

電動車智慧型充放電技術之研究(2/2)

A Research on Intelligent Battery Control Techniques for Electric Vehicles (2/2)

計畫編號：NSC90-2213-E009-166

執行期限：90/08/01—91/07/31

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：**電動車、智慧型電池充電器、快速充電、殘電偵測、DSP控制、單相功因修正交直流轉換器、智慧型電池維護、智慧型電池充電策略)

本計畫擬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。本計畫為期兩年擬發展之智慧型電池充電技術包含：電池容量偵測技術、智慧型電池維護技術、與高效率快速充電技術。根據電池之特性，建立電池之充放電模型，採用系統判別方法，建立電池之非線性參數模型，根據電池之充放電輪廓，發展新型的智慧型電池容量偵測技術。本階段研究重點在於發展密閉式鉛酸電池之高效率快速充電技術，發展具有功率因數修正功能的高效率單級式電池充電技術，本研究研製完成一個採用DSP控制具有功率因數修正功能的快速電池充電器。

英文摘要：(**keywords:** intelligent battery charger, fast charging control algorithm, DSP control, intelligent control, fuzzy control, 1-phase bi-directional ac/dc converter, intelligent battery maintenance, power factor correction, intelligent battery control strategy)

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 battery capacity estimation algorithm. According to the charging and discharging characteristics of a battery, nonlinear parametric model will be developed for the sealed lead-acid battery. Nonlinear system identification technique will be employed for the construction of the battery model. The battery charging and discharging profiles will be used for the recursive identification of model parameters. This project will try to develop new battery capacity estimation algorithm

for sealed lead-acid battery. Experimental verification will be carried out for the battery capacity estimation algorithm. This research has implemented a DSP-controlled battery charger with power factor correction control.

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，市場規模龐大。先進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。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。

電動車的充電器可分為車上型與離車型兩種，車上型充電器多屬低電流充電器，充電時間常，但體積小效率高，重量輕、價格便宜。離車型充電器主要應用於緊急狀況，充電電流高、體積大、價格也較為昂貴。離車型充電器由於直接連接市電，且功率較高，因此必須具備功率因數修正的功能，同時也必須具有快速充電的功能[1]-[8]。

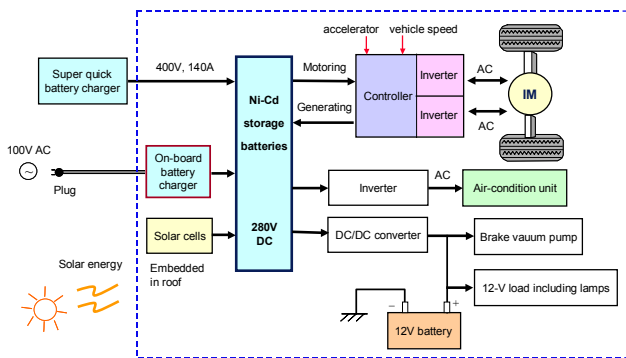


圖 1 複合電動車動力引擎的系統架構圖

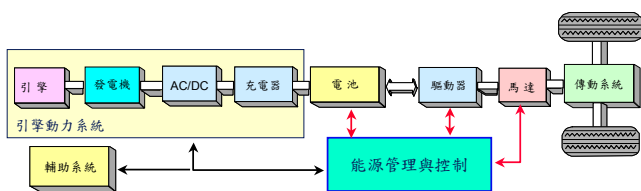


圖 2 複合電動車動力引擎的系統方塊圖

三、研究方法與成果

圖 1 所示是複合電動車動力引擎的系統架構圖，圖 2 所示是其中動力引擎的系統方塊圖。由圖中可以看到複合式電動車藉由引擎驅動的發電機必須經過一個充電器斷電池充電。對於採用二次電池的電動車或是複合式電動車而言，都需要一個高效率的充電器，本研究主要針對電動車應用，發展具有功率因數修正功能的離車式 PFC 快速電池充電技術。

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，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 [9]。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

Benchmark 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。

為了發展一個智慧型的電池充電系統，應先建立一個可由使用者定義的電池充放電監控系統，讓使用者可經由軟體方式，設定各種不同的充電模式與充放電週期，同時具備長期監控與記錄的功能。本研究為了探討電池充放電的問題，研製了一個多功能的可程式化電池充放電監控系統，藉由此系統，可以電腦輔助方式進行電池充電方法的自動調整與評估，進而找出最佳化的快速充電法則，並建立電池容量的自動量測方法。

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 UPS 及電動車。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。

混和式充電法將電池充電分為二個階段，在充電初期，以最大允許之額定電流充電，當電池電壓達到設定電壓後，再以定電壓充電，此時充電電流將隨時間增加而漸漸遞減，直到充電電流很小時表示蓄電池已充飽。

蓄電池容量之偵測方法

蓄電池容量之偵測方法近年來得到廣泛的研究，根據量測的方式主要可分為：比重計法、開路電壓法、內阻量測法、放電曲線查表法、庫倫計量測法等等。要能夠長期準確的偵測出電池的容量，相當困難。克服此一困難，先決條件之一是必須建立一個周詳的電池管理

控制流程，將電池之充電、放電、維護、容量偵測法則、老化、溫度效應等因素納入考量。本文綜合各項因素。本研究以內阻量測為基礎，配合廠商所提供的電池放電曲線，結合多種方法，發展出一種以模糊推為為基礎的蓄電池容量偵測方法。

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，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[9]。

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 3 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。各子系統的功能與設計說明於後。

功率級

功率級採用智慧型功率模組(IPM)作為主要的開關元件，所採用的 IPM 包含六個 IGBT 與相關的驅動與保護電路，經由光耦合器隔離

後，可由控制板送出的 PWM 直接驅動，在硬體電路設計上相當簡單。功率級同時也提供了多組經隔離後的電壓與電流信號。所設計的功率級除了包括了六個可獨立控制的功率晶體之外，也包括三個可控制的磁簧開關，經由適當的程式控制，可將此功率級轉換為不同功能的交直流轉換器，經由電壓與電流之回授控制，可成為一個可程式化的電源供應器，提供不同形式的輸出電壓或電流波形。

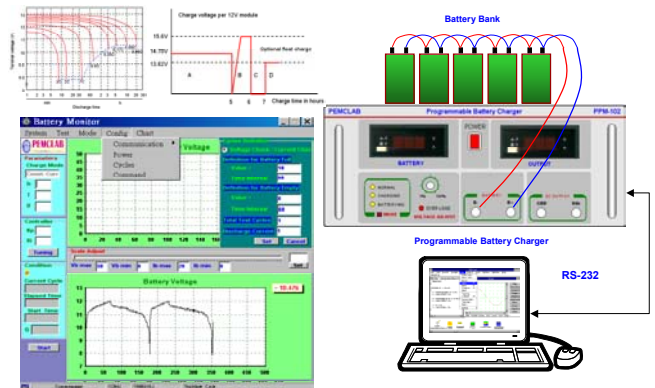


圖3 以個人電腦為基礎的智慧型電池充放電監控系統

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，此電源供應器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。功率級板主要設計架構為降壓型轉換器，理論上只要 PWM 控制信號得宜，則可使功率級輸出任意波形。數位控制器輸出至功率級板的信號為 PWM 信號，而由功率級板回授至數位控制器為電壓、電流二條信號線，此電壓、電流信號是先經過衰減轉換電路，再送進數位控制器，與參考信號比較，再透過數位控制器處理，產生 PWM 信號。整個過程簡單且硬體架構設計容易。

將功率級設定成為一個降壓型的直流/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。而輸出電壓與工作週期 D 成正比，所以，若輸出端負載變重，使得輸出電壓下降

時，則回授控制電路可檢知其電壓降，並自動增加工作週期，使得輸出電壓回復至穩定值。若輸出端負載變輕時，則減少工作週期，使得輸出電壓回復至穩定值。此種過程並不需要增加轉換器內部功率之消耗。當應以降壓型直流轉換器為充電器時，只要將輸出連接電池即可，雖然電池的內阻會隨著充電的狀態而變化，但經由電流迴路控制，即可控制電池的充電電流。

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。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。

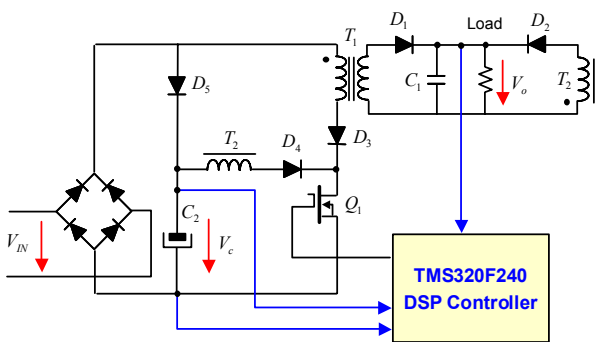


圖4 單級單開關功因控制充電器電路架構圖

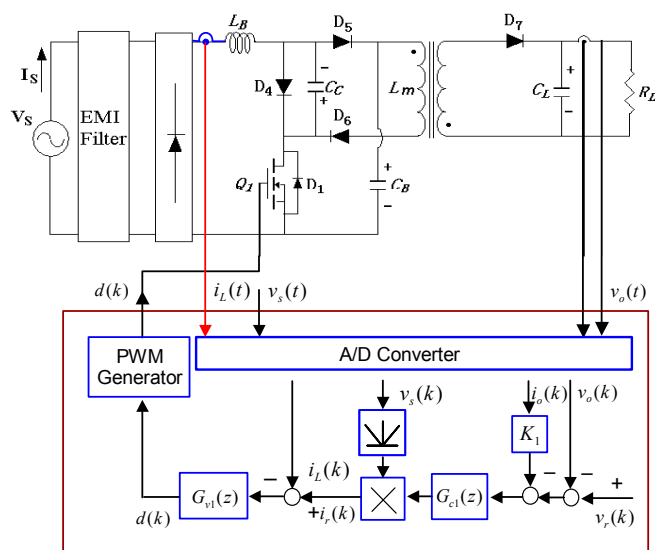


圖5 數位式單級充電器的控制方塊圖

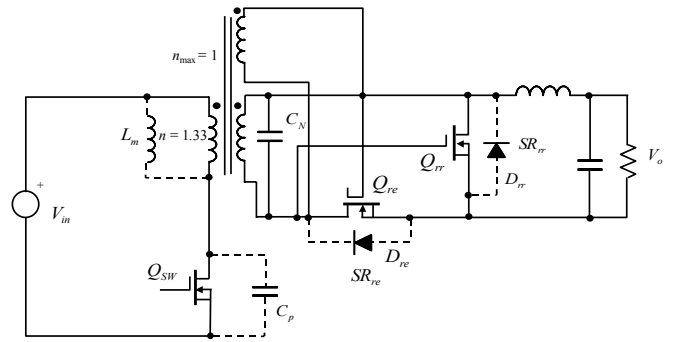


圖5 具有輔助線圈的同步整流DC/DC轉換器的電路架構

本計畫發展的一個具有隔離功能的單級降壓型功因修正器，同時具有電池充電功能。圖 3 是單級單開關功因控制充電器電路架構圖，經由輸出電壓回授，可控制反馳式轉換器的功率開關，一方面控制線電流達到功因控制的目的，二方面達到輸出直流鏈電壓控制的目的，圖 4 是數位式單級充電器的控制方塊圖，其相关的工作原理與電路分析可參考[9]-[10]。

同步整流DC/DC轉換器

為了進一步提高系統的轉換效率，本研究發展了一個具有輔助線圈的同步整流 DC/DC 轉換器的電路架構，如圖 5 所示。此電路與結合所發展的 PFC AC-DC 轉換電路，可提高轉換效率約 2%。

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，因此電壓的精確量測特別重要，此部分亦由 PPS 完成。

充放電控制

由 PC 下達充放電程序命令(此程序可為充電、放電或停止充放電，一般為充電程序)，充放電模式(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。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 6 是研製完成的多功能電池量測實驗系統，圖 7 是此電池快速充電器原型機的內部組成照片，圖 8 是將電路進一步商品化的高功率充電器原型機，此充電器結合了單級式 PFC AC-DC 充電電路，也包含了一組採 IGBT 的全橋式雙向 AC-DC 充電電路，控制器採用單晶片 DSP 控制器 TMS320F2407。

圖 9 在充電情況下的輸入電流波形，由圖中可看出其具有接近正弦的輸入電流波形，其中的電流波形失真主要來自單級隔離反馳式在零交越時低不連續導通模式電壓增益降低所導致的後果，此一現象在反馳式功因修正器的電路架構是難以消除的，所幸其簡單的電路架構足以彌補此一缺點，同時，實驗結果顯示，其功率因數仍可達到 0.98。

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。以電動車應用為例，系統必須在無電可用之前，預先得知電能之儲量，方可進行必要之防範措施。

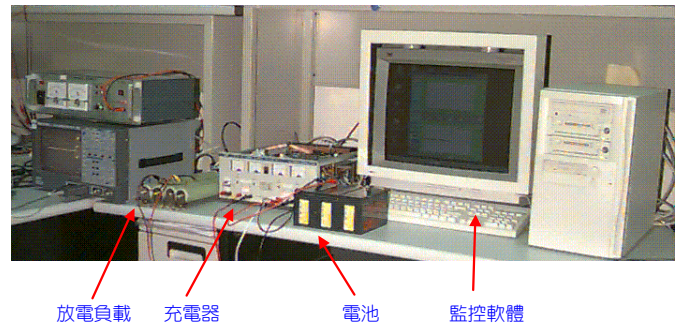


圖 6 研製完成的多功能電池量測實驗系統

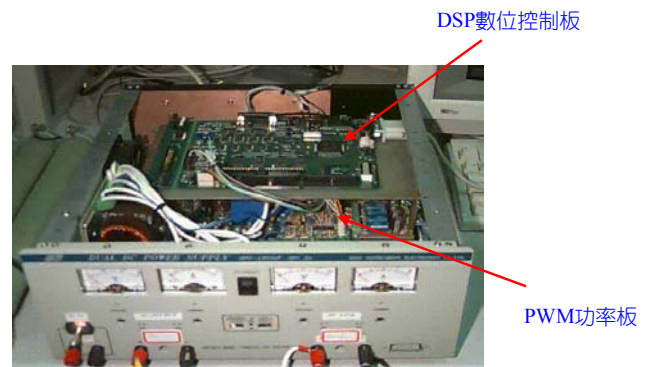


圖 7 DSP 控制電池快速充電器實驗原型機

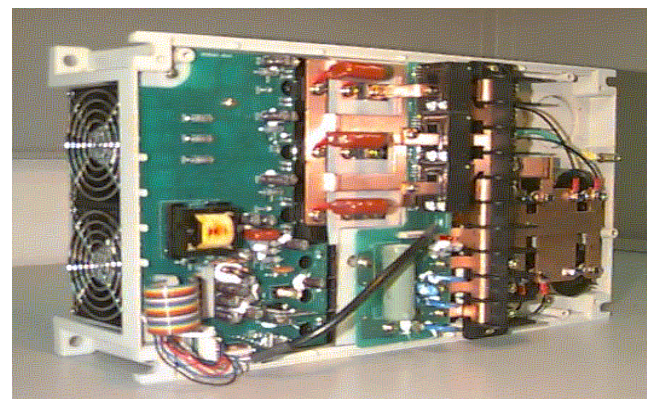


圖 8 電動車快速充電器的原型機

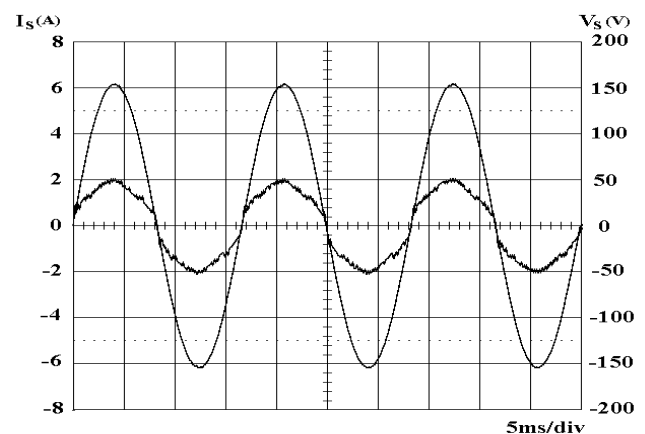


圖9 具有單一功率因數的電池充電器輸入波形

四、結論與討論

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。

電池充電狀態之判定，一般是以電池電壓為依據，本文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。

本研究研製的全數位多功能電池監控系統，採模組化設計，具於易於整合與功能擴充的優點，提供可程式化的電池充放電控制與記錄功能。利用本系統可對蓄電池進行多項測試，包含電池特性曲線量測、電池容量偵測、電池壽命估測、充電效率評估等。此電池監控系統，可應用於探討不同電池的充電方法，進而分析各種充電法的優缺點。以此系統為基礎，結合數值計算與分析軟體，將可進一步研究智慧型的最佳化充電法則。

本研究在電池充電器設計領域，共發表了八篇論文[11]-[18]。研製完成一個以 DSP 控制為核心的全數位多功能電池監控系統，本研究同時發展出一種具有功率因數修正的隔離式充電電路架構，經由 DSP 控制可實現電源轉換控制與充電控制，所發展之技術目前已與國內廠商合作發展新一代的 PFC 電池充電器。

本研究的主要貢獻有二：一是完成以 DSP 為控制核心的智慧型電池快速充電技術，二是完成以單級式 PFC AC-DC 功率轉換電路。未來將進一步加強實用化技術之研究，結合國內廠商，發展具有商品化價值之產品。此外，本計畫已建立了完整的電池監控實驗平台，可進一步發展具有學術價值的智慧型充電器控制方法與數位式 PFC AC-DC 轉換器控制策略的研究，未來將進一步發展雙向 PFC AC-DC 轉換與控制技術，應用於電池充電器與太陽光變頻器發電系統。

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/Metal Hydride*, John Wiley & Sons Inc., 1997.
- [5] 萬其超, 「電池技術的研發近況」, 國科會科學發展月刊, 第 1491 頁至 1497 頁, 1998 年 12 月.
- [6] 「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.
- [7] D. Coates and L. Miller, "Advanced batteries for electric vehicle application," *Int. Elect. Vehicle Symp. Conf. Rec.*, no. 14.03, 1992.
- [8] S. Licht, "An overview of Aluminum/Sulfur battery technology," *Proceedings of The Tenth Annual Battery Conference on Application and Advances*, pp. 95-99, 1995.
- [9] H. Nasser, "Basics and advances in battery systems," *IEEE Trans. on Industry Applications*, vol. 31, no. 2 pp. 419-428, 1995.
- [10] 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.
- [11] Kuo-Lung Tsai (蔡國隆), Yo-Ming Chen (陳佑民), Shiu-Yung Lin (林翊永), and Ying-Yu Tzou, "單相全橋式 PWM AC-DC 轉換器數位控制之模擬分析," 第二十二屆電力工程研討會, 高雄, 台灣, pp. 689-694, Nov. 22-23, 2001.
- [12] Ya-Tsung Feng (馮雅聰) and Ying-Yu Tzou, "DSP 全數位快速響應單相功率因數修正器之研製," 第二十二屆電力工程研討會, 高雄, 台灣, pp. 943-948, Nov. 22-23, 2001.
- [13] Ya-Tsung Feng (馮雅聰), Gow-Long Tsai (蔡國隆), and Ying-Yu Tzou, "Digital control of a single-stage single-switch flyback PFC AC/DC converter with fast dynamic response," *IEEE PESC Conf. Rec.*, pp. 1251-1256, Vancouver, Canada, June 17-22, 2001.
- [14] Ya-Tsung Feng and Ying-Yu Tzou, "DSP control of a single-stage DC-UPS with power factor correction," *PCIM Proc.*, pp. 424-431, Boston, USA, Oct. 1-5, 2000.
- [15] Ya-Tsung Feng, Yo-Ming Chen, Hsing-Fu Liu, and Ying-Yu Tzou, "DSP control a ZVT soft-switching PFC converter," *EPE Conf. Rec.*, pp. 3-150 - 3-155, Kosice, Slovak Republic, Sept. 5-7, 2000.
- [16] 馮雅聰, 陳佑民, 鄒應嶼, "以 DSP 控制具有備用電源之 48V 電源供應器之研製," 第二十一屆電力工程研討會, 台北, 台灣, pp. 1040-1045, Nov. 18-19, 2000.
- [17] 邱穎川, 鄒應嶼, UPS 蓄電池容量之偵測技術, 電子月刊, 1999 年 2 月。
- [18] Yung-Hiang Liu (劉永祥) and Ying-Yu Tzou, "零電壓轉換昇壓型功因修正器設計與實現," 第二十屆電力工程研討會, 台北, 台灣, pp. 13-18, Nov. 20-21, 1999.