

具主從架構之電池管理系統開發

林正乾* 戴亞霖 伍崇永

國立勤益科技大學電機工程系

摘要

鋰離子電池具有高能量與功率密度，近代的電動車為提升性能因此主要採用鋰離子電池，但鋰離子電池需要先進的電池管理系統對任一電芯進行保護、平衡與殘電量估測等管理，若無任何電池管理或不適當的電池管理，鋰離子電池容易產生致命性的損壞，電池管理系統對電動車的重要性可見一斑。

本文開發一套多模組串聯的鋰鐵磷電池管理系統，此電池管理系統由模組電池管理系統 (slave) 與主管理板 (master) 的主從拓樸 (topology) 所組成，模組電池管理系統管理 48 V 電池模組之 16 顆鋰鐵磷電芯，主管理板則與各模組電池板進行資料與命令的雙向通訊，執行電池系統的管理任務。

本研究所開發出之電池管理系統可以準確的量測電池參數，並根據預設值對電池進行過充或過放保護，也藉由主動平衡技術對串聯電池芯進行容量平衡補救，三階段的殘電量估測法則提供可靠的電池容量資訊，車載資料擷取卡則提供研究人員即時且長期的電池運轉資料，對電池與管理系統的長期性能評估助益很大。

關鍵詞：電池管理系統，主從架構，鋰鐵磷電池。

DEVELOPMENT OF A BMS WITH MASTER-SLAVE TOPOLOGY

J. C. Muti Lin* Yai-Lin Tai Chung-Yung Wu

*Department of Electrical Engineering
National Chinyi University of Technology
Taichun, Taiwan 411, R.O.C.*

Key Words: Battery Management System, Master-Slave Topology, LFP.

ABSTRACT

Lithium batteries, which are high in energy and power densities, are adopted by modern electrical vehicles (EV) to improve driving performance. However, lithium batteries advanced battery management systems (BMS) to prevent going cells out of electrochemical limits; balance the state of charges among cells in series; and estimate battery state of the charge. Fatal accidents could happen to lithium batteries without appropriate BMS. BMS is instrumental for lithium battery systems.

This article presents the development of an advanced BMS for multiple Lithium iron phosphate (LFP) battery modules connected in series. The configuration of multiple battery modules connected in series is

*通訊作者：林正乾，e-mail: mutilin@ncut.edu.tw

Corresponding author: J. C. Muti Lin, e-mail: mutilin@ncut.edu.tw

commonly present in EVs. The current BMS is based on a master and slave topology design. Each 48 V battery module with 16 cells connected in series is managed by a module BMS, which serves as the slave, and a main control board, which is the master, coordinates two way communication between master and slaves and execute battery management actions.

The developed BMS was shown to measure battery parameters accurately; protect cells from overcharging and over discharging according to preset limits; conduct innovative active cell balance to compensate cell capacity inconsistencies; and predict a reliable battery state of charge with a devised two-stage method. A vehicle information system with vehicle data acquisition function was designed in the current work. This vehicle information system, providing both real-time presentation and post analysis functions, facilitated long term performance evaluation of the developed BMS in the current study.

一、前言

燃油汽機車是造成都會地區空氣品質惡劣的最大污染源，因此近年來各個國家積極推廣電動車，以歐洲工業大國德國為例，德國聯邦政府於 2010 年 5 月正式啓動名為德國「國家電動汽車計畫」項目，以進一步促進電動車研發和市場化，目標是到 2020 年使行駛在德國公路上的電動車達到 100 萬輛；美國自歐巴馬總統上任後，也推出一系列新能源計畫，旨在推動新能源汽車的普及，希望可以在 2015 年美國要有 100 萬輛充電式混合動力車上路；中國未來推動的十二五新能源車計劃，已設定純電動車為汽車工業轉型之主要戰略，並推動新能源車產業發展，設定 2015 年新能源車保有量達百萬輛之目標，並於 2020 年新能源車達千萬輛。

鋰離子電池是現今電動車最佳的動力來源，因為鋰離子電池的優異電化學反應對電動車帶來效率的改善，並提升車子的續航能力。電動車所需的電力是由多顆鋰電芯串並聯而成的電池組，為了避免電芯過充、過放、電芯電壓不一致等問題，完善的電池管理系統就是電池組的安全保證，不但可以維護電池使用壽命，對於電動車行駛安全也極為重要。

鋰離子電池雖擁有高能量密度與功率高之優異能力，但鋰電池常因使用不當而造成災難性的意外發生，因此須避免鋰離子電池過充、過放或過溫的狀況發生，為了延長電池的壽命與保護使用者的安全，必須建構電池管理系統 (battery management system, BMS) 來確保電池組運作在安全的範圍內[1]，電池管理系統的主要功能之一為量測單電芯的電壓，並判斷是否大於過充電壓與小於過放電壓，對電池芯進行即時的保護。電池管理系統另一個主要功能為溫度的量測，當電池芯的溫度超過 120°C，溫度大於電池芯內隔離膜的熔點，隔離膜會熔化收縮，導致極板接觸短路，此時電池為不可逆的狀態，無法再對電池進行充電或放電的動作，因此溫度量測在電池管理系統中是相當重要的功能之一[2]。

在串聯電池組中，電池電芯會因內阻或製程的不同，會有電芯電壓不一致的狀況發生，這樣的問題會導致電芯提早過充或過放，大幅影響電池組的使用效率與壽命，要改善這問題必須加入平衡機制。目前電池組的平衡方法主要分為主動式平衡與被動式平衡[3]，參考文獻[4]採用被動式平衡法，被動式平衡法是讓電池組長時間過充以及利用電阻來消耗電池能量，這種方法除了耗費的時間較長、電能的浪費，也降低了整個電池組的能量；主動式平衡是將最高電壓之電芯能量補充至最低電壓之電芯，並將最低電壓之電芯電量拉抬至與最高電壓之電芯一致的觀念，是以電荷移轉的方式來平衡串聯電芯的電壓，採用主動式平衡的學術研究如[5-7]，但因為現有的主動式平衡法尚有電芯過充之可能性，實務上比較少被採用。本研究採用二階段主動式平衡系統，在對鋰離子電池組充電時使用一創新的選擇電路對每個電池電芯電壓等值化；系統自動找出電池組中電芯的最小電壓，並將最小電芯的電壓拉抬至設定值，之後系統會反覆將當時具最小電壓電芯拉到設定值，當任一電芯的電壓達到過充的條件後，本平衡系統會轉入充分模式，依序用定電壓的方式將每一串聯的單電芯充分至飽電，藉此兩階段充電方式達到充電時絕不過充且每一電芯皆可達到飽電狀態。

本研究針對額定電壓 96 V 容量 30 Ah 鋰鐵磷電池組進行電池管理系統的開發，此 96 V/30 Ah 鋰鐵磷電池組是由 32 顆額定電壓 3.2 V 容量 30 Ah 的鋰鐵磷電芯串聯而成，本研究將 32 顆串聯的鋰鐵磷電池電芯分成兩個串聯的電池模組，分別由兩個電池管理系統模組進行管理，並統一一由一個主控制系統來接收兩個電池管理系統模組的資訊。此通訊結構是參考文獻[8-10]以主從拓樸的架構建立的，主控制系統為 Master，兩個電池管理系統模組為 Slave，Master 會發送對應站號給對應的電池管理系統模組，之後電池管理系統模組會將量測到的即時單電芯電壓、總電流、電池狀態給主控制系統，主控制系統則根據接收到的資料進行分析與計算，其動作包括過充保護、過放警示、殘餘電量估測、二段式充電法以及電池組的電力資訊，其中本研究

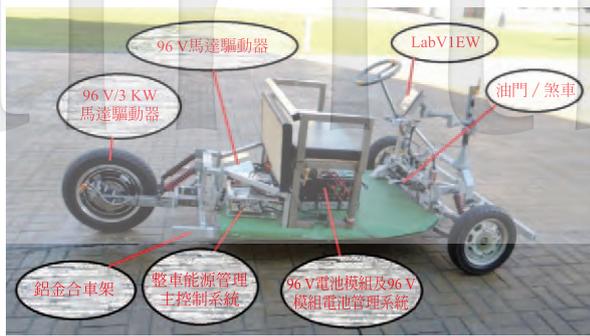


圖 1 96 V 原型電動車

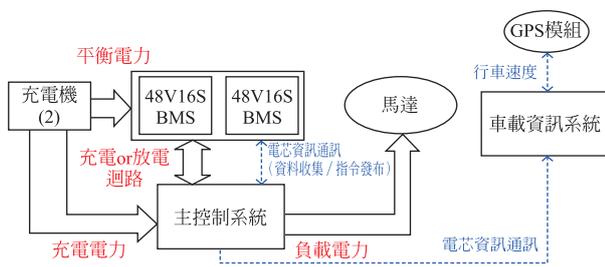


圖 2 96 V 電池管理系統架構示意圖

開發的電池管理系統最終將安裝至自行設計的 96 V 電動車上進行測試，並透過自行撰寫的車載資訊系統來進行即時資料的顯示與記錄，以驗證本電池管理系統與二段式充電法能有效避免電池組發生過充或過放之問題，並提升電池組之蓄電量與使用效率。

二、研究方法

為了測試本研究所開發的主從電池管理系統，特別設計與製作了一台 96 V 的原型電動車，車體實體如圖 1，車體尺寸約 1.6 M × 1.3 M × 70 M，最大乘坐人數為兩人，圖 1 的原型電動車採後輪輪轂馬達驅動，輪子採前二後一之設計，馬達額定功率為 3 kW，最高時速可達 60 km/hr，本研究將兩個 48 V/30 Ah 串聯而成的 96 V 鋰鐵磷電池組置於座位底下，主控制系統則位於 96 V 鋰鐵磷電池組後方。

96 V 電池管理系統架構示意圖如圖 2 所示，將 96 V 鋰鐵電池組分成兩個 48V 電池模組，並使用兩個 48 V16S 之模組電池管理系統進行電池模組的管理，再利用一個主控制系統透過通訊收集兩個 48 V 電池模組的資料，為多模組串聯鋰鐵磷電池系統之管理系統。本 96 V 電池管理系統主要是由模組電池管理系統與主管理板的主從拓樸所組成，模組電池管理系統管理 48 V 電池模組之 16 顆鋰鐵磷電芯，主管理板則與各模組電池板進行資料與命令的雙向通訊。模組電池執行電池系統的管理任務，而主控制系統將根據資料進行電力控制，最終主控制系統會將相關數據送至車載資訊系統上，供使用者隨時掌握行車狀況。

表一 有量科技磷酸鋰鐵電芯規格[11]

項目名稱	規格
正極材料	磷酸鋰鐵
標準電壓	3.2 V
最高電壓	3.65 V
最低電壓	2.5 V
容量	30 Ah
循環壽命	3000
內阻	< 1.2 mΩ
最大充電電流	2 C
最大連續放電電流	5 C
組成	7799130P × 4

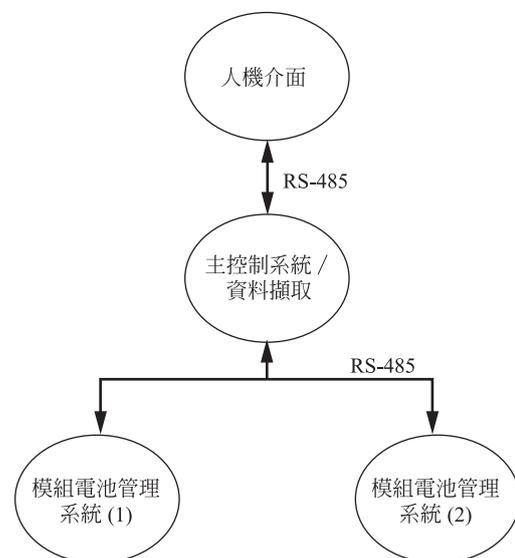


圖 3 具主從架構之電池管理系統

本 96 V 電池管理系統建構在模組電池管理系統的基礎上，並利用主控制系統來達成電芯級的保護與管理，並藉由車載資訊系統進行即時監控之目的，最終將此系統實現於 96 V 的電動載具上以驗證其效果，本 96 V 之主從電池管理系統如圖 3 所示，包含模組電池管理系統、主控制系統與車載資訊系統，其功能說明如下：

1. 模組電池管理系統

為了符合 96 V 電動車的電力需求，本文使用有量科技出產之 30 Ah/3.2 V 磷酸鋰鐵電芯，其規格如表一，並使用 32 顆 30 Ah/3.2 V 之磷酸鋰鐵電芯組成 96 V/32 S 電池組，為了方便管理以及受電池管理系統之限制而分成兩個 48 V/16 S 電池模組，分別由兩個 48 V/16 S 之模組電池管理系統來進行管理，有量科技出產之磷酸鋰鐵電池擁有低內阻、高能量密度之優點，且通過 UL1642 之認證，其 96 V/32 S 模組電池電池組外觀與規格如圖 4 與表一所示。

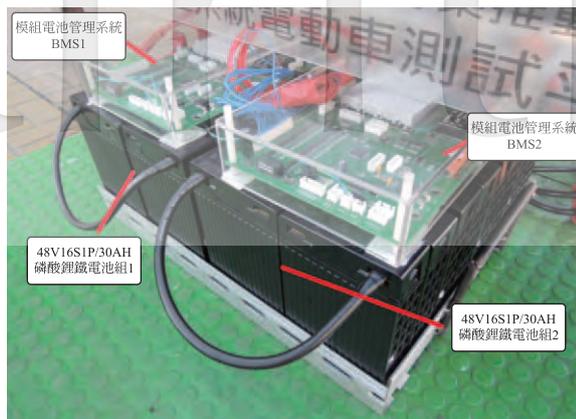


圖 4 48 V/30 Ah 模組電池組與電池管理系統實照



圖 5 模組電池管理系統架構示意圖

本研究所開發之模組電池管理系統主要任務為量測 48 V 電池模組內 16 個電芯電壓與狀態，並在適當的時機進行主動式平衡與電芯異常的警示工作，以維持電池模組內電芯電壓的一致性與安全性，另外模組電池管理系統亦可透過隔離型通訊系統，將電池模組的電芯資料傳送至主控制系統，供主控制系統進行分析與管理，以維護整個系統可正常工作。模組電池管理系統是由五個子系統所構成，包括電芯電壓量測系統、電流量測系統、主動式平衡系統、隔離型通訊系統以及電芯異常警示，各子系統皆扮演著不可或缺的角色，其架構示意圖如圖 5 所示。

(一) 電芯電壓量測系統

本高精度電壓量測系統是以光繼電器作為量測電芯電壓的切換開關，並透過切換開關將電芯連結至電壓量測通道以進行電壓量測的工作，此法能將電壓量測誤差降低至 20 mV 以內，由於光繼電器可由微控制器直接驅動，故不需添加額外驅動元件，減少不必要的空間浪費，而為了提高電壓值的穩定度與系統的安全性，本系統於 ADC (analog-to-digital converter) 通道前加裝濾波電容與 5.1 V 基納二極體，提高電壓量測的穩定度並保護量測通道不因電壓突波而損壞，本高精度電壓量測系統之示意圖如圖 6 所示。

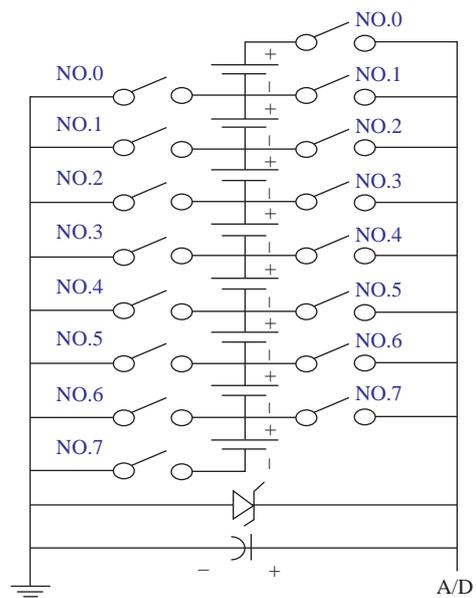


圖 6 高精度電壓量測示意圖

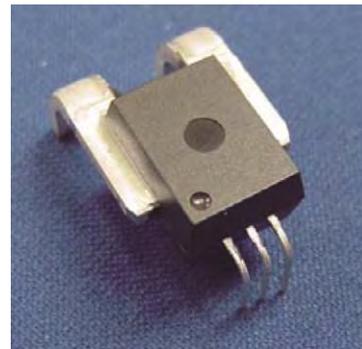


圖 7 ACS756 外觀

此方法能大幅增加電壓量測系統的可靠度，量測系統效率高、功耗低，每個通道的電路誤差將接近一致，最高可建置高達 400 V 的量測系統，但須注意的是一個電芯需要 2 個光繼電器作為開關的切換，串聯電芯數目越多，光繼電器元件數目及需要的控制 I/O 腳也就越多，此時可以考慮使用多工器來降低 I/O 腳的使用量，但是多工器本身耐壓較低，不適合應用於此系統。

(二) 電流量測系統

為了監控電池組的充電與放電狀態，本電流量測系統使用以霍爾效應為原理的 ACS756 [12] 系列 IC 作為電流量測的主要元件，ACS756 系列 IC 體積小、使用方便、5 V 驅動且最大可量測 200 A 之電流，而透過 ACS756 可將電流轉換成相對應的電壓值，根據電壓值即可進行分析並求得實際電流值，其外觀如圖 7 所示。

在計算電池殘電量 (state of charge, SOC) 時須利用庫

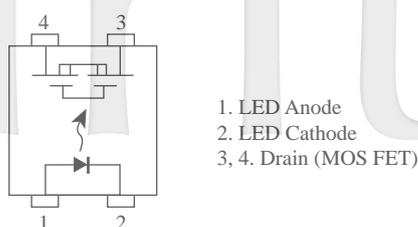


圖 8 光繼電器示意圖

倫積分法對電流做積分，因此採用這顆 ACS756 電流感測 IC，電流量測電路控制簡單，耐流高達 200 安培，誤差率也小於 20 mV/A，對於電池殘電量的估測有顯著的效益。

(三) 主動式平衡系統

本電池管理系統上裝有主動式平衡切換電路，透過主動式平衡切換電路可任意對任一電芯進行平衡的動作，而在切換開關的選擇上使用光繼電器[13]來擔任，此光繼電器除了有 5 V 直接驅動的優點外，亦可承受 6 A 的平衡電流，對於電芯平衡有很大的助益，為了克服既有被動式與主動式平衡電路的缺點，本研究基於主動式平衡切換電路提出一個結合全域式主動平衡與具傳統單電芯分充的二段式充電法，此充電法可有效改善部分電芯提早過放之問題並大幅延長電池組的使用效率，光繼電器之示意圖如圖 8 所示。

(四) 隔離型通訊系統

本研究之通訊系統皆以 RS-485 為通訊介面且以 Modbus 作為通訊協定，RS-485 被認為是抗雜訊最好的通訊介面，並且為工業用的標準通訊介面，只需 2 條線即可建置 1 對多通訊網，為了建立完善的通訊網，本通訊系統以隔離型的 RS-485 通訊晶片 ADM2687E[14]作為主要通訊晶片，ADM2687E 可將系統電源與通訊電位進行電氣隔離，避免外部高壓突波打壞整個控制系統，達到通訊與安全的目的，其腳位圖如圖 9 所示。

為了建立完善的通訊網，必須注意的是電池管理系統中的電位差會造成 RS-485 通訊線上共模電壓差過大的問題，會造成通訊轉換 IC 的燒毀，甚至影響整個電池管理系統，因此本通訊系統以隔離型的 RS-485 通訊晶片 ADM2687E 作為主要通訊晶片，且通訊晶片之輸出端 A、B 需額外並聯 TVS (抗雜訊 IC)，增加通訊的穩定。

(五) 電芯異常警示與保護系統

鋰鐵磷電池如同其他鋰離子電池有過充與過放的限制，當鋰鐵電池出現過充或過放的現象時，將對電芯造成不可逆的損害，為了延長電芯壽命避免電芯出現過充或過放的狀態，於控制系統中加入過充與過放的警示機制。當電芯出現過充現象時，會立即切斷充電迴路以保護電芯；若於放電時出現過放現象，基於此

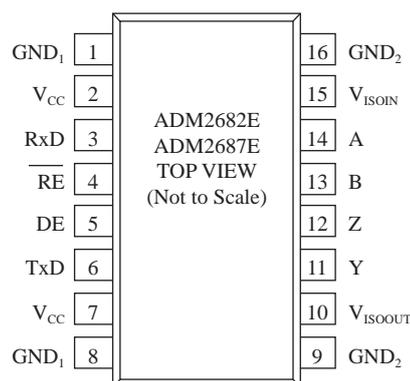


圖 9 ADM2687E 腳位圖

電池組是應用於載具上，考量到若出現過放現象就立即斷電保護電芯時有很大的機率造成交通危險，故過放時僅鳴叫警示不進行保護。

2. 主控制系統

主控制系統在主從架構的電池管理系統中主要是從模組電池管理系統傳來的資訊進行判斷並執行過充保護、充電流程控制、放電流程控制、電芯資料接收、電力資料發送、殘餘電量估測以及電芯異常預警，主控制系統在運作時會即時向兩個模組電池管理系統進行資料的通訊，以獲取電池模組的電芯資料，隨後主控制系統會根據電芯資料與電流感測器進行殘餘電量估測的工作，並將數據傳送至車載資訊系統，主控制系統的功能介紹如下。

(一) 總電壓量測

本研究為量測電池組的總電壓值，使用電阻分壓法來量測電池電壓，最終將量測的數值與電阻比值進行換算。

(二) 總電流量測

96 V 鋰鐵電池組的電流值最大可達 150 A，為了精準量測電流數值必須使用特殊的電流感測器來進行量測，本研究使用可量測 200 A 之 ACS756 霍爾感測元件來進行電流的量測，霍爾感測元件則是根據電流在線路上產生的磁場來進行換算並轉換成直流電壓，屬於非接觸的量測方法且擁有方便與安全的優點，在工業上受到廣泛使用。

(三) 過充保護機制

鋰鐵電池如同其他電池一樣，有過充、過放、過溫以及過電流的限制，本主控制系統會根據模組電池管理系統回傳的資料進行判斷，當電池組出現過充的狀態時，系統會立即切斷充電迴路，並進行分充模式；若電池組出現過放、過溫或過電流的狀態時，主控制系統則進行鳴叫警示，以達到保護與警告的功能。

(四) 隔離型通訊系統

主控制板為了能接收電池管理系統之參數與發送資料給車載資訊系統，扮演主動發送指令的角色，主控



圖 10 三階段 SOC 估測法的架構圖

制系統會根據 Modbus 的規範來發送指令給電池管理系統，電池管理系統接收到指令後即回傳資料給主控制系統進行統整，主控制系統接收完資料後便發送電芯資料給車載資訊系統進行分析與記錄，為了避免電力雜訊干擾通訊品質，主控制系統也選用 ADM2687E 作為主要通訊晶片，以維持通訊品質。

(五) 殘餘電量估測

一般市面上販售的電動摩托車對於電池殘電量的估算方法大多使用開路電壓 (OCV)，因為電路的設計簡單且成本較低，但是相對的，精確度不高，因此本研究提出了一套量測電池殘電量的方法—「三階段 SOC 估測法」。由於鋰離子電芯殘電量 SOC 在 10%~90% 區間電壓變化量低而導致辨識度不高，所以本研究將電池殘電量的量測分為三個階段，圖 10 為三階段 SOC 估測法的架構圖。當電池組處於放電狀態時，電壓最低的電芯若大於 3.0 V，SOC 則利用庫倫積分法來進行估測，電壓最低的電芯若小於 3.0 V，此時電壓的變化量較高，所以使用電動勢法來進行 SOC 的估測；當電池組處於充電狀態時，電壓最低的電芯若小於 3.35 V，SOC 則利用庫倫積分法來進行估測，電壓最低的電芯若大於 3.35 V，此時電壓的變化量較高，所以使用電動勢法來進行 SOC 的估測。第一階段與第三階段使用電動勢法的原因是電壓的變化量比較大，所以適合用電動勢法來估測電池殘電量；第二階段使用庫倫積分法的原因是電壓變化量很小，無法從電動勢法得到準確的殘電量。

經由這套三階段 SOC 估測法可以估測出電池組即時的電池殘電量，幫助駕駛者與監控端得到準確的電池殘電量。另外，此方法更能避免電池芯過充或過放而導致車輛拋錨或是爆炸等危險。

(六) 二段式充電法

本研究基於目前的主動式或被動式平衡技術已無法有效防止電芯提早過充或過放的現象發生，提出一個結合主動式平衡法與電芯分充的二段式充電方法，二段式充電法分為第一階段 (串充) 與第二階段 (分充)，以提高電池組蓄電量為首要目標，第一階段 (串充) 為充電平衡方式，於充電的過程中進行平衡的工作直到電芯過充；當電芯過充後即進行第二階段 (分充) 模式，第二階段會針對每一顆電芯進行平衡充電至設定值，以確保每顆電芯之續電量盡量接近最大值，二段式充電法之電路示意圖如圖 11 所示，說明如下：

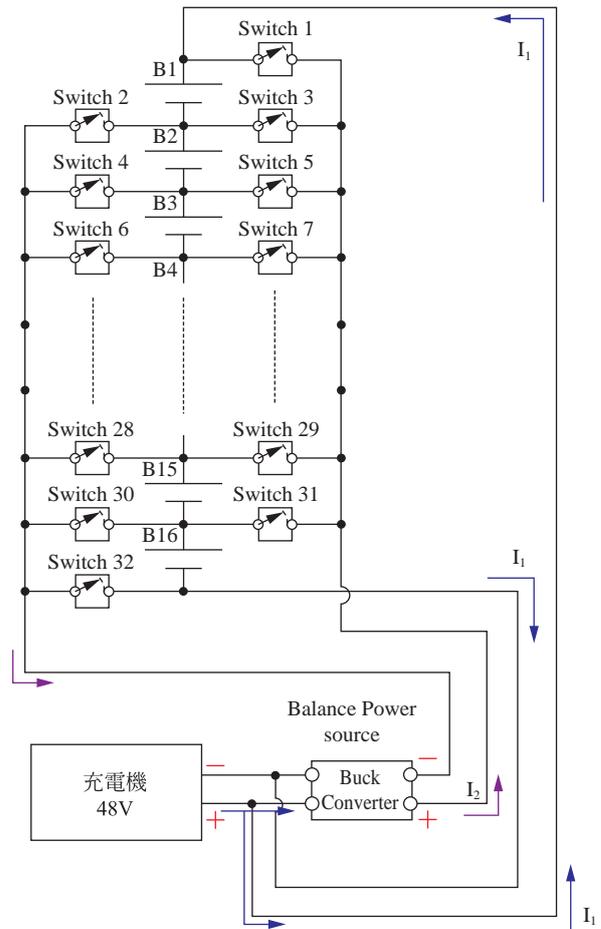


圖 11 二段式法電路示意圖

(1) 第一階段 (串充)：

在串充的第一階段電池組接受充電器進行整組電池組的串聯充電 (I_1)，同時藉由獨立平衡電源產生的平衡電流 (I_2) 來進行主動式平衡，目標是在電池組串充時進行平衡的任務，其主要邏輯為將各電芯間的電壓值進行運算並計算出最大電壓與最小電壓的電壓差，當電壓差達設定值時，系統將自動啟動平衡機制，也就是打開最低電壓之電芯開關使平衡電流 (I_2) 流入此電芯，也就是將電壓最低的電芯以串充電流 (I_1) 加上平衡電流 (I_2) 的較大電流充電直到此電芯電壓與電池組平衡，本平衡管理系統的控制流程如圖 12 所示，由本流程圖可清楚看到平衡管理系統的動作流程，開始進行平衡之前會先進行電壓的量測，並判斷平衡條件與電池的狀態，當平衡條件成立時會根據電壓值來尋找電壓最低的電芯，並針對該電芯進行主動式平衡的動作，直到電壓達設定值時，又隨即重新判斷平衡條件，如此反覆來達到平衡的目的，當任一單電芯達到過充條件時串充電流 (I_1) 立刻切離電池組，第一階段的串充也結束，系統立刻進入分充第二階段。

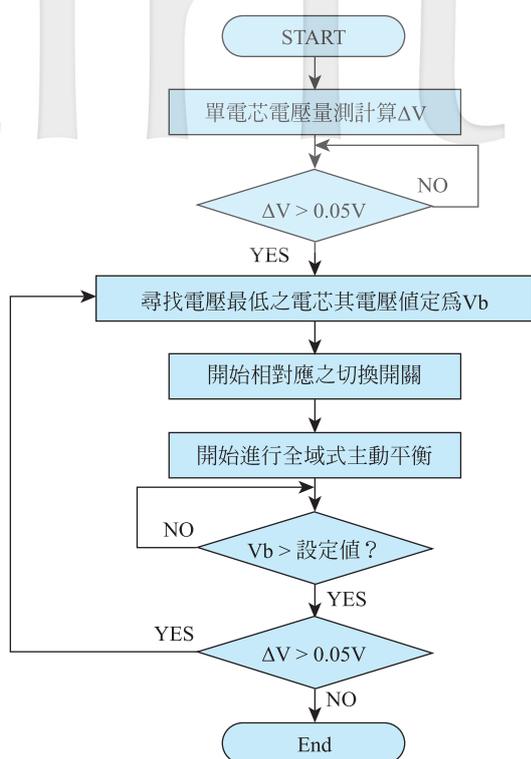


圖 12 平衡管理系統之控制流程圖

(2) 第二階段 (分充)：

在第二階段本計畫使用圖 11 的平衡電路，對每一個電芯依序進行定電壓的充電，充電截止點同樣設在鋰鐵電芯的過充電壓 (3.65 V) 上，當每個串聯組上的電芯皆完成一次定電壓的充電後，整個充電的程序就結束。

3. 車載資訊系統

本研究使用 LabVIEW 圖控軟體[15]進行車載資訊系統的人機設計，並將人機系統安裝至工業電腦中，此車載資訊系統主要任務為接收由主控制系統與 GPS 接收模組所發送出來的資料並進行分析與計算，車載資訊系統會即時將單電芯資料、電池組狀態、電芯異常警示以及行車速度…等資料顯示於人機畫面上，當系統執行的同時也會將資料儲存於工業電腦中，以便後續分析使用，車載資訊系統之示意圖與外觀如圖 13 所示。

本車載資訊系統透過 RS-485 與 RS-232 來接收電動車的電力參數、電池組參數以及行車參數，並於系統中進行分析與計算的工作，最終顯示於人機畫面上且以即時顯示為主要目標，系統中亦增加資料儲存的功能，系統會將各項處理完成之資料製作成 Excel 報表並儲存於電腦中，車載資訊系統之人機畫面如圖 14 所示，此人機畫面顯示了兩個 48 V 電池模組的單電芯電壓、總電壓、最大電壓、最小電壓以及電壓差，可即時看到全電芯的電壓狀態與參數，另外亦顯示電動車的總電壓、總電流、總功率、行車即時

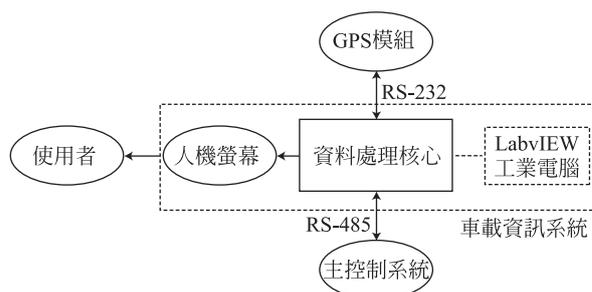


圖 13 車載資訊系統示意圖

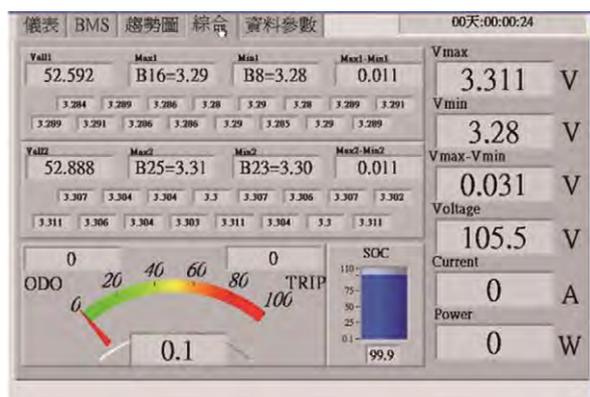


圖 14 車載資訊系統之人機畫面

速度與殘餘電量估測量表，供駕駛人員掌握電動車的即時狀態。

三、96 V 電動車整合測試

本研究將模組電池管理系統、主控制系統以及車載資訊系統安裝於自製的 96 V 三輪電動車上，透過車載資訊系統將資料顯示於人機畫面上並進行儲存，方便駕駛人員或研究人員可即時了解相關數據。本研究為了測試電動車性能與電池管理系統的穩定性，進行一系列的測試項目，針對爬坡、一般道路、續航力、加速力以及殘餘電量進行測試，並針對目前市面上常見的殘餘電量不準確與動力不足之問題進行分析，以驗證本研究之可行性。

本研究採用有量科技的磷酸鋰鐵電芯，其單一電芯額定電壓為 3.2 V，額定容量為 30 Ah，並使用 32 顆電芯進行 96 V/32 S 電池組的串聯組裝，額定電壓與容量為 96 V/30 Ah，適合應用於本電動車之上，而已安裝 96 V/32 S 之電動車實體如圖 1 所示。

1. 爬坡測試

本測試主要驗證本電動車之爬坡性能，選擇位於國立勤益科技大學附近之山坡地進行測試，此山坡全長約 400 公尺，坡度約 10~12 度，而圖 15 是以 X 軸為時間軸，Y

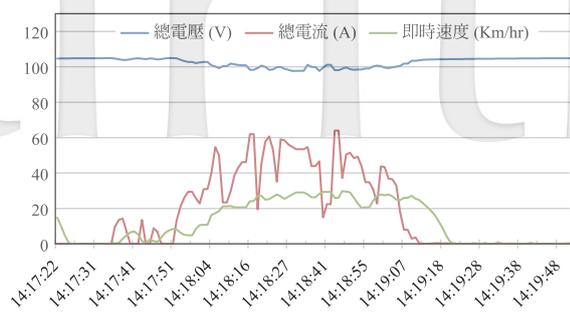


圖 15 爬坡測試之趨勢圖

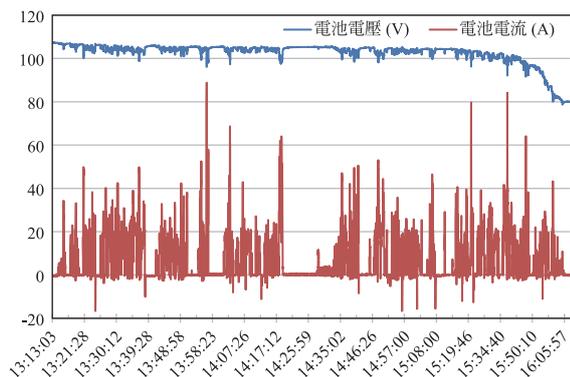


圖 16 一般道路測試之電池電壓、電流趨勢圖

軸為電壓、電流、速度趨勢圖，由圖 15 可觀察到本測試以平均約 20 km/hr 之速度前進且最大消耗功率約 6000 W，最終花費約 70 秒的時間順利完成爬坡測試，而電池管理系統於大功率的操作下依然可正常量測各項電力參數，驗證了電動車與電池管理系統之性能與穩定性。

2. 一般道路測試

本測試主要測試電動車於一般道路行駛之狀態與系統穩定性，當車輛載具於一般道路行駛時容易因路況的不同而受到不同程度的影響，尤其是電子系統容易因震動而產生不穩定的現象，本研究選擇一般道路進行測試，並透過電池管理系統來即時量測各項電力參數，圖 16 是以 X 軸為時間軸，Y 軸為總電壓、總電流之趨勢圖，由圖 16 可觀察總電壓與總電流之變化與關係，測試的初始電壓與截止電壓分別約為 108 V 與 80 V，測試過程以平均 20~40 km/hr 的速度前進，剎車回充電流約 7~18 A，全程測試時間約 2.16 小時並行駛 66.1 km，且沒有出現資料遺失或參數異常之狀況，以驗證本研究之電動車與電池管理系統可承受一般道路之路況與外在環境之影響。

3. 加速力測試

本測試主要為驗證本電動車的加速性能，目前一般電動車的性大多不如汽油車強勁，所以在電動車的性上往往受到大家的矚目，本研究於國立勤益科技大學新校區

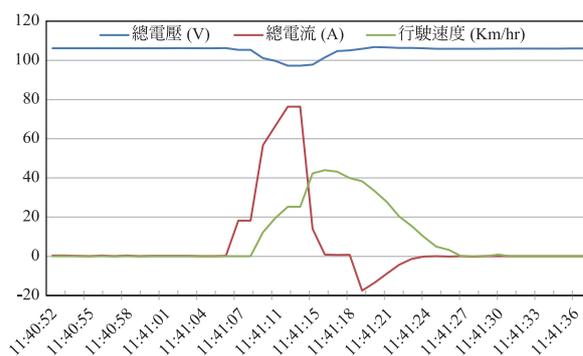


圖 17 加速力測試之總電壓、總電流、行駛速度趨勢圖

進行加速力的測試，測試本電動車於 100 公尺內之最高即時速度，本電動車掛載 96 V/3000 W 之輪殼馬達並使用 96 V/32 S 鋰鐵磷電池組，由靜止起步開始計時並測速，圖 17 是以 X 軸為時間軸，Y 軸為電壓、電流、速度曲線圖，由圖 17 可觀察出本測試從靜止到 100 公尺約花費 11 秒並加速到約 45 km/hr 之速度，意即 10 秒內可加速至約 40 km/hr，剎車採下的瞬間有將近 20 A 之回充電流，由此測試可驗證本電動車之加速力雖不比汽油車強勁，但仍保有一定程度的加速力量。

4. 續航力測試

本測試主要為測試本電動車之續航力，本研究選擇以實際道路測試的方式來進行續航力的驗證，為了講求測試的實用性與可行性，在行駛的道路中選擇了上坡、下坡與平面的道路來行駛，盡可能貼近現實生活的實際路況，另外在測試的過程中亦使用智慧型手機來記錄行駛路徑，以增加本測試之可信度。

本測試以實際道路為主要測試方向，使用本研究之兩段式充電法進行完整充電，以國立勤益科技大學為出發起點並往大坑方向前進，最終以國立勤益科技大學為終點，以平均 28 km/hr 的速度前進，全程一共前進約 66.1 公里且花費約 2.16 小時，電動車上掛載一台錄影機以記錄行車狀況，電動車後亦有錄影機隨車跟拍，以維護人車安全與測試的真實性，圖 18 是以 X 軸為時間軸，Y 軸為總電壓、里程之曲線圖，由圖 18 可觀察電壓初始約 108 V 左右，隨著車子的行進累計里程逐漸增加且總電壓也慢慢降低，直到約 7151 秒時總電壓低於 100 V 並開始驟降，直到電壓達 80 V 時也等同宣告續航力測試完整結束，此時的累計里程也達到 66.1 公里左右，大約是從臺中火車站到雲林火車站之距離，而圖 19 則是 96 V/32 S 之單電芯電壓趨勢圖，透過此圖可觀察約 6400 秒前，各電芯電壓大致維持一定程度的平衡，電壓約維持於 3.24 V~3.25 V 之間，直到 6800 秒之後開始電芯電壓才慢慢開始出現離散現象，各電芯電壓為 3.11 V~3.23 V 之間，最後於 7338 秒後，開始有電芯非因大電流輸出而低於 3.0 V 之狀況且此時的總電壓為

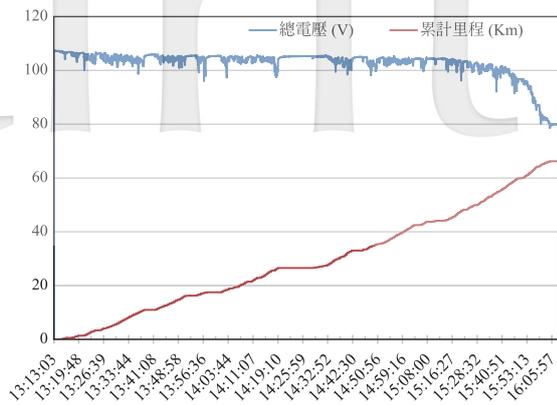


圖 18 續航力測試之曲線圖

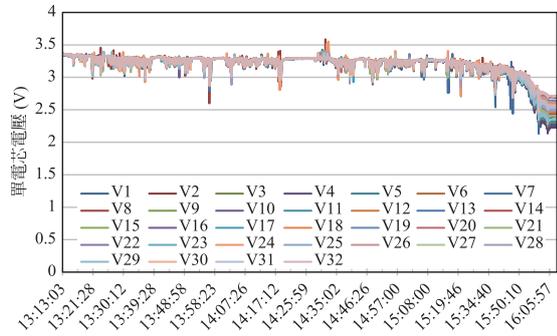


圖 19 96 V/32 S 之單電芯電壓放電趨勢圖

98.02 V，由圖 19 可推論本電動車從開始測試到結束共花費約 7800 秒，各電芯於 6800 秒才開始出現離散現象，代表電池組於距離結束測試前 16.6 分鐘與 7.7 分鐘開始出現電壓不一致與電芯電壓驟降的現象，直到結束測試時的電芯電壓為 2.4 V~2.7 V 之間，驗證了本電動車的續航力與二段式充電的可行性。

5. 殘餘電量估測測試

殘餘電量估測為電動載具很重要的一個項目，一般汽油車是以汽油容量來判定燃料的多寡，但電池容量是以化學反應為主，容易因為溫度、充電方式以及操作方法而影響電池原有個儲電能力，本研究之殘餘電量估測是融合庫倫法與電壓法來進行殘電量的估測，根據目前市面上存在的問題進行改善，而本測試以實際道路的方式來驗證殘電量估測之可行性，圖 20 與圖 21 為以 X 軸為時間軸，Y 軸為殘餘電量估測曲線圖，圖 20 為電池電壓與殘餘電量之曲線圖，由圖 20 可觀察本殘餘電量與總電壓之關係，總電壓約 96 V 以前是以庫倫法為主，當電壓低於 96 V 時殘餘電量則馬上降至 10% 並進入電壓法，避免顯示器表示尚有電力卻無電可用的窘境，圖 21 為以秒數為 X 軸之殘餘電量與行駛里程之曲線圖，此圖表示當殘餘電量估測進入電壓法時，電動車尚有 7~8 公里可繼續行駛，提供使用者足夠的緩衝距離與時間進行適當的決定。

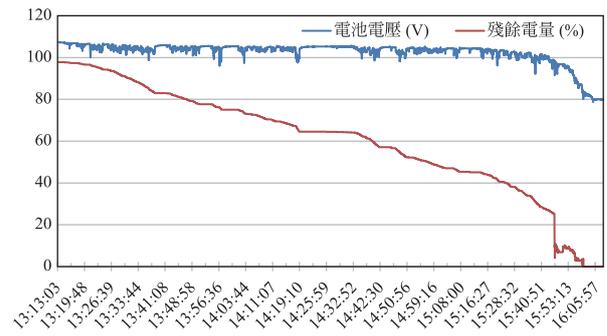


圖 20 殘餘電量估測、電池電壓之趨勢圖

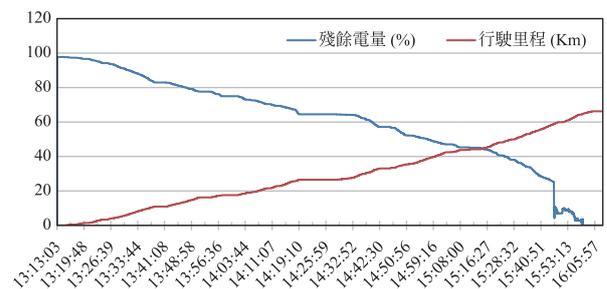


圖 21 殘餘電量估測、行駛里程之趨勢圖

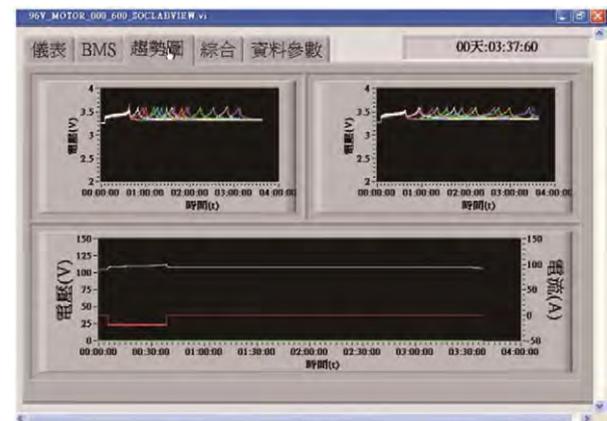


圖 22 二階段充電法之充電趨勢圖

6. 兩段式充電測試

本研究使用 96 V 充電機進行二段式充電測試，本測試所使用的充電機是量質能公司所出品的 96 V/15 A 充電機[16]，以 0.5 C 對 96 V/32 S 之電池組進行充電，充電過程中主控制系統會全程監控模組電池管理系統之狀態，並即時透過通訊系統將資料傳送至車載資訊系統進行分析與儲存，圖 22 為 0.5 C 充電之人機監控畫面，電池組初始狀態為瀕臨過放之狀態，使用 15 A 定電流方式進行充電，理論上需充電約 2 小時才能充飽電池組，由圖 22 可看到第一階段的充電時間約 0.75 小時，且已有模組電池之電芯達過充電壓，原因是模組電池內每顆電芯容量與內阻不一致，容量較低之電芯會提早過充，因此主控制系統便透過通訊

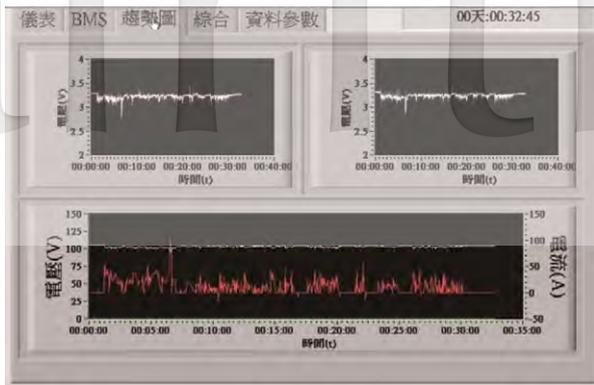


圖 23 放電趨勢圖

系統告知兩個模組電池管理系統立即進入第二階段的分充模式，第二階段是以定電壓 4.5 V 進行分充且電流約 3.2 A~4.8 A，經量測與計算單電芯之分充時間約 0.18 小時，共花費約 3 小時，最終電芯之最大電壓差為 0.03 V，確保每顆電芯皆為飽電之狀態，透過這樣的方式來達到提高電池組蓄電量之目的。

7. 測試結果

本研究將 96 V/32 S 電池模組、電池管理系統、主控系統以及車載資訊系統掛載於 96 V 電動車上，以實際測試的方式來驗證電池管理系統的實用性，測試地點定於國立勤益科技大學之新校區，測試過程中電池管理系統會即時將電池組資料傳送給主控制系統進行統整，主控制系統再將資料傳送至車載資訊系統進行分析，不管電動車於充電或行進間皆能看到電池組之電力參數以及行車速度。經過測試證實本研究之電池管理系統能確實管理電池組之狀態並透過二段式充電法能有效提高電動車之續航力，放電趨勢圖如圖 23 所示。

四、結果與討論

本研究成功開發具主從架構的電池管理系統，以兩個電池管理系統分別管理兩組 48 V/16 S 電池模組，並透過主控制系統來整合兩組電池模組的電芯資料並進行相對應之保護與警示，包含過充保護、過放警示、二段式充電法以及殘餘電量估測皆能透過主控制系統來進行，能確保兩個電池模組之電壓的一致性且盡可能提高電池組之蓄電量，進而提升電池組之續航力。

本研究將所開發的電池管理系統安裝於 96 V 電動車上做測試，測試結果說明本研究能即時量測電池組與電動車的各項參數，包括單電芯電壓、總電壓、總電流、行車速度以及行駛里程，並透過車載資訊系統進行資料顯示並達到即時監控之目的；另外本研究之二段式充電法以盡可能提高電池蓄電量為目標，配合殘電量估測法可精準掌握

電池的殘餘電量，讓駕駛者可輕易掌握電動車的狀態，避免電動車半路失去動力的窘境，提高駕駛者對電動車的信心度，經過測試本研究能有效提升電池組之續航力並兼顧電動車的安全與保護之目的。

參考文獻

1. Bergveld, H. J., Kruijt, W. S., and Notten, P. H. L., *Battery Management Systems-Design by Modelling*, Springer, Netherlands, pp. 9-30 (2002).
2. Andrea, D., *Battery Management Systems: for Large Lithium-Ion Battery Packs*, Artech House Publishing, Norwood, MA (2010).
3. Cao, J., Schofield, N., and Emadi, A., "Battery Balancing Methods: A Comprehensive Review," *Proceedings of IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, Harbin, China, pp. 1-6 (2008).
4. Kim, C. H., Kim, M. Y., Kim, Y. D., and Moon, G. W., "A Modularized Charge Equalizer using Battery Monitoring IC for Series Connected Li-Ion Battery Strings in an Electric Vehicle," *Proceedings of the 8th International Conference on Power Electronics and ECCE Asia*, Jeju, South Korea, pp. 304-309 (2011).
5. Kim, M. Y., Kim, C. H., Kim, J. H., and Moon, G. W., "A Modularized BMS with an Active Cell Balancing Circuit for Lithium-ion Batteries in V2G System," *Proceedings of IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, Seoul, South Korea, pp. 401-406 (2012).
6. Moran, J., "Power Pump™ Balancing," Texas Instruments Application Report, TX, USA (2009).
7. Rößler, W., "Boost Battery Performance with Active Charge-balancing", *EE Times-Asia*, pp. 1-3 (2008).
8. Baronti, F., Fantechi, G.; Fanucci, L., Leonardi, E., Roncella, R., Saletti, R., and Saponara, S., "State-of-Charge Estimation Enhancing of Lithium Batteries through a Temperature-Dependent Cell Model," *Proceedings of International Conference on Applied Electronics (AE)*, Pilsen, Czechia, pp. 1-5 (2011).
9. Cheng, K. W. E., Divakar, B. P., Wu, H., Ding, K., and Ho, F. H., "Battery-Management System (BMS) and SOC Development for Electrical Vehicles," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 60, No. 1, pp. 76-88 (2011).
10. Yang, L., Zhang, J., and Xu, W., "Research and Design of DSP-Based Monitoring System of Power Batteries," *Proceedings of International Conference on Information Technology, Computer Engineering and Management Sciences*, Nanjing, Jiangsu, Vol. 1, pp. 122-125 (2011).
11. 7799130P DataSheet, Amita Technologies Inc. (2010).

12. ACS756 Datasheet, Allegro MicroSystems, Inc. (2011).
13. LT218 Datasheet, Letex Technology Corp. (2011).
14. ADM2687E Datasheet, Analog devices Inc. (2011).
15. Bishop, R. H and National National Instruments., *LabVIEW 2009 Student Edition*, Prentice Hall Press Upper Saddle River, NJ (2009).
16. QQE1440-9CH28 Datasheet, QQE TECHNOLOGY CO, LTD. (2009).

2013 年 08 月 17 日 收稿

2013 年 08 月 30 日 初審

2014 年 06 月 02 日 複審

2014 年 06 月 12 日 接受