

國立交通大學

工學院精密與自動化工程學程

碩士論文

電池檢視與控制器之研究

Study of detection and controller for lithium batteries

研究生：曾致暉

指導教授：周長彬教授

中華民國 101 年 6 月

電池檢視與控制器之研究

Study of detection and controller for lithium batteries

研究生: 曾致暉 Student : Chih-Hui Tseng

指導教授: 周長彬 Advisor : Chang-Pin Chou

國立交通大學

工學院精密與自動化工程學程

碩士論文

A Thesis

Submitted to Degree Program of Automation and Precision Engineering

College of Engineering

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Science

In

Automation and Precision Engineering

June 2012

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 101 年 6 月

電池檢視與控制器之研究

學生：曾致暉

指導教授：周長彬

國立交通大學工學院精密與自動化工程學程

摘要

科技快速發展，能源需求大增，能源開發一直是人類追求的目標之一。鑒於氣候暖化與能源危機的問題，尋求其他能源開發的迅速發展，其中電池一為主要發展應用的研究重點，如讓電池釋放能量可以充分地應用和準確的預測電池使用時間，並在儲存能量時能快速，方便地回復能量，甚至於高功率的應用，一直是電池發展的主要目標。

本論文利用 8051 單晶片處理器為整合控制與監測鋰電池模組的核心，其主要工作有以下五點要素 1.監管電池模組不要過充電或欠充電。2.市電與電池模組供電切換。3.系統狀態的紀錄。4.省電模式的設定。5.系統電路的保護。以及用軟體 LabView 作為擷取與儲存工具，找出放電的行為。藉由觀察記錄放電的行為，準確的預測電池剩餘工作使用時間，且考慮到隨著電池模循環次數增加伴隨而來的電池老化與放電時間的關聯性，其特性曲線與控制參數寫入晶片來呈現電池的放電行為與電池模組在放電作工時所需的規範。

關鍵字：鋰電池、控制器、放電循環、終端電壓

Study of detection and controller for lithium batteries

Student : Chih-Hui Tseng

Advisor : Chang-Pin Chou

Degree program of Automation and Precision Engineering

College of Engineering

National Chiao Tung University

ABSTRACT

The thesis describes the behavior of battery discharge and how to maximize battery capacity usage becomes an essential key influence to the entire power management design for lithium-ion battery. This thesis subjects a controller along with a lithium battery module to build up a platform to experiment. With this platform, we measured the whole cycle life and further to analyze how different cycle times influences the discharge characteristics of lithium battery. This battery management system designed for managing 7-Series and 3-Parallel cell battery system, provide a complete battery system control and battery capacity prediction. This technology can estimate the behavior of discharge of battery by cycle life. Through the model's parameters, battery life prediction curve, are measured from the experiment under cycle times. The battery information interface use LCD as the display device, the battery communicates the info to MCU8051 controller via the interface. It reaches the complete management system design and improves the battery performance and life cycle. It also can be set the interlock including over-voltage protection, over-current protection, short circuit protection and thermal protection.

When discharge process starts, the battery module controller will be used to estimate the capacity and life-time, calculate the battery terminal voltage under particular state of discharge to be a reference of battery life prediction curve. This technology can imitate the behavior of discharge under discharging cycles and estimate the operation time accurately from the experiment result. The entire architecture and the data of this experiment platform and result will be further explained and described in this thesis.

Keywords: lithium, batteries, controller, discharging cycles, terminal voltage.

誌謝

本論文得以順利完成，首先必須感謝指導老師 周長彬教授，自進入研究所以後，不管在專業領域以及待人處世上，教授都以身作則成為我們的模範，給予我們許多寶貴的意見以及啟發，也給了很大的發展空間與信任，培養我們成為一位具有獨立學習與解決問題的能力，很感謝他這兩年對我照顧。在此同時特別感謝學長吳信達助理教授，在研究所生涯上給予學生全方位的指導，並且將許多業界資源灌注在我身上，使我的實驗材料與器材不虞匱乏，使實驗的資料數據順利擷取，並且提示我這些資料的處理方式，使其成為有用的資訊，在此獻上最誠摯的謝意。

此外也感謝繁葵實業股份有限公司的劉董事長與台灣波士頓電池股份有限公司的陳總經理，支持學生的研究得以順利展開。

最後感謝我最愛的父母的養育之恩以及在我求學生涯中給我最大的鼓勵與支持，使我無後顧之憂，才能夠安心完成碩士學位。並感謝親愛的老婆依諦默默地在背後給我力量，體貼我的心，陪伴著我。僅將此論文獻給所有關心我的人，在此獻上深深的感謝。

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
誌謝.....	III
目錄.....	IV
表目錄.....	VIII
圖目錄.....	IX
第一章 緒論	1
1.1 研究動機	2
1.2 文獻探討.....	3
1.2.1 超輕型質子交換膜燃料電池之研究	3
1.2.2 鋰電池充電之最佳化研究.....	4
1.2.3 使用高精準度電流偵測技巧之高轉換效能同步互補式金氧半降壓切換式穩 壓器.....	5
1.2.4 非線性鋰電池之充放電模型.....	6
1.2.5 質子交換膜燃料電池的動態模式估測與控制系統設計	7
1.2.6 鋰離子電池充放電過程之離子遷移模型與模擬	8
1.3 研究目的.....	9

第二章 理論分析	10
2.1 各種電池概論	10
2.1.1 各種電池專有名詞解釋	11
2.2 一次電池的介紹	12
2.2.1 錳乾電池	13
2.2.2 鹼性乾電池(鹼、錳電池)	14
2.2.3 銀電池 (silver cell)	14
2.2.4 汞電池 (mercury cell)	15
2.3 二次電池的介紹	15
2.3.1 鉛酸蓄電池鉛蓄電池	16
2.4 鋰離子電池介紹	17
2.5 鋰電池的種類.....	19
2.5.1 鋰金屬電池.....	19
2.5.2 鋰離子電池.....	19
2.5.3 高分子鋰電池.....	21
2.6 鹼性蓄電池	21
2.6.1 鎳鎘電池.....	22
2.6.2 鎳氫電池	22
2.7 二次電池的充電方式.....	23

2.7.1 定電壓充電法.....	24
2.7.2 定電流充電法.....	25
2.7.3 定電流-定電壓充電法	26
2.7.4 涓流式充電.....	27
2.7.5 脈衝式充電法	29
2.7.6 Reflex™脈衝式充電法	29
2.7.7 Motorola 充電法	30
2.8 控制系統簡介	32
2.8.1 脈波寬度調變電路架構	34
2.9 電量估測方法	35
2.9.1 電測試法	35
2.9.2 庫倫法	36
2.9.3 開路電壓法	36
2.9.4 線性模型	37
2.9.5 類神經網路	37
2.9.6 阻抗頻譜	37
第三章 實驗方法與實驗平台的建立	38
3.1 鋰電池模組實驗平台建立	38

3.2 硬體說明	39
3.2.1 8051 單晶片說明	42
3.2.2 電池模組與電池芯	43
3.2.3 DC/AC 轉換器	46
3.2.4 Labview 與 DAQ 介紹	48
3.2.5 軟體平台	49
3.2.6 負載端規格	50
第四章 實驗結果與分析	51
4.1 實驗流程說明	51
4.2 轉折點的位置求出	56
4.3 放電曲線計算	59
4.4 循環次數曲綫	60
第五章 結論與未來方向	64
第六章 參考文獻	66



表目錄

表 2-1 一次電池特性種類表	13
表 2-2 二次電池特性種類表	16
表 2-3 二次電池特性比較表	23
表 3-1 電池心規格表	44
表 3-2 電池模組規格	45
表 3-3 Inverter 規格	47
表 3-4 資料擷取卡規格	48
表 4-1 鋰電池模組電池放電數據	54
表 4-2 各循環曲線轉折點數值	59
表 4-3 鋰電池模組電池放電取樣數據	61

圖目錄

圖 1-1 典型的鋰電池充放系統架構圖	4
圖 1-2 直流對直流轉換器方塊圖	5
圖 1-3 燃料電池的系統動態與控制系統	7
圖 1-4 鋰電池的內部結構	8
圖 2-1 鋰電池運作示意圖	17
圖 2-2 定電壓充電時電壓與時間的關係曲線	25
圖 2-3 定電流充電時電壓與時間的關係曲線	26
圖 2-4 電流-定電壓充電時電壓與時間的關係曲線	27
圖 2-5 涓流式充電法時電壓與時間的關係曲線	28
圖 2-6 脈衝式充電法充電時電壓與時間的關係曲線	29
圖 2-7 Reflex™ 充電法充電時電壓與時間的關係曲線	30
圖 2-8 Motorola 充電法	31
圖 2-9 完整的 DC-DC 降壓式穩壓點路為基礎之鋰電池充電控制器	33
圖 2-10 PWM 和 PFM 多排程控制器之架構圖	34
圖 2-11 PWM mode 回授電壓經由運算放大器	35
圖 3-1 系統控制架構圖	39
圖 3-2 實體測試平台	40
圖 3-3 控制流程系統圖	41

圖 3-4 8051 的單晶片微電腦架構圖.....	42
圖 3-5 C8051IF340 晶片電路圖.....	43
圖 3-6 電池芯實體圖	44
圖 3-7 電池模組實體圖	45
圖 3-8 三並七串電池模組示意圖	46
圖 3-9 Inverter 電路簡圖介紹	46
圖 3-10 Inverter 實體圖	47
圖 3-11 資料擷取卡實體圖	49
圖 3-12 Labview 模擬儀表控制介面圖.....	50
圖 3-13 負載端實體圖	50
圖 4-1 實驗流程圖	52
圖 4-2 典型電池模組放圖	53
圖 4-3 循環壽命、電壓值與放電時間的關聯圖.....	55
圖 4-4 循環壽命的衰退率圖.....	55
圖 4-5 曲線圖形.....	60
圖 4-6 循環放電曲線模擬圖	62
圖 4-7 電容量與使用次數的關聯性圖	63
圖 4-8 負載端功率圖	63

第一章 緒論

時下的電子產品體積日益縮小化，產品的種類也愈來愈多樣，應用面也寬廣起來，除了零件小型化，重量減輕化，具長時間操作使用性也是必備功能之一，舉凡各種 3C 產品如筆記型電腦，行動電話，數位照相機，數位攝影機，小型電動載具與空壓按摩機，儘管工作原理相似但應面的方面也不盡相同。但這些產品都具有一共通性，就是電力來源都使用可重複使用的二次電池，所以電源管理控制系統就顯得格外重要，二次電池成為主流後所具備的條件是具有高能量密度，無記憶效應等，因此衍生的考驗是維持充電效應，延長電池使用壽命，準確預測電池使用時間避免對電池造成傷害。

現的手持式商品中大多利用格數來顯示電池的續航，精確度可說是差強人意故本論文的重點在於排除複雜演算方法與昂貴的設備用簡單的方法製作出準確的電池控制器，透過這個控制器不但可以預測電池使用時間還可以保護電池模組免於受過電壓、過電流與超溫度警戒線的威脅甚至做自動化與順序控制。上述這些功能都可以整合到一個微處理器中以協調各元件來做為紀錄資料、監視與控制。

1.1 研究動機

電池控制器為了達到以下目標，(1)體積小、可攜帶的 (2)成本低 (3)重量輕 (4)電池使用壽命長 (5)準確預測電池電力即將耗盡，將所有系統整合到同一個晶片中，為一個相當不錯的想法，並且將不同性質元件做一個整合為電池系統將輸出、負載、輸入能源連成一氣為更遠大的目標。

由於A/D、D/A為類比電路，對於雜訊較敏感，而核心電路佔整個系統大部分，產生很大的功率消耗，所以也需要更深一步研究如何解決，另外由於供應電壓源是要在較高準位，如果要提供給各電路電壓，勢必要有穩壓器架構也是一個課題，會在先市面上找出適合的元件做調配。

由相關文獻可得知，雖然在快速充電上的各種相關研究有很多，但是探討充電的方法或策略的同時，皆只對整個充電方法或策略作概括性的陳述，而且探討放電行為就相對地少了，本研究以研究出做出的實體的電池控制器系統測試平台，鋰電池，負載端與Inverter為主。準確地預測對電池老化對循環時間的影響與工作時間的預測技術為目標。並以微處理器為資訊處理中心，各個元件做一整合性控制。

1.2 文獻探討

1.2.1 超輕型質子交換膜燃料電池之研究

吳信達博士[1]提出PEMFC及DMFC系統是未來電力產業最具前瞻性產品，在塑膠鍍層雙級板、氫氣瓶焊接技術、MEA、鋰鐵磷氧正極材料鍛燒技術是需要突破的地方。以(Polymethylmethacrylate, PMMA)射出成型方法製成流場板，利用塑料表面金屬化鍍層之研究，探討附著力、抗腐蝕、導電性及解決金屬層龜裂現象。輕量化氫氣瓶的研發製作上則選用鋁合金材料(7075-T6)以找出最佳銲接製程參數。膜電極(MEA)穩定製程的研究則以研發觸媒在電極上穩定之塗佈技術。儲電元件將鋰鐵磷氧化物之鍛燒技術製作。田口實驗分析、CAE模流分析及多重耦合物理量分析為理論探討，並導入實驗設計之依據，由實體成品加工後，所得實驗數據再與理論分析比較，得知特殊成果如下：

1. 射出模具之建立，以CAE模擬有助於模具開發，減少重修模具成本；在表面改質方面，機械粗化製程有較佳的附著力(均大於50 N)，在80°C以上的溫度有更好附著力，此溫度並適合在質子交換膜燃料電池系統上之工作溫度。
2. 質輕的鋁合金儲氫氣瓶以電極間隙1.5mm、電流130A、速度200mm/min及保護氣體15L/min為最佳銲接數據，經由SGS水壓測試可達20Kg/cm²。
3. 新設計的刮塗方式可有效的改善電極之電流穩定度。
4. 以熱力學及流體力學之理論基礎，突破了傳統鍛燒過程，製作出低成本的鋰鐵磷氧正極材料，及鋰電池模組之設計。

1.2.2 鋰電池充電之最佳化研究

丁宇佑等人[2] 隨著可攜式電子產品的成長，例如手機、筆記型電腦和個人數位助理器等，使得鋰電池在電源管理扮演非常重要的角色，如何有效提高充電效率及縮短充電時間，得到較高的鋰電池充電效能變得非常重要。目前市面鋰電池充電主要採用定電流-定電壓方法，但是以此方法將鋰電池充滿需要很冗長的充電時間。本文提出鋰電池充電最佳化的方法，有別於傳統的定電流-定電壓充電模式，將充電過程畫分成多段來考量，透過整數線性規劃決定每一段的充電電流值，再將每一段充電電流合成為整個鋰電池的充電輪廓，可以依據電路設計者對效能的需求提出一套最佳化鋰電池充電配方，如圖1-1所示為典型的鋰電池系統架構圖。以此方法規畫出來的最佳化充電配方分別以快速和慢速定電流-定電壓充電方法做比較，經由實驗發現的確有效縮短充電時間分別為18%和21%。

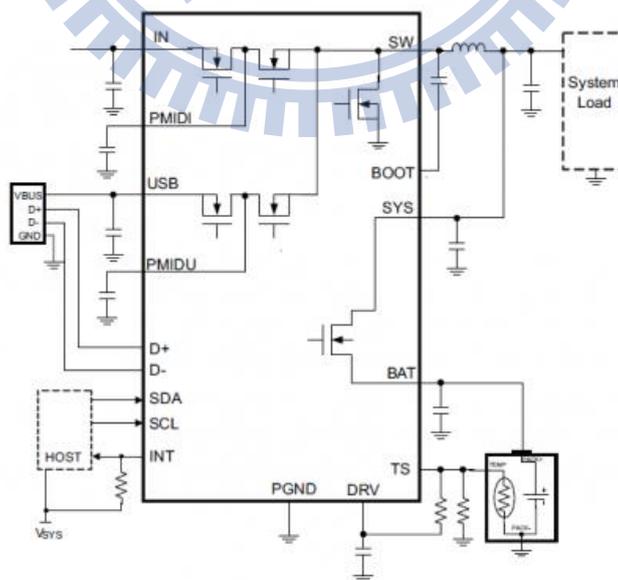


圖1-1 典型的鋰電池充放系統架構圖

1.2.3 使用高精準度電流偵測技巧之高轉換效能同步互補式金氧半降壓切換式穩壓器

柯欣欣等人[3]等人提到晶片的操作電壓從過去的5V、3.3V 下降至2.5V、1.8V 或更低，但是主要的供應電壓源還是在較高準位如24V、12V、3.6V，因此必須靠直流對直流轉換器(DC to DC Converter)來提供操作電壓，如下圖1-2所示直流對直流轉換器扮演的角色而直流對直流轉換器(DC to DC Converter)廣泛的存在於各種應用電路中，其有三個主要特性：(1) 可以將電壓轉換到所需的準位。(2) 輸出電壓不會隨著輸入電壓變化有大幅的改變。(3) 輸出電壓在不同的負載電流下，輸出電壓都能穩定在一個區間。尤其當核心IC 供應電壓一值下降，直流轉換的準位也要更準，以及瞬間能夠提供的負載電流也會隨著應用而有不同。電源管理設計，必須兼具低功率消耗、低雜訊、體積小、穩定高等特點，為設計者提出了困難的挑戰。而使用高精準度電流偵測技巧之高轉換效能同步互補式金氧半降壓切換式穩壓器是一個好的方向。

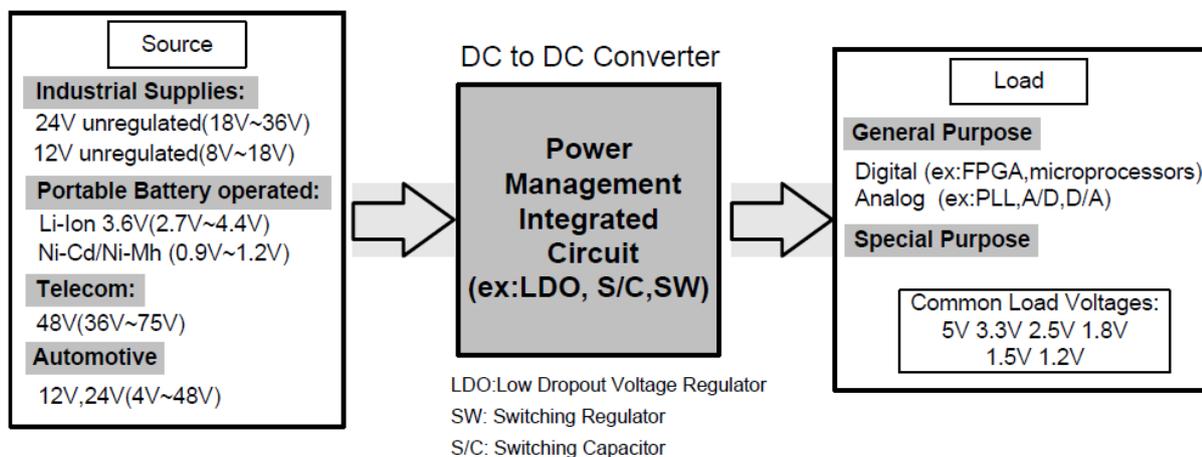


圖1-2 直流對直流轉換器方塊圖

1.2.4 非線性鋰電池之充放電模型

劉峰其等人[4] 現今許多的鋰電池電路模型中，部份過於簡陋，無法模擬出電池老化與溫度的問題，而功能完善的模型，卻只能模擬放電行為，缺乏充放電皆可的電路模型，此外，現階段的電路模型，皆只能針對特定製造商的電池型號，模擬其行為與特性。

此篇論文提出一個非線性鋰電池充放電之電路模型。只要根據電池製造商的電極與電解液的阻抗數據資料，作為推導模型內重要組成元件參數，即可得到與實際電池相似的表現。此研究實驗使用磷酸鋰鐵離子電池作為對照，結果表明，其測量結果與模擬結果的兩者誤差，在放電實驗下，當電池電壓值達到截止電壓 2.5V，時間為 6480 秒，其兩者電壓值誤差為 3.12%，其兩條曲線在穩態時，最大電壓誤差則為 16mV，誤差百分比為 0.501%；在充電實驗下，當電池電壓達到預定的額定電壓 3.65V，時間為 2880 秒，其兩者電壓值誤差為 0.712%，最大電壓誤差則為 37mV，誤差百分比為 1.072%。因此，所提出的電路模型可適用於鋰電池的模擬工作上，除了降低電池實驗的風險外，也減少電池製造商的生產成本，並且希望能預測出電池使用的極限區塊，防止電池汽化或爆炸等危險。

1.2.5 質子交換膜燃料電池的動態模式估測與控制系統設計

洪政賢等人[5]以質子交換膜燃料電池的控制器設計作為研究對象，Labview 平台的圖控環境下，探討藉由調節供應至燃料電池的氣體流量的方式，以控制燃料電池，得到適當的輸出電壓如圖1-3所示。首先，採用矩形雙脈波的輸入測試訊號，藉由量測燃料電池的輸入氫氣流量與輸出電壓的相對數據，以田口分析法估測得到燃料電池系統二階具有時延動態模式的最佳參數。其次，根據所估測得到燃料電池系統模式的動態特性，來從事燃料電池的PID 控制器設計。並將燃料電池的系統動態與控制系統，在MATLAB/Simulink 環境下，來建構與從事受控系統的模擬。此外，在PID控制器的基礎架構上，探討以提供額外前回饋控制訊號的方式，以增進受控系統對輸出電壓外加控制命令的追蹤性能。

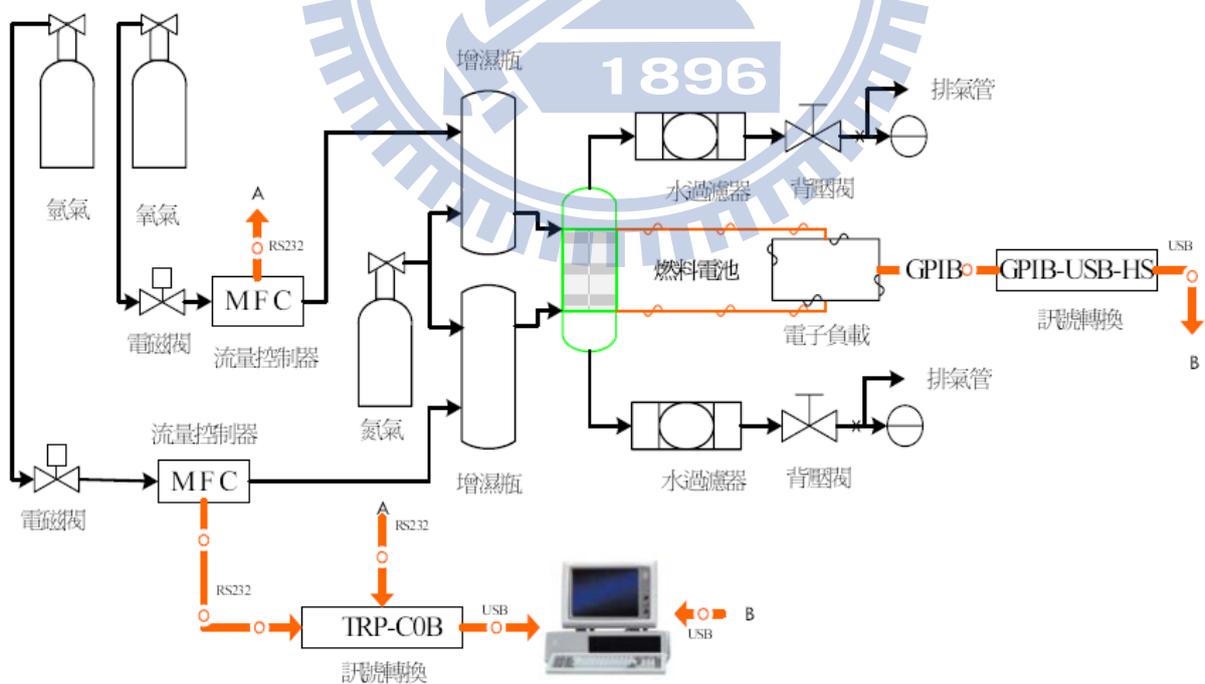


圖1-3 燃料電池的系統動態與控制系統

1.2.6 鋰離子電池充放電過程之離子遷移模型與模擬

劉孔翔等人[6]提及電動車的潛在需求與手持電子裝置的廣泛使用，使鋰離子電池新技術與新材料的研發變得很迫切，因此鋰離子電池的電腦模擬系統可以快速觀察新設計或新材料的效果，可以明顯的提升研究工作的效率，縮短產品的研發時程。本論文針對鋰離子電池在充放電程序中，鋰離子在正電極板固態粒子、電解液、穿透膜、負電極板固態粒子等媒介之間的遷移過程如圖1-4所示，進行建模並設計電腦模擬程式。此模型與模擬程式可應用於協助發展快速充電技術、電能等化技術、殘電量估測技術、電池生命期的估測技術等。此論文所建立的鋰離子電池電化學模型模擬程式，可以清楚描述電池內部各個位置的鋰離子濃度和電位的變動，設定標準型鈷酸鋰離子電池的模型參數後，所產生的模擬數據與標準型鈷酸鋰離子電池取得的實驗數據頗為吻合，驗證了電池模型的正確性與模擬程式的可用性，最後將鋰離子電池的模擬程式，應用於估測鋰離子電池的殘電量，以展示電池模型與模擬程式的功用。

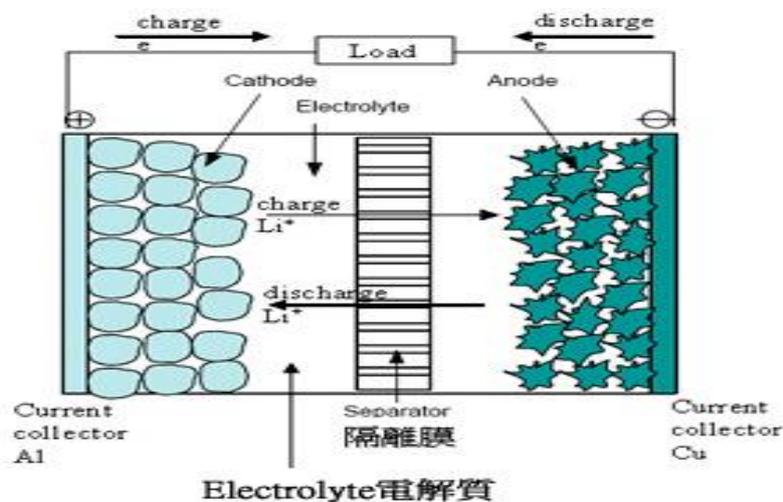


圖1-4 鋰電池的內部結構

1.3 研究目的

鋰電池具有相對於其他二次電池的優點如下 1. 使用時安全性高 2. 高能量密度重量輕 3. 使用壽命長 4. 較低的汙染性 5. 可快速充放電 6. 無記憶效應 6. 放電電壓平穩 7. 可以瞬間大電流放電。

目前業界計畫以鋰電池替換鉛酸電池來做為電動車主要動力來源高單價的大動力產品，例如電動腳踏車及電動機車將會開始採用鋰電池，因為鉛酸電池問題如下 1. 不能以大電流充電導致於充電時間過長 2. 能量密度差導致電池模組體積大又重 3. 路程相對鋰電池就顯不足 4. 加上不能瞬間大電流放電導致於扭力不足在重載時顯得吃力 5. 循環使用次數少 6. 壽命太短需經常更換。

由於有上述特色與背景所以研製一個與其匹配的鋰電池控制器，使其效能無虞的發揮應用，並實際的完整地測試出該鋰電池模組或鋰電池芯從全新的電池到壽命被判定終了時所有的特性資料，進而將這些資料用於量產的設備上，去推估每一產品的鋰電池模組與電池芯，在該循環的放電過程中，現在剩餘電容量與可使用剩餘工作時間，這種方法是最準確的但也是最耗時耗人力的，所以本論文還加入自動化鋰電池控制器測試平台，讓擷取特性資料與參數也變得輕鬆。

本論文的方法是在系統實際運作時使用新提出的實體的鋰電池控制器系統測試平台來計算電量，透過實驗平台來推估現在剩餘電量與可使用剩餘工作時間。電池控制器系統測試平台設備等的主要使用 8051 晶片的 ICE 與 Inverter 以及鋰電池模組，實驗之結果來分析從其放電性能表現循環與使用電池壽命的關聯量。

第二章 理論分析

2.1 各種電池概論

在我們的生活中許多電池都是利用化學反應的電效應來發電，或儲存電力；乾電池、鹼性電池、鉛蓄電池都是以正負極金屬的活性高低差來產生電位差的電的化學發電機，通稱伏打電池。

本文專門針對二次電池，燃料電池與太陽能電池做較深入的探討，其相關名詞定義根據不同的使用類別有不同的定義方式，大致上可分為一般定義，電池內部定義與應用相關定義。一般定義是使用者對於電池常用的稱呼。電池內部定義用來說明電池內部所有的材料與運作單元而應用相關定義則用來代稱電池應用相關的特別稱呼。

CELL 用來從化學能產生電能或電能儲存到化學能的基本電化學單位，一個 CELL 用來從化學能產生電能或從電能儲存到化學能的基本電化學單位，一個 CELL 包含兩個電極與填充在其中的電解質。電池模組是由兩個或兩個以上的 CELL 串聯或並聯組成。

由能量的產生方式又可將電池分為物理以及化學兩大類，所謂物理電池是利用光能以及熱能轉換成的電能的電池，例如太陽能電池。因此化學能電池則是利用化學物質的氧化還原反應來產生電能。一般而言，化學能電池可以分成兩大類，一類為只能夠使用一次就無法再補充能量的一次電池，也就是俗稱的乾電池。另一類為可利用充電方式以補充能量的二次電池，也就是所謂的蓄電池。

2.1.1 各種電池專有名詞解釋

電極(Electrode)為電池基本組成單元，每個電池都包含正電極與負電極。電池的外部電壓即是由兩個電極的電位差所決定。電池內部所有的材料，運作單元與專有名詞解釋如以下幾種。

1. 陽極(Anode)為發生還原反應的電極，表示此電極接受外部電路所提供的電子。
充電時，陽極為負極；放電時，陽極為正極。
2. 陰極(Cathode)為發生氧化反應的電極。即此電極供應電子給外部電路。充電時，陰極為正極；放電時陰極為負極。一般為了避免混淆都以正極與負極稱呼電池的電極。
3. 電解質(Electrolyte)是介於正負極中間為了提供必要的離子導電性。
4. 分隔物(Separator)是僅能提供必要離子通過的非導體，可避免正負極內部形成短路。
5. 容量效應(C-rate)是將電池充電或放電電流，經由電池的總容量予以量化的單位。舉例來說，當電池總容量為1000mAh，若充電電流為1C代表此電流為1000mAh；若充電電流為0.5C代表此電流為500mAh。此量化的好處在於，以電池總電量為基本單位可避免因為電池容量不同而造成不同充放電流大小的混淆。
6. 循環壽命(Cycle Life)是在特定條件下，電池可以被充放電的次數。此條件通常是指電池在特定充放電條件下，電池被使用的總容量低於原始設計的百分之八十，可以使用的循環次數。

7. 截止電壓(Cut-off voltage)，此電壓表示電池放電的終止電壓。
8. 電量狀態(State of Charge)，表示實際在電池內部的電荷量相較於電池總容量或最大可充電電量的值，並以 SOC 代稱。電量狀態值利用百分比來表示，當 SOC=100%表示電池為全滿狀態，當 SOC=50%表示電池相對於原始設計容量有一半的總電量。
9. 電動勢(Electro-Motive Force)指的是真正驅動電池輸出的電位能；此電動勢為電極兩端靜置位能的總和，當電池處在平衡狀態時，所量測到的開路電壓值即為電動勢。
10. 過電位(Over potential)為電池電極電壓值與完全靜置時的電壓差。此電壓差為其內部因離子擴散或飄移反應所造成。此過電位電壓值與環境操作方式有關。
11. 內阻(internal resistance)是包含電池內部因化學作用所產生的等效阻抗以及電池電極到外部電路間的阻抗，隨不同製程與包裝技術而有些不同。
12. 逆變器(Inverter)是一種電子設備將直流電轉化成所要求的電壓與頻率之交流電。

2.2 一次電池的介紹

顧名思義，為僅能使用一次的電池。也就是無法透過充電的方式再補充已轉化掉的化學能。一般市面上常見的乾電池（碳鋅電池）、鹼性電池（鹼錳電池）以及水

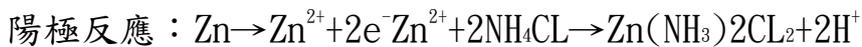
銀電池，皆屬此類。因為只能單次使用，而且在原料及製程上使用具污染性的汞，對環境以及人體的負荷相當大。

表 2-1 為一次電池種類表

一次電池	勒克朗謝電池	錳乾電池
	鹼性電池	鹼性乾電池
		氧化銀電池
		水銀電池
	有機溶劑電池	一次離電池
	空氣電池	空氣濕電池
		空氣鈕扣電池
	備用電池	熱電池
注射式電池		

2.2.1 錳乾電池

鋅錳乾電池以鋅為陽極，陰極為碳棒其周圍用二氧化錳為活性物質，電解質則是採用由氯化銨、氯化鋅與澱粉等組成的膠態電解液，反應式如下：

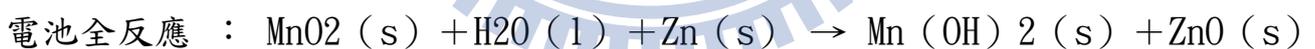
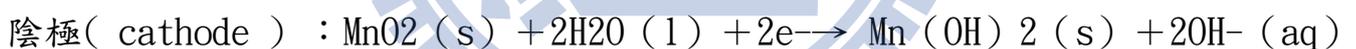


鋅錳乾電池的開路電壓會因為儲存時間的長短及陰極二氧化錳的性質不同(有電解二氧化錳、天然二氧化錳等)而改變，範圍大概在 1.50~1.80V 之間。如果所使

用的是電解的二氧化錳，因為純度以及活性較高的關係，可以提昇電池的電壓與電容量。

2.2.2 鹼性乾電池(鹼、錳電池)

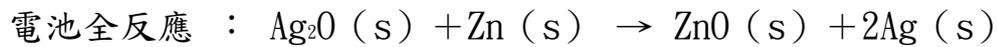
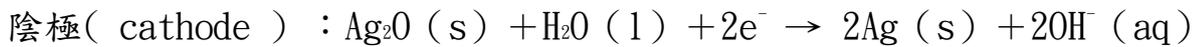
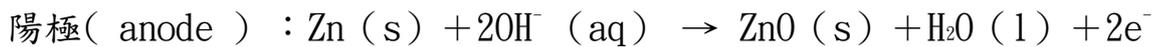
他們的正負極活化物質均與錳乾電池相同，因此使用氫氧化鉀的電解液，是高容量且有優越的強放電性，隨著電子機器的多功能化，高輸出化，其使用量愈形增加。鹼性電池由鋅錳電池發展而來，與鋅錳電池最大不同在於電解液以氯化鉀代替氯化銨，提高了電池使用壽命。在 25°C 下，工作電壓為 1.5 伏特，適用於電動玩具、錄放影機等的使用。反應式如下：



鹼性電池的優點是放電流較大、放電電位穩定。

2.2.3 銀電池 (silver cell)

銀電池的負極是鋅，正極是氧化銀及碳粉混合物，電解液為氧化鋅及氫氧化鉀的鹼性溶液。在 25°C，產生電壓 1.48 伏特。反應式如下：



銀電池的體積小、能量密度高、放電效率快、電壓平穩，常用於電子計算機、電子錶和自動照相機；但其價格較貴。

2.2.4 汞電池 (mercury cell)

構造上與銀電池很像，不同於正極組成是氧化汞與碳粉的化合物。在 25°C 時，其工作電壓為 1.34 伏特。反應式如下：



汞電池與銀電池的優點大致

類似且較便宜，令人憂心的是汞對於環境的污染。

2.3 二次電池介紹

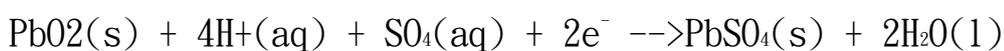
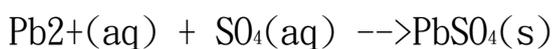
二次電池又稱可充電電池 (Rechargeable battery)，是一種可以被重新完全充電的電池。

表 2-2 二次電池種類表

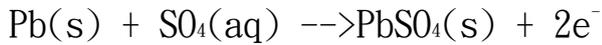
二次電池	鉛酸蓄電池	小型鉛室電池
		小型密閉式鉛蓄電池
	離電池	鋰金屬電池
		鋰離子電池
		高分子離電池
	鹼性蓄電池	鎳鎘電池
		鎳氫電池
		鎳鐵電池
		鎳鋅電池
		氧化銀鋅蓄電池
		氧化銀鎘蓄電池
		空氣鋅蓄電池
		空氣鐵蓄電池
	燃料電池	鹼性燃料電池
		質子交換膜燃料電池
		磷酸燃料電池
熔融碳酸鹽燃料電池		
固態氧化物燃料電池		

2.3.1 鉛酸蓄電池鉛蓄電池 (lead storage battery)

他們的電極放置在流酸溶液中，在正極成陰極的過氧化鉛極板上的反應式：



在負極或陽極，或鉛板上的反應式



當此反應發生時，就發出電流。假使要反回這些反應，就是加夠大的電壓充電，使電池回復原狀況，舉一般鉛蓄電池而言，包含有 13 或 15 片極板，三個電池串連，每電池可放 2V，一個電池可有 6V。

再進一步探討其中反應向反方向進行，將正電極極板轉換成二氧化鉛，若持續充電一段時間，電池端電壓會急速上升。所以充電過程中充電電壓配合溫度電池作調整，以確保充電過程中的安全性。當溫度上升時充電電壓需調降；反之溫度下降時則需要調高充電電壓。圖 2.1 為電壓補償曲線。放電時應注意不可以作超過放電終止電壓的深度放電，以免造成電池內部結構上的破壞，縮短電池循環使用壽命。

2.4 鋰離子電池原理介紹

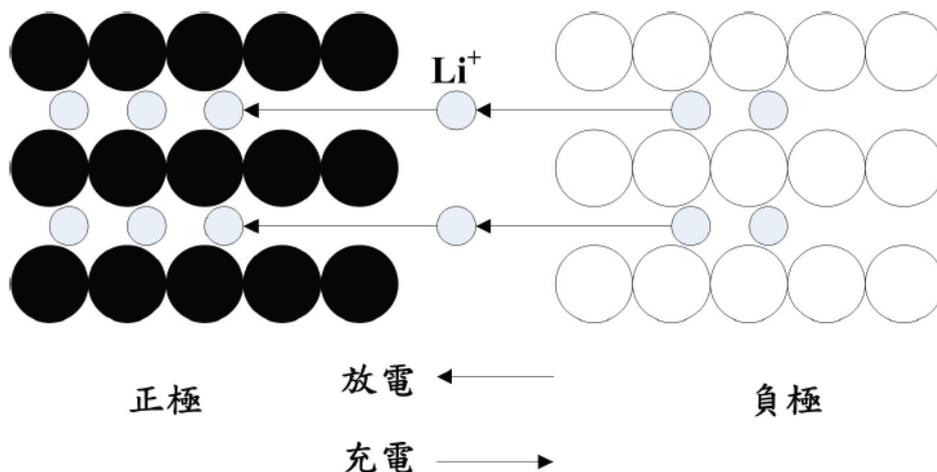


圖 2.1 鋰電池運作示意圖

鋰電池有各種形狀（圓柱形、長方形等）以適合不同產品的需要，其容量一般有幾百毫安培時到幾安時。另外，有將幾個鋰電池串聯在一起，並與電池保護器封裝在一起的電池組。

鋰電池的額定電壓為3.6V（有的產品為3.7V）。電池充滿電時的電壓（稱為終止充電電壓）與電池的陽極材料有關：陽極材料為石墨時為4.2V；陽極材料為焦炭時為4.1V。另外，它們的內阻也不相同，焦炭陽極的略大，故其放電曲線也略有差別，如圖1所示。鋰電池終止放電電壓為2.5V（各電池製造廠的參數略有不同）。如果鋰電池在使用過程中電壓已降到2.5V後還繼續使用，則稱為過放電（或過放），對電池有損害。電池的容量C以mAh或Ah表示。它可以用來估算工作時間。例如， $C=1600\text{mAh}$ 的鋰電池若工作電流為400mA，則可估算工作時間約為4小時。實際上電池有自放電損耗，電池存放時間長則會影響使用時間。另外，鋰電池不適合大電流放電，過大的電流放電會降低放電的時間，如圖2所示。一種容量為3Ah的鋰電池，在0.75A電流放電時，工作時間為4小時。若以2A電流放電時，本應工作1.5小時，但實際為1.25小時（相當於2.5Ah）；若以3A電流放電，本應工作1小時，但實際為0.6小時（相當於1.8Ah）。這是因為大電流放電時，內部有較大的損耗的緣故。因此，不同容量的電池由電池製造廠給出允許最大的放電電流值。

2.5 鋰電池的種類

鋰電池在二次電池的領域中，幾乎優於其他各種類的電池，能量密度高，重量輕，體積小是鋰電池的特徵。鋰電池乃是利用鋰離子作為電解液中最主要的傳導離子。使用鋰元素當電池材料是因為在化學標準電位中，鋰元素的氧化性最強，也就是說電位是最負值，利用鋰元素搭配適當正電極材料，可使電池單位電位很容易就超過 3.5 伏特。而且鋰元素是原子量最輕的全屬元素，當進行化學反應時，其速率很快。由於上述優點，使鋰電池發展相當迅速。鋰電池使用的鋰元素可以分為三種，分別為鋰金屬電池，鋰離子電池及鋰高分子電池，以下將分別說明之。

2.5.1 鋰金屬電池

鋰金屬電池乃是最早使用鋰元素為材料的電池，該結構為以鋰金屬當負電極，以有機液體加上鋰鹽類當電解質，正電極則為 LiCO_2 為材料，鋰金屬電池開路電壓可達 4 伏特以上，高達 200Wh/kg 的能量密度為其最大優點。不過也就是由於使用有機溶液當電解質，在化學反應時易造成樹枝狀鋰金屬堆積，因此導致電池內部短路，有相當大的危險性。

2.5.2 鋰離子電池

鋰離子電池中的電解液可以是凝膠體、聚合物（鋰離子/鋰聚合物電池）、或凝膠體與聚合物的混合物。因為目前尚未發現能夠在室溫條件下有效運送鋰離子

的聚合物，所以大多數的「塑膠封袋」鋰離子/ 鋰聚合物電池事實上都是結合凝膠體和聚合物的混合型電池。

正極或負極必須具有類似海綿的物理結構，以釋放或接收鋰離子。在充電時，鋰離子從負極材料移出至電解液，再像水進入海綿一樣地進入正極材料，這個過程被稱為嵌入(Intercalation)，放電的過程則完全相反。

鋰離子電池具有高體積能量密度，自我放電率低，無記憶效應以及高工作電壓等優點，目前已成為行動電話，筆記型電腦等小型行動產品最主要使用的電池。鋰離子電池以鋰鈷氧化物、鋰錳氧化物、鋰鎳氧化物等作為正電極活性材料，在負電極材料的部分則為碳材料，電解質也有許多種可能是 LiPF_6 、 LiClO_4 、 LiBF_4 等，電解液則是以 PC 與 EC 為主。單體鋰離子電池電壓為 3.6~3.7 伏特，最大電壓為 4.1~4.2 伏特。一般鋰電池充電電流約在 0.1C~0.2C 之間，充電電流大小會影響充電時間以及電池壽命。

在充電過程中，若要鋰離子電池端電壓超過氧化電壓 4.5 伏特時，會使得電解液濃度飽和，輸入之電能無法轉換成化學能進而轉成熱能。導致電池溫度上升，溫度上升將電解液氣體化，導致電池內部壓力過大造成漏液。電解液為可燃有機溶劑，過度充放電會有燃燒爆炸的危險，因此一般充電電路均會有過度充放電保護電路。

2.5.3 高分子鋰電池

其原始的定義是，電極材料或電解液是採用高分子材料的鋰電池，而且通常是指電解液是採用高分子材料的鋰電池。這是因為如果是採用一般的液態電解液，電池易燃、易爆。如果改用高分子電解液，安全性會提高很多。提出高分子鋰電池概念，且擁有專利的公司是美國 Bellcore。他們除了電解液是高分子的之外，他們同時捨棄一般鋰電池的罐體，改用鋁箔包去包裝鋰電池，由於電池內部必須有離子交換的動作。因此離子在液態電解液裏頭跑，就像在水中游泳；離子在高分子電解液裏頭跑就像在漿糊裏頭游泳。改採用鋁箔包的型式，效能是一致的，其外型 and Bellcore 的鋁箔包高分子鋰電池一模一樣。所以現在所謂的「高分子鋰電池」，正確的名稱應該是「採用鋁箔包裝的鋰離子電池」。

但用鋁箔包裝電池，大概會有幾個問題。一是鋰電池的電極在充放電過程會溶解和再結晶，所以電極的厚度時大時小。此時必須加個拘束力，讓電極和隔離膜不要有距離。一般鋰離子電池是用緊配方式，由罐體產生拘束力。鋁箔包雖然不會爆，但是會漏一般鋁箔包的電池壽命就比較短。但是鋁箔包的重量比缸體罐體要輕，所以單位重量的電容量就比較高。

2.6 鹼性蓄電池

鹼性蓄電池有鎳鎘電池、鎳氫電池等多種，本章節將針對較常見的鎳鎘電池、鎳氫電池作介紹，之後再以表格比較各種類二次電池特性。

2.6.1 鎳鎘電池

鎳鎘電池以鎳氧化物為正電極，鎘金屬為負極，用鹼性水溶液當電解液，電壓值為 1.2 伏特，放電停止電壓為 1.1 伏特，體積能量密度為 130~200Wh/L，重量能量密度為 40~50Wh/kg。因為具有比鉛酸蓄電池還要高的能量密度力加上有內阻小，循環壽命長(約可達 2000~4000 次)、使用溫度範圍廣以及成本低等優點而被廣泛使用。不過由於鎳鎘電池有記憶效應的缺點，當電池在淺放電與充電反覆繼續之時，電池容量會降低，需做完全放電才可將記憶效應消除，且鎘金屬具有污染性，使得鎳鎘電池在市場上的佔有率已逐漸下降，漸漸被鎳氫電池所取代。不過由於此種電池成本較低，在特定市場仍繼續使用鎳鎘電。

2.6.2 鎳氫電池

鎳氫電池乃是結合鎳鎘電池的技術與儲氫合金科技的高容量電池。其正電極材料與電解液都跟鎳鎘電池相同，但負電極材料則為儲氫合金。電壓值為 1.2 伏特，體積能量密度為 250~300Wh/L，重量能量密度為 50~60Wh/kg。有良好的循環使用壽命。鎳鎘電池所擁有的優點鎳氫電池都有，且能量密度也比鎳鎘電池高。不過有著自我放電高以及在高溫時效能表現較差、記憶效應等問題。由於實際電池並非是一個理想穩定的電壓源，可將電池是為一理想電壓源與阻抗串、並聯而成的系統。自我放電的現象即是由電池系統本身形成內部迴路，該回路會持續消耗電池所儲存的

能量。自我放電率高的鎳氫電池，不適合做長期備用的電池。但鎳氫電池的輸出入特性與鎳鎘電池相近，兩者具有互換性的優點，若將使用鎳鎘電池的裝置改以使用鎳氫電池，完全不需要重新設計電路。表 2-3 為各種類二次電池特性比較表，產品應用者可針對其產品特性選擇適用之二次電池。

表 2-3 二次電池特性比較表

電池種類	鉛酸電池	鎳鎘電池	鎳氫電池	鋰離子電池
電池額定電壓(V)	2.0	1.2	1.2	3.6
自放電率(%/月)	0.5~3	15~20	20~30	1~3
功率密度(W/kg)	200~700	600~2000	200~1000	400~2000
能量密度(Wh/kg)	30~45	50~85	75~100	110~130
耐過放電特性	不好	好	尚可	不好
過充容忍度	高	適中	底	差
成本	低	中	中	高
操作溫度(C)	5~50	-20~70	-20~40	-20~50
主要應用	電動車 不斷電系統	電動車 可攜式電源	電動車 可攜式電源	電動車 3C 產品

2.7 二次電池充電方式

二次電池種類繁多且由不同化單方式組成，雖說電池壽命在電池製造過程中已被化學物質及電池結構所限制，但充電方式仍是直接影響到電池使用壽命的一個主要原因。過度的充電將會對電池造成結構上的破壞，使電池壽命降低。通常可依據廠商所建議的充電方式進行充電，來獲得電池最大使用壽命，但充電時間往往只是一個考量因素，如何兼顧電池使用壽命與充電時間，是一直被討論的重要話題，本章節將針對下列一般二次電池充電方式與快速充電方式做簡略介紹，此兩種充電方

式日前常用法則區分如下：

1. 一般充電方式：

(1) 定電壓充電法

(2) 定電流充電法

(3) 定電流-定電壓充電法

(4) 涓流式充電法

2. 快速充電方式：

(1) 脈衝式充電才式

(2) Reflex™ 脈衝式充電法

(3) Motorola 充電



2.7.1 定電壓充電法

從電源端直接供應固定電壓來進行充電稱之為定電壓充電法。定電壓充電法具有電路簡單及成本低的優點，是最普遍的充電方式。充電時，充電電流會慢慢下降，電池越接近飽和，電流越小，如果所選擇的定電壓值不夠高，將會造成充電不足，充電時間過長的現象。若充電定電壓值過高也會造成電池損壞。圖 3-1 為定電壓充電時電壓與時間的關係曲線。如圖 2-2 所示得知當電池電壓較低時使用定電壓進行充電，會產生很大的充電電流，造成電池溫度上升，也會破壞電池電極，縮短電池

壽命。通常使用定電壓充電方式都會在電路上增加一限制電流大小的機制，隨著電池的電壓狀態來調整電流，避免電池損壞。

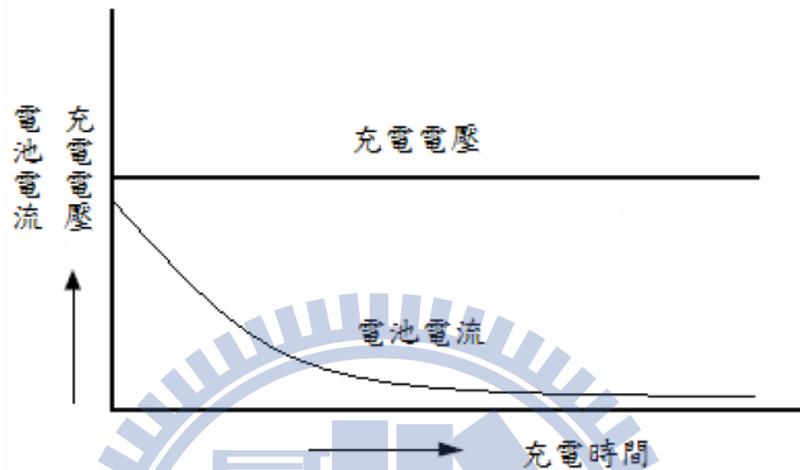


圖 2-2 定電壓充電時電壓與時間的關係曲線

2.7.2 定電流充電法

定電流充電法是指在充電時間內，提供一固定的充電電流。充電電流大小可根據充電時間和電池容量來設定如圖 2-3 所示。例如電池容量為 500mAh，若使充電電流 500mA，則理論上電池充飽時間應 1 小時，若充電電流為 100mA，則充飽時間應 5 小時。

為了防止過度充電，通常會對充電時間有所限制或充電截止條件。定電流充電的方式很容易實現，所以很普遍的被市面上的充電器所採用，不過需依照不同的電池不同的化學特性做不同的充電截止條件。定電流充電曲線如圖 3-2 所示，以定電流充電法充電時，電池壓電會逐漸上升，上升的幅度由快而慢。若電池的充電電流

愈大，則愈快達到所設定的電壓上限，但因為沒有考慮電池的電量狀態，充電末期易使電池產生氣體而損壞電池。而若充電電流設定愈小，對電池愈不會造成損害，但相對的導致充電時間過長。

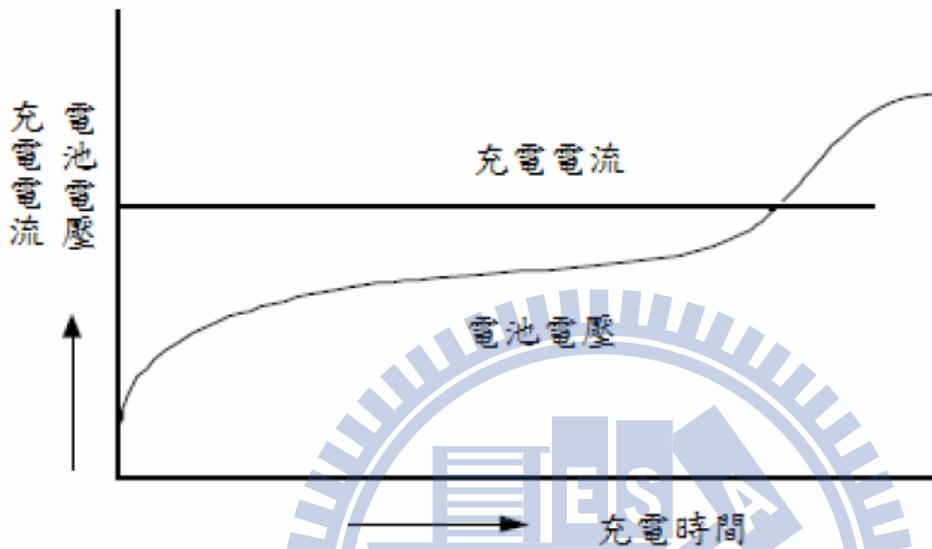


圖 2-3 定電流充電時電壓與時間的關係曲線

2.7.3. 定電流-定電壓充電法

將定電流與定電壓充電方式結合在一起就形成定電流-定電壓充電法。因為充電過程分成兩階段，所以又稱兩階段充電法。如圖 2-4 所示為其充電曲線線圖。第一階段先用定電流充電，較快可以到需求的電壓，藉由調變充電電流即可達到調控充電時間的效能，比定電壓法較節省時間。在這個階段時，電池電壓會慢慢上升，當定電流到達截止條件的設定值時，再改以第二階段的定電壓充電，這時候的充電電壓流將隨著時間而逐漸下降，第二階段彌補了定電流充電的缺點，使電池不會有作虛充的現象且電池較能充到飽和。恰好補足二鋰電池在單使用定電流充電特性下所

無法滿足的條件。至於充電時間的長短則是需要視所設定的電壓和電流值來決定。這種充電方式同時具有定電流的快速與定電壓的準確兩種優點，所以一般鋰電池大部分會選用此種方法。

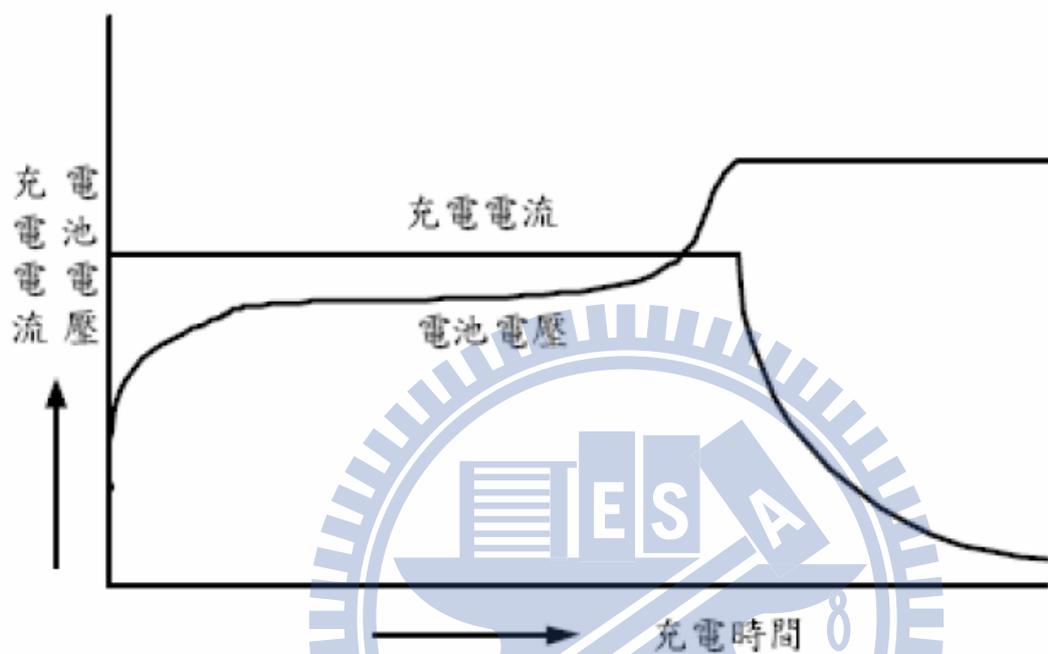


圖 2-4 定電流-定電壓充電時電壓與時間的關係曲線

2.7.4 涓流式充電法

涓流式充電曲線如圖 2-5 所示，充電方式類似於定電流定電壓充電法。此種充電法一開始採取比較大的定電流對電池充電，當電池電壓達到所預設之電壓後，改以較小之定電流對電池對充電。此種方法與電流-定電壓充電法相比較，它可避免負重載時，電池組電壓突降，使得大電流流過電池造成損害。所以使用涓流充電法可保護電池並延長電池壽命。但是涓流充電法主要缺點在於充電速度較慢。在大多數的涓流充電中，皆較會缺乏任何電壓或溫度回饋控制，因此無法給予保證電池充足電立即關閉充電器。

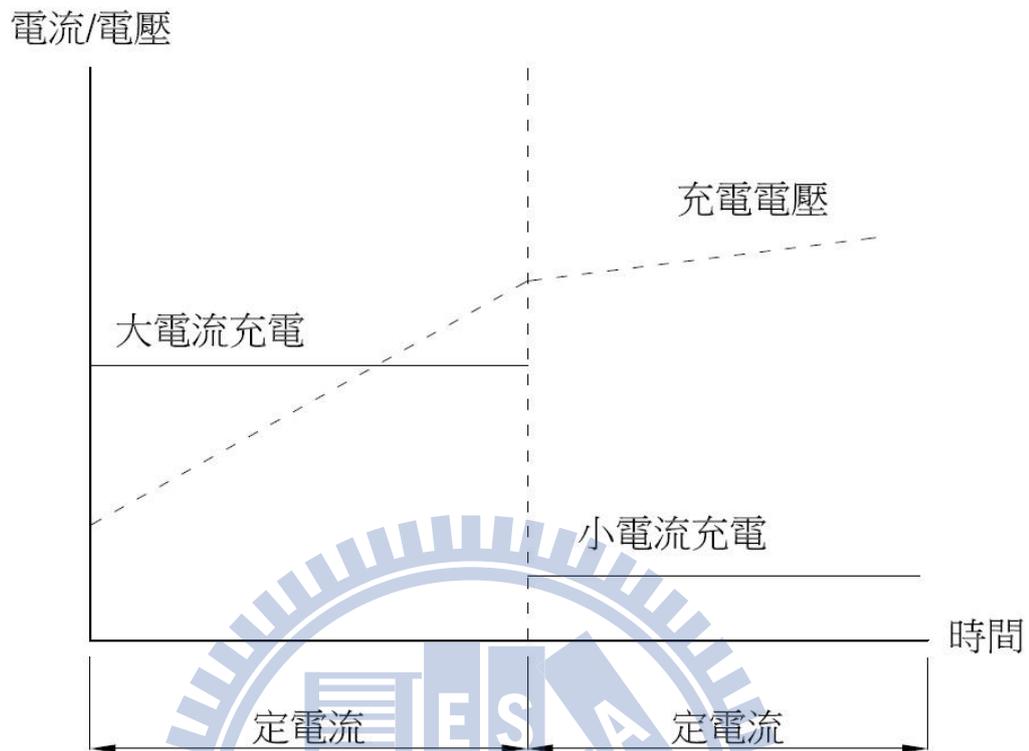


圖 2-5 涓流式充電法時電壓與時間的關係曲線

2.7.5 脈衝式充電法

脈衝式充電法如圖 2-6，始於 1970 年代，可說是第一個增加充電效率的充電方式，其方法是對電池施以一週期性脈衝電流，可在充電過程中增加電池休息時間，使離子可以更均勻的分散在電池上，讓電池內部的電解液在化學反應上可以獲得中和緩衝時間，以降低電池在充電時所受的壓力。進一步延長電池循環使用壽命，並且可以適當調節脈衝電流大小，以達到快速充電的目的。此種充電方式能承受較大的脈衝電流充電而不傷害電池，又可降低充電時間。充電曲線圖 3-5 所示，其中 T_c 為充電週期、 T_r 為休息週期。

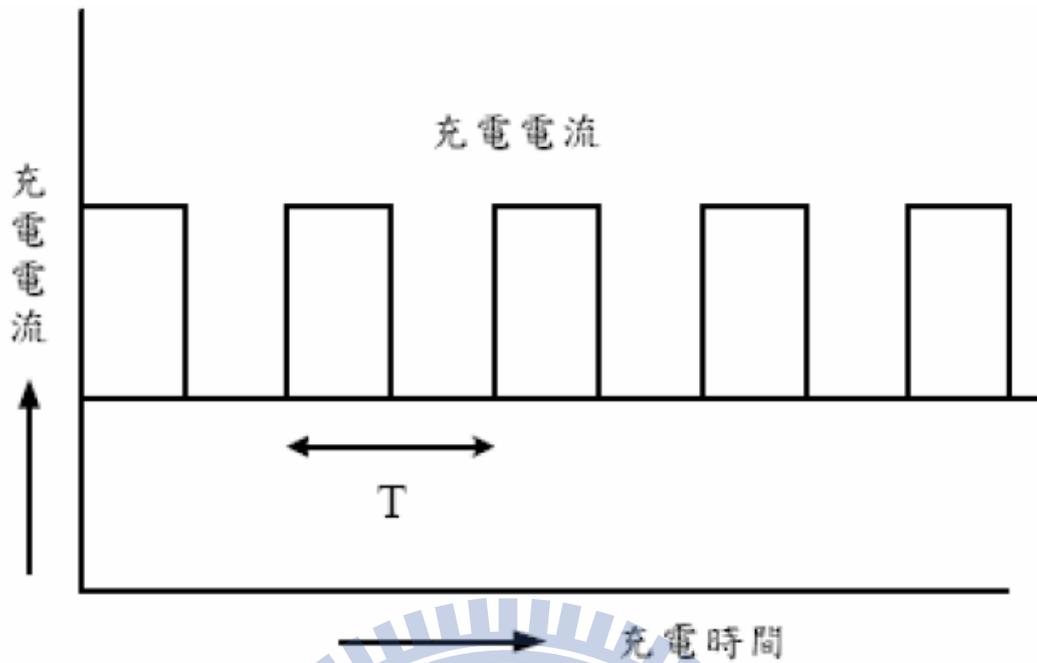


圖 2-6 脈衝式充電法充電時電壓與時間的關係曲線

2.7.6 Reflex™ 脈衝式充電法

Reflex™ 充電法為脈衝充電式的改良。其特色就是在每一個充電脈衝之後緊接著一個放電脈衝及一個可有可無的休息週期。放電的過程更可讓電池內部電解液獲得緩衝時間，去除電極氣泡，幫助負電極板的氧融合作用。減少電池充電時的溫度、壓力與阻抗，加速電池恢復平衡。使下一個充電週期的電能更能充入電池中，增加充電效率，延長電池使用循環壽命，當電池端電壓、內部壓力與溫度發生劇烈變化時。充電電流必須馬上移除，以避免傷害電池。如圖 2-7 所示為 Reflex™ 充電法的曲線圖。其中 T_c 為充電週期， T_d 為放電週期。

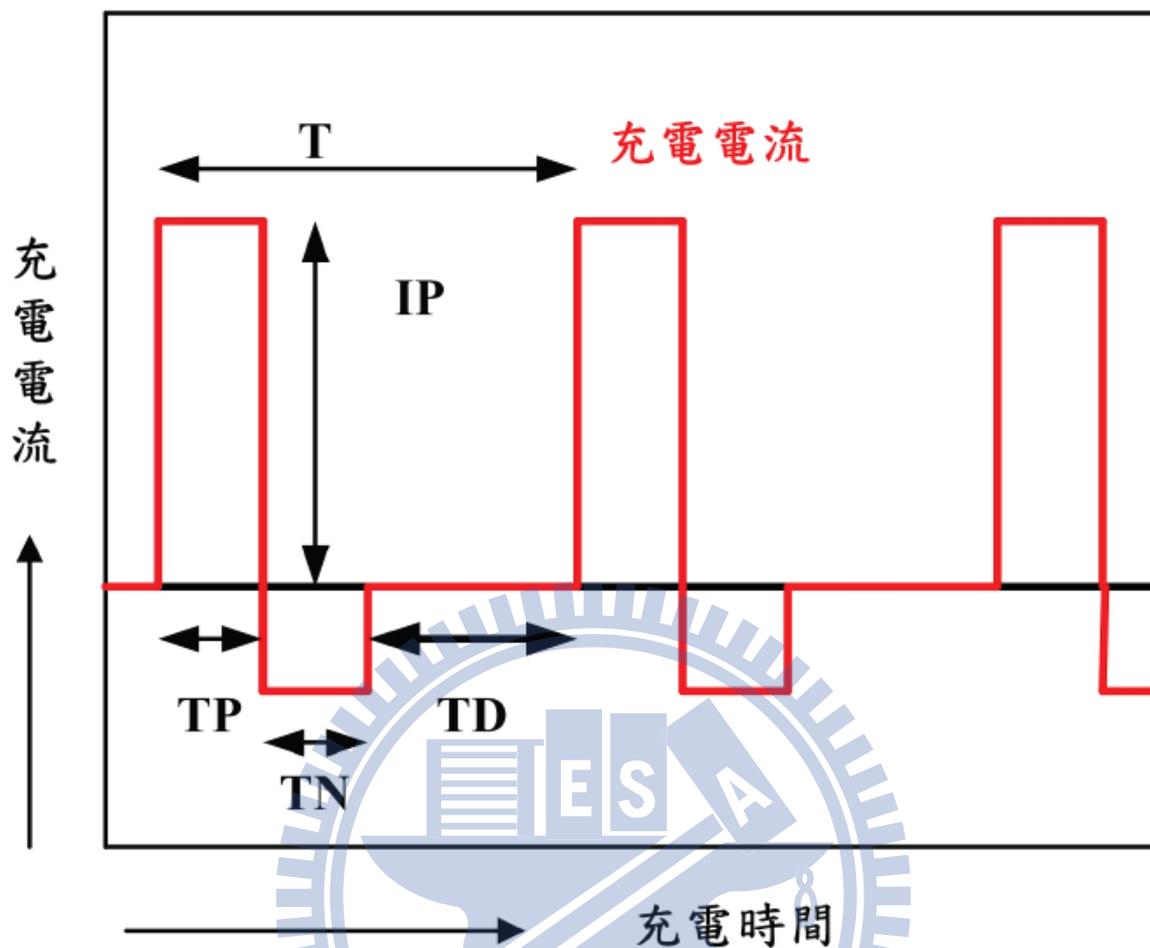


圖 2-7 Reflex™ 充電法充電時電壓與時間的關係曲線

2.7.7 Motorola 充電法

1996 年 1 月，L. J. Martin 與 S. M. Garrett 在 Motorola 公司申請通過美國專利，專利名稱是是鋰離子電池快速充電的方法(Method of Rapidly Charging a Lithium Ion Cell)，本項專利與快速充電策略 Podrazhansky 充電類似，充電電流波形包含了高電流振幅的充電脈衝與較長時間的充電週期，高電流振幅的放電脈衝較短時間的放電週期，最後是維持穩定不充不放的休息週期，整個充電曲線是適用於鋰離子電池的快速充電，如圖 2-8 所示。首先是充電脈衝持續時間 T_{c1} ，接著是第一個休息

週期 T_{r1} ，再緊接著是放電脈衝持續時間 T_{d1} ，最後為第二個休息週期 T_{r2} ，如此週期性重複。一個週期約 10-20 秒。而休息週期與放電週期的總和約佔整個過期的 5%。以一個最大電壓為 4.2V 的鋰離子電池為例，充電週期 T_{c1} 約 5 到 15 秒，休息週期 $T_{r1}=T_{r2}$ 約 0.5 秒至 3 秒，放電週期 T_{d1} 約 1 到 5 秒。一開始充電時，電池的端電壓很低，充電與放電脈衝的電流振幅皆為 $2C$ 。隨著電池的端電壓逐漸達到設定值時，也就是在定電壓充電狀態下，充電脈衝的電流振幅也逐漸降低，但放電脈衝的電流振幅仍維持 $2C$ 。專利內容除了快速充電策略的提出外，對於電池充電過程的控制與終止也有解決方式。如果電池端電壓達到預先設定的最大值 V_{max} 約 4.2 伏，並且少於預先決定的充電時間，此時可降低充電脈衝的電流振幅 $1C$ ，但放電脈衝仍維持 $2C$ 。當待充電之電池的溫昇達到設定值時，快速充電的過程結束，並且轉換成約 $C/10$ 到 $C/20$ 的涓流充電宜電池充滿為止。

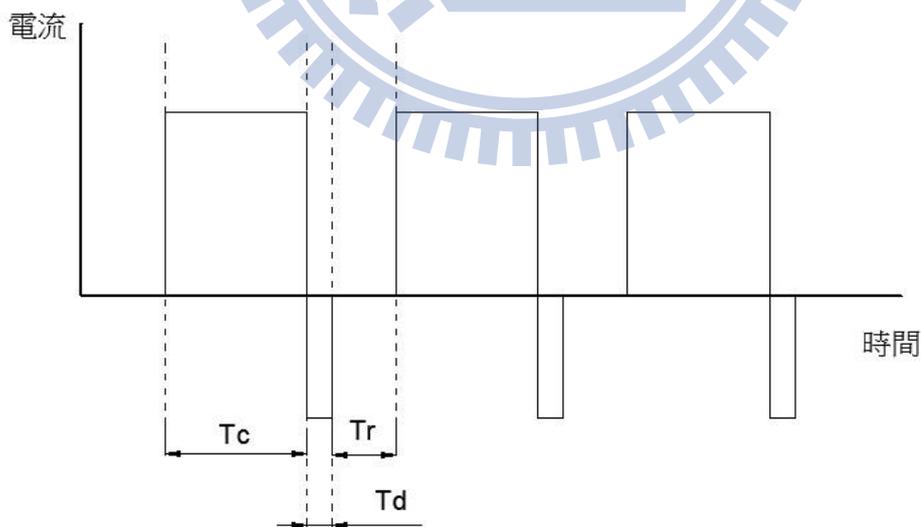


圖 2-8 Motorola 充電法充電時電壓與時間的關係曲線

2.8 控制系統簡介

所謂控制(control)是使得一個系統的控制變數或輸出值的變化能夠維持於特定輸入參考值的一個過程。因此回授控制(feedback control)是藉由量測一個系統變數的值，並實際利用此信息去改變此控制變數的一個過程。一般來說，控制系統可分為無使用回授的開回路控制(open-loop control)與使用回授的閉迴路控制(closed-loop control)，閉迴路控制系統通常又簡稱回授控制系統(feedback control system)。一個典型的回授控制系統包括了被控制系統(controlled system or plant)、致動器(actuator)、控制器(controller)及系統的輸入與輸出感測器(input/output sensor)。開迴路控制系方塊圖與閉迴路控制系統方塊圖，所以我們回授控制系統，主要為達到以下幾種目的：

- (1)當系統無輸入訊號時的暫態響應 transit response 特性。
- (2)當系統為靜止時的輸出能夠追隨一些特定或代表性的輸入訊號能力。
- (3)將外部的干擾(disturbance)及系統參數的變動對系統的影響降至最低。

如圖 2-9 所示，完整的 DC-DC 降壓式穩壓點路為基礎之鋰電池充電控制器之架構圖。本電路中所使用的負載為鋰電池，輸入電源為直流電壓源 4V，其經過 power MOS 濾波成穩定直流後對鋰電池去充電。而在回授控制器的部份，主要以 PWM 和 PFM 的技術為主其架構如圖 2-10 所示，因為 PWM 可因負載的電流電壓需求，進而因此去調整週期，而 PFM 可改變導通週期，具有更省電的優點，且可依不同需求，因此改變導通

範圍，並達到穩定負載端電流的功能，是因為電池的充、放電特性是由電池內部化學材料進行氧化還原反應而來，如果不當的充放電方式，會造成電池內部永久性損壞，加速電池的老化，進而影響電池的性能和壽命。

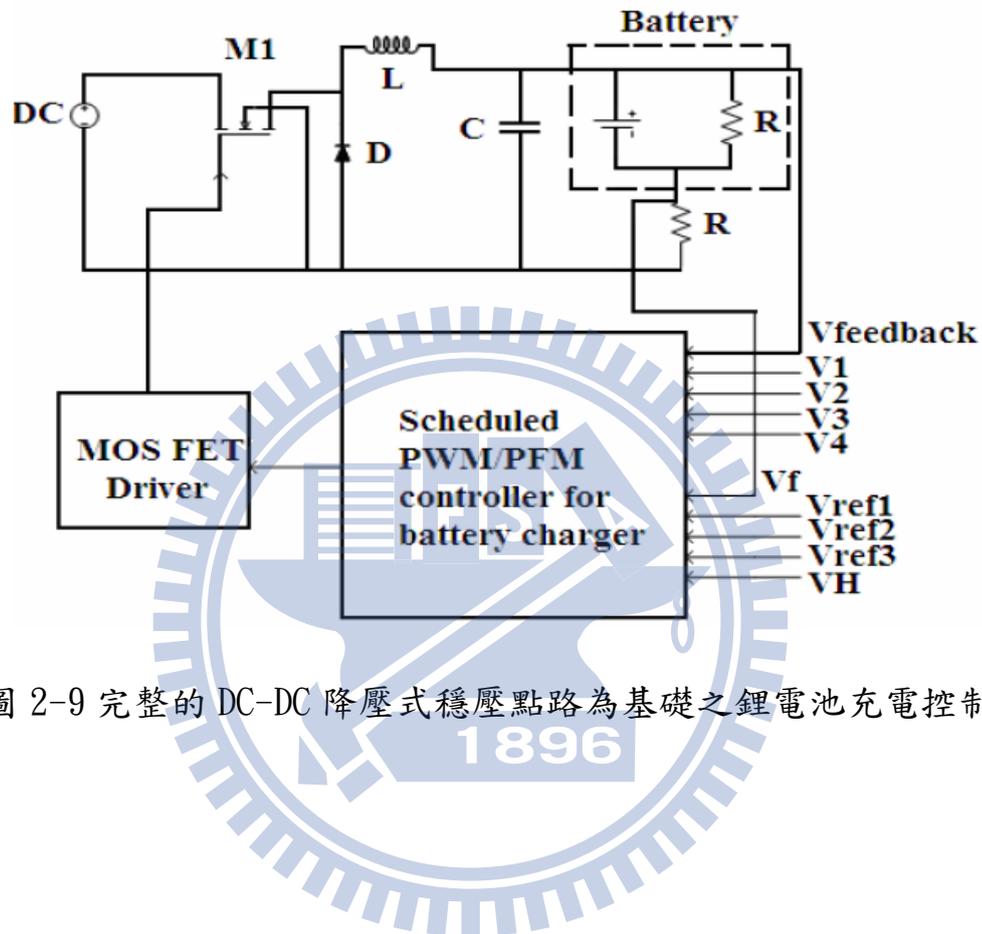


圖 2-9 完整的 DC-DC 降壓式穩壓點路為基礎之鋰電池充電控制器

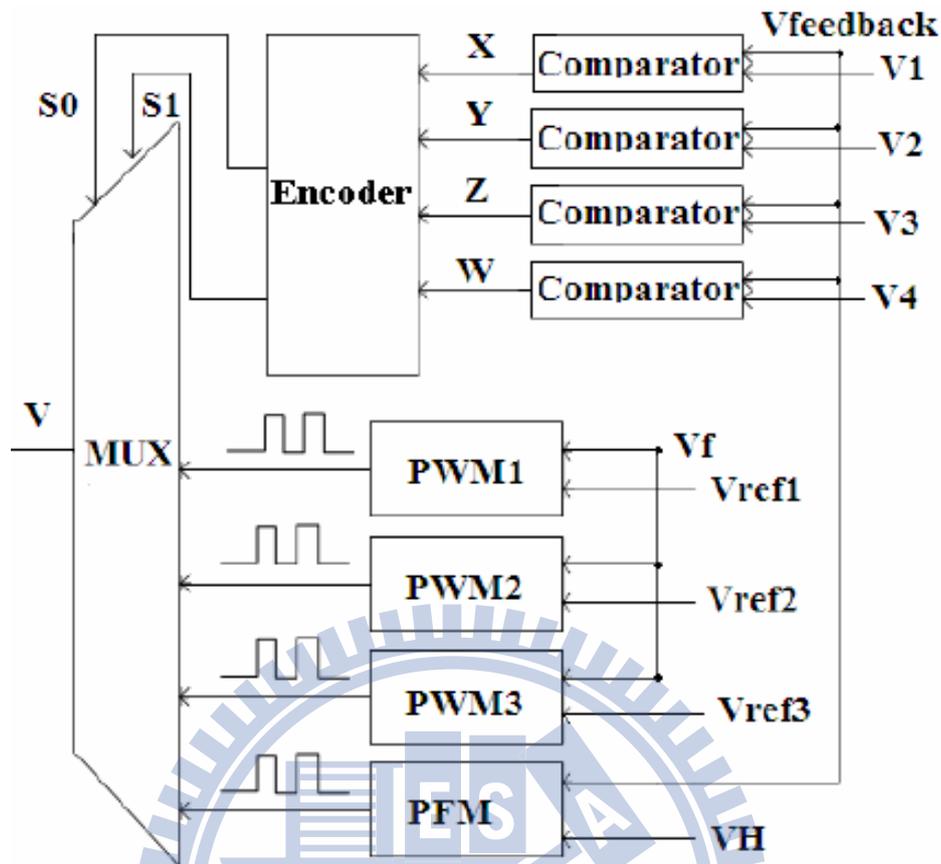


圖 2-10 PWM 和 PFM 多排程控制器之架構圖

2.8.1 脈波寬度調變電路架構

在 PWM mode 區塊中，包含了訊號放大器電路、三角波訊號產生電路及運算比較電路等。如圖 2-11 所示。PWM mode 回授電壓經由運算放大器來使訊號放大，以輸入後端之比較器。將我們所設定的 V_{ref} 作輸入，再利用積分器動作原理做為三角波產生電路的基本概念。當輸入積分器的訊號為負電壓值，而使輸出端電壓以正斜率值送出；當輸入積分器的訊號為正電壓值，因此使輸出端電壓以負斜率值送出。因此在適當時間做正負電壓的變換，可產生輸出訊號含有正負斜率之三角波。

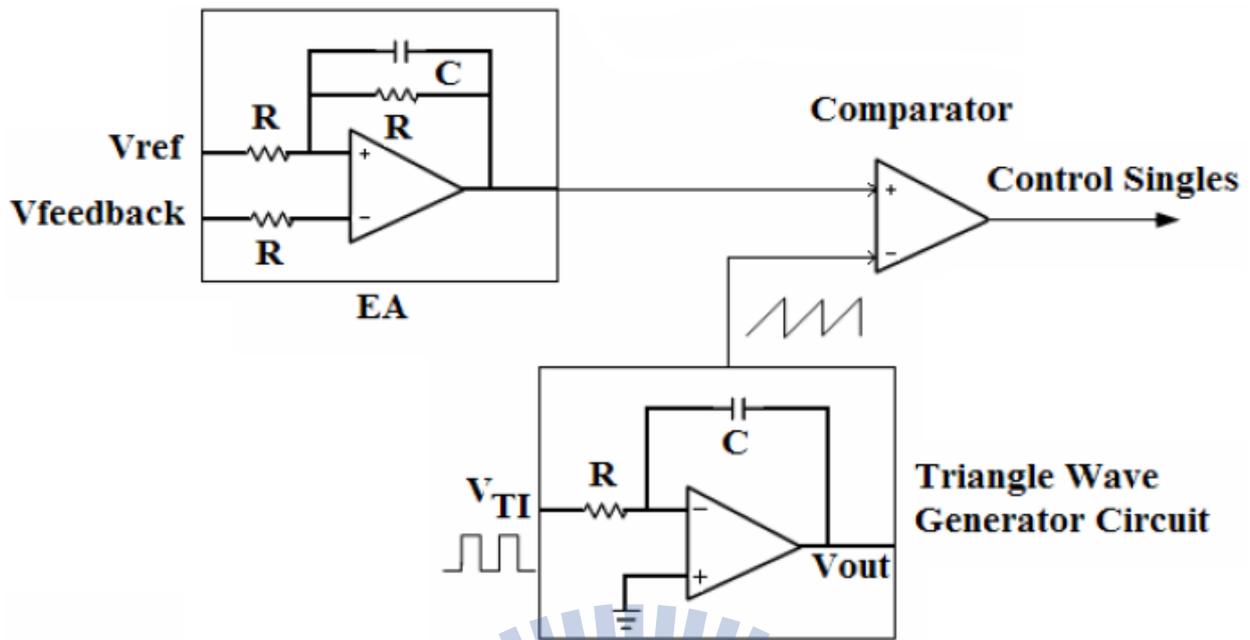


圖 2-11 PWM mode 回授電壓經由運算放大器

2.9 電量估測方法

電池電量的估測有很多種方法，依照精確度的需求，會有不同的測量方式，甚至會同時採用兩種以上的電量估測方式來達到較高的精確度與及即時測量的目的。

以下是對各種檢測方式的簡介。

2.9.1 電測試法

對完全充電的電池進行完整放電，並持續針對放電過程所有流出的電量，利用這樣的過程，可以計算出該電池所含的電量。此法較適合用來求取初始電容量，或是經常使用到完整充放電週期的裝置上。

2.9.2 庫倫法

利用流出電量等於流入電量的原則，持續偵測電池電流來紀錄電池剩餘的電量，此法需要一個精確的電流檢測器。當電池再進行充電動作時，可以由初始之電池電量進行安培小時法累加，獲得任何充電時刻電池之電量。而當電池放電時，亦可以由電池之初始電量進行安培小時法遞減。電池電量以(2.5.c)表示，其中， t 為電流放電時間， t_0 為初始時間， t 為目前時間， $C(t_0)$ 為初始電容量， $C(t)$ 為目前電量， $I(t)$ 為放電電流。由於庫倫法無法偵測電池的自放與及老化或其他因素造成的電量耗損，若想降低累積誤差、與及提高長時間運作的精準度，必須與其他方法相結合運用(如開路電壓法)。

2.9.3 開路電壓法

電池充放電、改變負載的情況下，經過一段時間改變的端電壓會逐漸趨於穩定，只要電池處在無載、且穩定的情況下，就可以利用測得的開路電壓來查「開路電壓對應電量」的曲線資料，求出剩於最大電量。由於電池充、放電行為停止後，電池端電壓會隨時間而下降、上升，因此在進行偵測前，待測電池都須等待一段較長時間的靜止穩定週期。鋰離子電池約需 30 分鐘。所以要測得開路電壓對應電量的曲線資料需要相當常的時間，持續對電池進行測試，透過不斷的充電，等待電壓穩定，或是放電，等待電壓穩定的程序來一一紀錄電池的電量情形。最大的缺點是電池充放電終無法進行測量。

2.9.4 線性模型

以最小平方法計算電池電壓對電量的線性參數，想提高精確度需要較多資料來表現系統的種種運作狀況，比如說考慮不同放電率、溫度…等其他因素，就必須使用輸入更多，演算更為複雜的線性模型。

2.9.5 類神經網路

利用類神經網路的概念，制定許多輸入與輸出參數，電量計在使用前透過訓練與學習產生參數，節由這些參數讓電量計了解電池的特性。此法雖然可以適用於各種電池，但是相對的輸入與輸出參數該使用什麼與及如何訓練與學習更是一大學問，而且類神經網路演算法通常極為複雜，於可以攜式裝置上實現起來也很困難。

2.9.6 阻抗頻譜

對電池打入不同的信號來分析電池的響應，以量測電池的內電阻來判斷電池目前電容量的狀態。充電時電池內電阻會隨著電池電量充飽而增加；當放電時，內電阻會隨著電池內儲電量完全放電因此減少，因此在檢測電量時，只需判斷電池內電阻即可。此法適用各種電池。但是需要額外電源產生驅動信號與及昂貴的頻率分析功能，所以不太適合應用在可攜裝置上。

第三章 實驗方法與實驗設備平台的建立

目前已經有許多模擬鋰電池放電行為的模式建立的研究，但其精準性一定沒有實際對鋰電池測試來得精準，尤其不同廠牌與規格的電池芯與負載端。隨著使用的次數增加鋰電池的壽命也是會改變，故利用實際的平台包括電池模組控制板與消耗功率元件，做測試得到最精準的參數其放電曲線與對於使用時間的預測有相當大的貢獻。

3.1 鋰電池模組實驗平台建立

為了取得鋰電池模組的專屬放電曲線，並且進一步預測放電終了時間，我們必須要建立一個有順序控制，量測，顯示，電源供應器，電池模組與負載端的軟硬體實驗平台，進一步取得實際的電池模組或整個系統放電電壓，電流，工作時間與循環次數等的數值，再將取得的數據加以整理與計算，得出在特定條件下的放電曲線，再找出轉折點。利用這些轉折點之後，計算出其曲線方程式，將其化為電腦語言寫入韌體中，使系統能準確檢知電池模組的該次殘存使用時間。

此外利用 8051 可以做許多取代理電池電源管理晶片的工作，例如 1. 監管電池模組不要過充電或過放電的保護。2. 市電與電池模組供電切換。3. 系統狀態的紀錄。4. 省電模式的設定。5. 系統電路的保護。6. 外加多重串並聯 input 的組件。

3.2 硬體說明

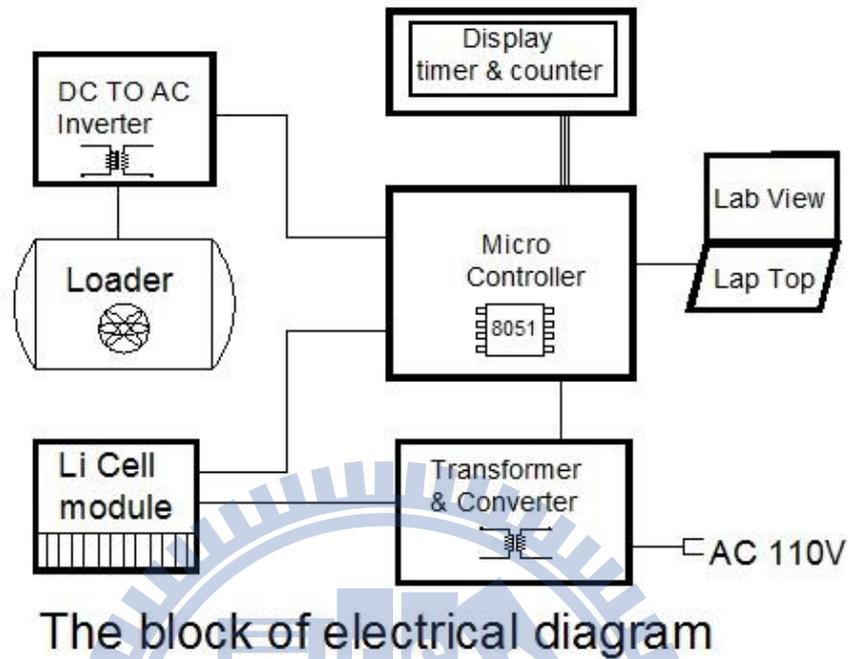


圖 3-1 系統控制架構圖

(本論文研究設計)

根據實驗的需求，設出一個軟硬體平台架構主要包含幾個部分，如圖 3-1 所示為整個實驗平台的系統控制架構方塊圖，因此整個實驗平台實體圖其中包含了的單元有電池模組、Converter、Inverter、Laptop、DAQ CARD、Micro Controller、顯示儀器與負載元件等等，所使用的專業軟體有 LabView、Keil4 與 Matlab 等等。如圖 3-2 所示為實際架構後的實驗平台，作為測試使用。

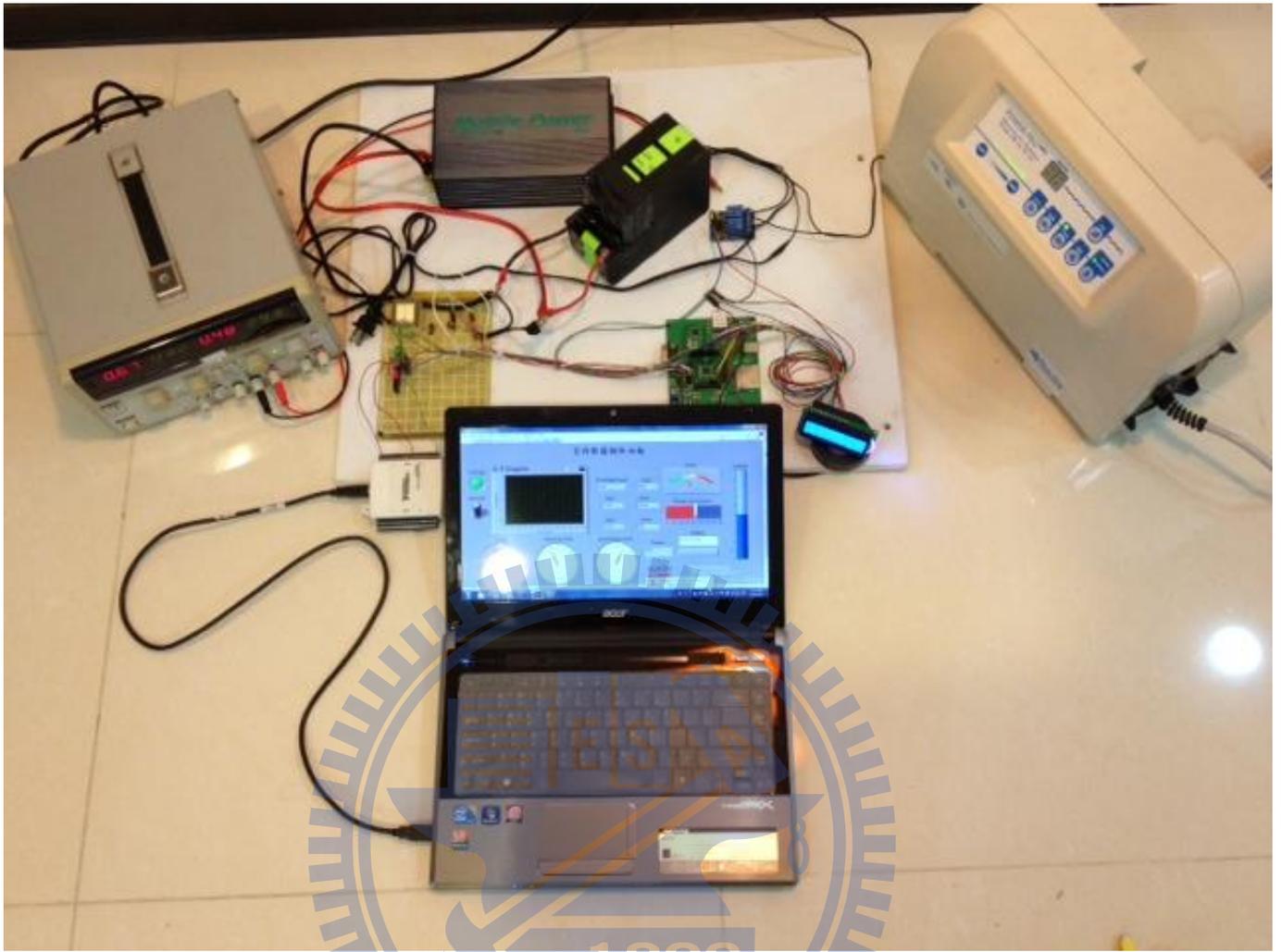
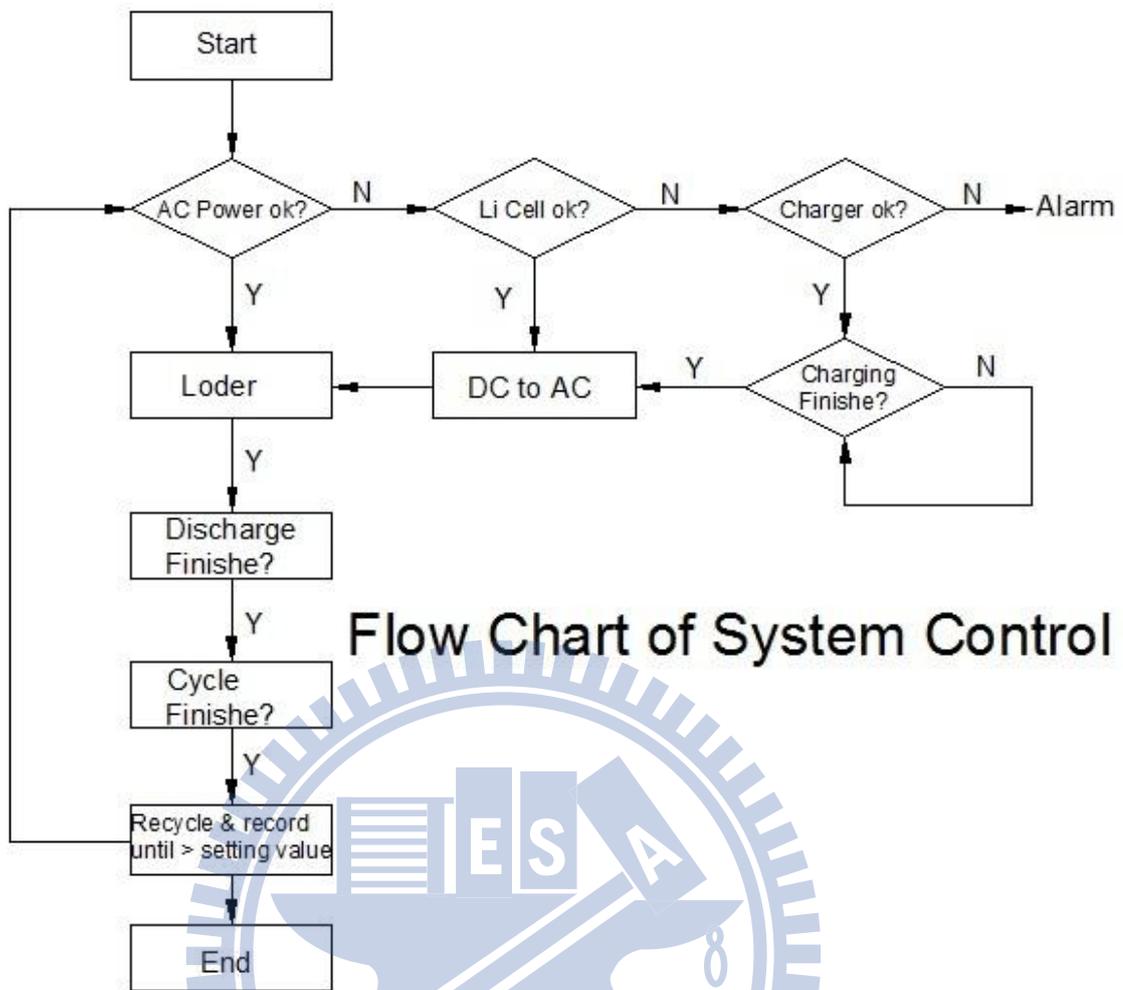


圖 3-2 實體測試平台

(本論文研究設計)



Flow Chart of System Control

圖 3-3 控制流程系統圖

(本論文研究設計)

如圖 3-3 所示控制流程系統圖說明如下，當程序被啟動時先檢查 AC power 是否電壓準位，如不是則進入電池模組供電模式並檢查電池模組是否在準備工作狀態，如電池模組是在準備工作狀態，則進入經過 Inverter 將電供應至負載端，接著啟動放電實驗程序到電池模組在電壓準位低下為止，直到循環至判定電池模組失效為止。

3.2.1 8051 單晶片說明

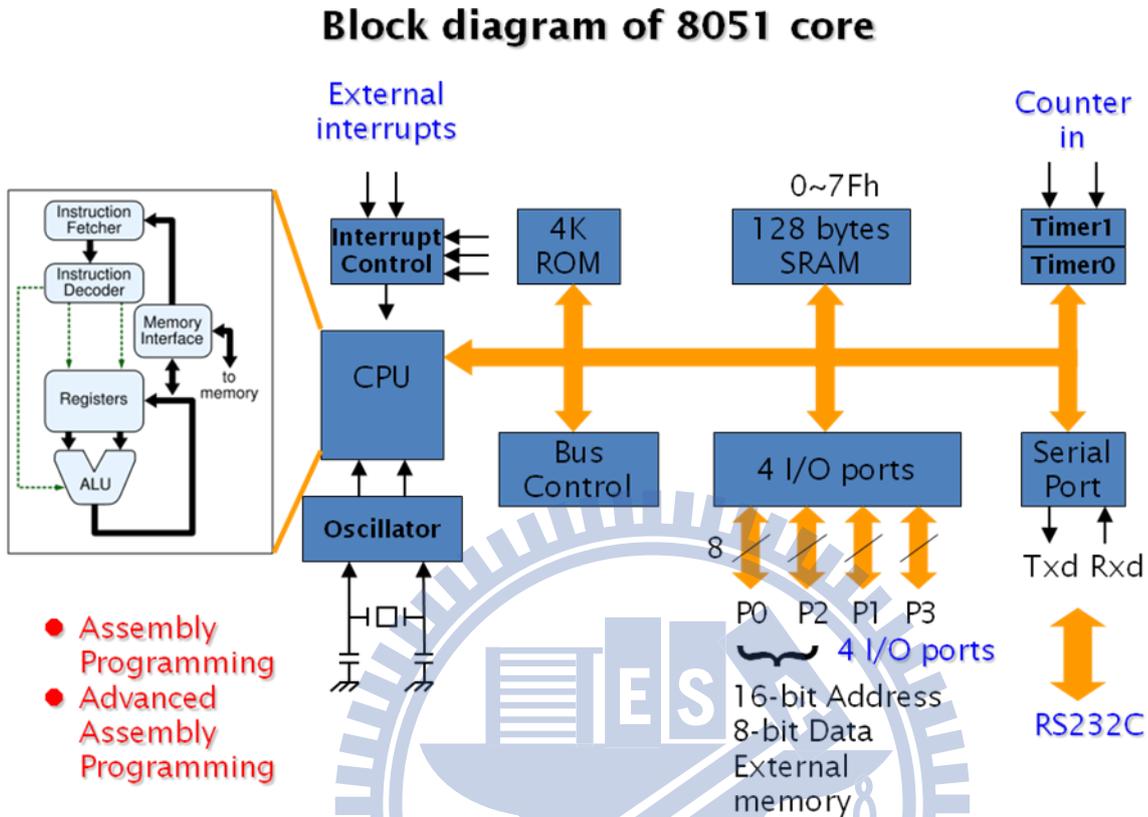


圖 3-4 8051 的單晶片微電腦架構圖

8051 是一種 8 位元的單晶片微電腦的名稱，屬於 MCS-51 單晶片的一種，由英特爾公司於 1981 年製造的 MCS-51 族系單晶片。基本上 8051 單晶片如圖 3-4 所示為同步式的順序邏輯系統，整個系統的工作完全是依賴系統內部的時脈信號，用以來產生各種動作週期及同步信號。在 8051 單晶片中已內建時脈產生器，在使用時只需接上石英晶體（或其它振盪子）及電容，就可以讓系統產生正確的時脈信號。

本實驗所採用的為 C8051F340 晶片如圖 3-5 所示是完全集成的混合信號系統級

MCU 晶片高速流水線結構的 8051 相容的 CIP-51 內核（最大 48MIPS）；USB 匯流排界面，全速 12Mbps，1KB FIFO；高速 AD 轉換能力達 10 位 200ksps；4 個通用的 16 位計時器，40 個 I/O 埠；MCU：C8051F340，片內 64K FLASH，5376Byte SRAM，內置網路變壓器的 RJ45 網路介面，2 路 RS232 介面，實現雙串口資料傳輸功能。

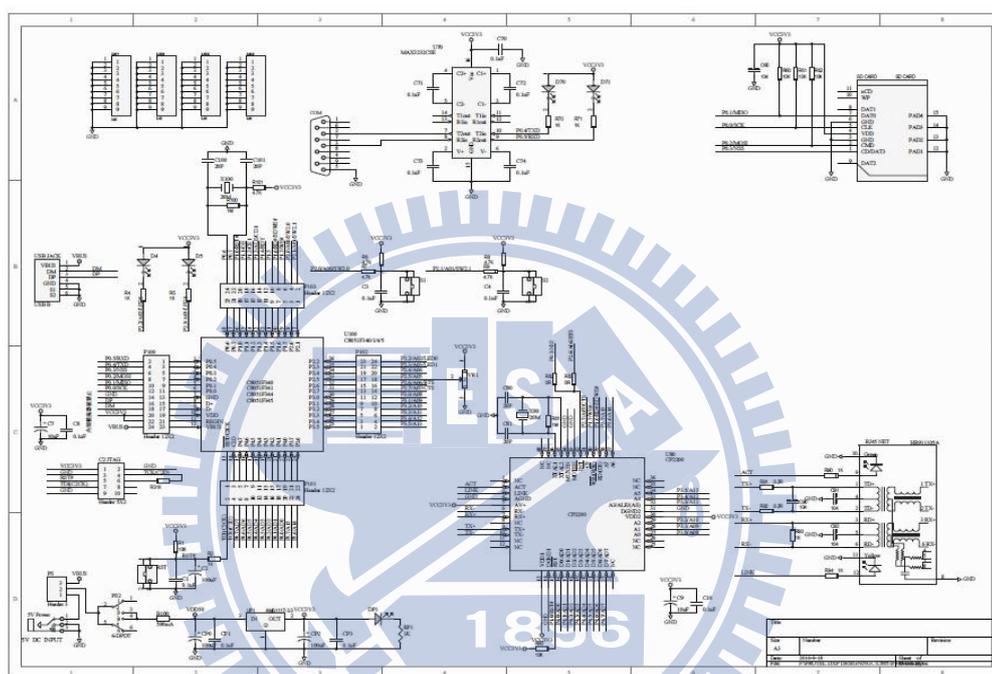


圖 3-5 C8051F340 晶片電路圖

3.2.2 電池模組與電池芯

本次實驗測試所用的電池芯為 BOSTON POWER 所提供的型號是 Swing® 4400 其規格如表 3-2 所示，其實體圖如圖 3-6 所示，電池模組是將電池芯以 3 並 7 串共 21 顆所製成的規格如表 3-3 所示，其實體圖如圖 3-7 所示，其組成方式如圖 3-8 所示。以達到系統 29.4V 與 13.2AH 規格及控制設定之標準依據。

表 3-1 電池心規格表

Specification	Min	Typical	Max	Units
Capacity (0.2C discharge, from 4.2V - 2.75V)	4300	4400	4600	mAh
Recommended Charging Voltage	-	4.20	4.30 ¹	V
Nominal Voltage	-	3.7	-	V
Energy Density (Gravimetric)	-	180	193	Wh/kg
Energy Density (Volumetric)	-	420	440	Wh/L
Cell Impedance (1kHz, AC)	-	17	-	mΩ
Discharge Current (continuous)	-	-	12	A
Charging Method	CC-CV Voltage limit of 4.2V, to 50mA or 2.5 hours			
Charging Current	Standard charge: 3.1A (0.7C) Fast charge: 8.8A (2C)			
Charging Time	Standard charge: 2.5 hrs Fast charge: 30 - 35 minutes to 80% capacity			
Discharge Cut-off Voltage	2.5 ²	3.0	-	V
Cell Weight	88	90	92	g



圖 3-6 電池芯實體圖

表 3-2 電池模組規格

項目	Items	Conditions	Value	Units
模組電壓	Voltage	Average Voltage under 1C rate	29.4	Volt
模組電容量	Capacity	Voltage at 25°C	92.4	Ah
操作溫度	Operation Temperature	Charge State	60	°C
循環使用壽命	Cycle Life	1C cycle at 25°C	2000	Cycles
保固年限	Warranty		1	Year
過電壓保護 Over-Voltage Detection		Trigger Points	4.2	Volt
		Delay Time	2	Sec
		Release Points	0.1	Volt
低電壓保護 Under-Voltage Detection		Trigger Points	2.8	Volt
		Delay Time	5	Sec
		Release Points	0.2	Volt
過電流保護_放電(1st) Discharge Over-current Detection		Trigger Points	200	Amp
		Delay Time	2	Sec
		Release Points	8	Sec
過電流保護_充電 Charge Over-current Detection		Trigger Points	25	Amp
		Delay Time	1	Sec
		Release Points	8	Sec



圖 3-7 電池模組實體圖

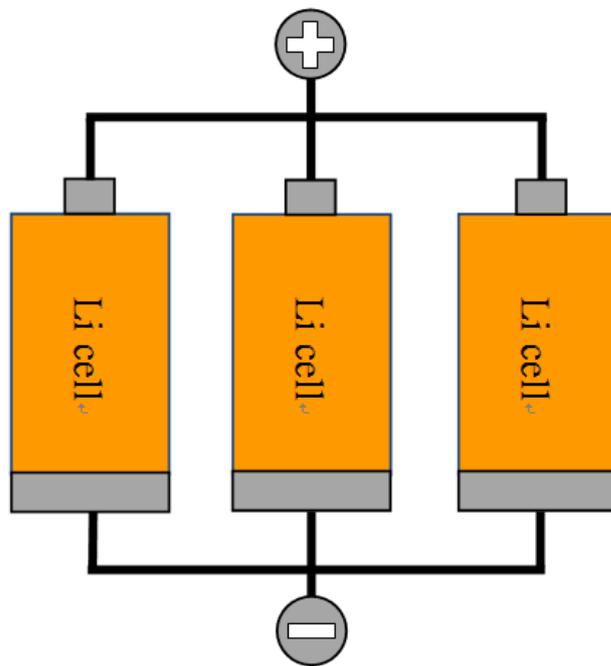


圖 3-8 三並七串電池模組示意圖

3.2.3 DC / AC 轉換器

DC TO AC 轉換器常稱為 INVERTER，電路結構如圖 3-9 所示。其中控制電路的主要作用是以一個高頻的三角波和低頻的正弦波作比較為精確的帶通濾波器 (Band pass filter, BPF)，則可更真確地得到基本波的輸出。電池中的直流電供變流器轉換為交流電，提供穩定的電力給負載使用。其中表 3-4 所示為本論文題目所使用的 inverter 規格表。如圖 3-10 所示為 INVERTER 實體圖照片。

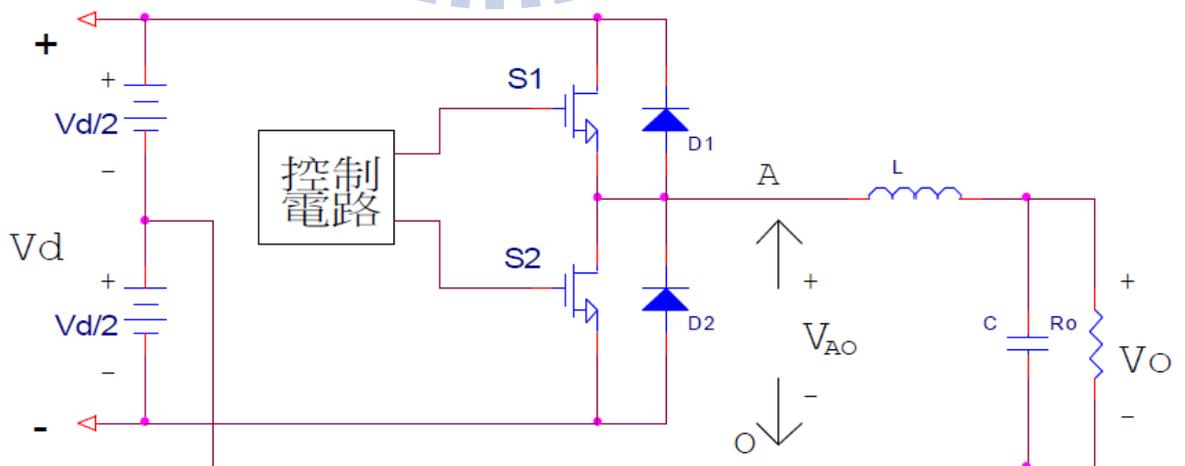


圖 3-9 INVERTER 電路示意圖

表 3-3 Inverter 規格

項目	Items	Value	Unit
輸出功率	Continuous output power	500	W
輸出電壓	Output voltage	115	Volt
頻率	Output frequency	60	Hz
額定電壓	DC input voltage	24	VDC
電壓範圍	DC input voltage range	20~24	VDC
電壓波形	Output wave form	60	Hz



圖 3-10 INVERTER 實體拍攝圖

3.2.4 LABVIEW 與 DAQ 介紹

LabVIEW 乃為 Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench 的簡稱。它是一種圖形化程式語言，即它的指令多數是圖形，具有強而有力的功能，包括資料擷取、資料分析與結果呈現。LabVIEW 更提供量測後的數學分析與顯示功能，並且對於真實世界中所選擇的待測物提供一個溝通的介面。可以用來量測溫度、壓力、位移、張力、pH 值等等。

表3-5 資料擷取卡規格

項目	規格
類比輸入	8 個(48 kS/s、14 位元)
類比輸出	2 個(12 位元、150 S/s)
數位輸出	8個數位 I/O
數位輸入	4個數位 I/O
Counter	32 位元計數器
匯流排供電功能	內建訊號連結功能
軟體	相容於 LabVIEW NI-DAQ mx 驅動軟體與Signal Express

LabVIEW 與 DAQ 卡搭配後，電腦可以藉著DAQ 卡來和外界做溝通，透過LabVIEW 程式的配合，便可以利用電腦來取代示波器及訊號產生器的功能。除了具有資訊擷取的基本功能之外，還具備以下特性：對於所有多功能資料擷取硬體都能使用單一的程式設計介面，進行類比輸入、類比輸出、數位I/O與計數器程式撰寫。

使用多執行序(multithreading) 且經過最佳化的單點 I/O，性能可提高在各種程式撰寫環境如LabVIEW、 LabWindows/CVI、Visual Studio .NET、與C/C++，均可用相同的VI函式與功能。如圖3-11為美商國家儀器的資料擷取卡(DAQ)實體圖。



圖 3-11 資料擷取卡實體圖

3.2.5 軟體平台

從圖 3-12 LabView 模擬儀表控制介面圖，實現全自動化擷取去各種數據在系統運作狀態下可擷取數據如下，循環次數、負載端電壓值、電池模組端電壓值、預估電池容量、工作時間、消耗功率以及系統狀態。

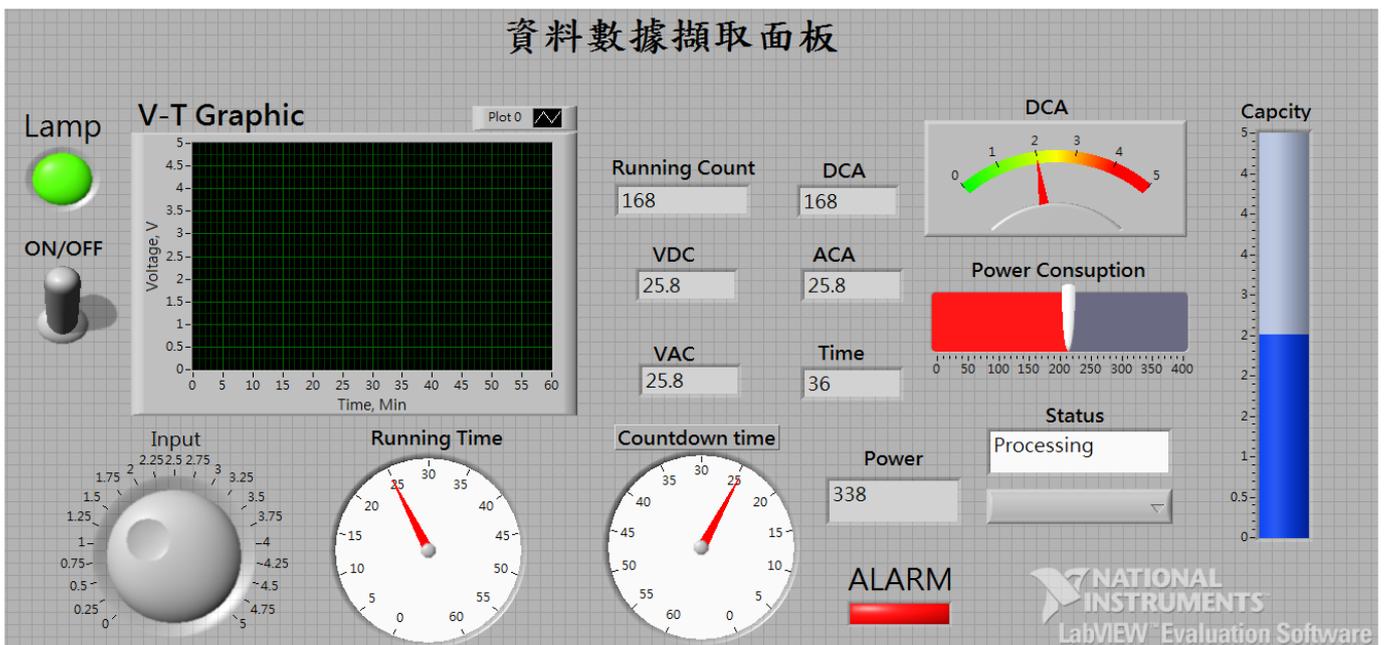


圖 3-12 LabView 模擬儀表控制設計畫面圖

3.2.6 負載端規格

負載端的機台是使用繁葵實業股份有限公司的產品 Vena Press VP 500 如圖 3-13 負載端實體圖，深層靜脈栓塞防護器為具風險的病患提供全方位血栓防護，包含接受手術、藥物治療及長期位於病床上之病患。目前此機器規格為，消耗功率 500W，輸入電壓為 110AV。



圖 3-13 負載端實體圖

第四章 實驗結果與分析

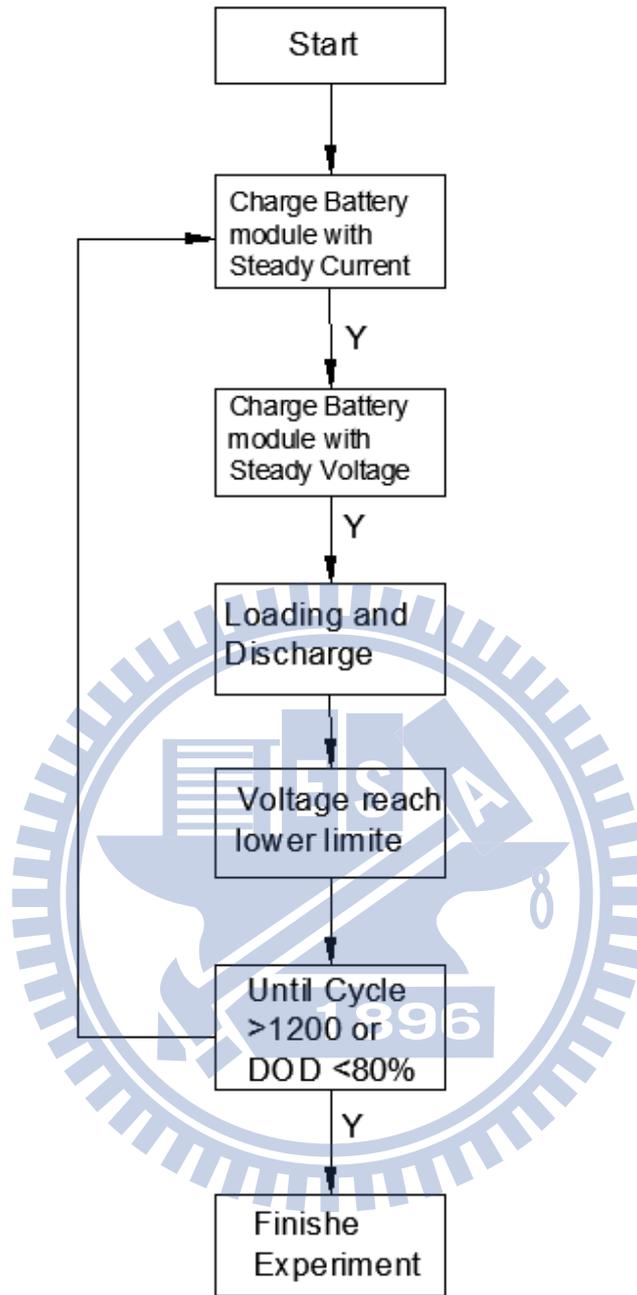
我們本次的研究重點在於鋰電池模組工作時間以及即將放電截止時間，實驗的方式為鋰電池儲能與穩壓，再導入至負載端，藉此來提升供電品質觀察並紀錄鋰電池與負載情況的電池控制系統。

4.1 實驗流程說明

採用的電池為 4.4Ah 鋰離子電池共 21 顆。為使每次實驗資料更加準確，使鋰離子電池達到滿充滿放的狀態，在實驗時基本上都在室內操作，保持溫度在一定範圍，所以暫時不考慮溫度的影響。

如圖 4-1 所示為實驗流程圖，其流程細節說明如下，先用定電流-定電壓充電法。第一階段先用定電流充電，較快可以到需求的電壓，藉由調變充電電流即可達到調控充電時間的效能，比定電壓法較節省時間。在這個階段時，使用的充放電如下按照 0.2C 充電速率進行恒流充電，到達截止電壓為 28V 時，再改以第二階段的定電壓充電了，直到截止電壓為 29.4V，截止電流 200mA，如此做會使電池不會有作虛充的現象且電池較能充到飽和。

以機台功率下全開進行 1.13C 放電，截止電壓為 21V。在此過程中擷取所需的特性資料以及進行所有的順序控制與保全機制。按此一步驟直到電池老化至判定只有放電深度 DOD 小於 80% 時或 100% 充放電 1200 次循環，此實驗才算結束。



Flow Chart of Experiment

圖 4-1 實驗流程圖

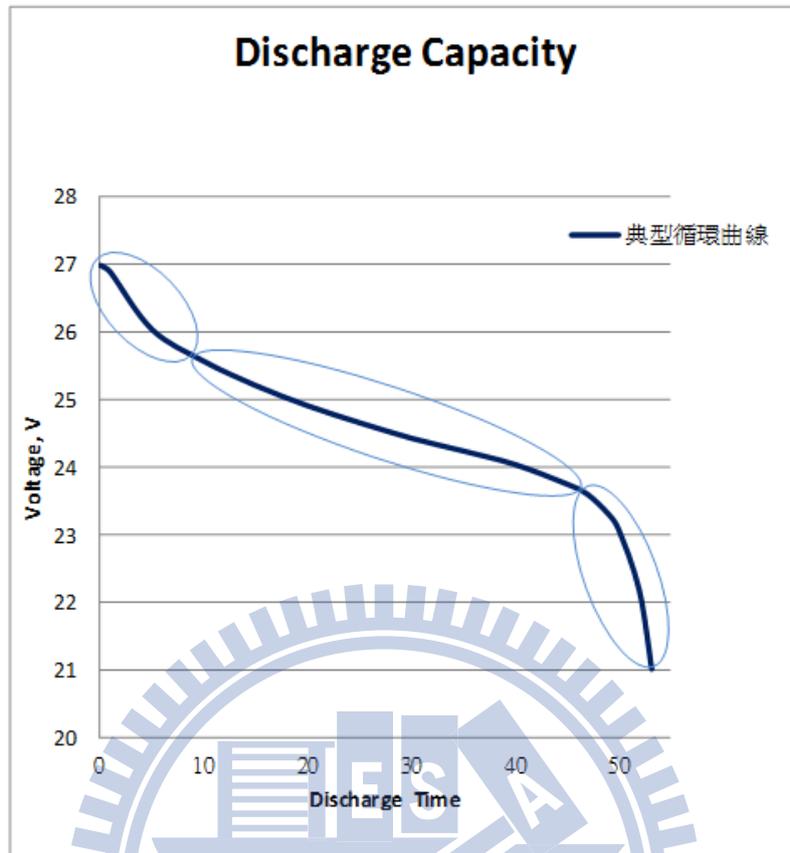


圖 4-2 典型電池模組放電圖

實際測量中最容易得到的靜態參數是電池開路電壓和電池內阻。在相同的溫度下，如果電池中的電化學反應所消耗的電極活性物質的量相同，其開路電壓也應該相同，當電池的放電深度（DOD）相同時，具有相同的開路電壓（開路電壓是指電池達到平衡時的電壓），那麼如果能找到鋰電池模組電壓值與容量的對應關係，就能利用鋰電池模組電池的電壓，對鋰電池模組電池的容量進行估算。

隨著鋰離子電池充放電迴圈次數的增加，在鋰離子電池內部有很多副反應發生，因此導致電池容量的衰減。同時由於電池內部電化學性能參數的改變，必然引起在放電過程中電池電壓的變化。為了研究鋰電池模組電壓與容量衰減的關係，已對鋰離子電池容量衰減模型進行了研究。對鋰離子電池放電曲線的分析，

發覺在放電的過程中，影響鋰離子電池容量衰減的主要因素可以分為三個部分的曲線如圖 4-2 所示。根據文獻指出這三部分的成因如下第一部分主要是在鋰離子電池正負電極阻抗的增加而導致的容量衰減；第二部分是由於在正負電極內的氧化鋰容量的減少；第三部分是在電池單元內部的活性鋰離子數量的減少因此導致的容量衰減。鋰電池模組電池放電數據取得如表 4-1 所示，並將表 4-1 的數據分別製成圖 4-3 與圖 4-4。

表 4-1 鋰電池模組電池放電數據

第 1 次循環		第 300 次循環		第 600 次循環		第 900 次循環		第 1200 次循環	
時間 (min)	電壓值 (V)								
0	26.98	0	26.95	0	26.92	0	26.9	0	26.88
1	26.88	1	26.78	1	26.68	1	26.65	1	26.6
5	26.03	5	25.88	5	25.82	5	25.75	5	25.68
10	25.56	10	25.4	10	25.2	10	25	10	24.9
15	25.2	15	25.1	15	24.8	15	24.7	15	24.6
20	24.9	20	24.8	20	24.6	20	24.5	20	24.3
25	24.65	25	24.45	25	24.2	25	24	25	23.9
30	24.42	30	24.3	30	24	30	23.8	30	23.7
35	24.23	35	24	35	23.8	35	23.6	32	23.6
40	24.03	40	23.8	37	23.6	38	23.3	33	23.5
45	23.74	44	23.25	42	23.2	40	23	35	23.1
47	23.59	46	22.7	44	23	41	22.85	37	23
49	23.3	48	22.2	45	22.6	42	22.5	39	22.5
50	23.07	49	21.9	46	22.2	43	22.2	40	22
52	22.17	50	21.5	47	21.8	44	21.6	41	21.3
53.2	21	51	21	48.4	21	45.4	21	41.2	21

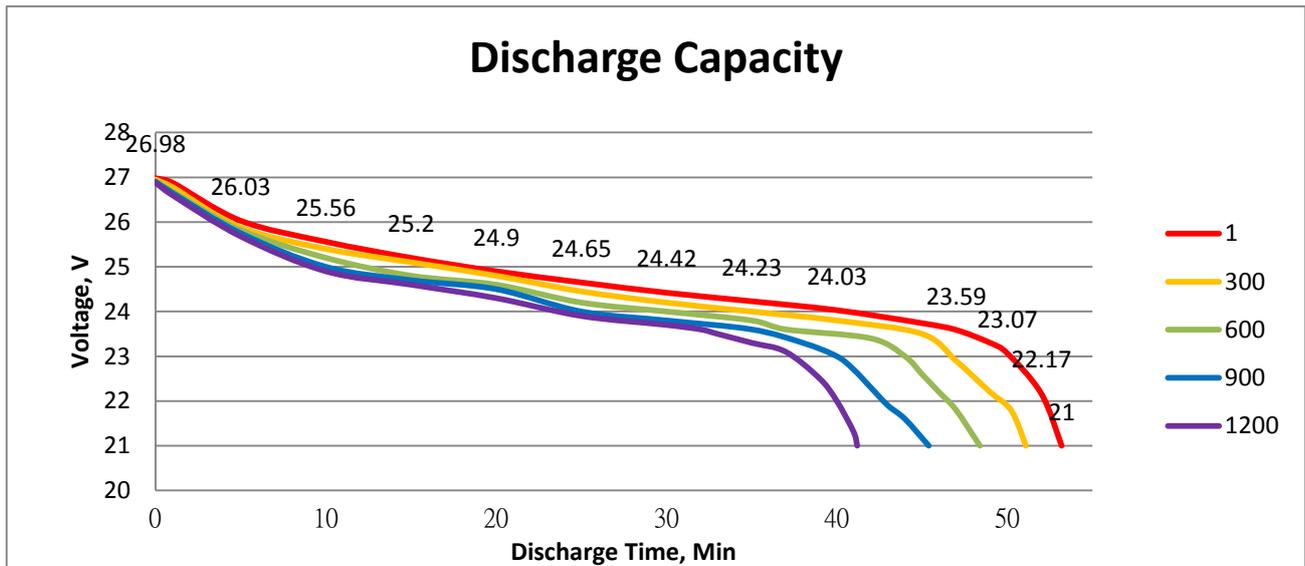


圖 4-3 循環壽命、電壓值與放電時間的關聯圖

如圖 4-3 所示可以看出電壓值與放電時間隨著使用的次數從第 1 次到第 1200 次，遞減 20%的工作時間。

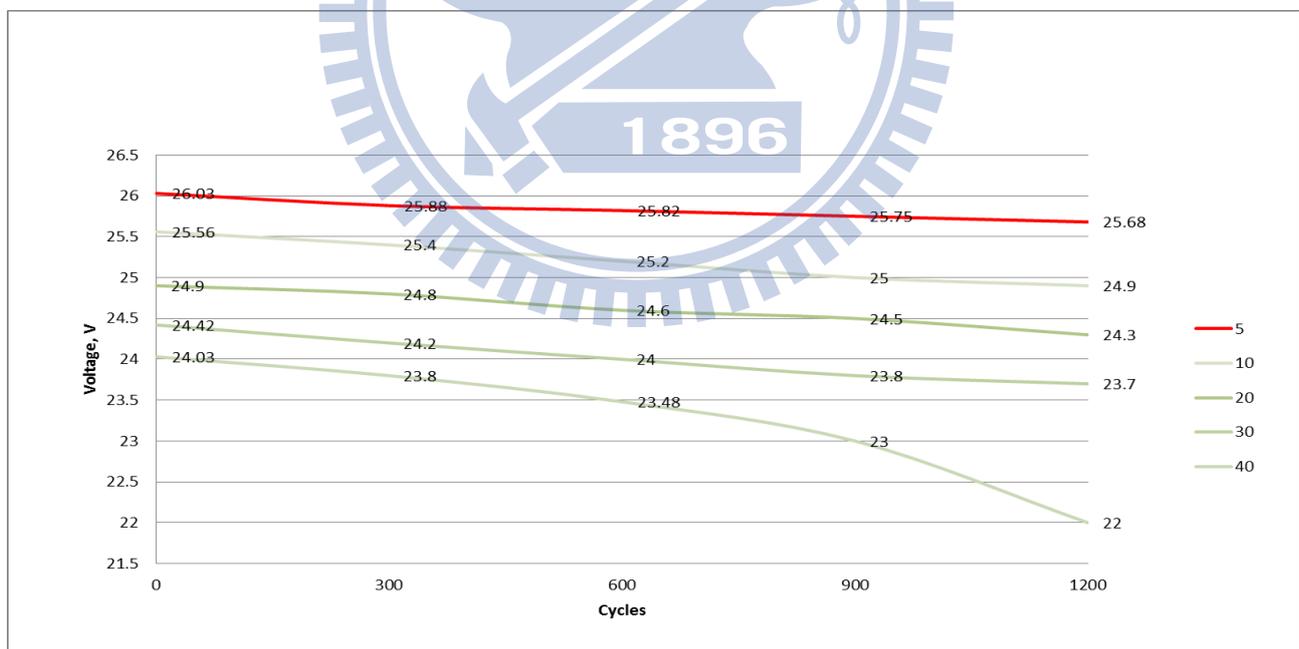


圖 4-4 循環壽命的衰退率圖

如圖 4-4 所示可以看出以工作時間為基準，電壓值隨著使用的循環次數遞減，其最大衰退率 8.35%，發生在各放電循環第 40 分鐘工作時間左右。

4.2 轉折點的位置求出

斜率用來量度斜坡的斜度。在數學上，直線的斜率處處相等，它是直線的傾斜程度的量度。透過代數和幾何，可以計算出直線的斜率；曲線的上某點的斜率則反映了此曲線的變數在此點處的變化的快慢程度。運用微積分可計算出曲線中的任一點的斜率。

定義斜率一般以 m 表示，定義為 y 的改變除以 x 對應的改變，即 m 是改變的比例。對於直角坐標系，若橫軸為 x 軸，縱軸是 y 軸， m 通常寫成 $(\Delta y / \Delta x)$ （ Δ 表示變數的改變）。由前段得知不論使用直線上哪兩點，其得出來的斜率都是一樣的。斜率越大，它和橫軸（水平線）形成的夾角（稱為傾角，一般記作 θ ）也越大。它們的關係為： $M = \tan \theta$

假設是連續曲線，將時間值訂為 X 軸，電壓值訂為 Y 軸，並以一分鐘作為 X 的變化量，來求取該區的斜率，藉以觀察其斜率與角度的變化量，以找出介於曲線 2 與 3 的轉折點座標位置。

$$M = (Y_2 - Y_1) / (X_1 - X_2) = \Delta Y / \Delta X \dots \dots \dots (4-1)$$

從表 4-1 與圖 4-3 中的資料取得轉折點座標，在第 1 次循環曲線中，從 48 分鐘到 49 的斜率分別計算如下：其中定義 $M = \text{Slope}$ 斜率其後第一數字為循環次數，第二與三的數字為量測的時間區間。

$$M_{1-47-48} = -(23.45 - 23.59) / 1 = -0.14 \quad \text{其中 } \tan \theta = 0.15 \quad \theta = 7.97^\circ \dots \dots \dots (4-2)$$

$$M_{1-48-49} = -(23.3 - 23.45) / 1 = -0.15 \quad \text{其中 } \tan \theta = 0.15 \quad \theta = 8.53^\circ \dots\dots\dots(4-3)$$

$$M_{1-49-50} = -(23.45 - 23.07) / 1 = -0.38 \quad \text{其中 } \tan \theta = 0.38 \quad \theta = 20.81^\circ \dots\dots\dots(4-4)$$

$$M_{1-50-51} = -(23.07 - 22.62) / 1 = -0.45 \quad \text{其中 } \tan \theta = 0.45 \quad \theta = 24.22^\circ \dots\dots\dots(4-5)$$

由上述算式得知，我們得知區間斜率與角度發生最大變化達到 244%是在 $M_{1-49-50}$ 與 $M_{1-50-51}$ 之間，故我們定義第 1 次循環的轉折點座標為(48, 23.45)

在第 300 次循環曲線中，從 43 分鐘到 47 的斜率分別計算如下:其中定義 $M = \text{Slope}$ 斜率其後第 300 數字為循環次數，第二與三的數字為量測的時間區間。

$$M_{300-43-44} = (23.6 - 23.68) / 1 = -0.08 \quad \text{其中 } \tan \theta = 0.08 \quad \theta = 4.57^\circ \dots\dots\dots(4-6)$$

$$M_{300-44-45} = (23.5 - 23.6) / 1 = -0.1 \quad \text{其中 } \tan \theta = 0.1 \quad \theta = 5.71^\circ \dots\dots\dots(4-7)$$

$$M_{300-45-46} = (23.1 - 23.5) / 1 = -0.4 \quad \text{其中 } \tan \theta = 0.4 \quad \theta = 21.8^\circ \dots\dots\dots(4-8)$$

$$M_{300-46-47} = (22.7 - 23.1) / 1 = -0.4 \quad \text{其中 } \tan \theta = 0.4 \quad \theta = 21.8^\circ \dots\dots\dots(4-9)$$

由上述算式得知，我們得知區間斜率與角度發生最大變化達到 381%是在 $M_{1-44-45}$ 與 $M_{1-45-46}$ 之間，故我們定義第 300 次循環的轉折點座標為(45, 23.1)

在第 600 次循環曲線中，從 43 分鐘到 49 的斜率分別計算如下:其中定義 $M = \text{Slope}$ 斜率其後第 300 數字為循環次數，第二與三的數字為量測的時間區間。

$$M_{600-42-43} = (23.2 - 23.4) / 1 = -0.2 \quad \text{其中 } \tan \theta = 0.06 \quad \theta = 3.43^\circ \dots\dots\dots(4-9)$$

$$M_{600-43-44} = (23 - 23.2) / 1 = -0.02 \quad \text{其中 } \tan \theta = 0.06 \quad \theta = 3.43^\circ \dots\dots\dots(4-10)$$

$$M_{600-44-45} = (22.6 - 23) / 1 = -0.4 \quad \text{其中 } \tan \theta = 0.3 \quad \theta = 16.7^\circ \dots\dots\dots(4-11)$$

$$M_{600-45-46}=(22.2-22.6)/1=-0.4 \quad \text{其中 } \tan \theta=0.3 \quad \theta=16.7^{\circ} \cdots \cdots(4-12)$$

由上述算式得知，我們得知區間斜率與角度發生最大變化達到 200%是在 $M_{600-44-45}$ 與 $M_{600-45-46}$ 之間，故我們定義第 600 次循環的轉折點座標為(44, 23)

在第 900 次循環曲線中，從 40 分鐘到 43 的斜率分別計算如下:其中定義 $M=Slope$ 斜率其後第 900 數字為循環次數，第二與三的數字為量測的時間區間。

$$M_{900-39-40}=(23-23.15)/1=-0.15 \quad \text{其中 } \tan \theta=0.15 \quad \theta=8.53^{\circ} \cdots \cdots(4-13)$$

$$M_{900-40-41}=(22.85-23)/1=-0.15 \quad \text{其中 } \tan \theta=0.15 \quad \theta=8.53^{\circ} \cdots \cdots(4-14)$$

$$M_{900-41-42}=(22.5-22.8)/1=-0.3 \quad \text{其中 } \tan \theta=0.3 \quad \theta=16.7^{\circ} \cdots \cdots(4-15)$$

$$M_{900-42-43}=(22.2-22.5)/1=-0.3 \quad \text{其中 } \tan \theta=0.3 \quad \theta=16.7^{\circ} \cdots \cdots(4-16)$$

由上述算式得知，我們得知區間斜率與角度發生最大變化達到 200%， $M_{900-44-57}$ 與 $M_{900-45-46}$ 之間，故我們定義第 900 次循環的轉折點座標為(41, 22.85)

在第 1200 次循環曲線中，從 43 分鐘到 49 的斜率分別計算如下:其中定義 $M=Slope$ 斜率其後第 300 數字為循環次數，第二與三的數字為量測的時間區間。

$$M_{1200-36-37}=(23.1-23.2)/1=-0.1 \quad \text{其中 } \tan \theta=0.06 \quad \theta=5.71^{\circ} \cdots \cdots(4-17)$$

$$M_{1200-37-38}=(22.8-23.1)/1=-0.3 \quad \text{其中 } \tan \theta=0.3 \quad \theta=16.7^{\circ} \cdots \cdots(4-18)$$

$$M_{1200-38-39}=(22.5-22.8)/1=-0.3 \quad \text{其中 } \tan \theta=0.3 \quad \theta=16.7^{\circ} \cdots \cdots(4-19)$$

$$M_{1200-39\sim 40}=(22-22.5)/1=-0.5 \quad \text{其中 } \tan \theta=0.5 \quad \theta=26.56^{\circ} \dots\dots(4-20)$$

由上述算式得知，我們得知區間斜率與角度發生最大變化達到 292%， $M_{1200-37\sim 38}$ 與 $M_{1200-38\sim 39}$ 之間，故我們定義第 1200 次循環的轉折點座標為(38, 22.8)

4.3 放電曲線計算

假設曲線是連續的，鋰電池放電特性曲線由實驗得知基本上三種曲線斜率與兩轉折點與文獻所提出的觀點相當，但重點放在其中放電特性曲線計算如通式(4-19)。

$$Y=AX^4+BX^3+CX^2+DX+E \dots\dots\dots (4-19)$$

將循環第次數的其中五個點座標值如表 4-1 所示代入通式(4-19)式。由五方程式解出 A, B, C, D, E 五個常數值，此為方程式之解，帶回即得四次曲線方程式。

表 4-2 各循環曲線轉折點數值

第 1 次循環		第 300 次循環		第 600 次循環		第 900 次循環		第 1200 次循環	
時間 (min)	電壓值 (V)								
48	23.45	45	23.1	44	23	41	22.85	38	22.8

如下方程式(4-20)為運用 Matlab 計算後所得到方程式:

$$Y=0.0000000018333X^4+0.00033699X^3-0.0359X^2+1.2752X+7.7056 \dots\dots\dots (4-20)$$

經過 Matlab 將曲線做一個呈現，曲線圖形如圖 4-5。

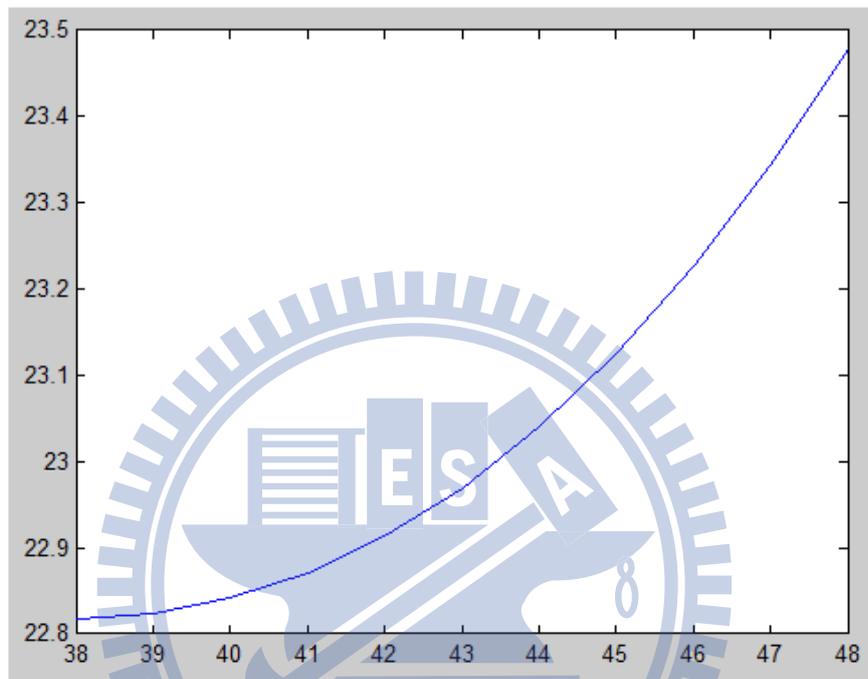


圖 4-5 曲線圖形

由於此次要探討的為預測鋰電池壽命故第二轉折點相對重要，找出此點並連成曲線對於預測鋰電池終端壽命甚為重要，所以將各轉折點座標的數據帶入求出一條四次曲線方程式。

4.4 循環次數曲線

假設曲線是連續的，鋰電池循環次數曲線由實驗得知之數據與所提出的觀點相當，但重點放在其中放電特性曲線計算如通式(4-19)。

表 4-3 鋰電池模組電池放電取樣數據

第 1 次循環		第 300 次循環		第 600 次循環		第 900 次循環		第 1200 次循環	
時間 (min)	電壓值 (V)								
0	26.98	0	26.95	0	26.92	0	26.9	0	26.88
10	25.56	10	25.4	10	25.2	10	25	10	24.9
30	24.42	30	24.2	25	24.2	25	24	25	23.9
45	23.74	44	23.25	42	23.2	35	26.6	35	23.1
53.2	21	51	21	48.4	21	45.4	21	41.2	21

由通式(4-19)與表 4-3 的資料運用計算出循環次數曲線方程式分別如下表示：

放電第 1 次循環次數的曲線方程式如下

$$Y = -0.0000045174X^4 + 0.00032843X^3 - 0.0044X^2 - 0.126X + 26.98 \dots\dots\dots(4-21)$$

放電第 300 次循環次數的曲線方程式如下

$$Y = -0.0000035831X^4 + 0.00021185X^3 - 0.0004828X^2 - 0.1678X + 26.95 \dots\dots\dots(4-22)$$

放電第 600 次循環次數的曲線方程式如下

$$Y = -0.0000047313X^4 + 0.00026983X^3 - 0.00061758X^2 - 0.1881X + 26.92 \dots\dots\dots(4-23)$$

放電第 900 次循環次數的曲線方程式如下

$$Y = -0.0000046355X^4 + 0.00021401X^3 + 0.002X^2 - 0.2264X + 26.9 \dots\dots\dots(4-24)$$

放電第 1200 次循環次數的曲線方程式如下

$$Y = -0.0000079957X^4 + 0.00039437X^3 - 0.00075367X^2 - 0.2219X + 26.88 \dots\dots\dots(4-25)$$

由圖 4-5 中曲線方程式(4-20)與(4-21) (4-22) (4-23) (4-24) (4-25)中的五條循環放電曲線模擬後作重合得到圖 4-6，由圖 4-6 所示當次放電曲線碰到曲線方程式(4-1)，跟據資料顯示將剩餘不到 10%的電容量，將方程式利用 C 語言編譯然後燒入 8051 晶片即可達到跟專業大廠電源管理晶片同樣的效果。

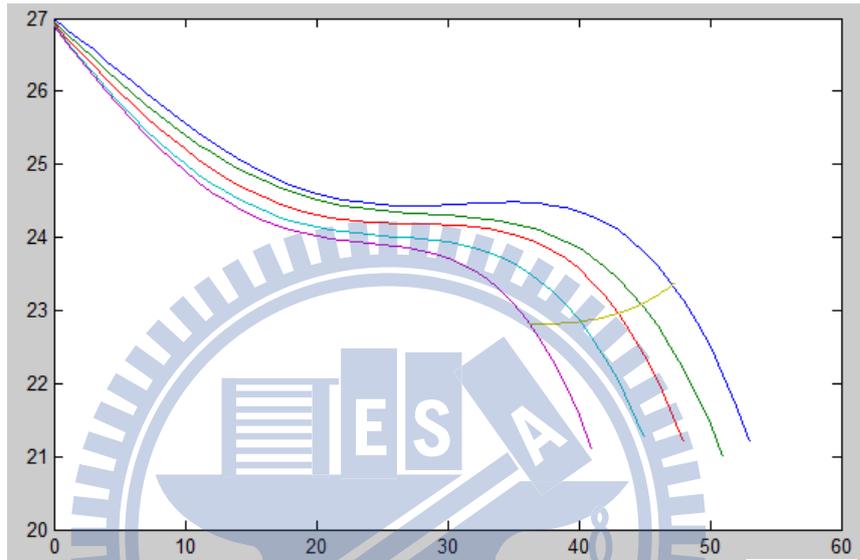


圖 4-6 循環放電曲線模擬圖

如圖 4-7 為鋰電池廠商所提供的電容量與使用次數的關聯性的規格圖表從中發現跟表 4-1 鋰電池模組電池放電數據是吻合的。

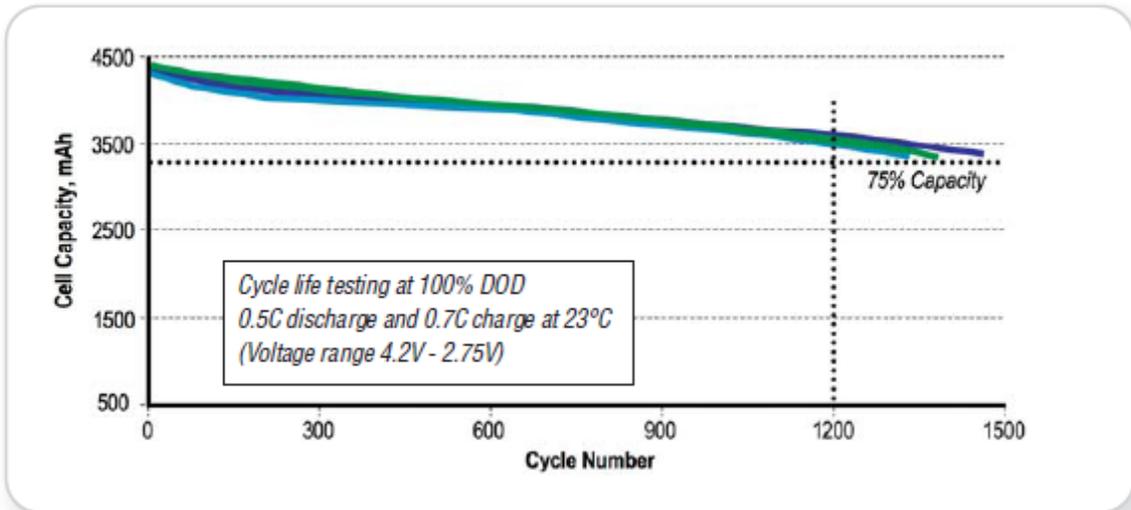


圖 4-7 電容量與使用次數的關聯性

內建有 AVR (Automatic Voltage Regulator)，電壓變動時會自動調整，以輸出穩定電壓。如圖 4-8 負載端功率圖中，可以觀察出輸入到負載端的功率是平穩，此功能會使得系統有穩定的輸出。

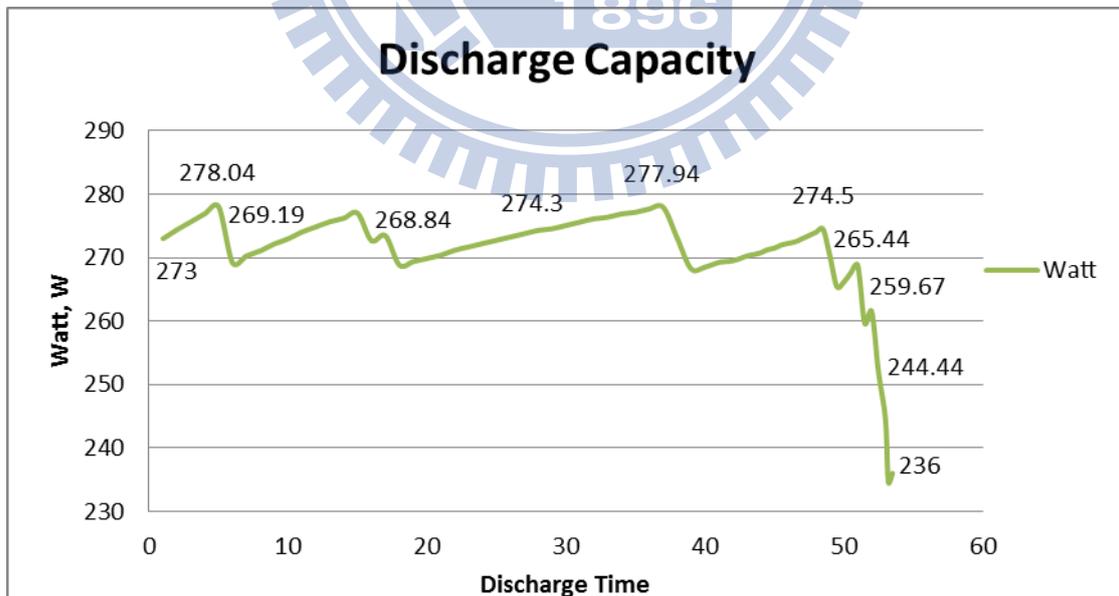


圖 4-8 負載端功率圖

第五章 結論與未來方向

在本論文中主要是做出一個實體的電池控制器系統測試平台來觀察與紀錄電池的放電行為並內建相關自動化控制來規範電池模組、負載端與 Inverter 行為，以此來成就目前系統測試平台，將探討討論出電池壽命、老化、該循環電容量以及工作時間。

基本上鋰電池的充放電過程為一複雜的電化學反應，故實做出一個實體的電池控制器系統測試平台，並藉由此平台建立對該電池模組真實的特性資料，在量產時將此資料輸入至韌體中即可準確的複製出產品。

本論文的實際上所做出的實體的電池控制器系統測試平台基本上都在室內環境做的測試，還未將溫度的變化以及變動負荷等因素考慮進來，未來平台加入這些考慮因素，這樣就可以得到更精確的電池模組行為。

得到精確的電池模組行為之後，更深一層的探討在實體的電池控制器系統測試平台中，Inverter、電池模組電量平衡方面和自動電壓調整的個別深入探討與最佳化的整合是一個值得深入探討的主題。

另一方面的探討為全自動化測量控制方式，目前已經本論文已經做到放電全自動化測量，至於將來可朝充電自動化甚至整個電池控制器系統測試平台全自動化，如得以實現將只要一啟動測試程序之後就等程序跑完，再將所有特性資料下載即完成工作。

最後還可以探討單一電池芯與多重串並聯的電池模組，做各種特性實驗，確認其中的相互的關聯性，如此可以用電池芯找出該電池模組之各項特性曲線與參數，某種程度上可以節省測試時間與成本，也是相當值得探討的課題。



第六章 參考文獻

- [1] 吳信達，“超輕型質子交換膜燃料電池之研究”，國立交通大學機械工程學系博士論文，民國 98 年。
- [2] 洪翊軒，“燃料電池混成電動車鍵結圖線上動態分析與系統降階法則建立”，國立清華大學動力機械工程學系博士論文，民國 93 年。
- [3] 柯欣欣，使用高精準度電流偵測技巧之高轉換效能同步互補式金氧半降壓切換式穩壓器，民國 98 年。
- [4] 劉峰其，非線性鋰電池之充放電模型，民國 99 年
- [5] 洪政賢，質子交換膜燃料電池的動態模式估測與控制系統設計，民國 98 年
- [6] 劉孔翔，鋰離子電池充放電過程之離子遷移模型與模擬，民國 100 年
- [7] 張濟任，“利用 8051 微控制器實現之鋰離子電池快速充電器的研製”，國立台北科技大學電機工程系研究所碩士論文，民國 98 年。
- [8] 王昱權，“PWM/PFM 雙模式排程鋰電池充電控制器之設計”，朝陽科技大學資訊工程系研究所碩士論文，民國 97 年。
- [9] 洪瑞鴻，“2KW 功率因素修正器研製”，國立台灣科技大學電子工程系研究所碩士學位論文，民國 94 年。
- [10] 劉彥余，“最佳化鋰電池充電法則研究與充電電路的實現”，國立台灣科技大學系研究所碩士學位論文，民國 97 年。

- [11] 葉展嘉，“燃料電池供電系統之雙鋰電池充電效率控制”，國立交通大學電機與控制工程學系，民國 97 年。
- [12] 丁宇佑，“鋰電池充電配方之最佳化研究”，國立交通大學電機學院電機產業研發碩士班，民國 97 年。
- [13] 陳俞宏，“鋰電池充放電模型建立及電位計研製”，國立台灣海洋大學電機工程學系，民國 99 年。
- [14] National Semiconductor, "Power High-Performance Analog Seminar 2007.
- [15] G. A. Rincón-Mora, "Linear Regulators:From the Ground Up" IEEE SSCS Taipei Chapter Short Course 2006.
- [16] C. Y. Wang "A Current-Mode Buck Regulator with an Adjusted-Slope Compensation Ramp" NCKU MS. Thesis, 2005.
- [17] R. W. Erickson and D. Maksimovic," Fundamentals of Power Electronics" Norwell, MA:Kluwer, 2001.
- [18] C.F.Lee and P.K.T. Mok " A monolithic current-mode CMOS DC-DC Converter. with On-Chip Current Sensing Technique," IEEE JSSC Vol. 39, Issue 1, pp.3-14, Jan. 2004.