

電動車智慧型充放電技術之研究(1/3)

A Research on Intelligent Battery Control Techniques for Electric Vehicles (1/3)

計畫編號：NSC 89-2213-E-009-115

執行期限：88/08/01—89/07/31

主持人：鄒應嶼 博士 國立交通大學電機與控制工程系 教授

一、中文摘要：(關鍵詞：智慧型電池充電器、快速充電、DSP控制、單級單開關交直流轉換器)

本計畫發展應用電動車輛之智慧型電池充電監控技術，研製一個以DSP為基礎的智慧型電池充電器，擬發展之智慧型電池充電技術包含：高效率快速充電技術、電池容量偵測技術、智慧型電池維護技術。本階段研究以發展高功率高效率之電池快速充電技術為主，將研製一個具有功因控制的高功率雙向交直流轉換器，應用於密閉型鉛酸電池之充放電控制，發展快速充放電方法，應用DSP於功率轉換器的控制與電池之充放電控制。

英文摘要：(keywords: intelligent battery charger, fast charging control algorithm, DSP control, intelligent control, single-stage single-switch ac/dc converter.)

This project aims on the development of intelligent battery charging and monitoring techniques for advanced battery used for electric vehicles. A DSP based intelligent battery charger will be constructed. Key techniques for intelligent battery charging control will be developed in this three-year project are: high-efficiency fast charging technique, battery capacity estimation technique, and intelligent battery maintenance technique. The first stage of this project will focus on the development of fast charging algorithm for sealed lead-acid battery. A single-stage single-switch PWM ac/dc converter has been designed for the high-power high-efficiency battery charger. A DSP-based digital controller has been designed for the charging control of sealed lead-acid batteries. Experimental verification has been carried out for the developed fast charging algorithm.

二、計畫緣由與目的

電動車在國外的發展已有相當的歷史，發展動機主要在於環境保護與生活品質的提昇，目前商品化的主要困難在於行駛里程不足與價格過於昂貴。電動車主要分為兩類：電動車 (electric vehicle, EV) 與複合電動車 (hybrid

electric vehicle, HEV)。電動車的電源來自電池，以馬達驅動。複合電動車內含傳統汽車之內燃機(internal combustion engine, ICE)或新式的渦輪引擎(turbine)，再藉由發電機與電池充電器以提供電源。HEV 結合傳統汽車與電動車的優點，都市行駛由電池供電，郊區行駛則由內燃機供電，兼顧里程與低空氣污染的要求，是邁向無空氣污染車輛的一種過渡時期但實際可行的解決方案。

電動車將是人類二十一世紀的主要交通工具，其市場規模龐大。目前美、日、歐國家在電動車的市場需求已逐漸開發，美國加州且已立法，自 1998 年起，銷售車輛的 1% 必須是符合環保低污染的電動車。歐美日先進國家，由於政府與民間的配合，未來二十一世紀，電動車的發展已逐漸曙光。我國在電動車的發展方面，雖然與先進國家仍有一段差距，但在電動車零組件的製造方面，卻深具競爭力。

傳統充電器對蓄電池之充電控制方式、充放電狀態判別及電池容量偵測不夠理想，造成蓄電池壽命及性能降低。為了改善傳統蓄電池充電器之缺點，則必須先瞭解蓄電池之充放電特性、以做為電池狀態判別及電池容量偵測之依據，進而研擬適當之充電狀態判別及充電方式。一般對蓄電池的研究較著重於充電器之研製及其功率轉換效率的改良，對於蓄電池的充電方法及容量偵測技術則較少探討。充電器的優劣涉及蓄電池充電時間的控制、能源轉換效率的改善、電池壽命的延長、以及容量檢測的精準，這些電池充放電相關的技術均已成為近年來學術界予產業界研究的重點[1]-[10]。

電池充電技術的發展重點包括：快速充電技術、可延長電池壽命及保護電池功能的充電技術、智慧型的電池檢測、殘電容量之估測

等。而在許多電池應用上的需要，必須兼顧能量密度與電池壽命，且不受快速充電及深度放電的影響。良好的充電控制能增加電池的壽命。使電池保持長壽的秘訣是在瞭解電池的溫度及其能量成分後，再排定電池充電方式，使其完全充電，且不增加電池的應力。

為了避免充電不足或過充電而對電池造成的傷害，一種具有模糊邏輯智慧的充電器，就可由同時偵測電池的電壓、電流及溫度的數據中研判出所欲充電電池的種類、理想的充電目標及應採取的充電電流策略，以達成最短時間儲存最高可能的充電電量，並且不使電池壽命減短。

蓄電池的充電方式，因電池容量的大小而有顯著的差別。一般應用於可攜式系統的充電器，因容量小，其主要訴求是體積小、價格便宜，因此多以電池充電 IC 的方式設計。例如 Benchmarq 製造的充電 IC，可量測電池充電電流、電池放電電流及電池溫度，可計算電池的充電量並用 LED 顯示。Unitrode 製造的快速充電 IC UCC390 利用溫度、電流與電壓回授，控制充電電流。大容量電池的充電器，則必須考量電池之串聯與並聯、電池檢測、高電流的充電轉換器、快速的充電方法等。由於電池的充放電涉及複雜的電化學反應，因此以實驗統計經驗為基礎的充電方法。目前較佳的充電控制方法是結合模糊理論，發展具有出能夠自我規畫及修正充電控制的策略，在不減少電池壽命的條件下能儘速地充電，可將充電時間所短 3-4 倍。由上述電池充電技術發展現況的說明，當可難瞭解電池充電控制技術的重要性。

三、研究方法與成果

電池的充電方法

一般來說，電池採用的充電方式對電池的壽命影響甚大。尤其電池的過充電是造成電池壽命減短的主因，依據電池製造廠商提供之充電方式是最直接也較有效的方法，但常因充電時間過長，並不完全適用於電動車。若充電器的功率太低，則將延長充電時間，但提高功率，則增加成本與體積，未必符合經濟效益，且充電末期電池之轉換效率亦降低，容易使電池產生高溫，進一步降低電池的壽命。因此尋求一個快速且又不影響電池壽命的充電方法，

成為重要的研究課題[11]-[17]。

一般採用定電壓充電法，是因為其充電器電路架構簡單，控制電路容易設計。但缺點是在初始充電時，由於蓄電池端電壓低，往往造成初始充電電流過大，此過大之充電電流常易造成蓄電池極板變形及蓄電池本身溫度升高，以致縮短蓄電池之壽命。改善方法之一是增加限流電路，亦可採用多段式充電法，但電路實現較為複雜。定電壓充電法也是一般最常採用的充電方法，通常設定一電池電壓工作區間，過低則充電或停止放電，過高則停止充電。

定電流充電法是在充電期間，對蓄電池提供一恆定之充電電流。充電電流以容量 CA (Capacity Amp.) 為計算單位，假設一電池容量為 20AH (AH 為安培小時)，若充電電流為 20 安培(即 1CA)，則理論上此蓄電池可在 1 小時充飽。若充電電流為 5 安培(即 0.25CA)，則理論上蓄電池可在 4 小時充飽。若充電電流為 40 安培(即 2CA)，則此蓄電池可在 0.5 小時充飽。目前較常採用的充電電流為 0.1CA，理論上應可在 10 小時將電池充飽。但實際上由於蓄電池充電過程包含電能轉換為化學能之轉換效率，故一般充電完成時間約為 14 小時左右。定電流充電法因充電電流過低，導致過長之充電時間，是其主要缺點。但若提高定電流充電法之充電電流，則將增加充電器之額定。其他的電池充電方法包括定電流定電壓充電法、脈衝充電法、ReflexTM 充電法等等。本計畫發展出一種以最佳化搜尋為基礎的適合電池特性的最佳化快速充電法。

最佳化快速充電法

電池的充電時間、效率、與壽命是一個充電器主要考量的因素，若以此三項性能指標為基準，加以適當的權值(weighting factor)，可定義充電法則的成本函數，以此成本函數為最佳化的目標，調整充電法則，針對特定的電池，可搜尋出適用於該電池的最佳化快速充電法。

電池的充電過程基本上是在進行電化學的逆反應，也就是將電能轉換為化學能。在電池充電過程中，充電電流對時間的積分，也就是輸入電池的電荷。在反覆的充放電過程中，在同一標準下(例如相同的電壓與內阻)，輸入與釋出電荷的差異可視為電池充電過程中的充電損失(charging losses)。充電方法主要決定於充電輪廓(charging profile)，也就是充電電流與時

間的關係。將充電輪廓定義為電池與內阻的函數，設定之滿充(full charge)之條件，以充電法則的成本函數為最佳化目標，即可搜尋最佳化的快速充電法。

多功能電池充放電監控系統

一個完整的電池充電系統，除了能夠對電池充電以外，還能對電池的電壓、電流、與溫度進行長期的紀錄，本研究研製一個以個人電腦為基礎的智慧型電池充放電監控系統，其系統架構如圖 1 所示。本研究所發展之可程式化電池監控系統可適用於各種充電模式(定電壓、定電流、二段式電壓、脈衝電壓、脈衝電流)、準確偵測出電池殘電量、可設定充放電時間、充放電週期、即時顯示充放電情況以及有自動斷電系統。所研製的智慧型電池監控系統包含四個子系統 (1)功率級(2)電池組(3)數位控制板與(4)PC 監控軟體。

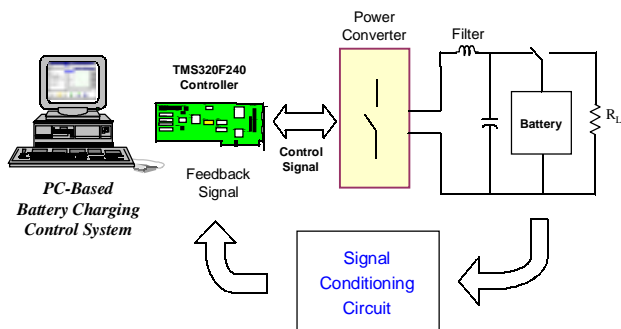


圖1 以個人電腦為基礎的智慧型電池充放電監控系統

數位控制器是主要的控制中心，核心是一顆單晶片數位信號處理器(TMS320F240)，外加一些週邊電路(例如：A/D、D/A、RS-232 介面電路)等所組成。負責輸出電壓、電流控制信號，亦即 PWM 信號。以及輸出充放電控制訊號、量測電池電壓訊號等。接收電池組的回授信號，經過處理回送至 PC，以利監控軟體判斷、監視充電情況。當 PC 下達命令時，則接收訊息，經過分析處理，產生適當的控制信號。

監控軟體是整個電池監控系統的核心，負責電池的充放電控制與信號紀錄，此監控軟體在視窗環境下發展，以物件導向的程式語言撰寫，具有良好的模組化擴充更能。為了使電池充放電監控程式具有可程式化的優點，同時必須可實現不同的充電法則，因此程式的設計主

要分為三個部分：系統監控模組、程序控制模組、與批次處理模組。所發展的監控軟體具有多種指令以進行型電池之充放電控制，例如：操作模式(充電、放電、量測)、充放電模式(電壓或電流)、充電波形、充電輪廓、電週期次數、停止充放電、及控制參數的設定等命令。我們可將這些指令可寫成一個批次檔，完成整個充放電的控制與紀錄。

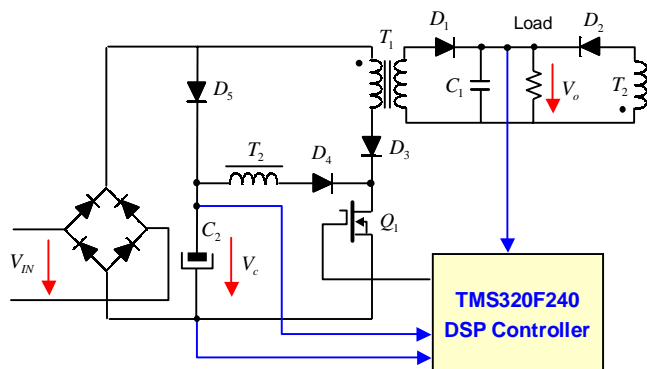


圖2 單級單開關功因控制充電器電路架構圖

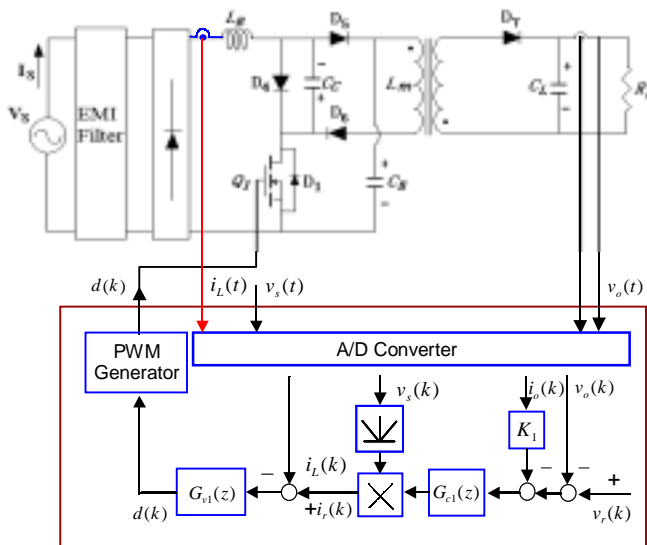


圖3 數位式單級充電器的控制方塊圖

單級單開關功因控制AC/DC充電器電路架構

在電池充電器的設計當中，功率級扮演著重要的角色，一方面為了達到快速的充電效果，充電器必須產生較一般正常充電狀態充電電流高約 25-30 倍的充電電流，另一方面，又必須具有高效率的特性以縮小充電器的體積。本計畫發展出一種新型的單級單開關功因控制交流/直流轉換電路，如圖 2 所示。由於此交流/

直流轉換器僅有一個開關及即可達到功因修正與降壓控制的效果，因此較一般兩級式的電路架構具有先天上高效率的優點。此交流/直流轉換器經由電壓與電流之回授控制，其控制方塊圖如圖 3 所示，可成為一個可程式化的電源供應器(programmable power source)，提供不同形式的輸出電壓或電流波形。

可程式電源控制器

數位控制器與功率級形成一個可程式電源供應器(Programmable Power Source, PPS)，此 PPS 可產生所定義的輸出電壓或電流波形。充電器基本上是一個可控制的直流電源供應器，以本實驗系統之功率級板配合數位控制器即可完成一個可程式電源供應器，主要是利用 DSP 程式規畫，產生控制信號，使功率級板切出任意所想要的波形信號。功率級板主要設計架構為降壓型轉換器，只要 PWM 控制信號得宜，則可使功率級輸出任意波形。

將功率級設定成為一個降壓型的交流/直流轉換器作為電池的充電器。當輸入電壓有變動時，可以藉由調整工作週期來加以補償，若輸入電壓減少，則工作週期增加。若輸入電壓增加，則工作週期減少，如此可使輸出電壓保持定值。

所有功率轉換器的控制皆以 DSP (TMS320F240)為基礎的軟體控制方式完成。PWM 信號的產生，主要是由計數器設定計數時間，而產生所要頻率的鋸齒波，此固定頻率的鋸齒波再與設定的準位比較，進而產生 PWM 信號。圖 8 為數位電流迴路控制器的方塊圖，輸出的電池電流訊號回授後，經過轉換器將電流訊號轉為電壓訊號，再經過 DSP 內的類比/數位轉換器轉換為數位信號，經由數位電流控制法則的處理產生 PWM 控制信號。

電池監控系統的整合

PC 與 PPS 兩者之間可藉由 RS-232 進行雙向通訊，經由規劃的通訊指令，PC 可產生高階的電壓與電流命令，藉由以視窗為基礎的監控軟體完成系統的整合。在電池的監控過程中，主要是藉由電池電壓、電流、與溫度的回授信號，根據所定義的充電與放電法則，去控制電池的充電與放電電流。由於電池的端電壓相當靈敏，因此電壓的精密度測特別重要，此部分亦由 PPS 完成。

充電控制

由 PC 下達充電程序命令(此程序可為充電、放電或停止充電，一般為充電程序)，充電模式(可為定電壓、定電流、脈衝電壓、脈衝電流)的電壓或電流值以及週期時間、工作週期等，PPS 接收到此命令，經過處理輸出相對應的 PWM 信號，使功率級輸出所要的充電信號，向電池組充電。在充電過程中，電池組須回授電壓、電流、溫度等信號至數位控制器，經過數位控制器處理後，產生適當的 PWM 信號。電池的電壓、電流等檢測信號透過數位控制器送至 PC 端，以利控制充電狀態，及監視充電訊息。數位控制器在此擔任重要的角色，其負責控制功率級輸出，以及偵測電池的電壓、電流信號，並且與 PC 通訊。

經過 A/D 轉換再由數位控制器處理，處理好的資料，再送至 PC 監控軟體，由 PC 監控軟體顯示出充放電的曲線，並判斷是否再對電池充電。若已充至設定的電壓值，須做放電測試，再由 PC 發出放電命令，由數位控制器負責後序之放電程序。數位控制器將接收到的電池狀態信號(包括電壓、電流)，經過數位處理後，送至 PC 端。而 PC 端除了可監視電池充放電狀態外，還以下命令至數位控制器，使 DSP 做適當的處置，產生控制信號，控制功率級及電池組。而這些命令包含充放電程序、充放電模式、充電信號的頻率、工作週期、脈衝高度以及控制參數設定等。

研製系統與實驗結果

圖 4 是研製完成的研製完成的 DSP 控制快速電池充電器實驗系統，圖 5 是利用此單級單開關功因控制 AC/DC 充電器所進行 3C 充電的實驗波形，圖中所示為輸入電壓與電流的波形。圖 6 是此充電器在脈衝充電模式的實驗量測結果，輸出的脈衝電流的頻率為 1 Hz、責任比為 50%的週期性充電曲線，其縱軸為電壓值軸，橫軸為時間軸，每一點代表 130 秒，電池充電的電池電壓曲線圖的時間軸，每點代表 130 秒。實驗顯示脈衝電流充電法的充電效率較高。這是因為脈衝充電法，提供電池充電休息緩和的時間，電池較能有效率的吸收外界進來的能量之故。因此可斷言，脈衝電流充電法比定電流充電法好。

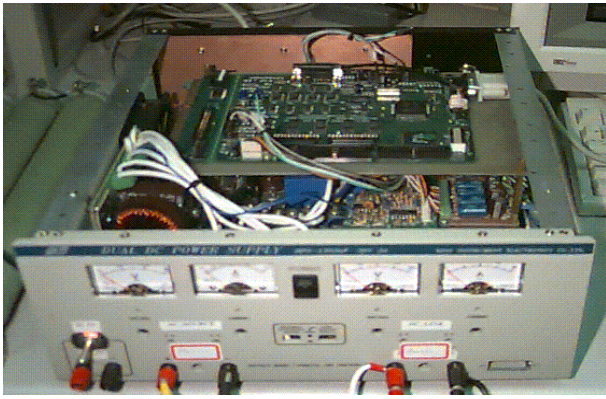


圖 4 研製完成的DSP控制快速電池充電器實驗系統

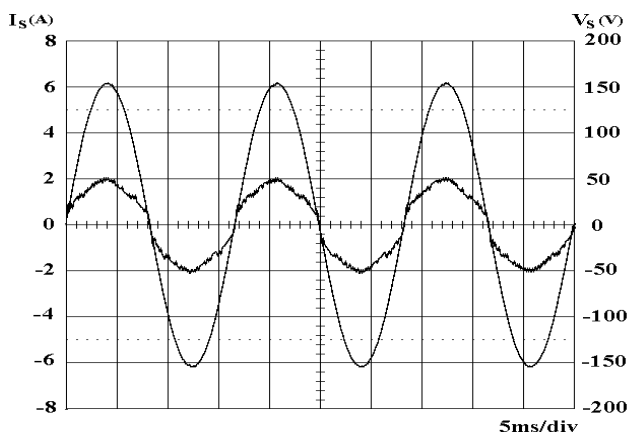


圖 5 單級單開關功因控制AC/DC充電器的輸入電壓與電流波形

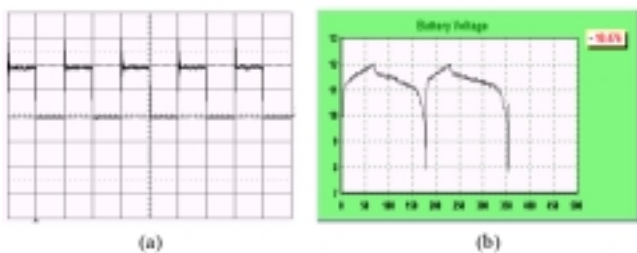


圖 6 脈衝電流之頻率為1 Hz時的週期性充電曲線

四、結論與討論

電池充電狀態之判定，一般是以電池電壓為依據，本研究提出以電池電壓配合電池電壓曲線斜率之判斷方法，進行電池充電狀態的判別。實驗結果證實，電池充電電壓曲線，確實會隨電池電壓狀態之不同，呈現不同的斜率，間接證明本文所提電池充電狀態判別方法的可行性。充電器的研究開發，主要目的在於研製

出一個能夠快速充電、不影響電池壽命、且能隨時準確的顯示電池容量的充電器。但在快速充電的過程中，常會使電池過充電，導致溫度遽昇，減短電池壽命。如何在快速充電和維持電池壽命尋求平衡，是重要的設計考量。經由電池容量檢測，避免電池溫度過高、過充電，並進行電池之維護，可達到快速充電，但又不損及電池壽命。電池容量之偵測，在電動車與UPS之應用，在無電可用之前，預先得知電能之儲量，方可進行必要之防範措施，避免瞬間斷電導致的災害。

五、參考文獻

- [1] C. A. Vincent, F. Bonino, M. Lazzari and B. Scrosati, *Modern Batteries*, Edward Arnold, 1984.
- [2] **Rechargeable Batteries Application Handbook**, Technical Marketing Staff of Gates Energy Products, Inc., Butterworth-Heinemann, 1992.
- [3] D. Linden, *Handbook of Batteries*, McGraw-Hill, Inc., 1995.
- [4] D. Berndt, *Maintenance-Free Batteries: Lead-Acid, Nickel/Cadmium, Nickel/Mental Hydride*, John Wiley & Sons Inc., 1997.
- [5] 李世興, 「電池活用千冊」, 全華書局, 1995年。
- [6] 蔣其超, 「電池技術的研發近況」, 庫科會科學發展月刊, 第1491頁至1497頁, 1998年12月。
- [7] 「替代能源車輛-電動車技術及發展潛力之初步研究」, 交通部運輸研究, 1994年。
- [8] D. Coates and L. Miller, "Advanced batteries for electric vehicle application," *Int. Elect. Vehicle Symp. Conf. Rec.*, no. 14.03, 1992.
- [9] S. Licht, "An overview of Aluminum/Sulfur battery technology," *Proceedings of The Tenth Annual Battery Conference on Application and Advances*, pp. 95-99, 1995.
- [10] H. Nasser, "Basics and advances in battery systems," *IEEE Trans. on Industry Applications*, vol. 31, no. 2 pp. 419-428, 1995.
- [11] B. G. Olsson, "Normalized (pulse-) Charging," *INTELEC Conf. Rec.*, pp. 548-550, 1992.
- [12] E. M. Valeriotte, T. G. Chang, and D. M. Jocnim, "Fast Charging of Lead-Acid Batteries," *Proceedings of The 9th Annual Battery Conference on Application and Advances*, pp. 33-38, 1994.
- [13] M. Anderman and B. Tsenter, "Performance of a 100Ah common vessel mono-block Nickel-Cadmium battery," *Proceedings of The Tenth Annual Battery Conference on Application and Advances*, pp. 141-146, 1995.
- [14] N. H. Kutkut, H. L. N. Wiegman, D. M. Divan, and D. W. Novothy, "Design consideration for charge equalization of an Electric vehicle battery system," *IEEE APEC Conf. Rec.*, pp. 96-103, 1995.
- [15] H. Hashimoto, T. Yamamoto, and O. Wada, "Monitoring of Remaining Discharge Time of Batters," *INTELEC Conf. Rec.*, pp. 205-211, 1992.
- [16] *Improved Charging Methods For Lead-Acid Batteries Using The UC3906*, Unitrode Application Note pp. 9-87~9-97, 1988.
- [17] R. A. Mammano, "Charging the new batteries-IC controllers track new technologies," *Proc. of The Tenth Annual Battery Conference on Application and Advances*, pp. 171-176, 1995.