電壓必須大於 24V。故吾人取充電電壓為 25V，而 TL494 內部參考電壓 V_{ref} 為 5V，欲以此 5V 代表 25V，則其輸出端之分壓電阻必須滿足下式：

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} \times 25 = 5 \quad (4)$$

若令 $R_1 = 5.1 k\Omega$ ，則 R_2 必須選擇為 1.275k Ω ，在此以 20k Ω 可調電阻來調整設定。將此回授電壓信號與 TL494 第 14 腳之 V_{ref} 比較，在第 8 腳可得 PWM 調變信號用以控制功率晶體。如此，便可將蓄電池電壓以回授控制方式控制以定電壓 25V 由太陽電池對其充電。

(三)、太陽電池最大功率追蹤控制

由前節之操控得知，吾人雖可將太陽電池之能量轉換至蓄電池或其他負載。然而，並未即時充分善用太陽能電池之能量。且由於太陽電池的輸出特性深受負載電流、照度及溫度等因素之影響，故輸出端電壓-電流特性也會隨之不同。但由圖六之模擬可觀得：(1)太陽電池最大功率點發生在電壓 $V_p = V_{p,max}$ ，而此時斜率 $dP_{pv} / dV_p = 0$ ，當 $V_p < V_{p,max}$ 時 dP_{pv} / dV_p 為正，而 $V_p > V_{p,max}$ 時 dP_{pv} / dV_p 為負；(2)若太陽電池之 V_p 可受控，則 dP_{pv} / dV_p 為正時， V_p 必須增加；反之 dP_{pv} / dV_p 為負時， V_p 必須減少以使得太陽電池之工作點往 $dP_{pv} / dV_p = 0$ 方向進行。基於以上之法則，為達成零斜率之調節—比例-積分控制器(PI controller)可被設計成：

$$v_{control} = k_p e + k_i \int e \quad (5)$$

其中 k_p 及 k_i 分別為比例-積分控制器之比例及積分增益，而 e 為斜率 dP_{pv} / dV_p 。由於純微分器易引入高頻雜訊干擾，故實作時 e 以取樣保持方式取得且定義成

$$e(n) = \frac{P_{pv}(n) - P_{pv}(n-1)}{V_p(n) - V_p(n-1)} \quad (6)$$

其中標示 n 之量表示目前值，而 $n-1$ 為上一一次的值。PI 控制器之輸出 $v_{control}$ 信號再與固定頻率之三角波比較後得責任週期可變之 PWM 控制信號，藉以調控降壓型電源轉換器之責任週期，以控制太陽電池之端電壓 V_p ，俾使太陽電池能以最大功率輸出至負載。

圖八為所提太陽電池最大功率追蹤控制器之硬體電路，首先經霍爾電流感測器及電阻分壓分別取得太陽電池之電流 I_p 及電壓 V_p ，兩者透過 AD534 相乘即可得功率。而取樣保持電路由 IC555、IC4049、LF398 組成，分別取得目前功率值 $P_{pv}(n)$ ，上一次功率值 $P_{pv}(n-1)$ ，目前電壓值 $V_p(n)$ 及上一次值電壓值 $V_p(n-1)$ 。其中 IC555 可決定取樣時間的長短，若其輸出脈波頻率越高，便可取得更接近的值。微分電路之完成，係將 LF398 所取的 $P_{pv}(n)$ 和 $P_{pv}(n-1)$ 值， $V_p(n)$ 和 $V_p(n-1)$ 值分別由 OP07 相減後，再經除法器 AD534 相除得式(6)之 $e(n)$ 。此誤差值經由 OP07 組成之類比 PI 控制器得 $v_{control}$ 以調控功率晶體之導通，使太陽電池以最大功率對蓄電池充電。

由於蓄電池之充電不得過充，以免有損害之虞。因此當電動車在長期待駛期間宜將其切換至前節所提之定電壓充電模式。在此工作模式下雖不具最大功率追蹤控制，然而一旦蓄電池電壓充至設定值時，由於有回授控制將自動調降功率晶體之導通時間甚至完全關閉。

五、實測結果

圖九為電動車控速電路在馬達不同轉速下空載時之 PWM 控制信號波形，由圖中發現當轉速越高時，截波器之 PWM 控制信號的責任週期越大。圖十(a)和(b)分別為

太陽電池在高日照量和低日照量下，藉由降壓型電源轉換器對蓄電池充電時之轉換器輸出電壓 v_L 、電感電流 i_L 和電池充電電流 i_o 之波形。由圖中觀得當陽光越小時，則產生的責任週期越大，得以維持輸出端電壓固定在 25V，而陽光越大時則相反。圖十一為採用五塊太陽能電池模組 ($55W \times 5 = 275W$) 運轉在室外陽光照射下，加上太陽電池最大功率追蹤控制器時其 P-V 追蹤動態過程，由圖中可觀得太陽電池之輸出功率在某最大值附近來回擺動，即其一直在追蹤最大功率點工作。

六、結論

為提升能源之利用效率及降低空氣污染，本文從事太陽能電動車之研製。首先自行組立了一簡便型之電動車車體。接著，製作一降壓型單象限截波器控制蓄電池電壓用以驅動控制電動車之車速。為了充分利用大自然資源，本文設計並製作了一太陽電池能量轉換器，其利用降壓型電源轉換器將太陽電池之能量成功的以定電壓方式轉儲存至蓄電池上，並由量測結果顯示了其性能。為了以最有效率方式將太陽電池能量迅速轉存至蓄電池，本文研製了一太陽電池最大功率追蹤控制器，成功地將太陽電池能量，以最大輸出功率轉存至蓄電池。同樣地，由實測結果驗證了所提之最大功率追蹤控制器之性能。最後，所研製之太陽能電動車經由實際試乘證明了其實用潛力。

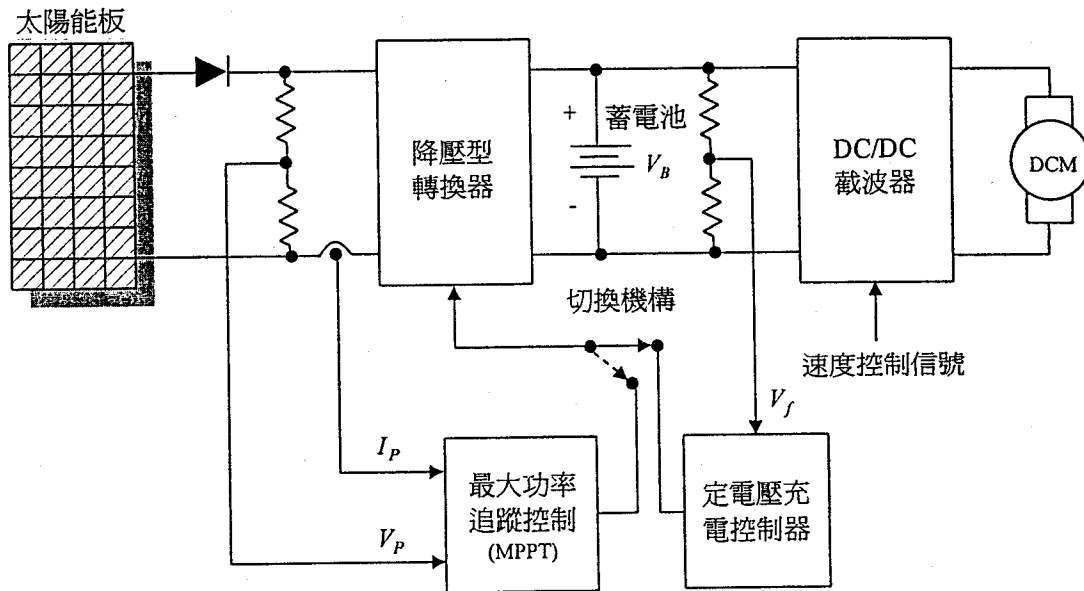
七、誌謝

本文研究經費承蒙行政院國家科學委員會專題研究計畫案編號: NSC 88-2815-C-167-006-E 補助，特此誌謝。

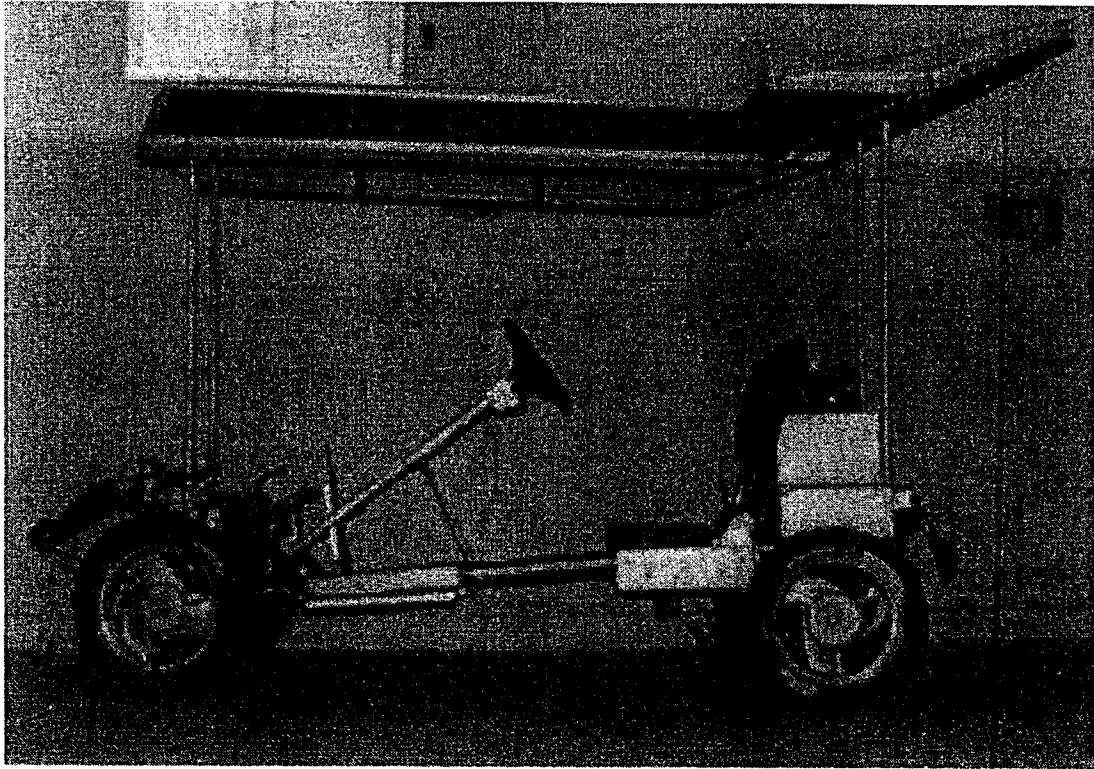
八、參考文獻

- [1] 歐家瑞、曾國雄，(1994) “從能源及市場供需面看我國電動車之發展策略”，能源季刊，第二十四期，第一卷，第 103 頁~120 頁。
- [2] 風火輪機車雜誌，(1995)，第 137 期。
- [3] M.H. Rashid, (1993) “Power electronics: circuits, devices, and applications”, 2ed., Prentice Hall, New Jersey.
- [4] C.R. Sullivan, and M.J. Powers, (1993) “A high-efficiency maximum power point tracker for photovoltaic arrays in a solar-powered Pace Vehicle”, IEEE PESC'93, Record, pp.574-580.
- [5] M. Godoy Simoes, N.N. Franceschetti, and J.C. Adamowski, (1998), “Drive system control and energy management of a solar powered electric vehicle”, IEEE PESC'98, Record, pp.49-55.
- [6] 黃文良、黃昭睿著，“能源應用”，東華書局，第 103 頁~120 頁。
- [7] I.H. Altas, and A.M. Sharaf, (1996), “A novel on-line MPP search algorithm for PV

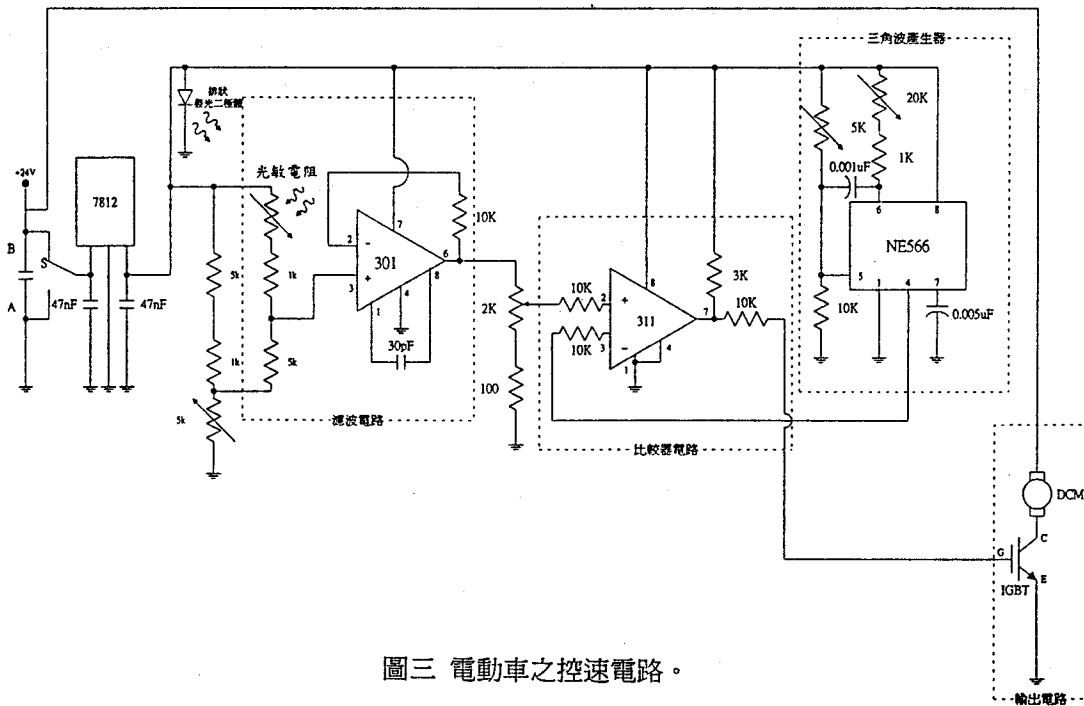
- array”, IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 11, No.4, pp.748-754.
- [8] O. Wasynczuk, (1983), “Dynamic behavior of a class of photovoltaic power system”, IEEE Trans. on Power Apparatus and System, Vol. 10, No. 2, pp.3031-3037.
- [9] B.K. Bose, P.M. Szczesny, and R.L. Steigerwald, (1985), “Microcomputer control of a residential photovoltaic power conditioning system”, IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 21, No. 5, pp. 1182-1191.
- [10] Z. Salameh, and D. Taylor, (1990), ”Step-up maximum power point tracker for photovoltaic arrays”, Solar Energy Vol.44, No.1, pp.57-60 .
- [11] Z. Salameh, F. Dagher, and W.A. Lynch, (1991), “Step-down maximum power point tracker for photovoltaic system”, Solar Energy, Vol. 46, No. 5, pp. 279-282.
- [12] M. Nagao, and H. Horikawa, (1995), “Photovoltaic system using buck-boost PWM power inverter”, Electrical Engineering in Japan, Vol. 115, No. 5, pp. 128-139.
- [13] S.M. Alghuwainem, (1994), “Matching of a DC motor to a photovoltaic generator using a step-up converter with a current-locked loop”, IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 9, No. 1, pp. 192-198.
- [14] K. Siri, V.A. Caliskan, and C.Q. Lee, (1992), “Peak power tracking in parallel connected converters”, PESC’92, pp.1401-1406.
- [15] M. Akbaba, and A. Mohammed, and A. Alattawi, (1995), “A new model for I-V characteristic of solar cell generators and its applications:, Solar Energy Material and Solar, pp. 123-132.



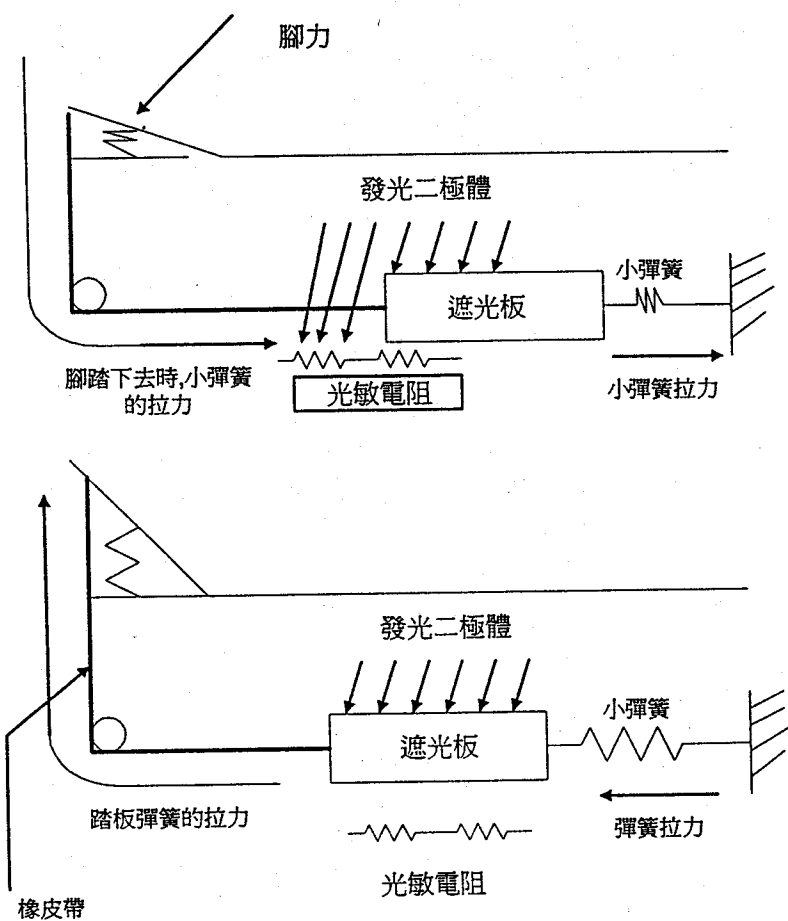
圖一 所提太陽能電動車系統組態方塊圖。



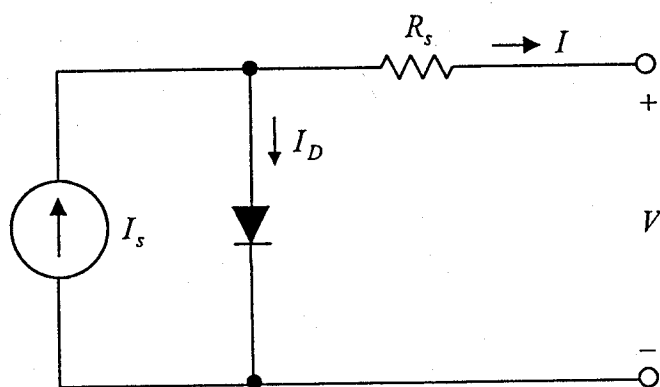
圖二 電動車之車體外觀。



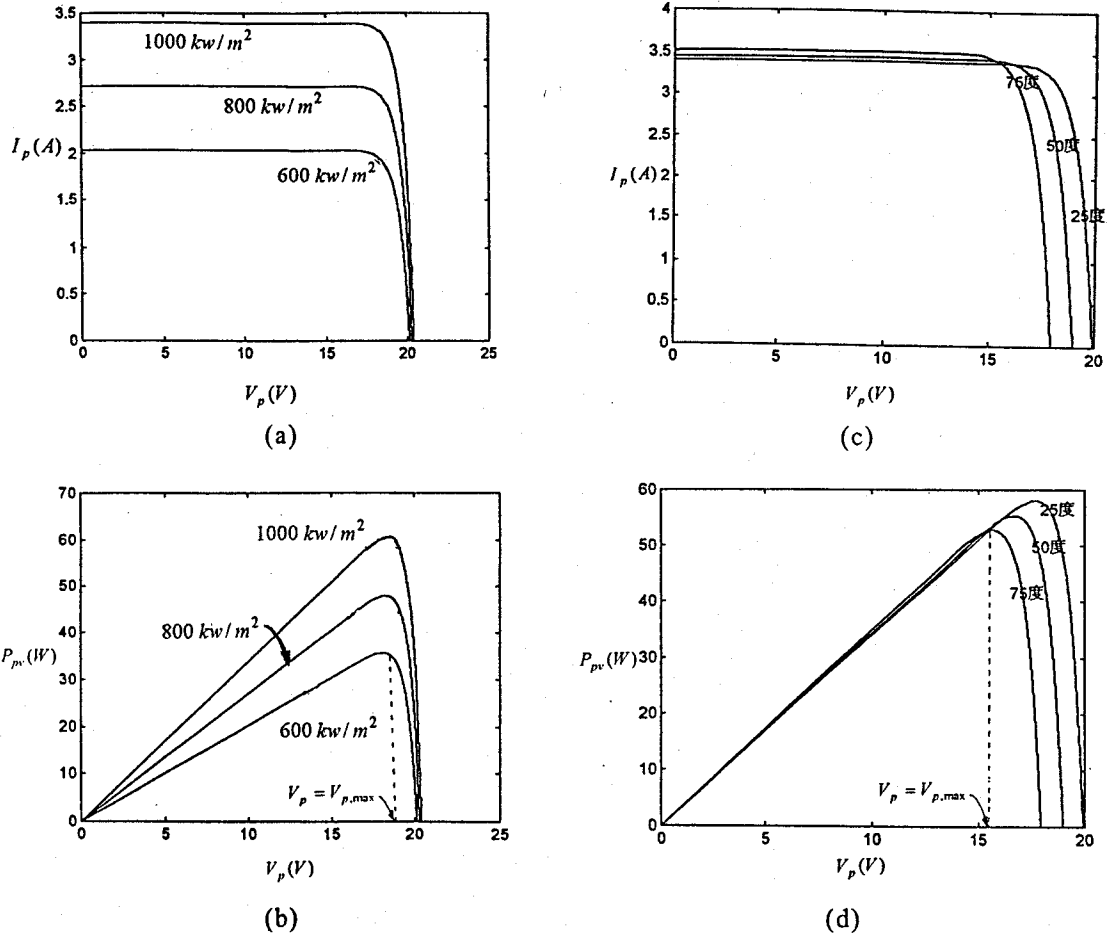
圖三 電動車之控速電路。



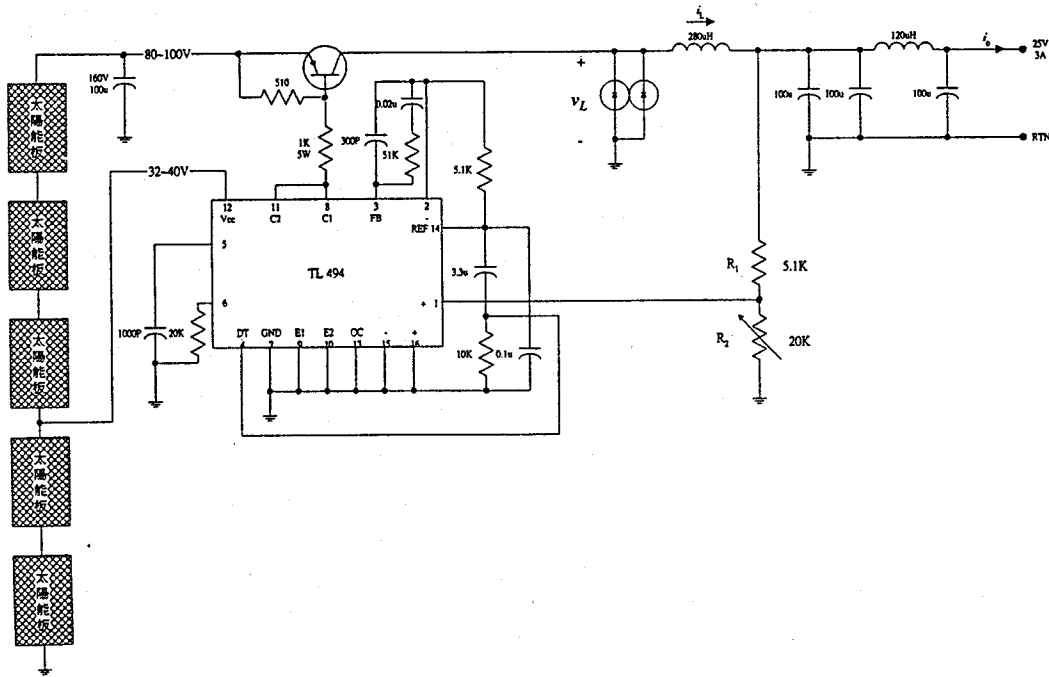
圖四 油門結構操控圖：(a)踩下油門踏板時；(b)油門完全放開時。



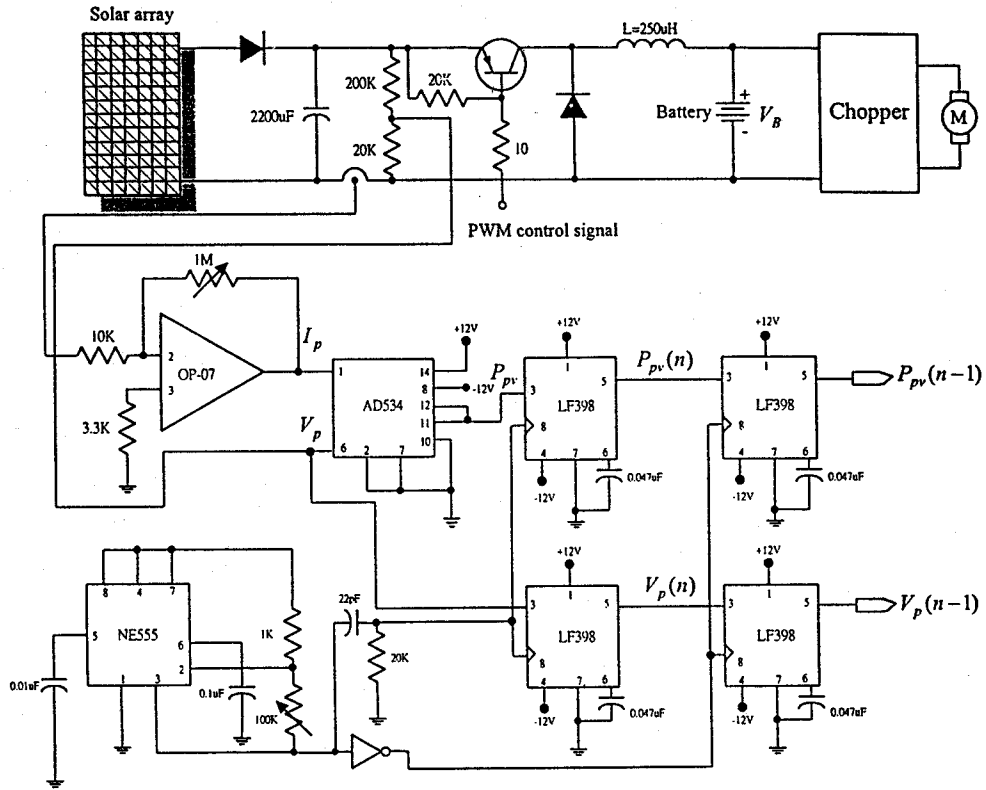
圖五 太陽電池等效電路模型。



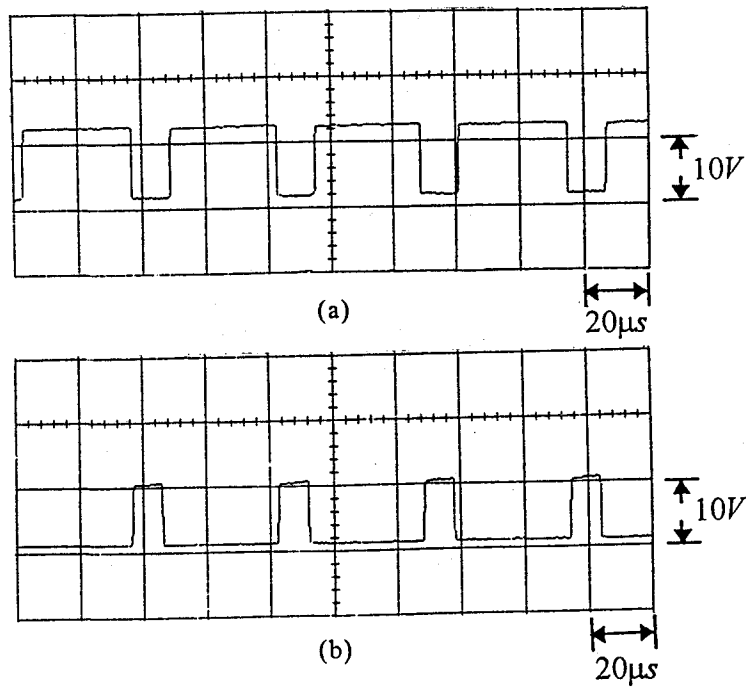
圖六 太陽電池在不同狀況下之特性曲線：(a)不同日照量下之 I-V 特性；(b)不同日照量下之 P-V 特性；(c)不同溫度下之 I-V 特性；(d)不同溫度下之 P-V 特性。



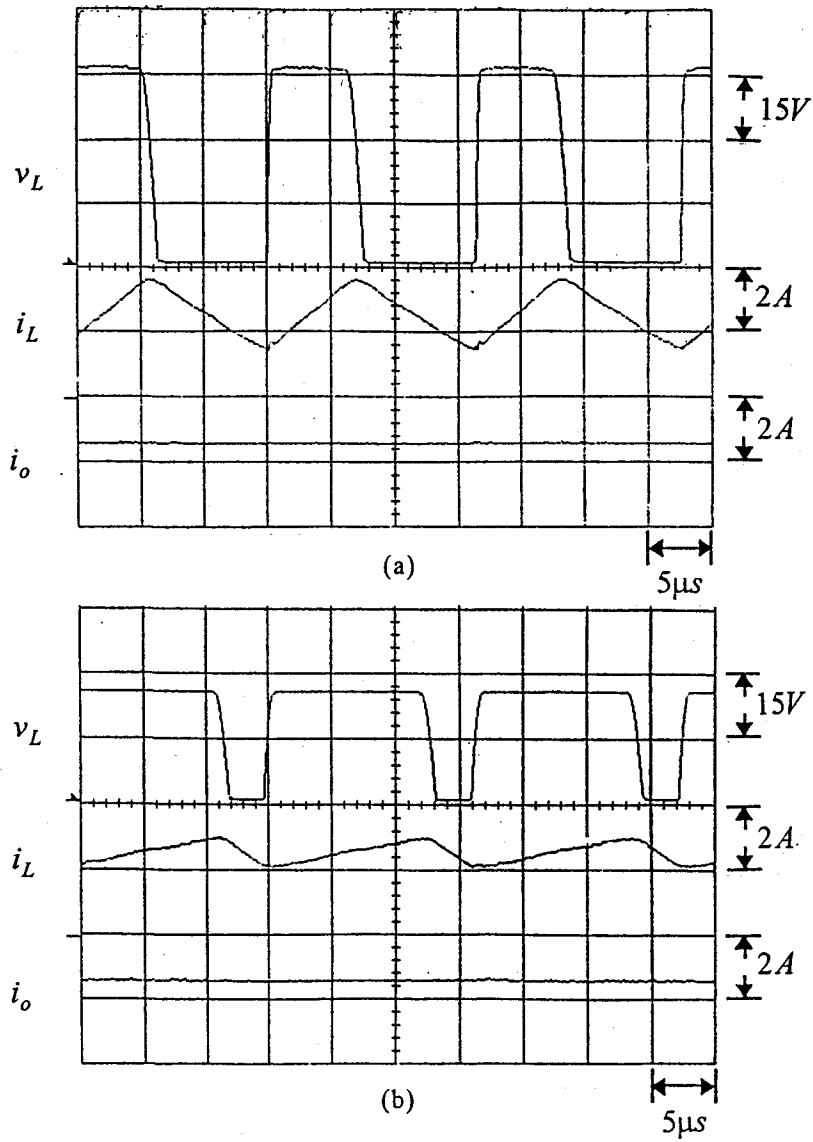
圖七 太陽電池之能量轉換控制電路圖。



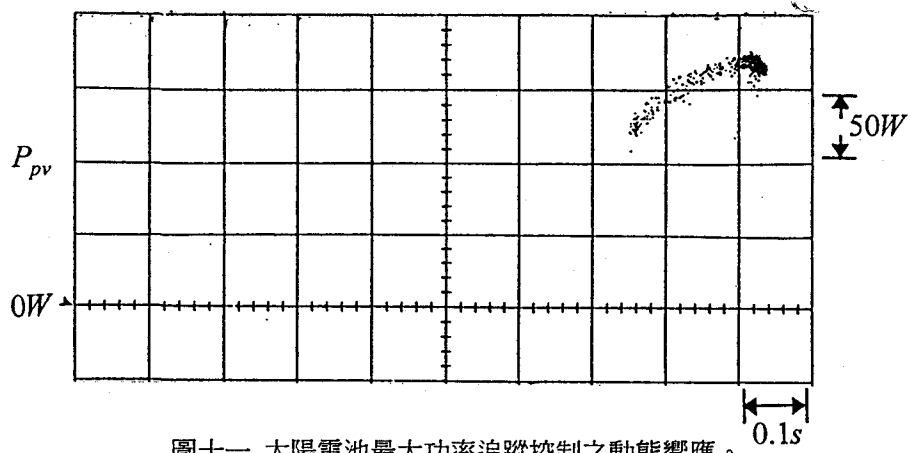
圖八 太陽電池最大功率追蹤控制電路圖。



圖九 空載下馬達在不同轉速時之 PWM 控制信號：(a) 高速時；(b) 低速時。



圖十 太陽能電池能量轉換之實測結果：(a)高日照量時；(b)低日照量時。



圖十一 太陽能電池最大功率追蹤控制之動態響應。