



# 電動車維修人才培育學程

課程講義

電動車電能管理與控制系統檢修實務

The Fundamental Concepts and  
Maintenance Techniques of Driving  
System of Electric Vehicle

編撰人：康漢松 教授

# 目錄

- 第一章 電動車(EV)與混合動力車(HEV)概述
- 第二章 EV電力系統之基本構成概要
- 第三章 HEV電力系統之基本構成概要
- 第四章 電力轉換裝置與檢修
- 第五章 高壓電瓶與檢修
- 第六章 控制系統與檢修

# 第一章 電動車(EV)與混合動力車(HEV)概述

## 1-1 前言

近 20 年來，節能減碳之需求日殷，但由於電動車(Electric Vehicle, EV)之開發尚未達需求標準，因此油電混合動力車(Hybrid Electric Vehicle, HEV)持續受到重視，以作為引擎車過渡至電動車之中間產品，例如 1997 年 TOYOTA 推出 PRIUS，1999 年 HONDA 推出 INSIGHT，2000 年 NISSAN 推出 TINO。

油電混合動力車有兩種基本型式：串聯式混合動力系統、並聯式混合動力系統，最近則發展出綜合串聯、並聯兩種系統優點的豐田混合動力系統。

串聯式混合動力系統：引擎直接帶動發電機以進行高效發電，由馬達單獨驅動車輛，引擎在相對穩定的狀態下工作，如圖 1-1 所示。其優點為結構簡單、控制較容易，缺點為馬達的負載較大，體積、重量也相對增加，較適合大型車輛使用。換言之，內燃機並沒有直接推動車輪，只是當作裝在車上的發動機，用來提供動力發電。這種配置稱為串聯式混合動力系統，很類似電動車，只是隨車多帶了一個汽油發電機，因此不必插電。

## 串聯式混合動力系統

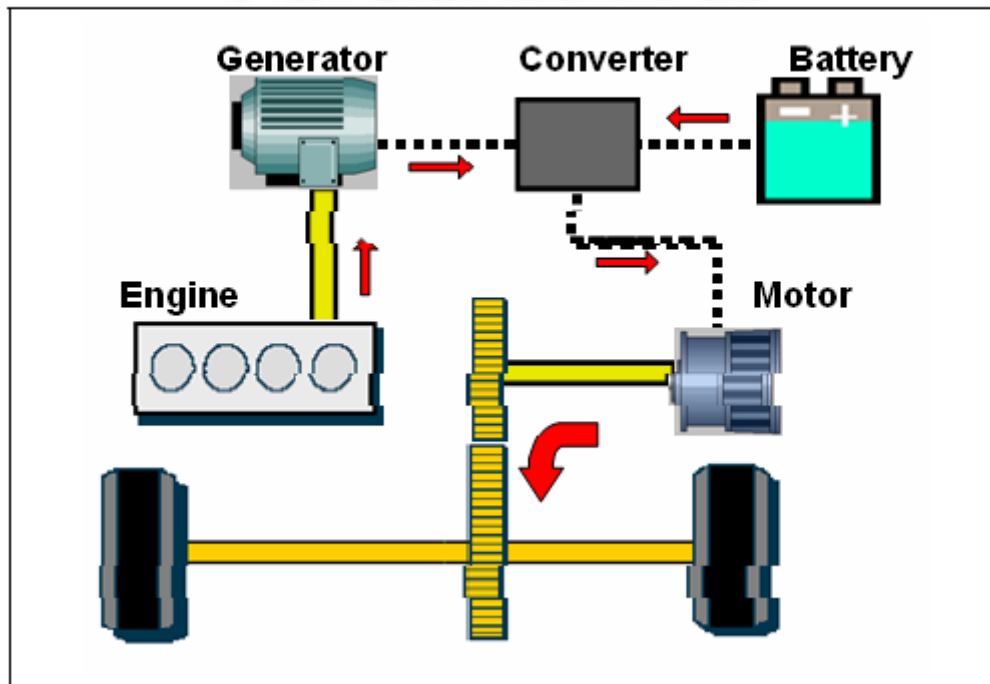


圖 1-1 串聯式混合動力系統

並聯式混合動力系統：是由內燃機直接提供動力，推動車輪。電動機通常只作為車輛起動時的輔助系統，或是在需要大推力的時候出力；和在剎車時提供發電機對電池充電，將動能轉成為電能儲起來，如圖 1-2 所示。並聯式混合動力系統是將引擎的驅動力做分配，可直接驅動車輛及經過發電以電能形式驅動馬達再驅動車輛，依據不同的行車狀況，做最佳組合來使車輛行駛。

## 並聯式混合動力系統

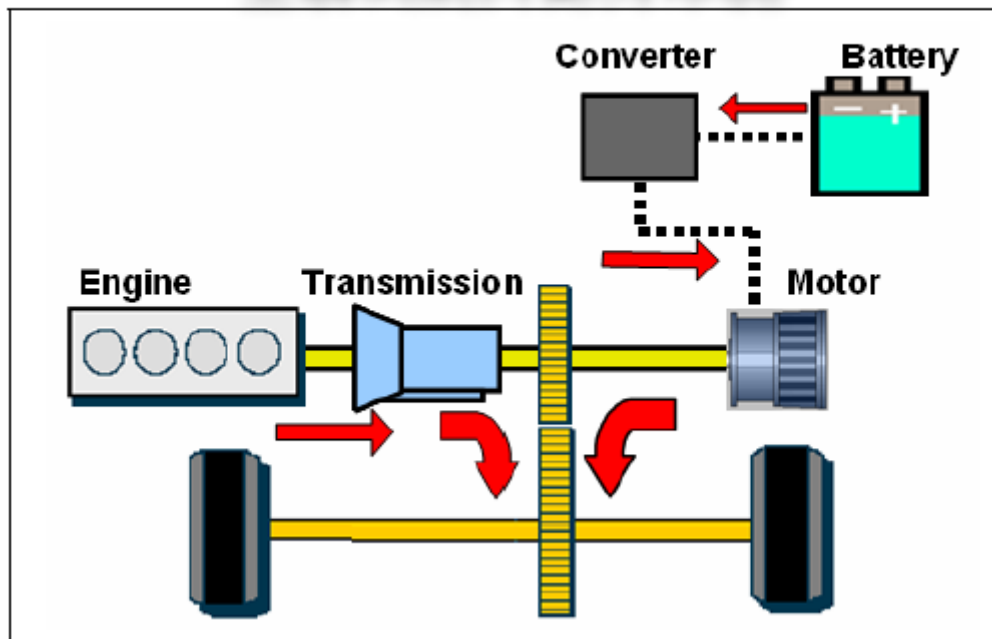


圖 1-2 並聯式混合動力系統

豐田混合動力系統：採用電腦控制及使用差速器，可以只用電動機、內燃機，或二者結合推動車輪，如圖 1-3 所示。電腦需要時可以關閉內燃或電動引擎，以減少汽油消耗而同時提供大推力。其動力系統的連接動作完全是由電腦做連續性的監控，在引擎、發電機和電動馬達之間根據駕駛者的不同需求自動做出調整改變。



## 1-2 油電混合車 VS 先進電動車比較

油電混合車 Hybrid 這個字是有混血、混合的意思，用於汽車動力系統上，則代表結合兩種以上動力源的驅動系統，因此業界大多稱之為混合動力車。由於混合動力系統能結合各種動力源的特性，針對使用狀況進行調整搭配，提高能源效率，是汽車工業新興的顯學，我國的工研院亦有進行相關的研究。目前混合動力系統以結合傳統汽油引擎與電動馬達為主流，亦有廠商針對其他動力系統的結合進行研究。之所以可以吸引這麼多的消費者入主 Prius，在於其優異的表現。圖 1-4 為 Prius 所使用 THS II 第 2 代豐田混合動力系統，以電動馬達為最主要的動力來源，而 1.5 升的汽油引擎主要的功能是用以對電力系統進行充電，以及在車主有大動力需求時同步輸出，提供最大的動力。由於電動馬達的效率高於汽油引擎，讓燃料的使用效率大幅的提升。

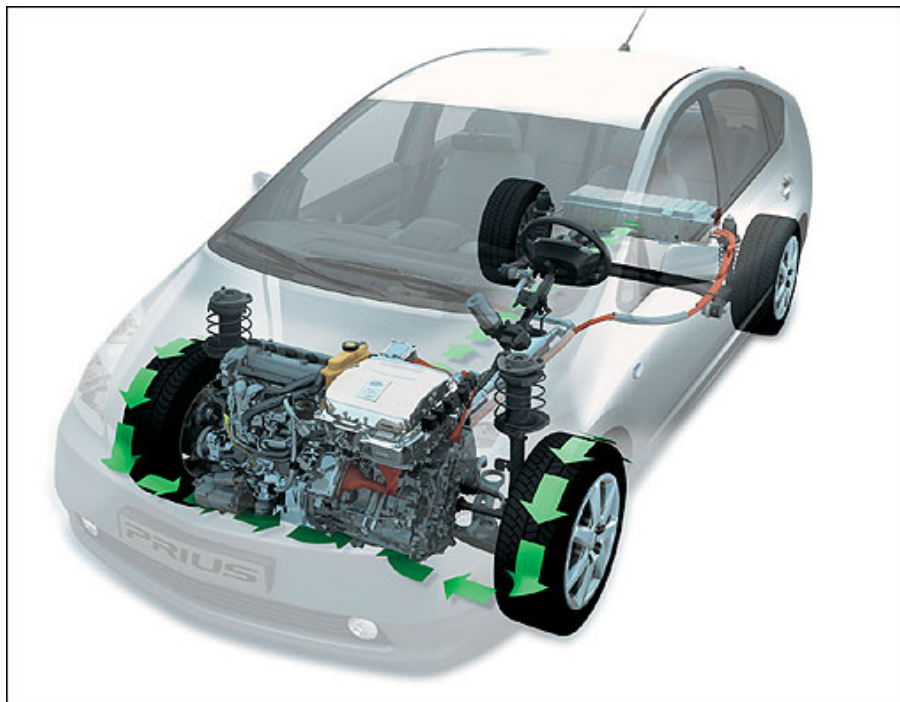


圖 1-4 第 2 代豐田混合動力系統馬達

先進電動車(Electrical Vehicle，簡稱EV)，主要指電動汽車；而廣義的電動車，則泛指電動汽車、電動機車、電動自行車與電動高爾夫球車、電動巴士、電動的高速軌道車輛、與電動堆高機等移動式機具等。電動車輛產業，係指狹義的電動汽車而言。當電動車車速為 15~25km/hr，續航力約為 50 至 80 公里。電動車 90%的能源使用效率雖比汽油車的 15%來得高，但汽油的高能量密度與較低價格讓電動車逐漸落敗。電動車每跑 45 公里就要充電，而汽油車加一次油就可跑上 240 公里，勝負立見！

### 1-3 結果與討論

根據最幾年來油電混合車及先進電動車比較，發展技術邁向成熟化階段，但油電混合車依然加石油，雖然石油算是輔助動力使混合車比電動車開的更遠，石油的儲藏及石油危機，使混合車唯一的缺點。電動車也有部分技術無法突破瓶頸，動力部份如電池的續航力，壽命，電池損毀的更換，充電站的據點擴充，還有一些技術部份研發人員還沒想到，電動車動力剩下電池技術突破，所以油電混合車及先進電動車都各有優缺點，假以時日電動車電池技術開發成功就可取代油電混合車的續航力。



## 第二章 EV電力系統之基本構成概要

### 2-1 前言

目前汽車的動力源主要是汽、柴油，而石油短缺與環境污染已嚴重限制了燃油汽車的發展。而電動車(Electric Vehicle, EV)的特性為行駛時無污染、能源效率高、能源多變化、噪音及振動低。因此發展電動汽車，讓汽車工業可永續發展已是全世界的共識。高效率、節能、低噪音、零排放的電動汽車將會是未來的交通工具。雖然電動車有高效率、節能、低噪音、零排放等特點，但其行駛距離短且車輛重、成本高。但基於人類生存環境及“地球村”觀念，各已開發及開發中國家政府仍積極鼓勵產學界進行電動車的研究、開發及推廣。如美國加州政府規定於 2003 年電動車必須佔汽車製造廠銷售額的 10%之後，兼具能源與環保效益的電動車括起了一陣研發旋風。同時世界各大汽車廠在商業利益與技術主導策略下相繼投入電動車輛研發的行列，期望能降低生產成本、掌握關鍵技術與智財權，以便再創汽車工業的另一波產值高峰。電動車輛發展藍圖，如圖 2-1 所示。

# 電動車輛發展藍圖

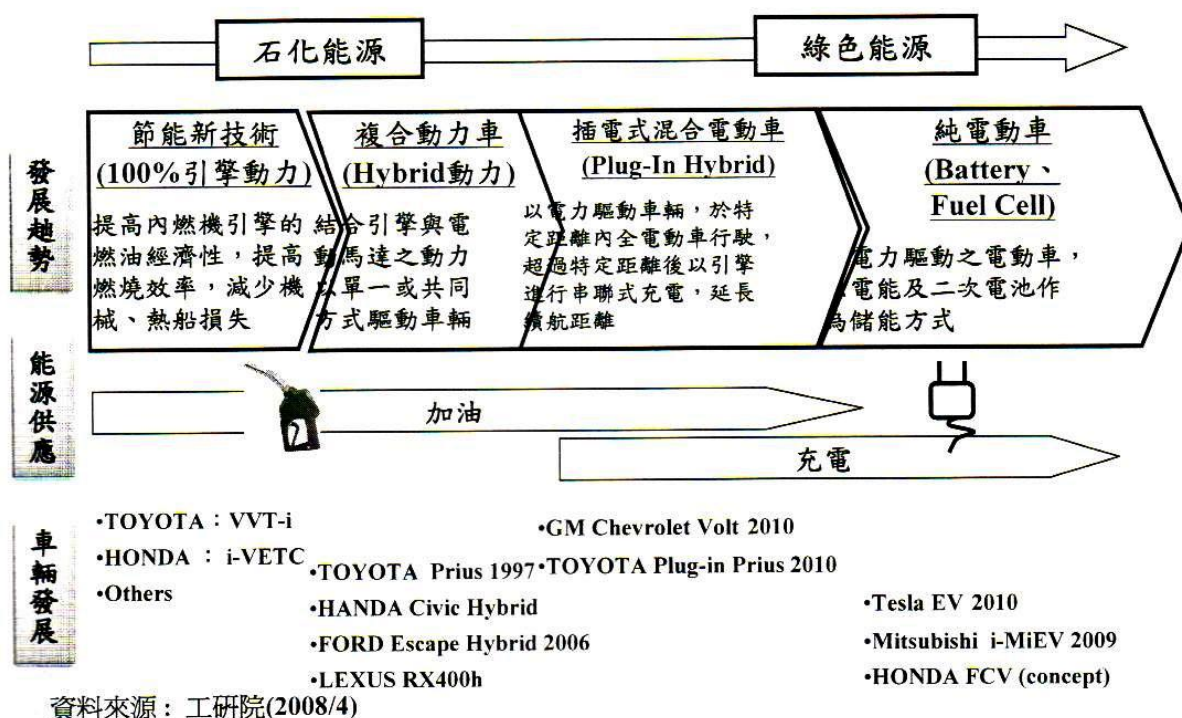


圖 2-1 電動車輛發展藍圖

## 2-2 國外技術現況

依美國 EPA Air Resources Boards 2007.04 針對零污染車輛(ZEV)發展最新預估，潔能車輛技術朝全面化發展，油電混合動力車(Hybrid EV, HEV) / 燃料電池電動車(Fuel Cell EV, FCEV) / 氫氣內燃機引擎動力車(H2ICV) / 電池電動車(Battery EV, BEV)仍然是未來主流。油電混合動力車 (HEV)於 2000~2004 年進入大量商業化後，後續可能導入之潔能車輛技術依序為充電式油電混合動力車(Plug-In Hybrid EV, PHEV)及燃料電池電動車(FCEV)。電池電動車雖預計於2010年進入商業化，但不易達到大規模推廣。部份車廠開始投入氫氣內燃機引擎動力車(H2ICV)，其預估之商業化導入時間仍晚於燃料電池電動車(FCEV)。油電混合動力車(HEV)自從豐田(TOYOTA)公司開始銷售，逐漸為消費者接受，在美

銷售量逐漸增加，其他車廠也逐漸開發油電混合動力車(HEV)包括全時動力(full hybrid)及動力輔助型(mild hybrid)等。油電混合動力車(HEV)運用內燃機引擎、馬達、電池之混合系統，成為短、中期降低污染、節省能源最有效之運輸工具。

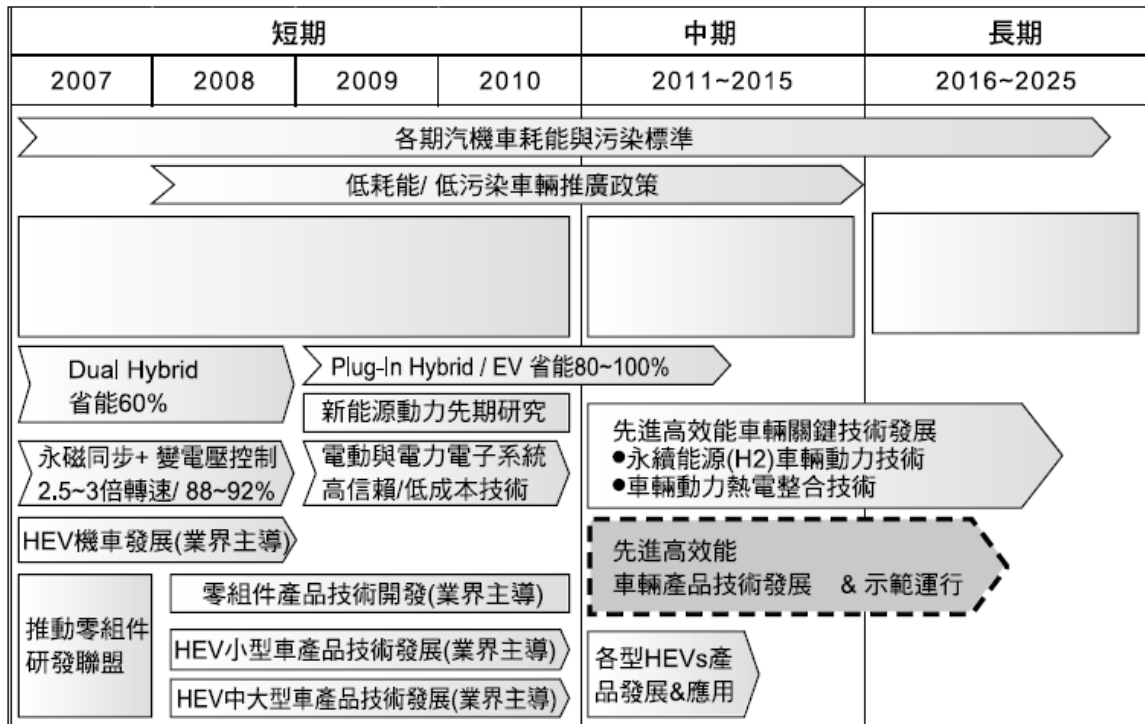
## 2-3 國內現況

由於未來電動車輛為人類主要交通工具的趨勢已經成形，而台灣產、學界對電動車輛研發與相關零組件生產已有相當基礎，台灣民眾對電動車輛之接受度亦佳，為使台灣不會在此「汽車產業工業革命」中缺席，94 年全國能源會議結論之一為大力推廣省能源運具。行政院科技顧問組提出「挑戰 2008：國家發展重點計畫」之計畫書、經濟部能源局之「2007 能源科技研究發展白皮書」及經濟工業局之「推動重點產業項目」皆顯示「高效率電動車輛」已列為國家重點科技發展項目，期望台灣產、學界能擁有電動車輛之關鍵技術與智財權，創造一個低污染、高效能與高附價值的產業。例如，油電混合動力車關鍵零組件占整車成本約超過 30%，預估至 2015 年國際混合動力車市場規模將達 5%(約 300 萬輛)，其中關鍵零組件產值將達 180 億美元。透過培植國內自主技術及零組件研發聯盟，可促使零組件加入國際零件供應體系。表 2-1 說明了我國與先進國家電動車輛採業技術現況。國內於電動車輛技術推動策略與發展時程，如圖 2-2 所示。

表 2-1 我國與先進國家電動車輛採業技術現況

技術項目	我 國	國 際
混合動力系統與技術	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 並聯式混合動力系統，輸出功率 18kW，適用於小型車輛，重量 600kg 下油耗 25~28km/liter@ECE40，省能 40~50%。</li> <li>2. 動力輔助型混合動力系統，輸出功率 1000kW，適合於中型汽車，完成離型機與系統整合技術發展，省能 20~25%。</li> <li>3. 混合動力機車，屬雙動力系統應用於 100cc 等級機車，業者已啟動產品驗證及量產發展。</li> <li>4. 混合動力巴士，曾引進試運行，無自主產業成本高缺乏維修技術，無法長期營運。</li> <li>5. 國內缺乏混合動力零組件供應體系及產業能力。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 並聯式混合動力系統，以豐田(Toyota)公司及福特(Ford)公司為主，已成功推出銷售運用於各式車輛產品，省能效率達 50%以上，目前朝大型化與高值化發展。</li> <li>2. 動力輔助型混合動力系統，以本田 IMA 為主，已成功推出銷售運用於各式車輛，省能效率達 20~30%，目前朝大型化與高值化發展。</li> <li>3. 混合動力機車，本田惰速熄火(idle stop)已推出並量產銷售多年，全混合動力系統機車已發表但未量產。</li> <li>4. 混合動力巴士，美國日本已運行多年，100 輛以上運行計畫已陸續展開。</li> <li>5. 零組件能力強與整車整合性高，可支援整車及產業發展。</li> </ol>
純電動車	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 電動機車產業具國際水準，先進鋰電池電動機車整合技術與國際同步，先進電池產業需國際合作與國產化。小型代步車產業發展快速，在控制器上仍以進口為主。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 電動小型化發展為主，電池仍為主要技術瓶頸，視各地區實際需求進行推廣。</li> </ol>

資料來源：2007 能源科技研究發展白皮書



資料來源: 2007 能源科技研究發展白皮書

圖 2-2 國內潔淨省能電動車輛技術推動策略與發展時程

## 第三章 HEV電力系統之基本構成概要

### 3-1 前言

根據工研院 2008 年 4 月，提出全球電動車輛發展趨勢調查報告顯示，油電複合動力車 (Hybrid Electric Vehicles, HEV) 已於 2004 年進入了商業化量產階段，而充電式油電混合電動車 (Plug-In Hybrid Electric Vehicles, PHEV) 及燃料電池電動車 (Fuel Cell EV) 則將於 2010 年陸續量產上市。而純電動車 (Pure EV) 雖有無污染之優點，但因電池儲能限制及充電耗時之瓶頸仍有待克服。故在電池技術未克服前，油電混合動力車 (HEV) 依舊是全世界各大車廠研發低污染車輛之主軸。

台灣產學界對電動車輛研發與相關零組件生產技術已有相當基礎，故在面對此一「汽車產業工業革命」，政府於 94 年全國能源會議中決議於國內大力推廣省能源運具並扶植相關技術產業。行政院科技顧問組提出「挑戰 2008：國家發展重點計畫」之計畫書、經濟部能源局之「2007 能源科技研究發展白皮書」及經濟工業局之「推動重點產業項目」皆顯示「高效率電動車輛」已列為國家重點科技發展項目，其中油電混合動力車 (HEV) 列為重點研發項目。

### 3-2 油電混合動力系統種類

油電混合動力車 (HEV) 為現階段國內外車廠發展主流，根據油電混合動力車之動力系統型式分為並聯式 Hybrid 系統 (如圖 3-1 所示) 及串聯式 Hybrid 系統 (如

圖 3-2 所示)，前者為現今市面上之油電混合車之動力系統型式，後者則為未來推展之型式，其各有其優缺點如表 3-1 所示。

表 3-1 油電混合動力系統型式

型式	並聯式 Hybrid 系統	串聯式 Hybrid 系統
優點	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 引擎與馬達並聯提供車輛驅動力</li> <li>● 引擎及馬達容量較小</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 引擎僅驅動發電機</li> <li>● 馬達提供車輛驅動力</li> <li>● 無動力分割機構，結構與控制系統較簡單</li> <li>● 引擎處在高效率運轉</li> </ul>
缺點	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 需動力分割機構，結構與控制系統較複雜</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 馬達容量較大</li> </ul>

#### ● 油電混合動力系統之組成

混合動力系統雖因其型式之不同而有所差異，但基本上可分為動力裝置、控制系統與大容量蓄電池等三大部分。動力裝置之主要元件包括引擎、馬達、發電機、變速箱動力分割機構等。控制系統則有混合動力 ECU、引擎控制單元、馬達 ECU、電力轉換裝置(整流器(Rectifier)、DC-DC 轉換器、變流器(Inverter)、充電器(Charger)、電池 ECU 及煞車 ECU 等，如表 3-2 所示。

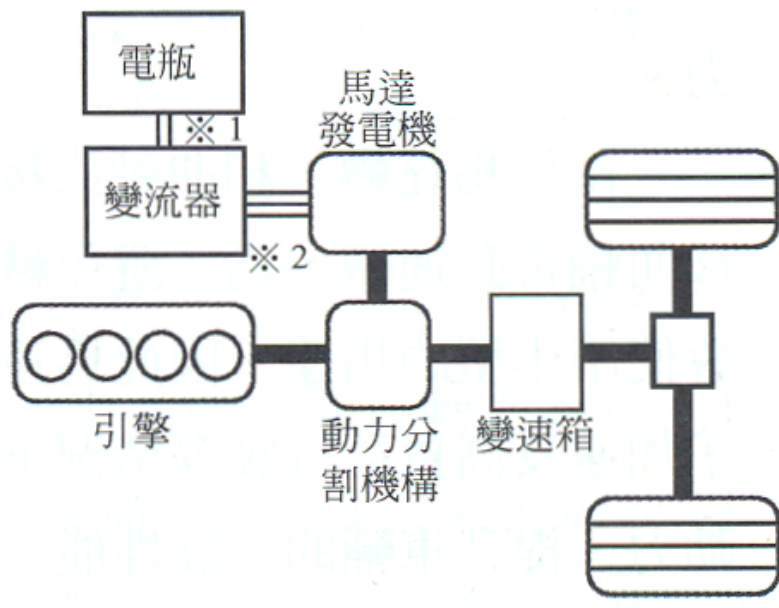


圖 3-1 並聯式 Hybrid 系統

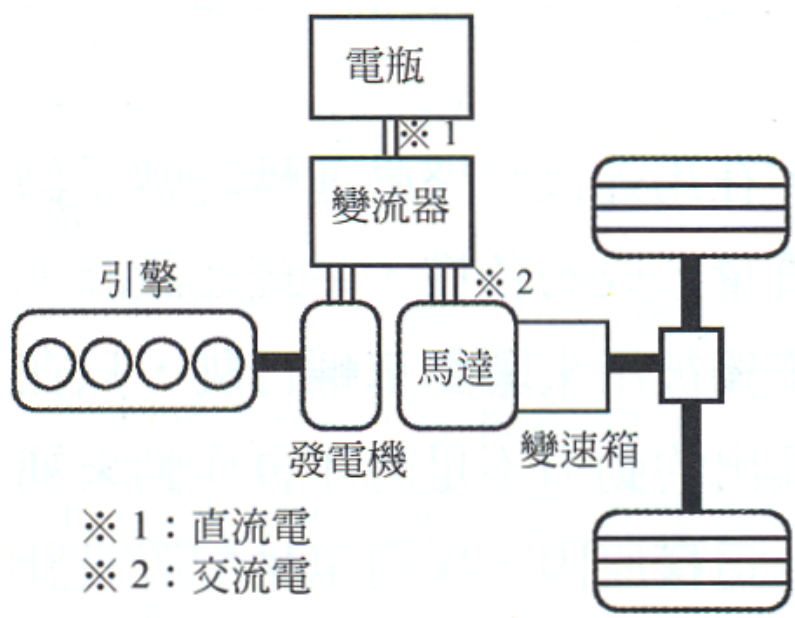


圖 3-2 串聯式 Hybrid 系統



表 3-2 TOYOTA PRIUS THS 的主要構成元件及其功能

主要元件		元件主要功能	
動力系統	引擎	混合動力系統的主要動力源，並帶動發電機發電。	
	變速箱總成	發電機	主要是用來產生交流高壓，由引擎帶動發電；另做為引擎啟動馬達使用。
		馬達	主要是補助引擎的動力輸出，增加驅動力；在煞車時，發電充電至 HV 電瓶(回生煞車)。
		動力分割機構	能適切地切割分配引擎動力、馬達驅動力 and 發電機驅動力。
高壓(HV)蓄電池組		起步、加速、爬坡等時，供應電力給馬達，煞車時充電。	
控制系統	HYBRID ECU		依據節氣門開度、排檔位置計算所需要引擎輸出，馬達扭力及發電機扭力，然後依各個 ECU 需要送出需求值來控制驅動力。
	馬達 ECU		依據 HYBRID ECU 送來的驅動要求值，透過整流器控制馬達和發電機。馬達 ECU 和 HYBRID ECU 做成一體。
	引擎 ECU		依據 HYBRID ECU 送來的引擎輸出要求值，輸出開度指令至電子控制節氣門。
	蓄電池組 ECU		監視的 HV 蓄電池組充電狀態。
	煞車 ECU		執行馬達回生煞車和油壓煞車的協調控制，以使用能和一般只有油壓煞車的車輛有同等的煞車制動力。
	變頻器		高壓直流電和交流電(馬達、發電機)轉換的變換裝置。
	DC-DC 轉換器		高壓直流電降為 12V，提供輔助電瓶充電的裝置。
	高壓電瓶充電器		萬一 HV 電瓶過度放電時，可用救援車輛的 DC12V 來充電的昇壓充電裝置。
	加速踏板位置感知器		將加速踏板的開度轉換成電子訊號，傳送給 HYBRID ECU。
	加速踏板開關		提供加速踏板全關的訊號給 HYBRID ECU。
	檔位開關		將排檔桿的位置轉換成電子訊號，傳送給 HYBRID ECU。
	系統主繼電器 (SMR)		依據 HYBRID ECU 的訊號切斷、連接高壓電源電路。
	維修插頭		除了檢查、裝備外，用來切斷 HV 電瓶高壓電路的插頭。

### 3-3 油電混合動力車(HEV)與純電動車(PEV)構成元件之比較

雖然純電動車(PEV)為未來環保科技載具之最終目標，但在電池儲能限制與充電耗時尚未克服前，能降低污染量之油電混合動力車(EHV)依然是車廠研發主軸。純電動車(PEV)與油電混合動力車(EHV)主要構成元件之比較如表所示，顯現純電動車(PEV)之元件較少，控制系統也較簡單，如表 3-3 所示。

表 3-3 HEV 與 PEV 構成元件之比較

主要構成元件		
HEV	PEV	
混合動力 ECU	EV 控制器	電動車(ECV)
馬達 ECU		馬達 ECU
變流器(Inverer)		變流器(Inverer)
引擎 ECU	--	
煞車(ECU)	煞車(ECU)	
馬達	馬達	
引擎	--	
高壓蓄電池(電瓶)	高壓蓄電池(電瓶)	
DC-DC 轉換器	DC-DC 轉換器	
輔助蓄電池(電瓶)	輔助蓄電池(電瓶)	
動力分割機構(並聯式)	--	
發電機	--	
散熱水箱	散熱水箱	

無論是混合動力車或是純電動車，其基本上可分為動力裝置、控制系統與大容量蓄電池等三大部分。其中電動車輛之電動機(馬達)驅動、電能管理系統與行車控制系統為電機工程系之專業領域。電機工程系來主導電動機驅動系統、電能管理系統與行車控制系統維修學程課程之規劃，並配合所屬教師與專業實驗室設備，以培養學生電動車馬達驅動及電能管理系統之專業維修能力。

## 第四章 電力轉換裝置與檢修技巧

### 4-1 電力轉換

電動車中所使用電源和我們個人在一般生活中所使用電源一樣有直流電(DC)、交流電(AC)之分，同型電源間則有高壓、低壓之分，因此需有很多的電力轉換裝置(Converter)，包含變頻器(Inverter)、整流器(Rectifier)及DC-DC轉換器。

#### (1) 整流器(Rectifier):

整流器是指能將交流電源轉換成直流電源的電力變換裝置(AC-DC轉換器)，常用的整流器基本電路有半波整流和全波整流。在汽車當中，整流器的型式主要是以橋式全波整流為主，混合動力系統發電機和一般汽車是一樣使用的是三相交流發電機，整流電路同樣採用三相橋式交流整流電路。

混合動力系統發電機為三相交流發電機，整流電路採用三相橋式交流整流電路。又根據整流器之輸出電壓可分為固定電壓整流(Constant voltage)及可變電壓整流(Variable voltage)，一般混合動力車已可變電壓型為主，用來配合驅動馬達所需之調變電壓，如圖4-1所示。

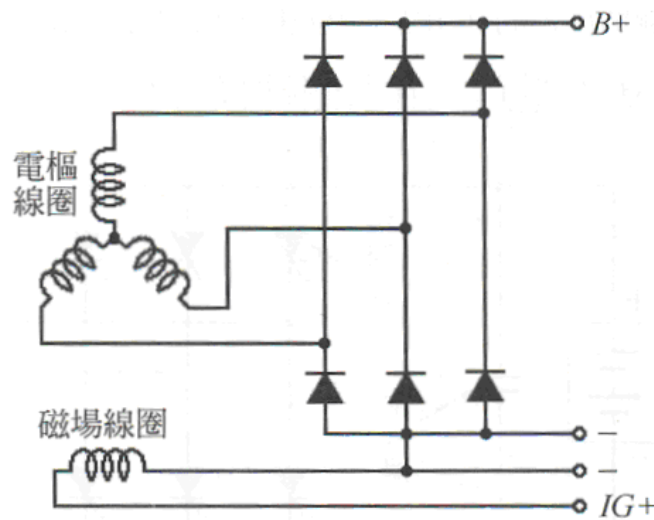


圖 4-1 汽車交流發電機整流電路

## (2) 變流器(Inverter):

變流器一詞是由英文字“*Inverter*”翻譯而來，有人譯為換流器或變頻器，指的是能將直流轉換成交流電源並提供馬達所需電力的電力變換裝置，即DC-AC轉換器。變流器是交流馬達(含同步馬達及感應馬達)在驅動控制上的一項重要驅動裝置。而變流器若依調變控制的電力對象(如馬達)可分為電流源型(Current-Source Inverter, CSI)與電壓源型(Voltage-Source Inverter, VSI)，為使馬達動力輸出平順，電動車大多使用電流控制型PWM變頻器為主。圖4-2三相變流器基本構成電路，由六個轉換元件以H型橋式電路所構成。

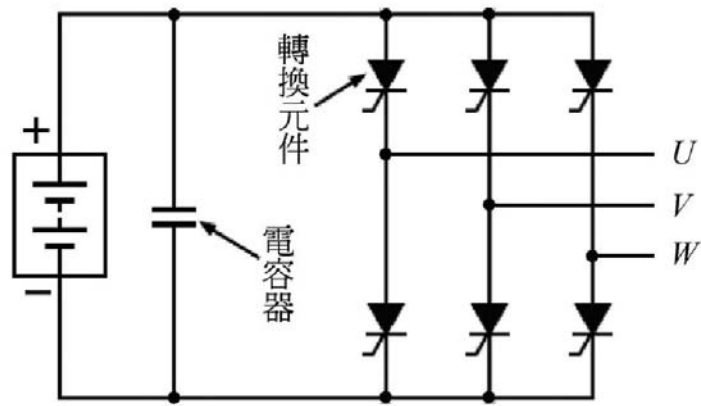


圖 4-2 三相變流器基本電路

## 種類型式

### A. 依構造及功能分類

依構造及功能的不同，變流器可分為廣義和狹義的變流器。所謂的狹義的變流器是指DC-AC轉換器。廣義的變流器是指AC-DC-AC轉換器，和狹義的變流器之間的主要不同點在於其內部多了一個可以先將外部供應之交流電源轉換成直流電的AC-DC轉換器(整流器)。

### B. 依輸出的交流電源相數分類

隨著使用上所需求的交流電源相數之不同，變流器轉換輸出的交流電源相數可分為單相、二相、三相等不同型式。

### C. 依電力頻率輸出分類

若依輸出的電力頻率是否可變的，變流器的型式可分為固定頻率輸出和可變頻率輸出兩種。在電動車上，DC-DC轉換器內的單相變流器，以及PC電腦中，

驅動CPU散熱風扇(以DC無刷馬達帶動)所用的單相變流器，即是屬於固定頻率輸出型的變流器。

#### D.依電力供應方式分類

變流器的型式若電力供應的控制方式來區分可分為電流源型(Current-Source Inverter，CSI)、電壓源型(Voltage-Source Inverter，VSI)兩種，兩者的主要不同點在於變流器的轉換電路和直流電源連接時所需用的中間電路不同，VSI需要並聯一個大型的電容器做為濾波穩壓之用，而CSI則需要串聯一個大型的電感器來獲得平穩的電流。由於電動車上所使用的電力是固定電壓的直流電源，故通常都以使用VSI為主。

#### E.依電力輸出控制方式分類

控制電力變換裝置轉換元件的“開”、“關”來改變電力輸出的方法我們稱之為調變(Modulation)。變流器依調變控制的電力對象可分為電流控制型和電壓控制型。

#### ◆ VSI電力輸出的調變控制

馬達的輸出動力是由變流器有效電力輸出值所決定，只要能適當地控制變流器電力輸出即可達到控制馬達動力輸出的目的。變流器在電力輸出的控制上是由馬達ECU利用調變技術控制變流器轉換元件的“開”、“關”的方式所控制。

變流器轉換元件的“開”、“關”是由位在馬達ECU中的調變驅動電路輸出之

脈波訊號所驅動。脈波訊號是由調變驅動電路中的波形產生器來產生，波形產生器會隨著使用調變技術的不同有所不同，電動車上採用的調變技術是當今在馬達控制上最廣泛採用的PWM((Pulse Width Modulation，脈波寬度調變)調變技術，因此調變驅動電路上需要的是一個PWM波形產生器。

#### ◆ 馬達及變流器之冷卻

馬達的容量愈大，驅動所需使用的變流器容量也需要愈大，在回生煞車時，單位時間所產生的電能及熱能也會愈多，需用的散熱裝置散熱容量也必須要愈大。依冷卻方式來分，馬達及變流器都可分為水冷式和空冷式兩種。

#### (3)DC-DC轉換器(DC-DC Converter)：

DC-DC轉換器之功用是將高壓蓄電池組之高電壓轉成12V並充電至輔助電池，基本內部電路如圖4-3所示，此電路由單相DC-AC變頻器、變壓器、AC-DC整流器所組成。

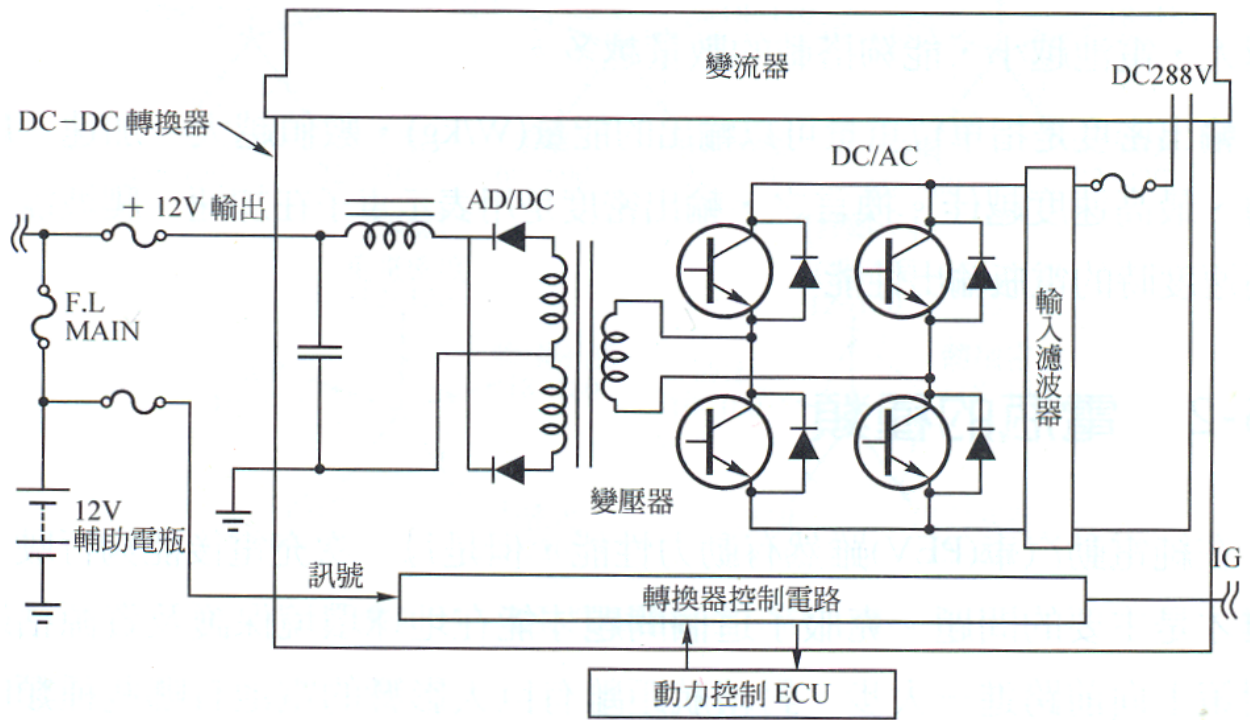


圖 4-3 DC-DC 轉換器的內部電路



## 第五章 高壓電瓶與檢修技巧

### 5-1 前言

高壓電瓶的功用在於提供驅動馬達運轉所需要用的電力，所以又可稱為驅動用電瓶。因高壓電瓶是提供馬達所需的電力，所以電瓶的額定電壓通常都和馬達的額定電壓相同或近似。

#### (1) 蓄電池種類與特性

電瓶性能

- ◆ 電瓶的性能可以用能量密度(energy density)及輸出密度(power density)來表示。
- ◆ 輸出密度是指單位重量可以輸出的能量 (W/kg)，數值越大，加速、爬坡能力、最高速度越佳。

表5-1為目前電動車各種電池特性。

表 5-1 各種電池特性

種類	特徵	課題	能量密度				輸出密度		壽命(循環)	
			(Wh/kg)		(Wh/L)		(W/kg)		現況	將來
			現況	將來	現況	將來	現況	將來		
鉛開放型	高輸出密度	低成本	40	45	70	80	150	200	500~1000	1000以上
鉛密閉型	高信賴性		35	40	80	100	200	300	400~800	1000以上
鎳鎘	高輸出密度 高信賴性	高成本 高溫性	50	60	110	120	170	180	500	1000以上
鎳氫	高輸出	高成	65	70	155	165	200	300	500~1000	1000

	密度 高能量 密度	本 高溫 性								以上
鋰離子	高電壓 高能量 密度	高成 本	110	150	160	200	200	400	500	1000 以上

## (2) 蓄電池組充電狀態與溫度之管理

在電動車上，高壓電瓶的SOC(State of Charge：充電狀態)管理的這一項重要課題上，如果能夠正確而且廣泛的妥善管理，將可使得電瓶之能力能有效活用，也是有利於電瓶小型化的一項因素。

- ◆ 高壓電瓶各個分電池的充電狀態是由電瓶ECU來監控管理，使各個分電池在充電量改變時各個分電池的充電狀態都能維持均等狀態。
- ◆ 溫度對於電瓶的充電及放電能力具有一定程度的影響，因此電瓶溫度管理是高壓電瓶SOC的重要管理要素之一。高壓電瓶理想的工作溫度約在60~70°C。

電動車之蓄電池組是分為數個分電池予以充電，並使各分電池之充、放電量皆處於均等狀態，如此將可使蓄電池組運轉於最佳狀態及延長壽命，而分電池之充電狀態(State of Charge, SOC)皆須電池ECU來監控。又溫度對電池之充電與放電的能力具有一定程度之影響，因此電池溫度管理是蓄電池組SOC監控之重要功能之一，如圖5-1所示。

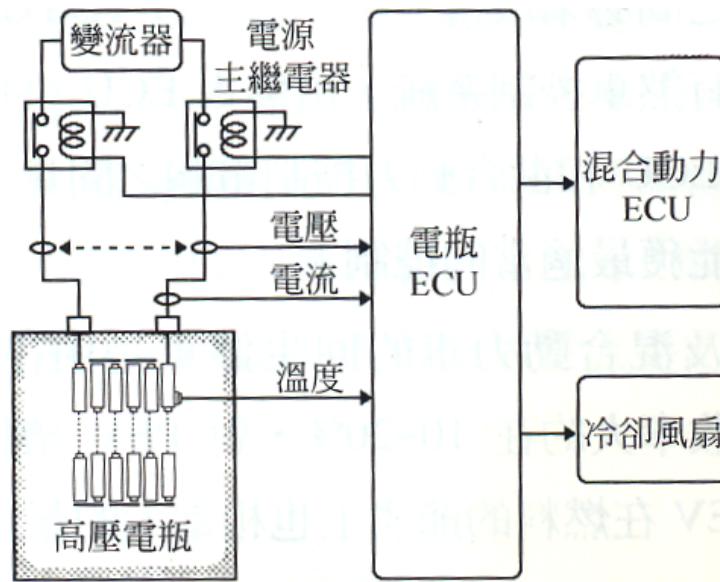


圖 5-1 高壓蓄電池組監控系統

## 5-2 高容量蓄電池

當考慮在汽車中採用鋰電池時，應分析串聯混合、並聯混合、純電動和其他類型汽車的動力傳動方塊圖。不過還好，任何汽車的鋰電池組都差不多。構建區塊是一組 100 至 200 個、2.5 至 3.9V、4 至 40Ahr 的串聯電池。這個直流動力源用於驅動一個 30 至 70kW 的電機。整個電池組的電壓很高，因此對某個功率位準（power level）而言，平均電流較低。較少的電流需要較小的纜線、重量較輕，成本也較低。電池組應在峰值情況下提供 200A 電流，並可以快速重新充電。換句話說，電池在要求有好的能量密度的同時，也要求有好的功率密度。大型系統（如大客車和拖車）使用多達四個 640V 的並聯電池組。

鋰電池組的設計問題是如何在性能、經濟性和安全性之間取得平衡。兩個主要的變數是電池設計以及電池管理電路。例如，假設要開發出一種 EV，它每

次充電可行駛 100 英里，採用的電池組可用 10 年，然後才必須購買或租用新的電池組。為滿足 10 年、3650 次充電循環的目標，可以只使用電池的一部分容量（如 40%）。為儘量降低汽車成本，你希望使用最輕的電池，而電池是電池組中最貴的部分。為實現性能最大化，電池必須承受 200A 峰值充放電電流。最重要的是，快速氧化事件的機會（如著火）必須低於由汽油提供動力的汽車。

傳統的鋰鈷電池（與筆記型電腦中的產品類似）有高的能量密度，但當隔離材料失效時，它就可能出現熱破壞（thermal runaway）的現象。製造商在製造新型鋰電池時採用的是鋰-鐵-磷酸鹽（lithium-iron-phosphate）、鋰錳（lithium-manganese），以及鈦酸鋰（lithium-titanate）等材料，即使刺穿其包裝也能保持熱穩定。它們有稜柱狀的外形，像一塊銀色的小烘餅，其低 ESR（等效串聯電阻）值可支持大電流。它們儲存的能量低於筆記型電腦中的鋰鈷電池，但仍然優於鎳金屬氫化物的裝置，並且，如果細心地管理其充放電位準，它們可以用 10 至 15 年。

### 充電狀態

現在電池監控系統開始發揮作用，因為它們可監控電池的充電狀態（state of charge, SOC），從而決定電池的成本與性能。如果你知道了電池的充電狀態，就可從每個電池中獲得更多的能量，使用較少電池芯，並且盡量將這些電池的壽命延長到最長。在筆記型電腦中，這一工作是監控電池的電壓，並統計進出四至八個電池的庫侖。電壓、電流、充電、溫度，以及一些數學值都是用來指

示充電狀態的很好的指標。不幸的是，你無法計算一輛汽車的庫侖數，因為電池是驅動一台電機，而不是一片主機板。電流峰值為 200A，而這些尖峰之間就是低電平（low-level）的空轉。

另外，你可能要串接 96 至 200 個電池，它們分成 10 或 12 組。這些電池老化的速度不同，來自多個批次，並且會隨溫度而變化。這些因素意味著它們有不同的容量，而相同庫侖數的電池也有不同的充電位準。基於這些原因，汽車的電池監控系統把焦點集中在電池的電壓。你必須精確地測量每個電池的電壓，然後用電流和溫度測量值來修正 ESR 讀數和容量的變化。你要不斷估計每個電池的充電位準。如果有些電池過度充電，有些充電不足，就必須調整各個電池的充電位準，如採用泄放（或被動均衡）充電；另一種方法是重新分配（或主動均衡）充電。當電池達到最低的充電狀態時，電池能量就耗盡了。

工程師必需理解如何精確地測量電壓。開始的目標是瞭解在 $-20$  至 $+80^{\circ}\text{C}$ 的溫度區間內，1%內的充電狀態。圖 1 表示一個一般鋰離子電池的典型充電-電壓特性。不過要記住，對不同製造商和化學技術，此一資料會有相當大的變化。充電狀態在 30%至 70%時，電壓大約變化 200 mV，或每個百分點 5 mV。在 0 至 5V 的測量範圍要求有 0.1%的總測量精度。將該數值轉換為資料擷取規格，即要求一個有 1 LSB（最低有效位元）或 0.02% INL（積分非線性度）的 12 位元 ADC，外加一個有 0.05%初始精度和 5 ppm/ $^{\circ}\text{C}$  漂移（即溫度變化  $40^{\circ}\text{C}$  時為 0.02%）的電壓基準。

資料擷取系統還必須能抑制開關雜訊和高共模電壓。圖 5-2 用一個為電機供電的 10 kHz 變頻器，模擬電池組的帶尖峰輸出。將暫態平均分配到 100 個電池芯上意味著上方電池有一個 370V 的共模電壓、100V 的共模暫態、1V 的差分暫態，以及 3.7V 的直流值。工程師需以 5 mV 的精度來測量 3.7V DC 值。

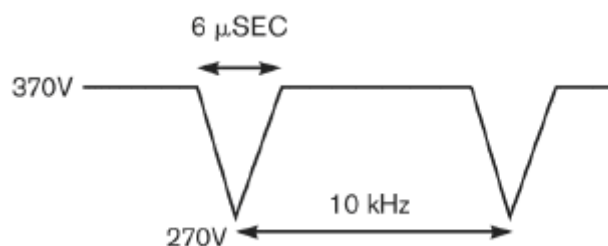


圖 5-2 10 kHz 變頻器的帶尖峰之電池組輸出

多數電池監控系統都是採用一種市售採模組化配置的現成元件之組合。圖 5-3 表示如何監控一個有 36 個電池的電池組，它有三組，每組有 12 個電池。此一由 12 個電池組成的模組為類比電路提供一個本地電源和地。藉著將電池組分成數個小組，類比電路就可以“看到”一個較小的共模電壓。圖 4 顯示出了分立類比電路的一個例子。LT1991 差分放大器將會抑制共模電壓，並對各個電池之間的差分電壓進行緩衝。差分放大器的輸出是以 LT1461 為基準的電池電壓。這 12 個信號連到一個 16 通道、24 位元的 delta-sigma LTC2449 ADC 輸入多工器。LT1461-2.5 提供 2.5V 的電壓基準。當 ADC 處於睡眠模式時，MOSFET 開關可避免耗用電池的電流。差分放大器的 CMRR（共模抑制比）為 75 dB，差分放大器的增益誤差為 0.04%，基準電壓誤差為 0.04%，它們共同形成了 0.3% 的最差

情況誤差。ADC 誤差可以忽略不計。在室溫下校正系統，可去掉大約 90% 的誤差。

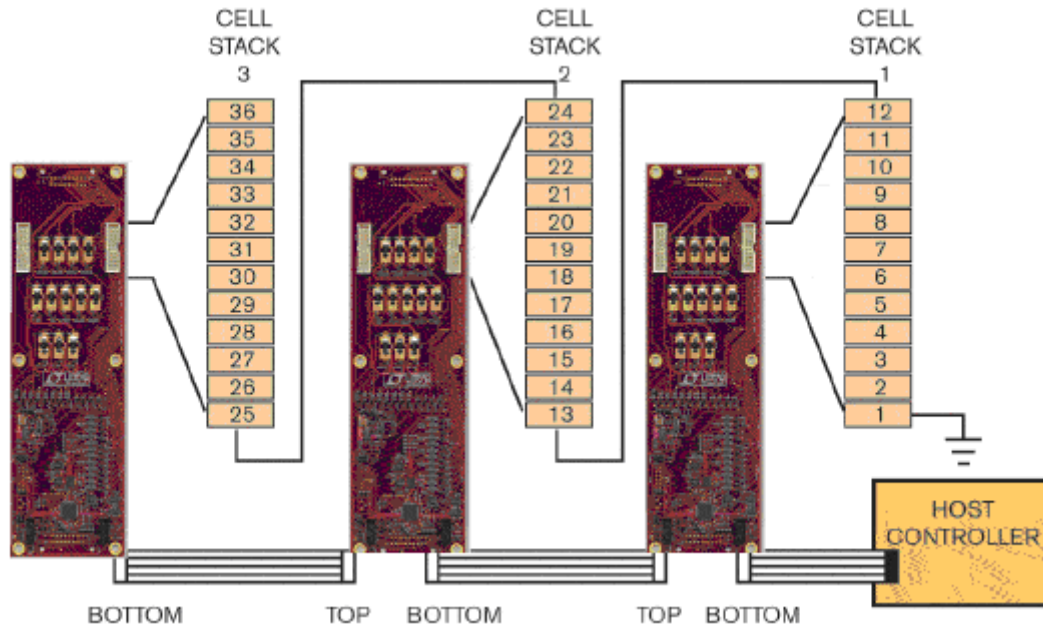


圖 5-3 監控一個典型 36 顆電池的電池組

圖 5-4 只顯示了一個簡化的電壓測量電路。完整的電池監控系統還需要電池的均衡、資料通信和自我測試功能，它們會讓邏輯圖變得複雜。大量元器件使得採用市售產品的方案變得既昂貴又不可靠。圖 5 給出了一個類似的模組化電池測試設計，用一顆 IC 整合了多數功能。輸入多工器可以承受 60V 的共模電壓。採用開關電容採樣技術，可消除多數分立設計所面臨到的 CMRR 限制。Delta-sigma ADC 基本上是理想的、讓基準電壓成為誤差預算中的唯一元件。LTC6802 不需要校正即可實現室溫下 0.12% 的精度，在 -40 至 +85°C 區間上為 0.22%。出廠時對室溫誤差所進行的初始校正可將總誤差降至 0.1%。為獲得更

高的精度，可以加一個低漂移的外接基準源，如圖 5-5 所示。藉著定期地來測量 LT1461 的輸出，並用測量所得的資訊調整對電池的測量，再加上初始校正，可以在 $-20^{\circ}\text{C}$ 至 $+70^{\circ}\text{C}$ 的範圍內將誤差降低到 0.03%，這已是 ADC 的雜訊底限。

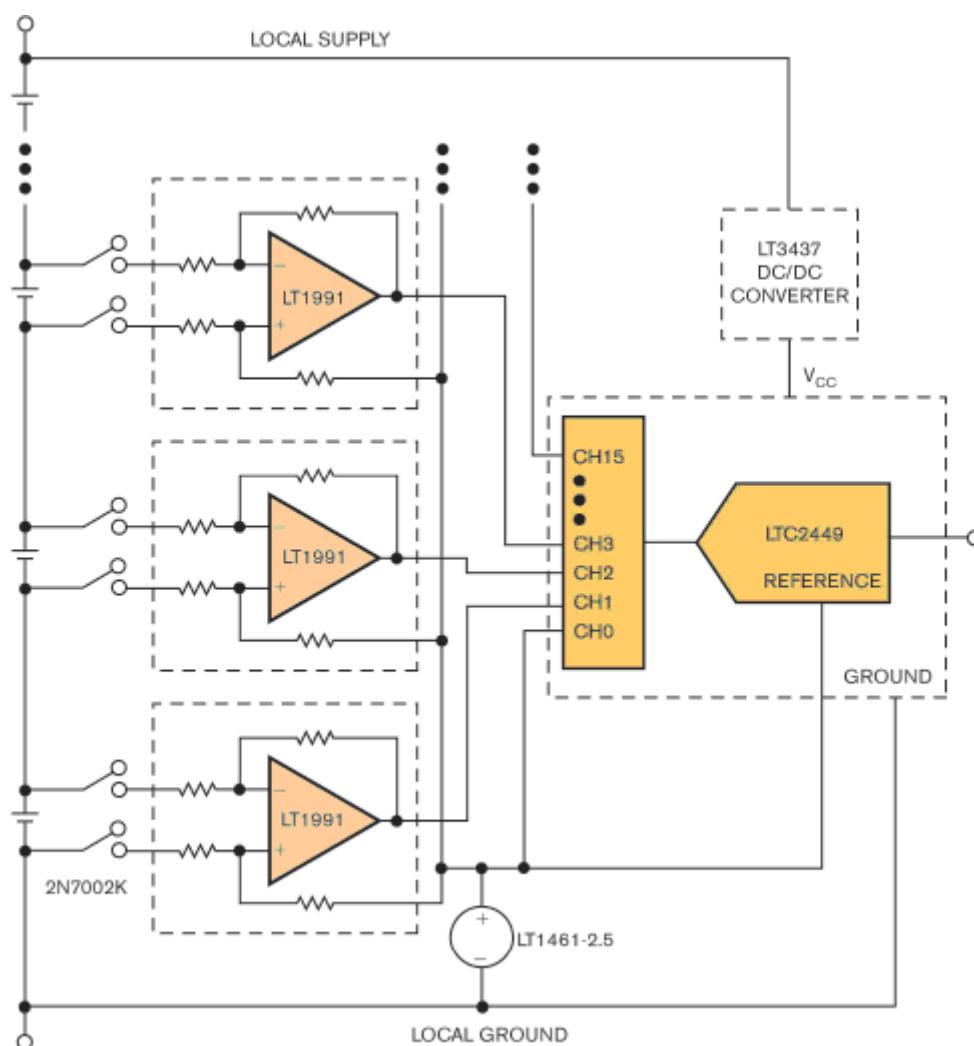


圖 5-4 分立類比元件的簡化電壓測量電路



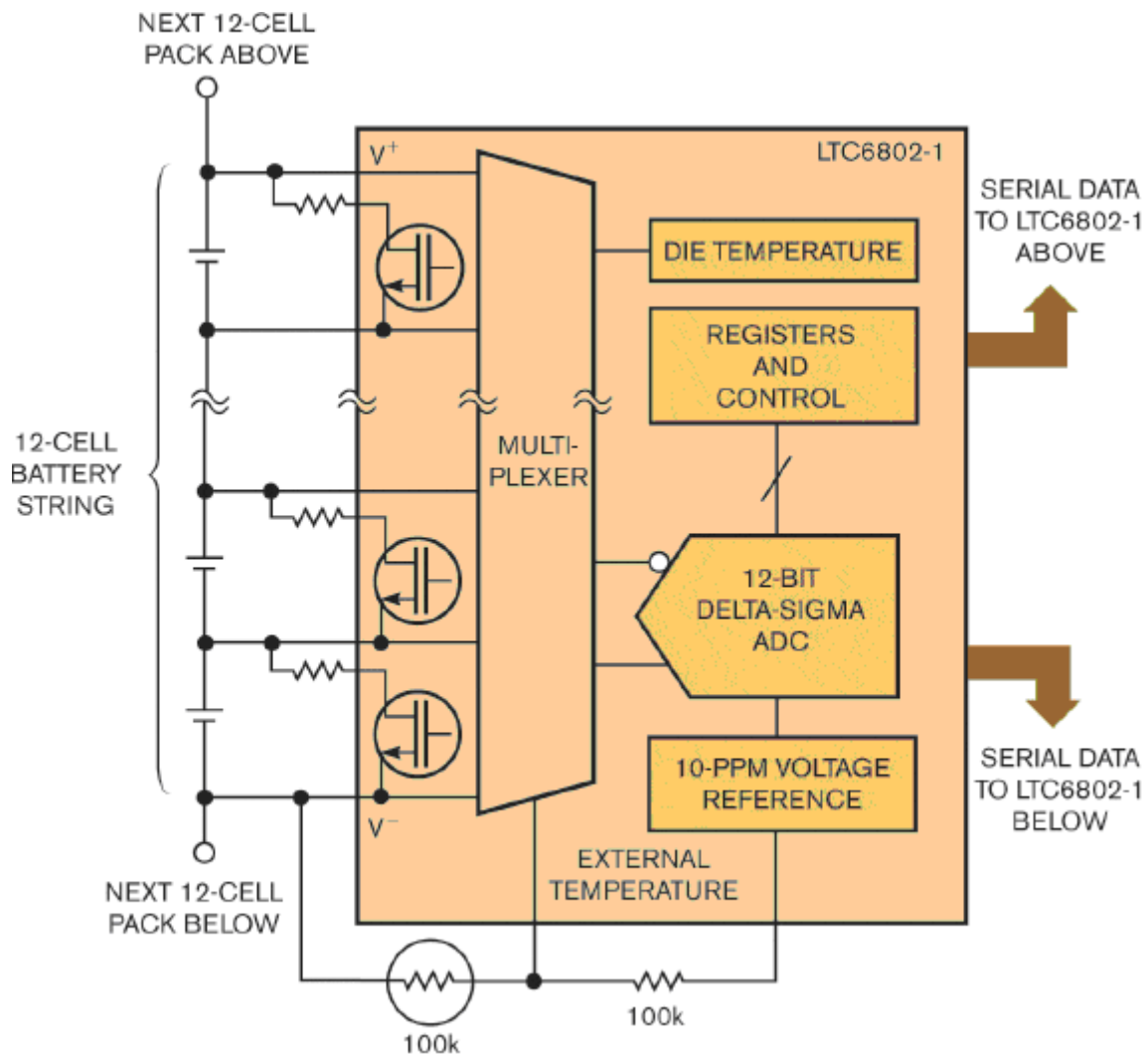


圖 5-5 IC 整合了一個簡化電池測量設計

上述各個測量方案都用 delta-sigma ADC。SAR（逐次逼近暫存器）轉換器在 12 位元系統中提供更快的採樣率，這對 100 通道的資料擷取系統來說似乎是必要的。不過，汽車中複雜的雜訊環境需要相當多的濾波。因此，決定有效吞吐量的是濾波，而不是採樣率。對於一個給定數量的 10 kHz 抑制，1k 採樣/秒的 delta-sigma ADC 等效於一個 1M 採樣/秒的 SAR ADC。LTC6802 多工器與 1k 採樣/秒的 ADC 在 10 msec 內順序通過 10 個輸入通道。ADC 內建的線性相位數位濾波器（linear-phase digital filter）提供對 10 kHz 開關雜訊的 36 dB 抑制。具

有一個單端輸入濾波器的 1M 採樣/秒 SAR 轉換器需要 160 Hz 的 RC 轉折頻率 (corner frequency)，才能得到相同的 10 kHz 雜訊抑制性能。RC 濾波器的 12 位元安定時間為 8.4 msec。SAR 可以在 10  $\mu$ sec 內順序通過 10 個通道，但由於濾波器的回應，每 8.4 msec 掃描一次以上則是無效的。

Delta-sigma 與 SAR ADC 的測量吞吐量相等，但也有一些差別。Delta-sigma ADC 有較高的雜訊抑制和出色的精度。另外，雖然兩個系統在 10 kHz 有相同的抑制性能，但濾波器對較高諧波的抑制能力明顯優於簡單的 RC 濾波器。Delta-sigma 型系統精度更高，因為輸入多工器的工作速度要比 SAR 慢 1000 倍，消除了串擾、共模抑制，以及安定時間誤差。SAR 唯一的優點是幾乎能同時進行 10 個測量，而 delta-sigma 方法則是順序式測量，軟體中有一點計算電池阻抗的開銷 (overhead)。

要完成充電狀態的測定，需要測量溫度和電流。溫度測量相對簡單，因為它變化的速度慢，不受電機雜訊的污染，並且與高電壓電氣隔離。唯一的問題是要使用多少溫度的探針。有些鋰離子電池組是每一個電池用一個溫度感測器，因為在柱狀電池之間有未知的熱梯度 (thermal gradient)。而其他電池組的設計則將 12 根稜柱形電池當作一組裝在一個鋁殼內。電池之間的低熱阻 (thermal resistance) 意味著每組用一個或兩個溫度探針就夠了。最經濟的測量方案是重新使用電池電壓的 ADC。熱敏電阻位於電池之間。熱敏電阻與 100 k $\Omega$  電阻之間的電壓多路傳輸進入 ADC。誤差預算包含 1% 的基準電壓絕對值，電阻與熱敏

電阻的 1% 至 5% 的公差，熱敏電阻 B 常數介於 1% 至 3% 的變化率（歐姆/攝氏度），以及探針與電池內部的溫差。未經校正的精度大約為 5%。在室溫下對初始公差作校正後，就只留下 B 常數的變動因素。

最後，要測量的量是電流，它有兩點重要性。首先，放電速率會影響電池的容量。其次，電流隨電池電壓改變的相應變化是電池內阻的一種量度。使用有關電阻的知識來改進對充電狀態的測量。電阻也是電池預期壽命的一項關鍵指標。由於各個電池都是串聯的，電池組中的電流是單點測量。測量應在一寬的動態範圍內雙向進行。圖 5-6 是一種典型的方法。

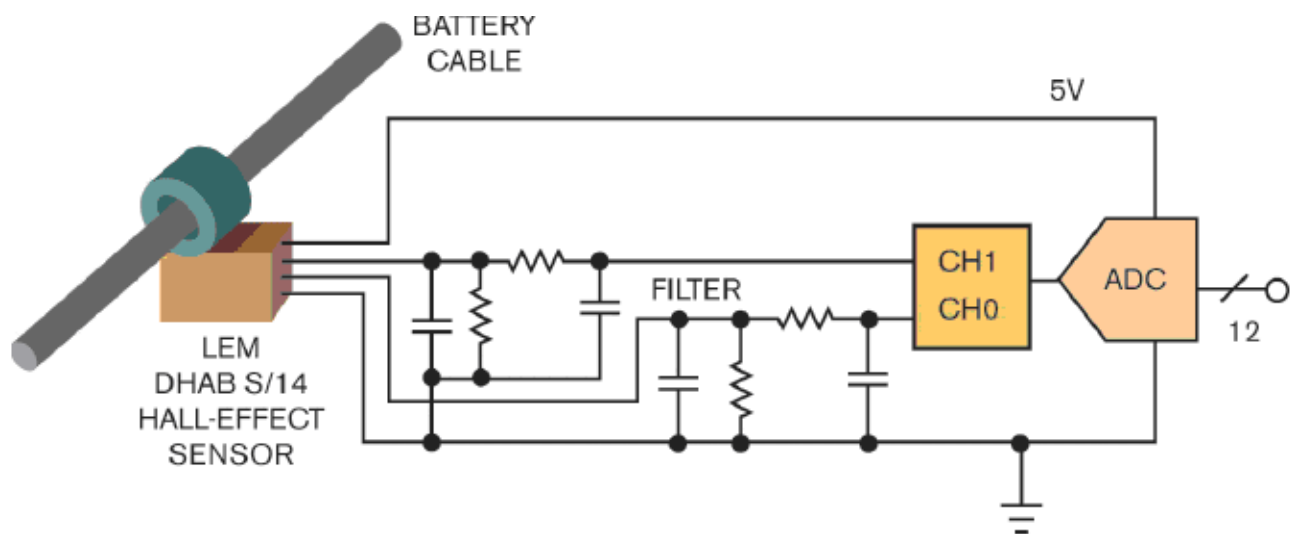


圖 5-6 霍爾效應感測器和一顆執行輸出線性化的 ASIC

LEM DHAB14s84 內含兩顆霍爾效應感測器，同時還有一顆 ASIC 用於輸出的線性化。輸出與 5V 電源成正比。一個通道的範圍是  $\pm 30\text{A}$ ，另一個範圍為  $-150$

至+350A。兩個通道都有約 10 位元的解析度。兩個通道相結合，獲得 30 mA 至 350A 的動態範圍。電流感測器的輸出的濾波應該要量身訂作，以便與電池電壓濾波相匹配，並使電流與電壓測量同步。

## 電池均衡

當任何一個電池達到其最大或最小的允許充電狀態時，100 個串聯電池的充電都必須停止。因此，一組電池組的最好情況也只能是它最差的鏈結。如果在充放電期間，一個弱（weak）電池接收到與強電池相等的庫侖，則會用掉更多的可用容量，從而使它變得更弱。保持所有電池有相同的容量水準，能幫助它們獲得一致的壽命。如果因為一個電池提早用完了充放電週期而要更換全部 100 個電池，這是一件非常糟糕的事。如果電池監控系統可以修正每個電池的充電位準，就可以從電池組獲得更多能量和讓它有更長的壽命。電池均衡是 EV 和 HEV 中的關鍵特性。

容量小的電池組傾向於採用一種簡單的被動均衡技術，以儘量降低成本。該技術在一個電池的充電狀態超過其鄰近電池時，會在其上跨接一個分流電阻。被動均衡不會增加充電後的駕駛距離，因為這種技術會消耗（而不是重新分配）能量。不過，被動均衡延長了電池組的壽命，這是 HEV 的準則。放電電流範圍在 10 mA 至 1A 之間，常見的是 100 至 200 mA。對使用較大容量電池組的 EV，採用被動均衡可能會產生可觀的熱量。EV 製造商還擔心每次充電的駕駛距離。商用 HEV（如大客車和貨車）則是採用多組的大型電池組。針對汽車的支出來

說（大客車約為 48 萬美元，而一輛 Prius 則約為 2.3 萬美元），電路的成本壓力較低。在這些情況下，更精巧的主動均衡就有意義了。

主動均衡意味著充電在各個電池之間來回穿梭，而不是發熱浪費掉。這種方案需要一種用於充電傳輸的儲存元件。工程師推出各種方案並申請專利，包括採用電容、電感或變壓器（參考文獻 1 與圖 5-7）。電容在兩個相鄰電池之間連續切換。電流流動以均衡電壓，從而也均衡了兩個電池的充電狀態。藉由採用一組開關和電容，所有電池的電壓都趨於一致。它的缺點是需要大量的低阻開關，以及要產生控制開關的信號。一個優點是它不需要軟體。只要開關時鐘有效，電路就在後台對電池進行連續的均衡。採用變壓器的方案是在單顆電池和一組電池之間傳輸充電（參考文獻 2 與圖 5-8）。該方案需要用充電狀態資訊來選擇電池，以進行六電池一組的充放電。

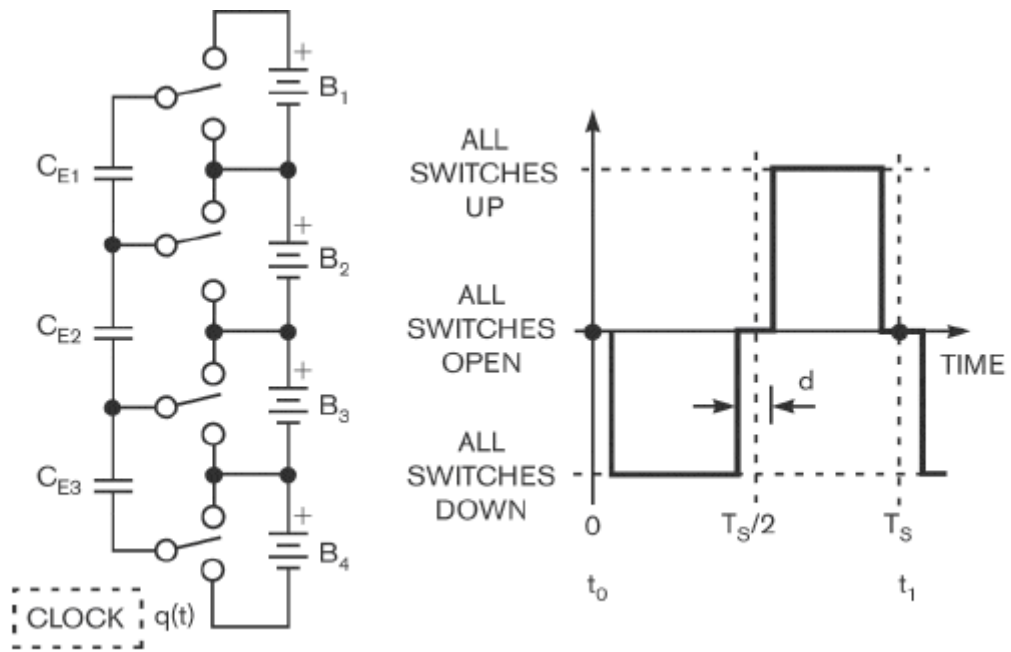


圖 5-7 一個電容在兩個相鄰電池之間進行連續的切換

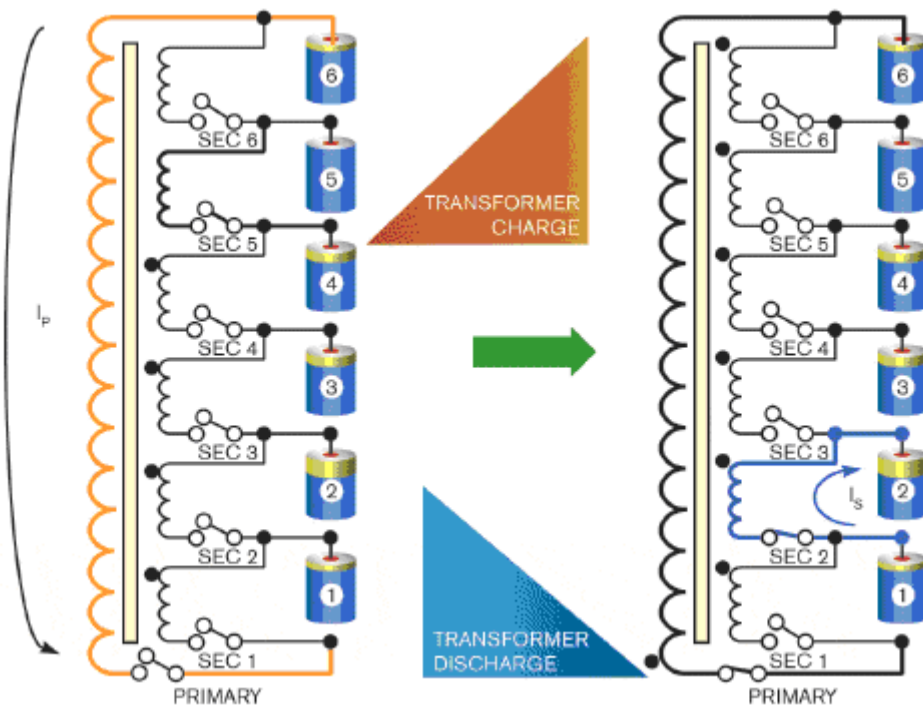


圖 5-8 一個變壓器在單電池與一組電池之間傳送充電

### 5-3 電池組檢修

在傳統的小型電池系統中，多以單一保護板來完成所有電池系統的保護與監控，此方式主要為量產規模及維護人工成本下的系統考量。但是大型電池系統的保護架構龐大、設置成本昂貴，已無法再以「單一電芯不良，就整組更換」的方式來進行維護。因此，在維護的作業程序中，必須變更為「檢驗必要更換的電芯及組件」，以降低整體使用成本。再者，由於製作成本攀升，產業若能適當分工，則可提高競爭力，並加速產業形成。在專業電池組裝廠的需求中，電池保護系統應具備彈性，以符合客戶的需求—輕易調整電池組的尺寸及容量。

因此，考慮大型電池系統的種種需求，以「模組化元件」來建構保護系統的作法，將成為未來趨勢。因為模組化方式不但以建立保護組件的量產規模、標準生產檢驗程序，且在電池組裝上，也有利於生產與品管，更有助電池系統在維護、檢修中，簡化程序並加快速度。同時在電池模組化後，所有的生產及維護作業，都將不再有接觸高電壓的風險，大幅降低人員作業的風險成本。電池模組化後，整組大型電池系統可再做適當切割，使各個切割後的區塊能夠獨立運作，以有效提升整組電池的可靠率，使得整組電池不再因為單一電芯的異常而無法工作，大幅降低電芯數量龐大所衍生的品質衝擊，並提升整組電池系統的妥善率。

要達成模組化的生產與維護工作，必須建立模組化的監控及使用記錄，搭配上層管理模組，達成即時管理訊息的整合，藉以總結電池組的容量及健康狀

態等資訊，使電池組使用端能快速取得所需資訊及控制。此外，在模組化的管理系統中，亦應具備基礎電壓及溫度組件配置，以直接提供緊急斷電的迴路。如此不待終端決策的二次保護機制，可確保局部的異常狀態仍在保護系統的管理範圍內。再者，大型電池系統工作時，常會有較大的電流變化，因此，電流迴路與控制訊號應有適當區隔、分離，以避免大電流變化時所產生的電磁場及熱效應對保護系統產生不必要的干擾。基本上，模組化的保護系統，可以區分各個模組的工作屬性，將基礎電壓及溫度組件與上層管理（即電流及容量組件）分離，以便適當分工，快速提供使用端相關資訊，同時達成完全分隔保護訊號及電流迴路的目的。

模組化設計及分層架構管理系統的導入，提供大型電池系統無限的可能空間，從較小型的混合動力汽車的電池系統到大型電廠的備援系統，都以採用標準模組化的電池組來建構、組裝，不但大幅降低電池組裝廠的設置、管控成本，更可藉此提供標準、成熟且品質穩定的電池組，加速大型電池組在各個領域的應用。



## 第六章 控制系統與檢修技巧

### 6-1 控制系統

控制系統是混合動力車之中樞，其控制的對象包含蓄電池組、引擎、馬達及煞車等系統，以因應行車時車輛各種動態變化的需要給於有效處理。控制系統結構採主僕式架構設計，混合動力ECU為控制中心，負責整合控制各子控制系統的運作，如圖6-1所示。

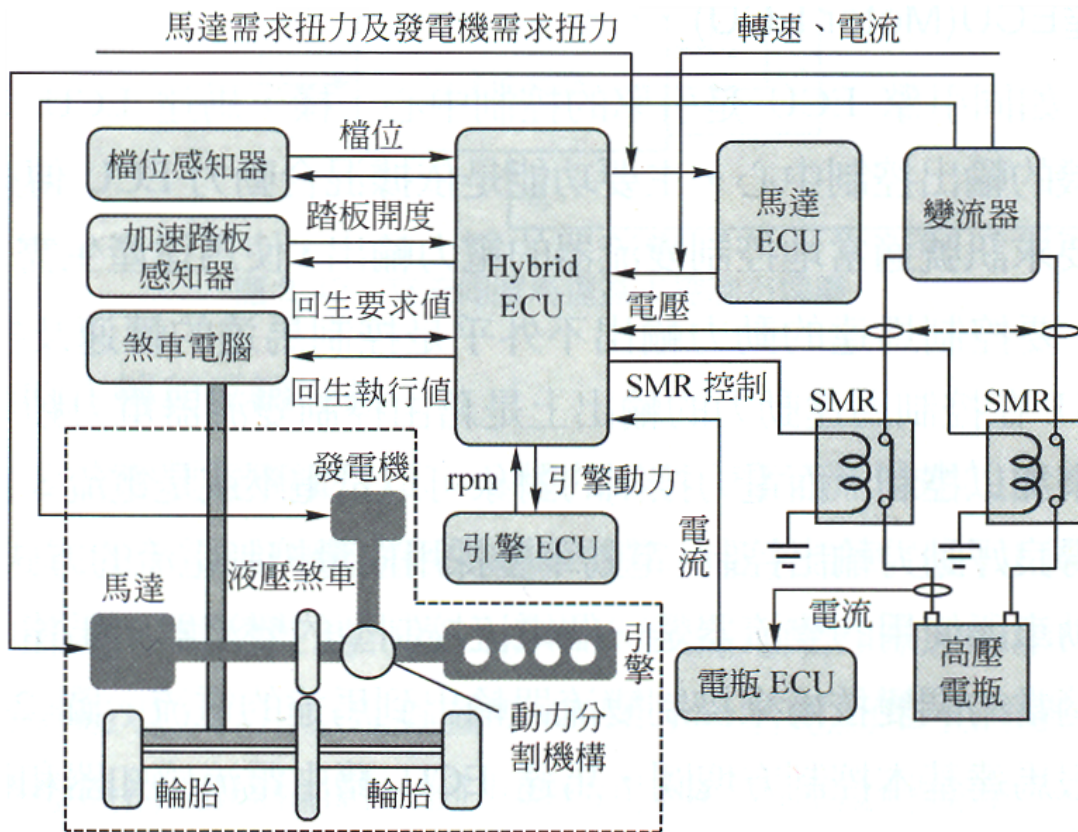


圖 6-1 TOYOTA THS 控制系統之構成

## 1.混合動力 ECU(Hybrid ECU)

驅動力的控制是由混合動力 ECU 依據加速踏板開度和排檔桿位置等訊號計算出引擎的輸出、馬達的驅動扭力和發電機驅動扭力等，並將需求值傳送給各個 ECU，再由各個 ECU 依據混合動力 ECU 需求值來輸出，達成車輛驅動力的控制。

## 2.引擎 ECU(Engine ECU)

依據混合動力 ECU 傳來的引擎輸出要求量及引擎控制系統各感知器所感測到的引擎狀況，如進氣量、水溫等來控制電子節氣門的開度及引擎的運轉，基本上，引擎的控制和傳統的 EFI 相類似。

## 3.馬達 ECU(Motor ECU)

如同引擎 ECU 是引擎控制中心一樣，馬達 ECU 是馬達和發電機的輸出控制中心，主要功能是依據混合動力 ECU 傳來的動力輸出要求訊號適當地控制變流器的電力輸出，使馬達產生需求的動力

### ◆ 回生煞車控制

在馬達驅動的轉速控制上，可以藉由控制電力的方式使馬達轉速下降，這種方式我們稱它為電力制動或電力煞車(Electrical braking)。電力煞車時，馬達會如前段所述以發電機模式運轉，將儲存在馬達或負載中的慣性動能轉成電能。對於電力煞車時所產生的電能約有三種方式可以來處理它。

一是使用電阻將它消耗掉，這種方式稱之為“動態煞車(Dynamic braking)”或“發電煞車”；二是將電能經適當地轉換後供應給其他系統使用；三是回收儲存，例如儲存到電瓶或電容器中。二、三這兩種處理方式就是所謂的“回生煞車(regenerative braking)”。

## 功用

電動車採用回生煞車大致來說具有以下兩項功能，一是可以將原本捨棄不用動能轉換成電力回充至電瓶或可儲存電力的裝置，增加續航力(PEV)或節省燃料消耗(HEV、FCEV)。二是利用電力煞車來降低車速，可減少機械煞車的使用。

## 4. 電池組 ECU(Battery ECU)

電池組 ECU 的主要功能在於監控高壓電瓶的充電狀態(SOC)及使高壓電瓶性能維持最佳狀態，其次是監視高壓電瓶系統是否有異常狀態，維護系統的故障安全性。

◆ 電瓶 ECU 的主要功能在於監控高壓電瓶的充

電狀態(SOC) 及使高壓電瓶性能維持最佳狀態：

### (1)SOC 的監控管理

高壓電瓶在車輛行駛中會在加速放電和減速回生煞車之間來回反覆操作，電瓶 ECU 利用計算充放電流使電瓶的 SOC 維持在 SOC 控制目標值附近。

### (2)高壓電瓶性能的維持

## — 分電池的均等充電

當高壓電瓶在進行充電時，電瓶 ECU 係以圖 2-48 所示的方式是利用感知器感測各分電池電壓的方式來監視均等充電狀態，並適切地對電瓶充電進行調節，維持分電池的均等充電。

## — 溫度管理

為了因應高壓電瓶在充放電時的發熱情形，確保電瓶性能，由電瓶 ECU 利用電瓶溫度感知器感知電瓶溫度來控制冷卻風扇的作動，適時冷卻使電瓶維持 60~70°C 之工作溫度。電瓶溫度感知器的溫度感知原理和引擎冷卻水溫度感知器是相同的，而冷卻風扇的作動控制電路和噴射引擎冷卻風扇控制也是一樣的。

## 5.煞車 ECU(Brake ECU)

由於電動車及混合動力車具備再生煞車功能，再生煞車和液壓煞車之間必須要有適當的協調控制裝置以保有一般液壓煞車的煞車能力，而負責這個煞車協調控制裝置就是煞車 ECU。

## 6.加速踏板位置感知器(Acceleration pedal Position Sensor)

加速踏板位置感知器，簡稱為加速感知器，其功能是將駕駛人踩踏加速踏板的程度轉成電氣訊號提供給混合動力 ECU 計算車輛驅動力需求，進而控制引擎和馬達的動力輸出，如同汽油車踩踏加速踏板以鋼索拉動節氣門控制引擎動力輸出是一樣的。加速踏板位置感知器的內部構造和汽油噴射引擎上的節氣門

位置感知器一樣。

## 7.檔位開關或/及感知器(Shift lever position switch or/and sensor)

檔位開關(或/及感知器)所提供之檔位訊號的主要功能有三，一是和加速踏板位置訊號一樣是提供混合動力 ECU 計算驅動力；二是提供 CVT 變速箱控制減速比的依據；三是使用馬達起步的情形下，提供做為控制馬達是否作動的依據，尤其是車子需要緩步前進(creep)，例如路邊停車時的前進後退。

## 8.變流器(Inverter)

變流器中會包括兩組變流器橋式電路，一組供馬達使用，一組供發電機使用。

## 6-2 電動機驅動技術

### (1) 驅動馬達種類

使用在電動車輛之驅動馬達有直流型、交流型兩種，交流型馬達又分為交流同步馬達及交流感應馬達等如表所示。其中以永久磁鐵作為轉子磁極之永磁式交流同步馬達(PMSM)因具較高之運轉效率與較小尺寸重量，已廣泛作為電動車輛之驅動馬達，如表 6-1 所示。

因高磁力永久磁石材料(Permanent Magnet)與高效能永磁同步馬達(PMSM)已陸續被提出，且結合先進電力電子驅動技術之直流無刷馬達(Brushless DC Motor, BLDCM)則已逐步取代永磁式直流馬達(PM DC Motor)與交流感應電動機(Induction Motor)於伺服與變頻驅動系統之地位。主因為直流無刷馬達(BLDCM)

具有能量密度高、啟動轉矩高、運轉效率高、控制容易與結構韌性強等優點，且直流無刷馬達(BLDCM)作為電動車輛之驅動馬達於減速或下坡時，馬達可作為發電機提供再生發電能量(Regeneration)回充至蓄電池(Battery)，以減少煞車系統耗損並提供較大之制動(Brake)能力。

表 6-1 電動車輛之驅動馬達

動力用馬達		直流馬達	交流同步馬達	交流感應馬達
重量	馬達	60	57	82
	控制器	15	45	34
最大輸出功率(kW)		22.5	50	55
功率輸出密度(kW/kg)		0.25	0.88	0.67
(馬達+控制器)功率輸出密度(kW/kg)		0.3	0.5	0.48

近年來，因外轉式徑向永磁同步馬達(PMSM)結構與特性極適合作為輪轂馬達核心，優點為適合輪轂結構、轉子慣量較大、轉子極數與定子槽數可較大，結構強健定子繞線容易，故符合輪轂馬達特性需求。且徑向永磁同步馬達(PMSM)作為電動車輛之輪轂馬達於減速或下坡時，馬達可作為發電機提供再生發電能量(Regeneration)回充至蓄電池(Battery)，以減少煞車系統耗損並提供較大之制動(Brake)能力，如表 6-2 所示。

表 6-2 交流同步馬達的主要規格

馬達型別	馬達 I	馬達 II
型號	1CM	MF2
型式	三相交流同步馬達	三相交流同步馬達
額定電壓[V]	288V	144V
最大輸出功率[kW]/(rpm)	30.0/(940~2000)	10.0/(3600)
最大輸出扭力[N-m]/(rpm)	305/(0~940)	49.0/(0~1000)
最大輸出扭力時的耗用電流[A]	351	----
冷卻方式	水冷式	空冷式

## (2) 永磁式 BLDCM 之數學模型

永磁式 BLDCM 之數學模型、氣隙磁通量  $\phi$  與  $V/f$  比值間之關係，推導如圖 6-2 所示，永磁式 BLDCM 藉由同步旋轉座標系來表示之 q-d 軸電壓方程式之展開形式為：

$$v_{qs} = r_s i_{qs} + \omega \lambda_{ds} + p \lambda_{qs} \quad (1)$$

$$v_{ds} = r_s i_{ds} - \omega \lambda_{qs} + p \lambda_{ds} \quad (2)$$

$$v_{0s} = L_{ls} i_{0s} \quad (3)$$

其中

$$\lambda_{qs} = L_q i_{qs} \quad (4)$$

$$\lambda_{ds} = L_d i_{ds} + \lambda'_m \quad (5)$$

$$\lambda_{0s} = L_{ls} i_{0s} \quad (6)$$

$\lambda'_m$  為常數值， $p \lambda'_m = 0$ 。

在三相平衡系統下，零序的量為 0，且  $\lambda'_m$  為常數值， $p\lambda'_m = 0$ 。將(6)-(8)

式代入(3)-(5)式整理後，可得永磁式 BLDCM 之電壓方程式：

$$\begin{bmatrix} v_{ds} \\ v_{qs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_s + pL_d & -\omega L_q \\ \omega L_d & r_s + pL_q \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \omega\lambda'_m \end{bmatrix} \quad (7)$$

永磁式 BLDCM 之轉矩為

$$T_e = \frac{3}{2} \frac{N_p}{2} (\lambda_{ds} i_{qs} - \lambda_{qs} i_{ds}) = \frac{3}{2} \frac{N_p}{2} [(L_d - L_q) i_{qs} i_{ds} + \lambda'_m i_{qs}] \quad (8)$$

$N_p$  為極數。(8)式中之第 2 項目  $\lambda'_m i_{qs}$  是永久磁鐵與 q 軸電流產生的磁場轉矩，第 1 項  $(L_d - L_q) i_{qs} i_{ds}$  是利用轉子凸極性由 d、q 軸磁阻的差產生磁阻轉矩。若轉子為 SPM 非凸極形式則  $L_d = L_q$ ，若轉子為 IPM 凸極形式則  $L_d < L_q$ 。由於此凸極性使電機轉子反作用產生感應係數的差，此時，感應係數大，也可以說成是磁阻轉矩，此轉矩以省能的方式穩定的作動。由(8)式推測可知，假設流過負的  $i_d$  電流，利用磁阻轉矩可獲致高性能化（最大轉矩控制等）。



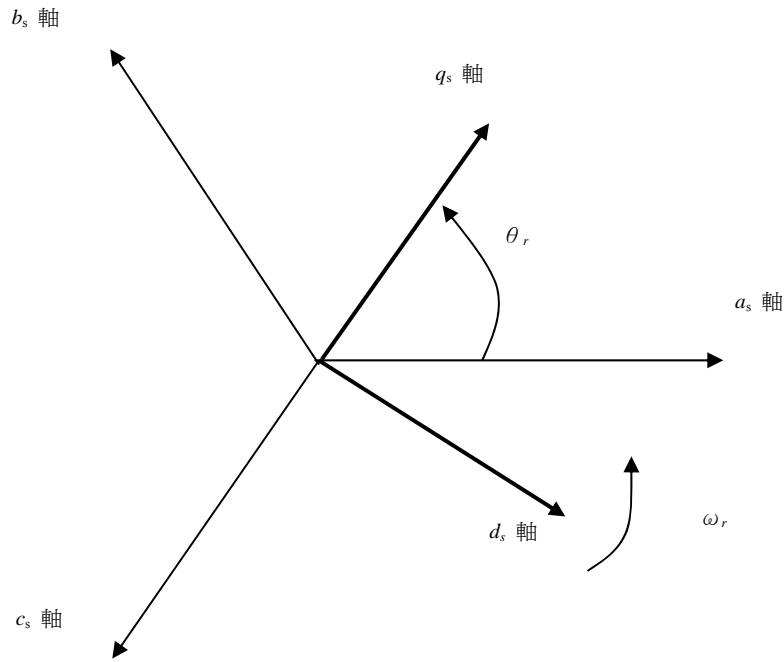


圖 6-2 三相系統與轉子旋轉座標轉換關係

在同步旋轉座標系中，定子磁通量的穩態值為直流量。為考慮定子電壓值  $V$  與定子磁交鏈  $\lambda'_m$  之關係，可由向量控制的角度來推導純量控制模式。假設同步旋轉座標系的直軸  $d$  與定子磁通向量同相位，且定子磁場強度為定值，則

$$\lambda_{ds} = |\bar{\lambda}_s|, \lambda_{qs} = 0, p\lambda_{ds} = 0 \quad (9)$$

將(9)式代入(10)式，可得

$$v_{qs} = r_s i_{qs} + \omega |\bar{\lambda}_{ds}| \quad (10)$$

$$v_{ds} = r_s i_{ds} \quad (11)$$

若將定子電阻壓降忽略，定子電壓值與定子磁場強度的關係可近似為

$$v_{qs} \approx \omega |\bar{\lambda}_{ds}| \quad (12)$$

因此，對一個電壓控制型的變頻器而言，只要維持定子電壓值與頻率之比率，即可驅動永磁式 BLDCM 在設定的轉速下執行定轉矩運轉。

### (3) 電動機(馬達)驅動技術

永磁式同步馬達(PMSM)之驅動技術計有純量、向量及直接轉矩控制等。其中純量控制(Scalar control)是以電壓/頻率比為定值之開迴路控制模式(V/f Control)，為泛用型變頻器所採用的控制技術，其不需要馬達轉速回授，結構簡單。向量控制(Vector control)即為磁場導向控制，此法是將永磁式同步馬達等效成他激式直流馬達，可大幅簡化馬達數學模型，適合運用微處理器(Microprocessor)來控制，此法為今日工業控制的主流。直接轉矩控制(Direct torque control)則為較新式之控制技術，其是根據磁通與轉矩誤差量，直接選擇適量電壓向量使誤差收斂，適用於需要快速轉矩響應之場合。

由於運用 PMSM 於電動車輛驅動時，變頻器(Inverter)旨在控制馬達之轉速(rpm)與扭力(轉矩)(Torque)，故多採用向量控制電流方式，因此變頻器(Inverter)為電流控制型式，並配合脈寬調變(Pulse width modulation, PWM)策略，將可達到馬達變頻、變轉矩控制，充分滿足控制性能的需求。圖為交流伺服馬達基本控制圖，藉由電流感測器與轉子位置感測器(如霍爾元件)來控制馬達電流量及產生之轉矩，如圖 6-3 所示。

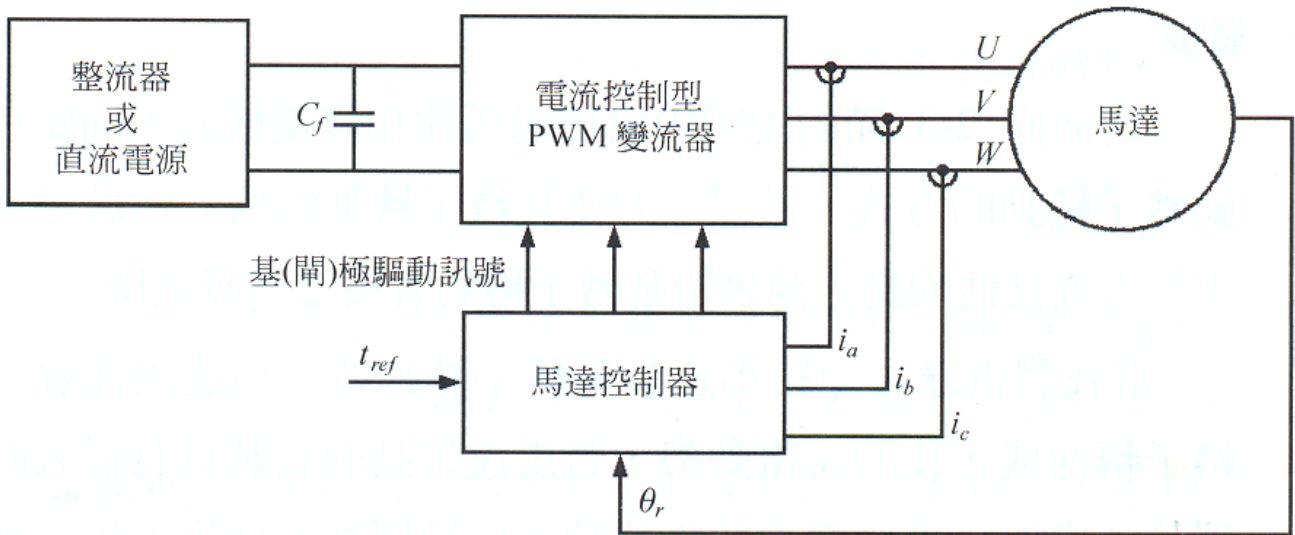


圖 6-3 交流伺服馬達基本控制方塊圖

### 6-3 電池監控

將一組有 100 個電池的電池組分成數個模組，就更容易整合類比電路。不幸的是，採用這種方案要做一個工作，即在接地電位之差超過 300V 時，要獲得測量 IC 送給主控制器的資料。最直接的方案是在每個模組和主控制器之間使用一個數位隔離器（參考文獻 3）。不過，數位隔離器價格偏高，並需要一個隔離電源，這樣電池就不需要為電池側的隔離器提供電源。

LTC6802 整合了一個可菊環連接（daisy-chainable）的 SPI，該方案不需要使用數位隔離器。介面利用了一個事實，即模組 N 的正電源與模組 N+1 地的電壓相同。它使用電流在相鄰模組之間傳輸資料。由於是類比電路，模組化方案意味著資料匯流排必須要承受一部分的電池組總電壓。任何菊環鏈都有一個缺點，即一個模組的失效意味著失去了與所在堆疊中其上所有模組的通信。另外，由於模組之間沒有直流電隔離（galvanic isolation），因此介面必須承受故障情

況下的高電壓。LTC6802 介面以外接的分立二極體來阻隔故障情況下的反向電壓。

### 使監控器更強健(robust)

不論汽車製造商的產品使用那一種的能源，都必須滿足極高的可靠性標準。電池組的裝配和電池組的故障檢測要求都為電池監控系統帶來了莫大的挑戰。電池通過一組線束連接到電池組的監控與均衡電路上。在電池組的裝配期間，線束會以一種隨機的次序與電池接觸。電路需要有保護二極體和保護電阻，以保證能在大電壓、低阻抗電池堆的熱插拔情況下，還可以維持生存。

在正常工作期間，電池監控系統必須不會把壞電池的讀數錯誤解讀成好電池的要求。造成誤讀的兩種常見故障是開路和 IC 失效。如果線束中有開路，以及如果在 ADC 輸入有一個濾波器電容，則電容會將輸入電壓保持在相鄰電池的一個中間點上。某種類型的線束開路檢查或電池電阻測量功能是必要的。一種方法是臨時啟用被動均衡電路。如果電池連接開路，則測得的電壓將為 0V。有一種類似的技術是偶爾用監控電路的直流電流來負載 (loading) 到電池，看看電池電壓讀數是否有變化。LTC6802 可提供針對這種用途的可選直流電流負載，如圖 6-4 所示。

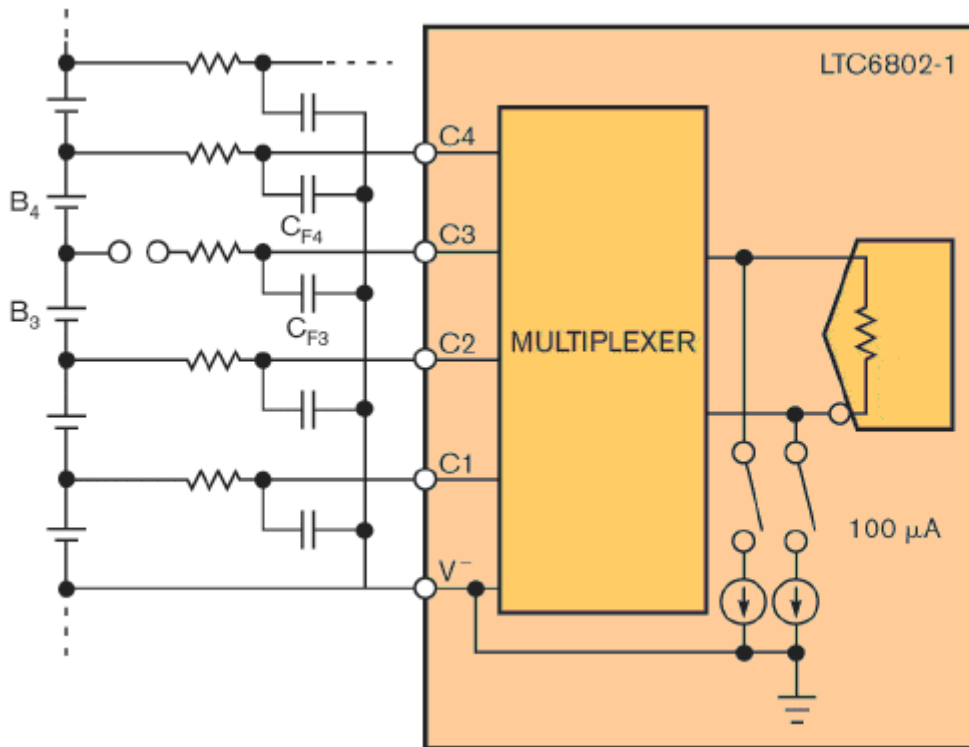


圖 6-4 直流電流負載

電池組另一個常見的考量是 IC 有未檢測出的故障。主控制器必須能在正常工作期間，對所有模組進行診斷。如果這種週期性的自檢失敗，則控制演算法就不可信，必須將電池組斷線。例如，如果 ADC 中的電壓基準改變了數值，則讀數無效。保證電壓測量精度的唯一方式是定期測量第二個獨立的基準。另一個例子是 ADC 數位部分有一個固定型 (stuck-at) 的故障。必須有足夠的支援電路或內建的測試模式，以確保 ADC 在其整個輸入範圍內都能工作。為了限制電池組斷線的可能性，大多數電池監控電路都有強大的自檢，以及冗餘的測量硬體。如果主監控電路無法完成一次定期自檢，則冗餘電路會給使用者設備一次

保持有效的機會，直到技術人員修復問題。冗餘的程度是一項愈來愈受到電池監控系統設計者與車輛供應商重點關注的話題。

可預期的是，鋰離子與鋰聚合物工業電池會在能量密度、功率密度和週期壽命方面不斷地進步，改進汽車的性能。電池管理系統將與 IC 開發同步發展，以更低的系統成本，提供更高的整合度和更高的精度。

## 參考文獻

1. Pascual, C, and P Krein, “Switched Capacitor System for Automatic Series Battery Equalization,” Proceedings of the IEEE Applied Power Electronics Conference, 1997.
2. Robler, Werner, “Boost battery performance with active charge-balancing,” EE Times Asia, July 16-31, 2008, pg 1.
3. Douglass, Jim, “Battery management architectures for HEVs,” Electronic Products, December 2008.
4. Munson, Jon, “Reliable Li-Ion Battery Monitoring System for Hybrid/Electric Vehicles,” Automotive Electronics.
5. 燃料電池電動車之性能分析與動力匹配，汪志豪。
6. 混合動力車的理論與實際，林振江，全華圖書公司，2009年2月。
7. <http://www.zaoche168.com/>造車網。
8. <http://www.artc.org.tw/chinese/>財團法人車輛研究測試中心。