

鉛酸電池監測系統

Monitor System for Lead-Acid Battery

張益豪* 許淳皓* 孫禹華*

周宏亮* 吳坤德* 吳晉昌#

*國立高雄應用科技大學 電機工程系
電力電子應用研究室

#國立高雄海洋科技大學微電子系

摘要

鉛酸電池為目前最經濟可靠之電能儲存元件，其被廣泛使用在不斷電系統與備用電源系統等，如何防止電池在無預警狀態下失去供電能力，確保電池持續正常供電，為非常重要的議題。電池之健康狀態及容量狀態之偵測有助於鉛酸電池應用與維護。本文發展一套提供電池即時狀況之電池監測系統，讓使用者瞭解電池之容量、老化或劣化之信息，以提高電池供電之可靠度。

關鍵字：鉛酸電池、不斷電系統、電池監測系統

Abstract

Lead-acid battery is the most economic and reliable energy storage device. It has been widely used in uninterruptible power supply (UPS) systems and back-up power systems. How to prevent the battery from the failure of supplying power without alarm is an important issue. The real-time display information of state-of-health and residual capacity of battery can improve the reliability of battery. In this paper, a battery monitor system to supply the real-time information of state-of-health and residual capacity of battery set is developed to improve the reliability of battery set.

Keywords: lead-acid battery、UPS systems、battery monitor system

I. 前言

隨著科技的發展，許多電腦相關之儀器設備對電源品質要求越來越高，如發生電力中斷，對這些儀器設備影響極為嚴重，為了能及時提供電源、防止電源的中斷並產生穩定的電源，於是以電池作為市電中斷時之電力來源之不斷電電源系統被廣泛的被使用。此外基於安全考量，許多設施如公共設施之緊急照明與電信設備等，皆需有備用電源，目前亦大都使用鉛酸電池作為備用電源；基於提供能源使用效率與降低污染，電動載具亦日漸普遍，而電動車輛亦需使用電池當作其能源之來源，所以如何防止在無預警情況下電池失去供電能力之危險，以確保電池正常供電之能力，為目前非常重要的議題。而電池健康診斷及容量估測可預先提供電池老化或劣化及使用情況，有助於提高電池供電之可靠度 [1]。

本文提供一套鉛酸電池監測系統讓使用者瞭解電池的即時狀況，提供電池使用情況、老化或劣化之信息，有助於提高電池供電之可靠度。

II. 鉛酸電池介紹

2.1 鉛酸電池之特性

鉛酸電池基本上可以分為密封式的鉛酸電池 (Sealed Lead-Acid Battery) 與開放式的鉛酸電池 (Flooded Lead-Acid Battery)。兩者最大的差別在於密封式的鉛酸電池在過度充放電時所產生的氣體會先經過再結合的作用，使散出的氣體降至最低；而開放式的鉛酸電池在過度充放電時所產生的氣體會直接散出電池外，所以必須經常補充水分。由於密封式的鉛酸電池有免保養的特性，故現今所採用的鉛酸電池中大部分均為密封式的鉛酸電池[2]。

2.2 鉛酸電池之內部構造

鉛酸電池的基本構造大致上可分為四個部分，正電極、負電極、電解質和隔離板等，如圖 1 所示。鉛酸蓄電池內部的正電極為格子狀板，表面上附著二氧化鉛，此二氧化鉛由氧化的鉛細粒結合組成，在粒子間的縫隙中能讓電解液自由通過，此細粒目的為擴大與電解液接觸面積，以便減低內阻。在負電極方面就將格子狀板作成海綿狀的鉛板。將此二極板在不接觸的情況下，使其盡量平行相靠近，然後在兩張電極板間插入以絕緣物質製造的多孔性隔離板，以防止相互接觸。其電池構造為兩個不同種類的鉛電極板浸漬在電解液中，然後將其全部放在容器中。

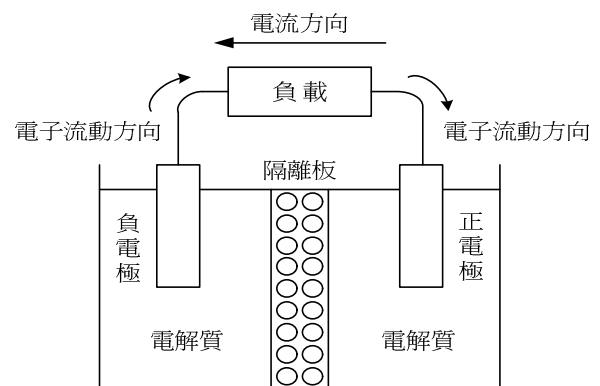
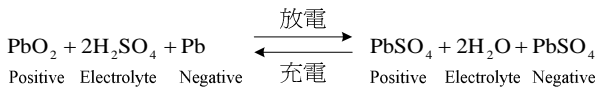


圖 1 鉛酸電池內部構造之示意圖

2.3 鉛酸電池的化學反應式

鉛酸電池之充放電化學反應方程式如下所示：



由上面的反應式可以看出，放電的進行會使得正極和負極上的 PbO_2 與 Pb 以及電解液中的硫酸持續的被消耗。由於還原之作用，使正極板上的氧化鉛 (PbO_2) 形成硫酸鉛 (PbSO_4)；而氧化之作用，使負極的海綿鉛形成硫酸鉛，此情形會造成放電電位的下降，整個放電之氧化還原反應使大部分的硫酸與極板作用產生水，使電解液的比重下降。充電期間，反應逆向進行，正極硫酸鉛氧化為二氧化鉛，負極硫酸鉛還原為鉛，使電解液濃度上升回到初始狀態。這些化學變化可由上面的化學反應式來表示。

III. 電池健康診斷及容量估測法

由於確保電池正常供電之能力，為目前非常重要的議題。而電池健康診斷及容量估測可預先提供電池老化或劣化及使用情況，將有助於提高電池供電之可靠性，所以本監測系統將提供健康診斷及容量估測。

關於鉛酸電池健康狀態之診斷及其容量之估測至今已有多種的方法被提出，其中健康狀態診斷較常見的方法有：電池容量法[3]、起始放電電壓法[4]、阻抗量測法[5]、應用模糊理論法[6]、擴展型卡門濾波器[7]、二段式脈波負載放電[8]、電池放電功率變動輔助健康診斷法[9]等方法，而容量估測較常見的方法有：比重法[10]、開路電壓法[11]、起始放電電壓法[4]、阻抗量測法[5]、加載電壓法[12]、庫倫法[13]、類神經網路 (Artificial Neural Network) 估測法[14]、波衣卡特方程式 (Peukert Equation) [15]、多階波衣卡特方程式及安培小時累計法[1]、卡門濾波器 (Kalman Filter) [7] 等方法。

3.1 本文使用之電池健康狀態診斷方法

由於電池放電功率變動輔助健康診斷法只需量測電池端電壓及放電電流即可判斷電池的健康狀況，所以本監測系統採用此方法做為電池健康度診斷[9]。

健康狀態良好之鉛酸電池在放電過程中其電壓曲線為平滑下降之曲線，但健康狀態劣化之鉛酸電池在放電期間，由於電池內部單元 (cell) 可能發生有短路、短路後開路或逆電位等現象將會造成電池放電電壓不預期的下降或上升，會導致其放電電壓曲線出現較不規則之變動而失去平滑性。電池放電功率變動輔助健康診斷法以電池放電功率變動為基礎，針對上述可能發短路、短路後開路或逆極化等現象所造成之放電電壓曲線不規則之變動進行判斷，提供電池老化狀態之診斷。電池放電功率變動輔助健康診斷公式：

$$\Delta I_{n+1} = I_{n+1} - I_n \quad (1)$$

$$\Delta V_{n+1} = V_{n+1} - V_n \quad (2)$$

$$\Delta P_{n+1} = P_{n+1} - P_n \quad (3)$$

$$ADSOH_{n+1} = \Delta P_{n+1} f(\Delta I_{n+1}) \quad (4)$$

其中： ΔI_{n+1} 為放電電流在第 $n+1$ 次及第 n 次取樣間之變化量； I_{n+1} 為第 $n+1$ 次取樣放電電流； I_n 為第 n 次取樣放電電流； ΔV_{n+1} 為放電電壓在第 $n+1$ 次及第 n 次取樣間之變化量； V_{n+1} 為第 $n+1$ 次取樣放電電壓； V_n 為第 n 次取樣放電電壓； ΔP_{n+1} 為 ΔV_{n+1} 乘上 ΔI_{n+1} 。可知放電功率變化量 (ΔP_{n+1}) 將受到放電電壓變化量 (ΔV_{n+1}) 及放電電流變化量 (ΔI_{n+1}) 之影響，故將函數 $f(\Delta I_{n+1})$ 乘以 (3) 式以得到 (4) 式 ADSOH，而函數 $f(\Delta I_{n+1})$ 必須具備之特性就是當 ΔI_{n+1} 變化量增加時， $f(\Delta I_{n+1})$ 可以很快趨近零，以消除因放電電流改變所造成之錯誤診斷。

3.2 本文使用之電池容量估測法

由於多階波衣卡特方程式及安培小時累計法預估電池容量之誤差在 10% 以下 [1]，所以本監測系統採用此方法對電池容量進行估測。

多階波衣卡特方程式及安培小時累計法公式：

$$C_a = K / I_d^{(n-1)} \quad (5)$$

$$n = \frac{(\log t_2 - \log t_1)}{(\log I_1 - \log I_2)} \quad (6)$$

$$K = I_1 t_1 I_1^{n-1} = I_2 t_2 I_2^{n-1} \quad (7)$$

$$C_{R,m+1} = C_P - C_{AH,m+1} - C_{M,m+1} \quad (8)$$

$$C_{M,m+1} = C_{P,m} - C_{P,m+1} \quad (9)$$

其中 C_a 為電池容量， I_1 及 I_2 為波衣卡特方程式放電電流範圍中最大值及最小值， t_1 及 t_2 為波衣卡特方程式放電電流範圍中放電電流之最大值及最小值之持續放電時間，其中 $C_{R,m+1}$ 為第 $m+1$ 次取樣電池殘電容量， C_P 為初次取樣電流經波衣卡特方程式計算所得之電池容量估測值， $C_{M,m+1}$ 為第 $m+1$ 次取樣累計電池容量修正因數。 $C_{P,m}$ 為第 m 次取樣放電電流對應相關波衣卡特方程式所計算之容量； $C_{P,m+1}$ 為第 $m+1$ 次取樣放電電流對應相關波衣卡特方程式所計算之容量。

IV. 監測系統介紹

4.1 監測系統架構

圖 2 為本監測系統的系統架構圖，本監測系統是以 MX100 資料擷取器做為整個系統的主要取樣架構，本文的監測系統只需要抓取電池的端電壓及放電電流，電池的端電壓可直接由電池正負兩端接線到 MX100 作取樣，放電電流經比流器將電流值轉成電壓值後給 MX100 作取樣，再傳給電腦，由本文所發展之監測介面顯示給使用者，讓使用者瞭解電池的狀況。

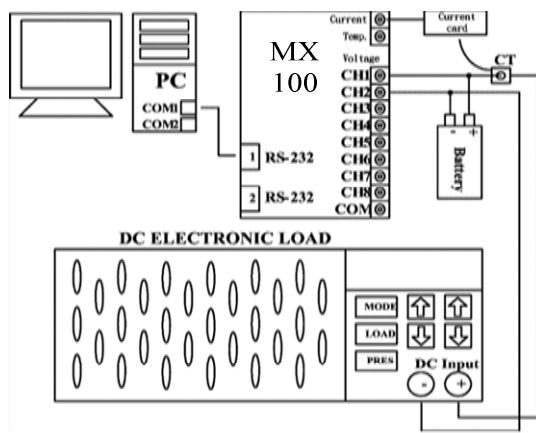


圖 2 監測系統架構圖

4.2 監測介面使用方法

本監測系統有四個主要功能，分別為量測電池狀況、紀錄電池狀況、查詢歷史紀錄及即時視窗顯示電池狀況。

執行監測介面系統後，可分別使用四個主要功能，如圖 3 所示必須連線成功後才可使用量測功能，並且須先設定電池各相關參數值才可進行量測；而當程式執行後只要輸入資料表名稱即可開始記錄，並可以設定紀錄時間間隔；而只要按下即時視窗顯示按鈕，可進入即時視窗顯示畫面，在設定時間間隔後即可開始顯示。按下查詢歷史資料按鈕後即可進入查詢歷史介面，然後選擇資料表來源，再選擇顯示方式（以格子顯示或以圖表顯示），即可顯示歷史資料。

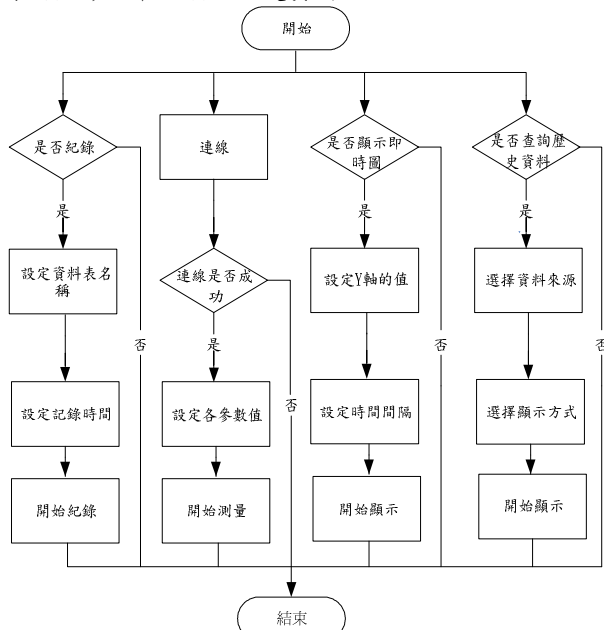


圖 3 監測介面使用流程圖

4.3 電池監測系統功能簡介

4.3.1 主介面

主介面如圖 4 所示，共有 4 個通道能夠使用，且電壓範圍可以設定，而電池之容量、健康狀況、放電時

間、剩餘時間及故障現象都會顯示在主介面中。各按鈕功能說明如下：

- 1.Connection:與 MX100 連線，連線的成功與失敗會顯示在左邊的文字框中。
- 2.Measure:開始抓取各通道的電壓電流值。
- 3.Record:開始記錄資料(須先輸入資料表名稱才能開始紀錄)。
- 4.Stop Record:停止記錄。
- 5.顯示即時視窗:進入即時視窗介面。
- 6.查詢歷史資料:進入查詢歷史資料介面。
- 7.程式使用說明:顯示程式使用說明。



圖 4 電池監測系統主介面

4.3.2 即時視窗介面

即時視窗以曲線來表示電池目前之電壓、電流及健康度。即時視窗介面如圖 5 所示，其功能說明如下：

- 1.每格的電壓值:為下拉式選擇縱軸的電壓值。
- 2.每格的電流值:為下拉式選擇縱軸的電流值。
- 3.每格的 SOH 值:為下拉式選擇縱軸的健康度值。
- 4.每格的秒數:為下拉式選擇橫軸的秒數(為統一值)。
- 5.開始顯示:開始顯示各值的圖。
- 6.停止顯示:停止顯示各圖，回到初始狀態。

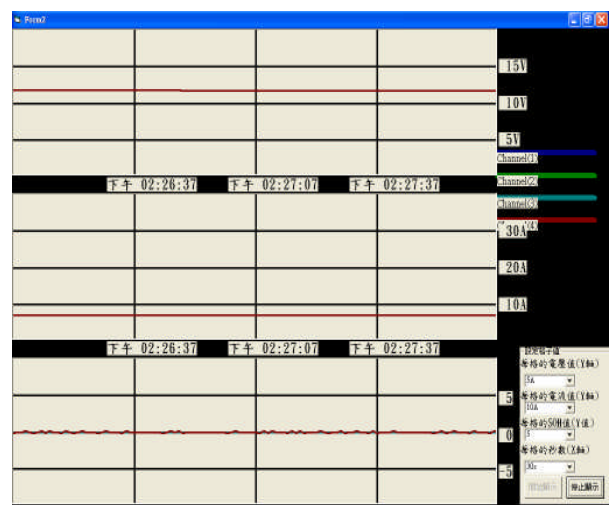


圖 5 即時視窗介面

4.3.3 查詢歷史介面

先選擇要讀取的資料，再選擇要顯示的方式(格子或圖表)。圖 6 所示為查詢歷史介面圖初始狀態，圖 7 所示為查詢歷史介面圖(以格子顯示)，而圖 8 是查詢歷史介面圖(以圖表顯示)。如果電池有故障現象，圖 7、圖 8 會出現一個提醒視窗告知使用者電池故障。



圖 6 查詢歷史介面圖

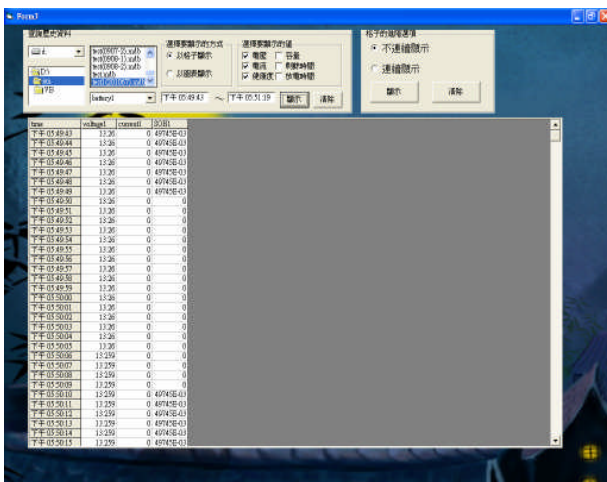


圖 7 以格子顯示歷史資料

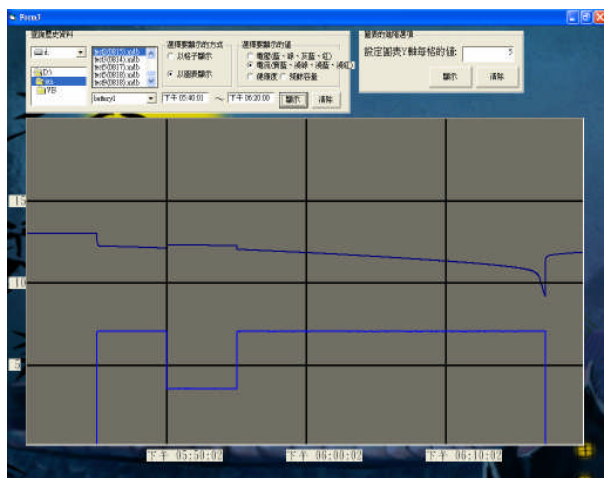


圖 8 以圖表顯示歷史資料

V. 實驗結果與分析

5.1 實驗規劃與系統架構

本監測系統主要功能是讓使用者瞭解鉛酸電池完

整的即時狀況(含電池電壓、電流、健康度、容量以及故障提醒)，實驗中選擇2顆YUASA 12V、7AH鉛酸電池進行定電流放電測試。為了比較2顆電池之放電特性，選擇一顆特性較佳(編號為bat1.1)，另一顆特性較差(編號為bat1.2)來測試。鉛酸電池以0.25C(1.75A)充電，充電電壓14.4V。充電採定電流/定電壓模式，當充電電流下降到0.1A(含)即定義此電池為充電飽狀態，而後在室溫下靜置1個小時，待電池內部化學反應平衡後，再以1C(7A)做定電流放電。

5.2 實測結果

由圖 9 可知 bat1.1 為特性較佳的電池也沒有出現故障現象所以沒有出現警告視窗(放電截止電壓設為 9.6V)。而圖 10 為 bat1.1 的殘餘容量愈曲線圖由圖可知本監測系統可以在電池充電的狀態下準確的預估殘餘容量，在充電飽的狀態下剛開始放電時殘餘容量為 100%慢慢下降到放電截止電壓時為 0%(由於以定電流放電所以曲線圖呈現一直線下降)。圖 11 可知 bat1.2 發生內部短路現象，並且出現提醒視窗告知使用者。

由實驗結果可知本監測系統確實能夠達到量測電池狀況、紀錄電池狀況、查詢歷史紀錄及即時視窗顯示電池狀況之目的。

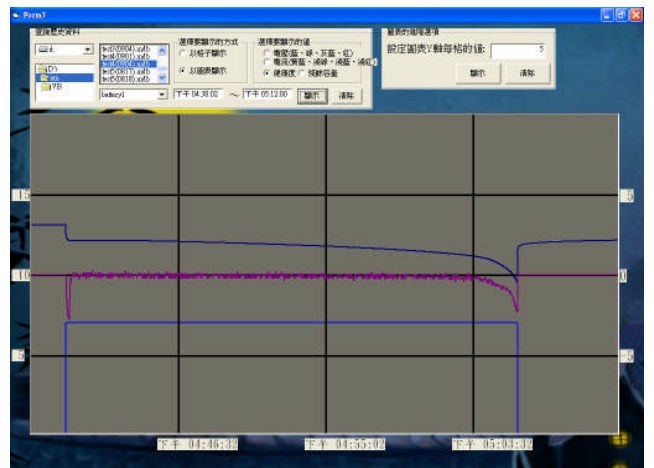


圖 9 bat1.1 之電池放電特性曲線圖

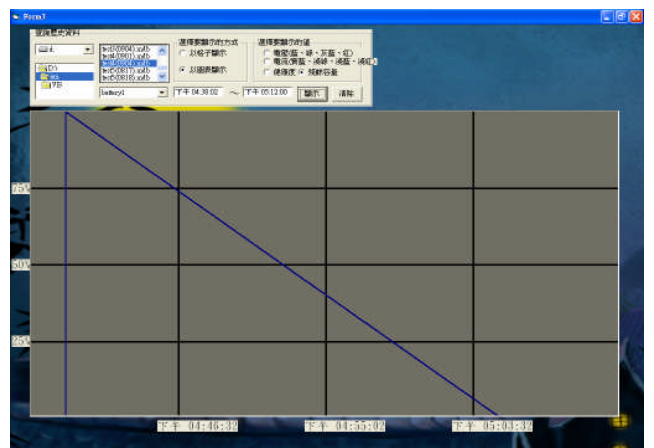


圖 10 bat1.1 之電池殘餘容量預估曲線圖

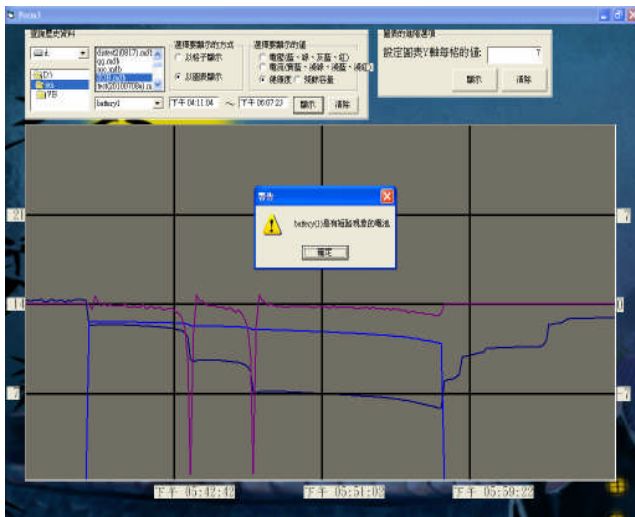


圖 11 bat1.2 之電池放電特性曲線圖

VI. 結論

如何防止電池在無預警情況下失去供電能力，為目前相當重要的議題，本文發展一套簡便的電池監測系統提供使用者較準確的電池殘存容量及其健康狀態，讓使用者瞭解鉛酸電池完整的即時狀況，藉此提升鉛酸電池使用之可靠度。

VII. 謝誌

感謝教育部 99 年度特色典範計畫經費上之補助使得本文得以順利完成。

VIII. 參考文獻

- [1] 孫禹華，2010“電池健康狀態輔助診斷及容量估測之研究”，國立高雄應用科技大學，博士論文。
- [2] M. S. Sudhan, 2007, “Advances in VRLA battery technology for telecommunications”, Journal of Power Sources Vol. 168, pp.40 – 48.
- [3] Tetsuro Okoshi, Keizo Yamadaa, Tokiyoshi Hirasawa and Akihiko Emori, 2006, “Battery condition monitoring (BCM) technologies about lead-acid batteries”, Journal of Power Sources, Vol. 158, No. 2, pp. 874-878.
- [4] Phillip E. Pascoe, Harsha Sirisena, Adnan H. Anbuky, 2002, “Coup De Fouet based VRLA battery capacity estimation”, First IEEE International Workshop on Electronic Design, Test and Applications, pp.149-153.
- [5] F.Huet,1998, “A review of impedance measurements

- for determination of the SOC or state of health of secondary batteries” Journal of Power Sources, Vol. 70, No. 1, pp. 59–69.
- [6] P. Singh and D. Reisner, 2002, “Fuzzy logic-based state-of-health determination of lead acid batteries”, IEEE INTELEC, pp. 583 – 590.
- [7] B. S. Bhangu, P. Bentley, D. A. Stone and C. M. Bingham, 2005, “Nonlinear Observers for Predicting State-of-Charge and State-of-Health of Lead-Acid Batteries for Hybrid-Electric Vehicles”, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 54, NO. 3, pp. 783-794.
- [8] Martin Coleman, William Gerard Hurley, and Chin Kwan Lee, 2008, “An Improved Battery Characterization Method Using a Two-Pulse Load Test” IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 23, No. 2, pp. 708-713.
- [9] Yu-Hua Sun, Hurng-Liahng Jou, Jinn-Chang Wu, 2009, “Auxiliary diagnosis method for lead-acid battery health based on sample entropy” IEEE Energy Conversion and Management.
- [10] Pedersen, G. A., 1994, “The use of ratiometric measurements to determine battery status”, IEEE INTELEC, pp. 491 – 496.
- [11] Panasonic, 2005, “General Information on Valve Regulated Lead Acid Batteries”.
- [12] P. Finger Eugene and N. Y. Brewsler, 1985, “Battery of charge metering method and apparatus”, US Patent, No. 4560937.
- [13] M. Kozaki, T. Yamazaki, 1997, “Remaining battery capacity meter and method for computing remaining capacity”, US Patent, no. 5691078.
- [14] T. Yamazaki, K. Sakurai and K. Muramoto, 1998, “Estimation of the residual capacity of sealed lead-acid batteries by neural network”, IEEE INTELEC, pp. 210 – 214.
- [15] C.C. Chan, E.W.C. Lo and Shen Weixiang, 2000, “The available capacity computation model based on artificial neural network for lead-acid batteries in electric vehicles”, Journal of Power Sources, Vol. 87, pp. 201-204