

鋰離子電池充電控制器之研製

林慧英^{1,*} 鍾翼能² 曾國境³

¹大葉大學電機工程學系學生

²大葉大學電機工程學系副教授

³大葉大學電機工程學系助理教授

摘 要

本文之主要研究動機乃在研製低單價之車充充電器，改善傳統鋰離子電池充電方式，使在不影響電池之循環使用壽命的條件下，能夠縮短充電所需時間，並且提高充電效能並依據鋰離子電池充電特性研究其基本原理、功能及特點，並製作量測一個實例。

關鍵字：電池充放電、鋰離子電池

*通訊作者. Tel.：04-8321247

E-mail address：s8803031@ms68.hinet.net

壹、前言

近年來，各種攜帶式的電子產品成爲市場上的熱門，如手機、數位相機、筆記型電腦等 3C (Computer, Communication, Consumer Electronics)等等產品均朝向無線化、可攜帶化方向發展，對於產品的各項高性能元件也往「輕、薄、短、小」的目標邁進，因此對於體積小、重量輕、能量密度高的二次電池需求相當迫切，因此如果沒有「電池」的供應，英雄亦無用武之地，所以電池工業也追隨著科技產品的腳步，研發出各種不同用途的電池，來符合攜帶式電子裝備的需求，使可攜式的電子產品攜帶更方便，使用時間更長等好處。然而目前電池的主流是以鎳氫電池及鋰離子電池取代先前的鎳鎘電池，特別是鋰離子電池爲主流。鋰離子電池具有工作電壓高(3.7V)、能量密度大(120Wh/kg)、重量輕、壽命長及環保性佳等優點，皆以鋰離子電池做爲其能來源，因此電子產品的使用量迅速成長，各種可攜帶式電子產品的研發不得不更輕薄短小以使產品能更具有競爭力，「電池」的角色顯得更加重要，其品質的良莠甚至決定了產品的成功與否，特別是可充電之二次電池，在市場中成長快速、利潤高，目前已成爲許多先進國家競相發展的研究項目。[1]-[9]

貳、鋰離子電池充放電過程基本原理

大部分的行動電話使用泛用的鋰電池充電器，因此對一個 1100mAh 的鋰電池充電，約需花費 3-4 小時的時間。爲了更有

效率的使用電池，過去已有諸多的文獻研發了許多快充技術，而快速充電器的目的是爲了縮短充電時間、延長電池壽命和使電池安全的充電。[10]

電池充電時，電子由充電器外部經過負極的碳材料，而同時正極材料的鋰離子則離開正極經過電解液進入負極；放電時，電子和鋰離子則反向而行。正常使用下，鋰離子電池的充放電循環壽命可達 500 次(即 500 次時，電容量仍在原容量 80%以上)。鋰離子電池充飽時，在無負載時電壓爲 4.1~4.2V，電位若是低於 3.2V 左右會產生電壓陡降，一般手機會以沒電來表示，事實上是電壓不足不能再工作了。好的充電器是依照鋰電池特性而設計的。第一段充電是定電流充電(0.5C~1C 充電)，等到 90%額定電壓時再以定電壓充電的方式讓電池達到最佳電容量狀態。可再充電鋰離子電池在很多方面比其他電池具有優勢，主要是鋰離子電池具有高能量密度、高工作電壓及平穩放電特性等優點，使其更適合用作攜帶型應用的電源。

鋰電池提供了較高的能量密度(可高達 200 Wh/kg, 300-400 Wh/L)以及較高的電池電壓(以碳爲陽極的電池爲 4.1V，以石墨爲陽極的電池是 4.2V)。電池壽命的關鍵是選擇合適的電流、電壓和溫度等充電參數。在充電期間所使用電壓的精度對於電池的效率和壽命有非常重要的作用。超過截止電壓會導致過度充電，短期來看是增加了電池的可用能量，但是長期來看將會引起電池耗損，並且可能導致安全問題。

鋰離子電池的充電過程通常可分爲三個階段：電池活化(conditioning)階段(預先

調節階段)、定電流階段(穩流階段)和定電壓階段(穩壓和充電結束階段)。電池活化階段通常會將電流控制在快速充電的10%，以便發現有問題的電池；定電流階段的充電電流通常是由一顆外接感測電阻來設定，它會連接至電池的高端或低端，充電速率應設定在電池規格的建議範圍內，最後的定電壓階段則應將電池電壓限制在電池規格範圍。隨著電池不斷充電，充電電流會逐漸減少，當它小於結束充電的臨界電流，充電電壓又保持在最大值，系統就會停止充電，單顆電池的最大電壓通常在 4.1V 至 4.2V 之間。若電池電壓降至預先設定的再充電電壓臨界值以下，充電系統就應自動開始充電，使接上充電器的電池一直保持在滿電力狀態。[11] - [14]

參、DC / DC 轉換器的原理

常見的 DC / DC 轉換器有降壓型 (Buck)、升壓型 (Boost) 和降-升壓型三種，其電路架構分別如圖一、圖二及圖三所示。不論是降壓型或升壓型轉換器主要都是藉 MOSFET 的導通週期的大小來控制輸出電壓的高低。其中以降壓型比較常被使用，而低功率的升降壓型 IC 以電腦的主機板的使用量最大，近年來手機及 PDA 的電源轉換部分使用量亦逐漸增加。[15]

一、降壓型轉換器

圖一為降壓型轉換器基本架構，是由一個功率電晶體 Q1、二極體 D、LC 濾波器與負載所組成，簡單來說，當功率電晶體 Q1 在導通狀態時，電感器 L 開始儲能，使得電感上電流增加，電流呈線性上升，

二極體 D 因反向偏壓而截止，電容器 C 被充電。

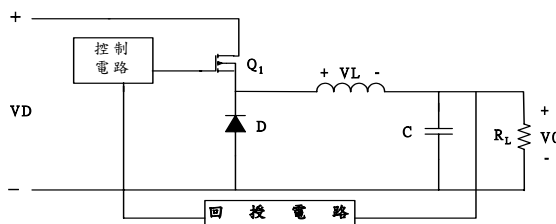
而圖中開關之主要功能乃為控制能量之儲存與傳送之方向，其分別由電晶體 (BJT)或是 MOSFET 或是 GTO 與交流二極體(或稱飛輪二極體)所組合而成。至於電感(或稱為扼流圈)其作用在於傳送與儲在能量，以及濾除交流雜訊波(電流之部份)。另外電容器其主要作用也在於傳送與儲存能量，以及濾除交流雜訊波(電壓之部份)。

若 Q1 截止時，電感器 L 開始釋放能量且兩端電壓極性被反向，如此使得二極體 D 因順偏壓而導通，電感器 L 上的之電流呈線性下降，並將能量供應至負載。當 Q1 截止時，若電路中沒有二極體 D 則儲存在電感器上之能量就沒有迴路可以釋放，如此將造成瞬間 $\frac{di}{dt}$ 之作用，產生很

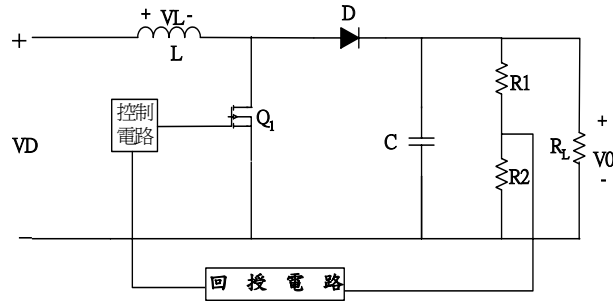
大的電壓尖波，使得功率元件遭受破壞，另在轉換器中的 LC 部份構成一低通濾波器，由於功率開關的交換動作，使得輸出電壓產生交流漣波，因此 LC 濾波器之功能在於降低漣波而達到濾波之作用。其輸入電壓對輸出電壓之關係式為：

$$V_o/V_{in}=D \quad D \leq 1 \quad (1)$$

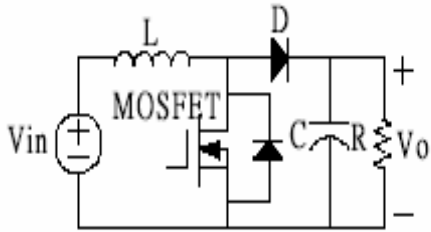
因此，輸出電壓永遠不可能大於輸入電壓。



圖一 降壓型 DC-DC 轉換器電路簡圖



圖二 升壓型 DC-DC 轉換器電路簡圖



圖三 升降壓型 DC-DC 轉換器電路簡圖

換言之，降壓型轉換器在 MOSFET 導 (ON) 時， V_D 會有電流流過電感 L ，使能量儲存在電感上，而當 MOSFET 截止 (OFF) 時電感上的能量會釋放到 R_L 上以維持電壓的輸出，藉由回授電路把輸出電壓回授到控制電路來和參考電壓做比較，而後控制 MOSFET 工作週期的大小，達到輸出穩定的目的。

二、升壓型轉換器

如圖二所示，升壓型轉換器和降壓型轉換器所使用的元件種類相同，但是電路結構不一樣，當 MOSFET ON 時， V_D 一樣會向電感充電，能量儲存於電感上，當 MOSFET OFF 時，由於楞次效應的結果電感電壓反向，而且加上輸入電壓 V_D 透過二級體 D 構成迴路，使輸出電壓 V_O 會大於輸入電壓 V_D ，而為使得輸出電壓穩定，則藉由電壓回授取 R_2 電阻上的電壓至控

制電路來控制 MOSFET 的工作週期，以達到穩壓得效果。

其輸入電壓對輸出電壓之關係式為：

$$V_o/V_{in}=1/(1-D) \quad D \leq 1 \quad (2)$$

因此，輸出電壓永遠不可能小於輸入電壓。

三、升降壓轉換器(Buck-boost Converter)

升降壓兩用轉換器是將降壓轉換器與升壓轉換器串聯。再經化簡而得(圖三)，此轉換器同時具有升壓與降壓的功能，至於是何種功能則是由功率開關導通的時間來決定，其輸入電壓對輸出電壓之關係式為：

$$V_o/V_{in}=D/(1-D) \quad D \leq 1 \quad (3)$$

因此，輸出電壓藉由適當的調整 D 值之大小，可得到升壓或降壓的功能。

一個優質的 DC - DC 轉換器至少應具有下列特點：[16]- [17]

1. 轉換效率高於 90% 以上。
2. 具短路保護功能。
3. 具過電壓保護功能。

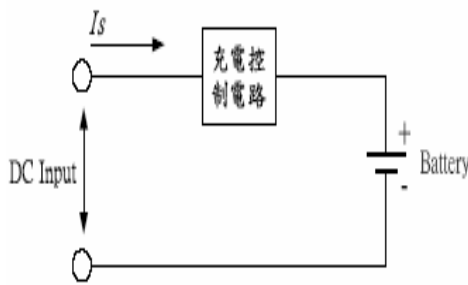
肆、相關研究

充電方法的好壞直接影響到電池的壽

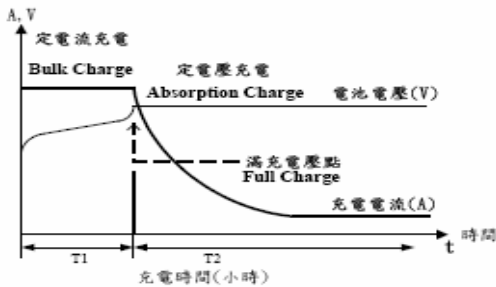
命，尤其過度充電是造成電池損壞的最大原因。為了將充電時間最佳化與確保安全快速充電而不損壞電池壽命，廣範的了解電池特性是必要的。所以，我們將針對這三種充電模式之工作原理作一說明：

(1) 定電流定電壓充電法

圖四為定電流定電壓之充電電路，在充電初期先以大電流對電池充(Bulk Charge)，此階段必須保持充電電流的穩定，故稱為定電流充電[18-20]；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。如圖五之時序所示，T1 為定電流充電時段，T2 以後則為定電壓充電時段。[20]



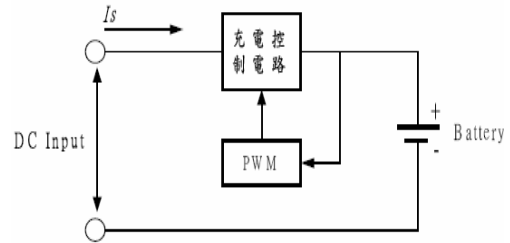
圖四 定電流定電壓之充電電路



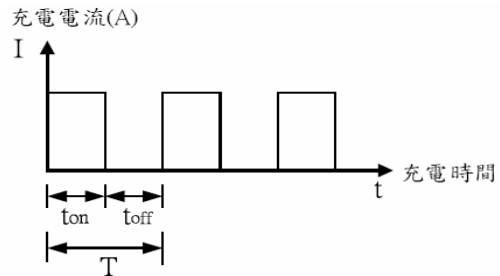
圖五 定電流定電壓之時序圖

(2) 脈波寬度調變(PWM)充電法

圖六為脈波寬度調變之充電電路，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。其充電時序如圖七，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，最主要是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。[21]



圖六 脈波寬度調變之充電電路

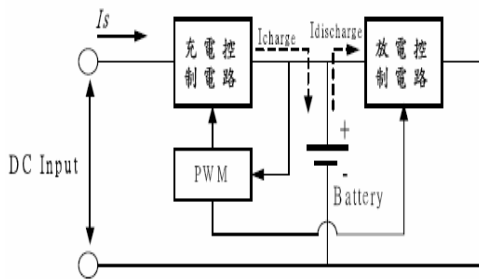


圖七 脈波寬度調變充電電路

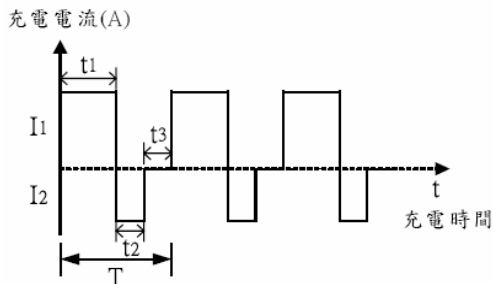
(3) Reflex 充電法[22]

圖八為 Reflex 充電電路，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，此放電動作不僅可疏緩電池內部的化學反應，亦可防止電池的過充，避免電解液的氯化，電池壽命得以延長。Reflex 之充電時序如圖九， t_1 為充電時間， t_2 為放電時間， t_3 為休息時間。圖八 Reflex 充電電路圖九 Reflex 充電法之電流時序[23]雖然利用定電流定電壓充電法可以縮短充電的時間，但由於大電流持續對蓄電池充電，導致蓄電池溫度過熱，進而縮短蓄電池的壽命。而脈波寬度調變充電法、Reflex 充電法，雖然充電時間不如定電流定電壓充電法快，但此兩種充電法均利用 PWM 來控制其充電模式，旨在緩和因充電後造成蓄電池內部的劇烈化學反應，可延長蓄電池的壽命。

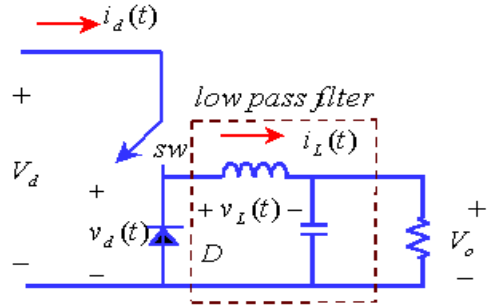


圖八 Reflex 充電電路



圖九 Reflex 充電法之電流時序

伍、系統架構



圖十 降壓式轉換器電路架構

本文針對基本型降壓轉換器之架構與動作原理做探討，以提供在設計時所需要的條件。電路如圖十所示，其中以理想開關來取代半導體開關元件（如 Power MOSFET），並假設所有元件的特性皆為理想，則當開關切入時，等效電路如圖 11(a) 所示，此時電感電壓 $V_L(t)$ ，為 $V_d - V_0$ 因此電流上升斜率為 $(V_d + V_0) / L$ ，直到開關打開 ($t = t_{on}$) 為止，當開關打開後電路為維持電流連續，則迫使二極體 D 導通，電路等效為圖(b)，此時電感電壓為 $-V_0$ ，因此電流下斜率為 v_0 / L ，直到電路再度將開關導通 ($t = T_s$) 為止，根據上述原理可推導得如下輸出電流方程式。

$$i_L(t) = \begin{cases} I_L^- + \frac{V_d + V_0}{L} t & 0 < t < t_{on} \\ I_L^+ - \frac{V_0}{L} (t - t_{on}) & t_{on} < t < T_s \end{cases} \quad (9)$$

$$V_L(t) = \begin{cases} V_d - V_0 & 0 < t < t_{on} \\ -V_0 & t_{on} < t < T_s \end{cases} \quad (10)$$

由(10)式可知我們可藉由改變工作週期 D ，來調節輸出電壓，又因為 $0 < D < 1$ ，因此輸出電壓將小於輸入電壓，故此種電路稱為“降壓式”轉換器。

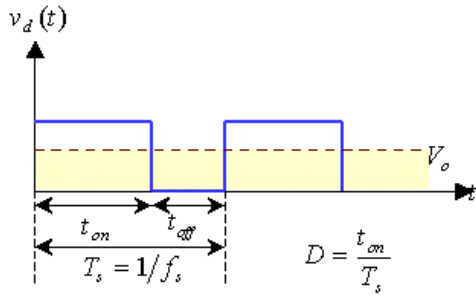


圖 11 (a) $v_d(t)$ 波形

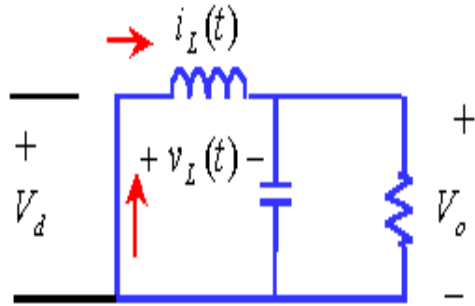


圖 12 (b) $sw-off$ 等效電路

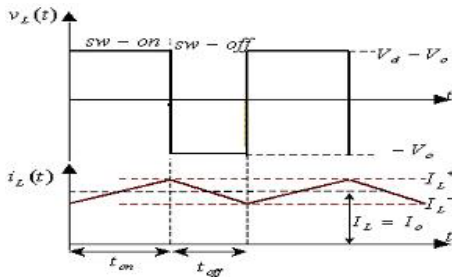


圖 11 (b) $i_L(t), v_L(t)$ 波形示意圖

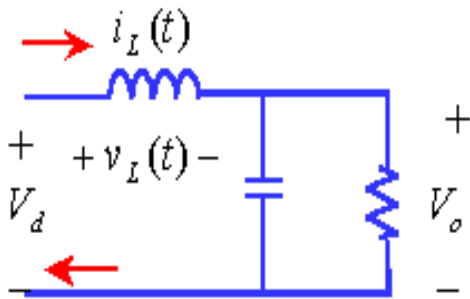


圖 12 (a) $sw-on$ 等效電路

陸、實際電路測試

圖 13 為本文所研製之車充降壓型轉換器電路架構，由下圖可知利用 DC/DC Controller IC 加上簡單外部電路，即可達到充電控制的功能，且因電路架構簡單，體積輕巧、並可達到節省成本的效益。

本文所研製之車充降壓型轉換器電路架構，輸入電壓為 11~30V，輸出電壓為 8.1V，輸出電流為 800mA，切換頻率為 65KHz，實際充電中發現各廠牌的手機中皆設有自動轉換充電電壓之功能，因此輸出電壓可直接對手機充電，不會有充電電壓過高之疑慮，其充電模式則採用定電壓定電流模式來做充放電。

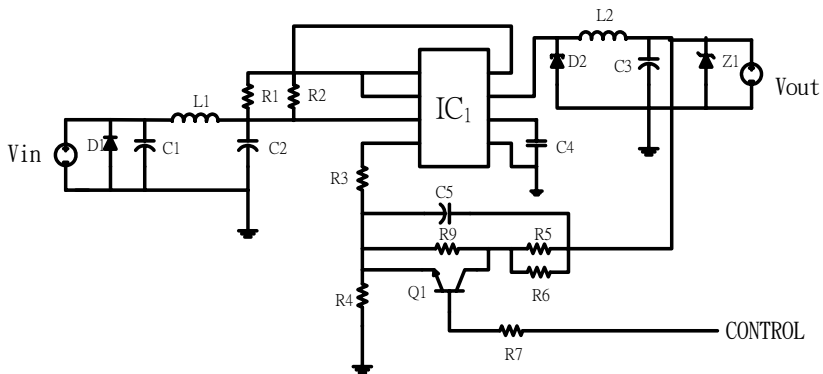


圖 13 為本文所研製之車充降壓型轉換器電路架構

圖 14 為 C4 的振盪波形

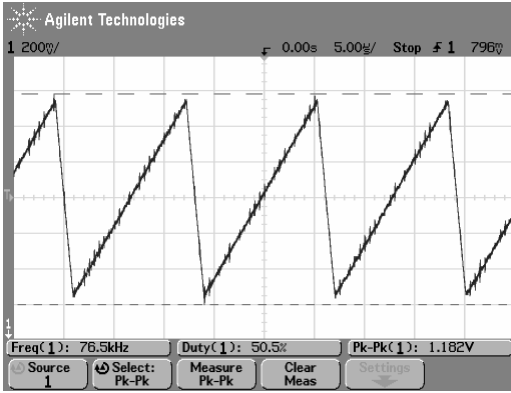


圖 14 200mv/div Time : 5 μ s/div

圖 15 為 C2 之輸入端 Ripple & Noise

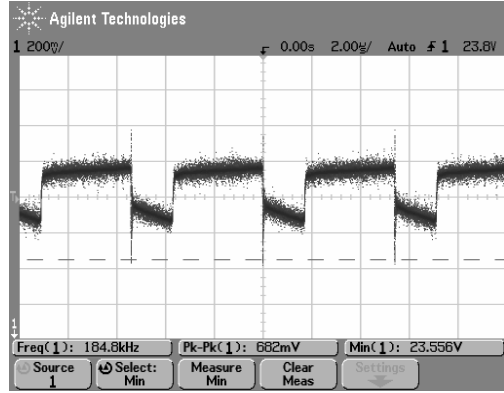


圖 15 200mv/div Time : 2 μ s/div

圖 16 為防止電流過大的 D_2 振盪正弦

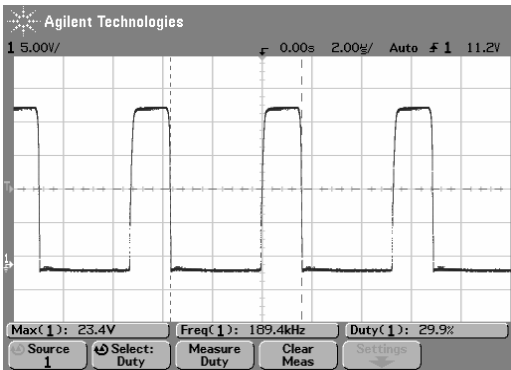


圖 16 5v/div Time : 2 μ s/div

圖 17 為接至手機充電狀態中 V&I 波形波

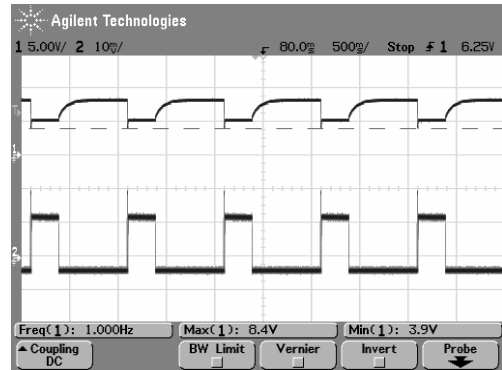


圖 17 VN1 : 10mv/div IN1 : 2v/div Time : 500ms/div

圖 18 接至手機充電快完成 V&I 波形

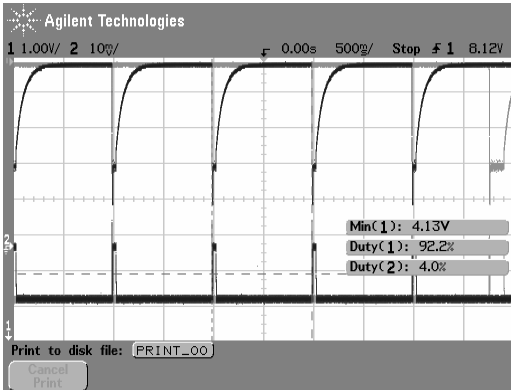


圖 18 VN1 : 1v/div IN1 : 10mv/div

圖 19 接至手機充電快完成 V&I 波形

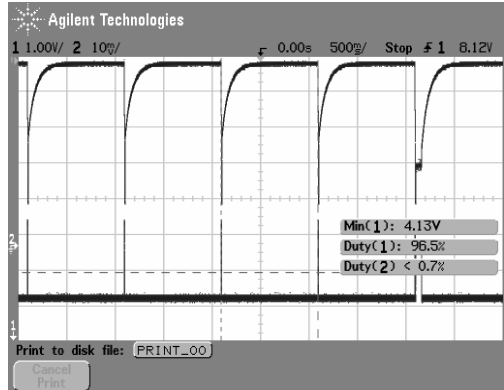


圖 19 VN1 : 1v/div IN1 : 10mv/div

圖 20 為接至負載測試 V&I 波形

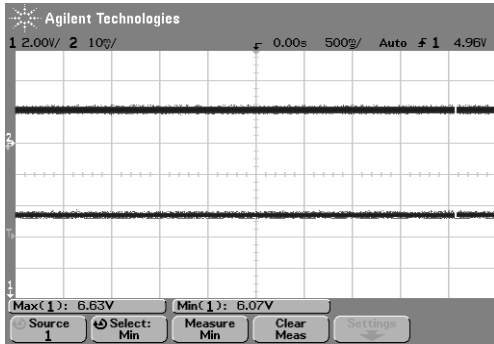


圖 20 VN1 : 2v/div IN1 : 10mv/div Time :
500ms/div

柒、結論

本文實際製作一降壓型電路結構組成之充電系統，經測試過後輸出電壓為 8.1Vdc，輸出電流為 800mA，實測效率為 76.25%，與一般系統要求效率 90%相差甚遠，未來期許能提升其轉換效率，達到效能最佳化。

誌謝

本研究是由國科會專案計畫 NSC 91-2622-E-212-023-CC3 提供經費之贊助。

參考文獻

- D. Linden, Handbook of Batteries, McGraw-Hill, Inc., 1995.
- K. Scott, Electrochemical Reaction Engineering, Academic Press, 1991.
- D. Perrone and S. D. Stefano, "Survey of lithium-ion battery performance for potential use in NASA missions," Energy Conversion Engineering Conference, 1997, pp.39-41.
- J. A. Carcone, "Performance of lithium-ion battery systems," WESCON/94. Idea/Microelectronics. Conf. Rec., 1994, pp.242-248.
- A. Jossen, V. Spath, H. Doring, J. Garche, "Battery management systems (BMS) for increasing battery life time," INTELEC Conf. Rec. 3-1, 1999.
- M. W. Juzkow, S. T. Mayer, "Design considerations for lithium-ion cells. Part I. Cell components," Proceedings of The 12th Annual Battery Conference on Applications and Advances, 1997, pp.181-188.
- K. S. Nanjundaswamy, H. D. Friend, C. O. Kelly, D. J. Standlee, R. L. Higgins, "Electrode fabrication for Li-ion: processing, formulations and defects during coating," Energy Conversion Engineering Conference, 1997, pp.42-45.
- 「小型二次電池市場與技術專輯」, 工業技術研究院-工業材料研究所, 1996.
- J. C. Flynn, C. Marsh, "Development and experimental results of continuous coating technology for lithium-ion electrodes," Proceedings of The 13th Annual Battery Conference on Applications and Advances, 1998, pp. 81-84.
- 李立中, "鋰離子二次電池前景可期", 工業材料 110 期, 民國八十五年二月。
- 新電子科技材料
- 楊家論, "二次鋰離子電池性能介紹", 工業材料 1 2 6 期 8 6 年 6 月。
- 洪為民, "二次鋰離子電池產品和性能介紹, 工業材料 1 1 7 期, 8 5 年 9 月。
- 姚慶意, "鋰離子電池新技術簡介", 工業材料 1 3 1 期, 8 6 年 1 1 月。
- 轉換式電源供給器設計, 陳文俊 薛肇瀛編譯, 全華科技圖書股份有限公司出版, 80 年 8 月再版。
- 梁適安"交換式電源供給器之理論與實務設計"。
- 梁適安"高頻交換式電源供應器理論與設計"。
- 張品全"太陽電池", 科學發展 2002 年 1 月, 349 期。
- T.Palanisamy and P. O.BOX, "Charging techniques for a universal lead acid battery", in Proc.Int.Prower Sources Symp, 1990, pp.72-76,.
- E.M. Valeriote, T.G.chang and D.M. Jochim, "Fast charging of lead-acid batteries," in Proc.Int.Battery Conference on Applications and Advances, 1994, PP.33-38.
- R.C.Cope and Y.Podrazhansky, "The Art of Battery Charging" Battery Conference on Application and Advances, pp.233-

明道學術論壇，1(1)：31-42 (2005)

235,1999.
“電池快速充電技術探討”，資訊零件組，
1992年6月。
A.Kaswamure and T.Yanagilhara, “state of

Charge Estimation of Sealed Lead-Acid
Battery used for Electric Vehicles”, in
IEEE Power Electronics Specialists
Conf.Rec., 1998, pp583-587.

The Design of a control for Li-ion Battery charger

Hui-Ying LIN Yi-Nung Chung Kuo-Ching Tseng
Da-Yeh University Department Of Electrical Engineering

Abstract

The major development in this paper is to design a low cost vehicle battery charger is. This design will modify the Li-ion battery charging method. It will have shorter charging time but it will not affect the battery life. In this paper, we also analyze its character and performance.

Moreover we also try to raise its efficiency based on the Li-ion battery character. In order to have results. We also make a real battery charger.

Keyword : battery charge 、 Li-ion Battery