

# 植基於主從架構之多片 燃料電池單電池電壓量測 電路研製

文-林正乾、林易佑、戴亞霖、王頌凱、顏志安

關鍵字：燃料電池、單電池電壓量測、差動放大器

## 摘要

爲了確保燃料電池電壓能夠在正常的工作電壓下工作與各個單片電壓的平均性，因此必須隨時監控電池堆的每一片單片電壓，用來告知現今燃料電池堆的工作狀態與性能。本文開發燃料電池單電壓量測系統以即時量測、顯示、儲存燃料電池的單片電壓，當燃料電池單電壓顯示異常(單一片電壓波動幅度大或電壓過低)時，可讓操作人員即時採取保護的措施，以免損壞整個電池堆或降低電池的性能。本文提出植基於微控制器及差動放大器電路之燃料電池單電壓量測系統方法，並將燃料電池單電池電壓量測系統以1個微控制器，對應至12片電池電壓方式模組化，並配合燃料電池量測上之限制，發展特殊的燃料電池多點單片電壓採集量測探頭裝置及固定方式，包括探頭、整合型端子台以及模組化排線等，最後本文章會呈現長期運轉測試結果。

## 前言

燃料電池是一種非常具有潛力的發電工具，它可以被看作一種具有環保效益的發電機。燃料電池將燃料氫氣透過電化學反應直接轉換成電能，它與一般二次性充電電池不同，燃料電池本身並不具有儲存電力的功用，而是以靠著轉換化學能得到電能的方式來產生電力，所以燃料電池可以省去二次性電池的重覆充電的時間，只要不斷的供應燃料，即可讓燃料電池持續的發電<sup>[1]</sup>。

## (一)量測燃料電池單電壓的重要性

燃料電池單片電壓的操作工作範圍約0.6~0.9V之間，因此在實際運用中會將許多單片電壓串聯而組成一個燃料電池堆。燃料電池在實際的運轉發電中，電池的輸出電壓會隨負載變換波動較大<sup>[2,3]</sup>，例如外部負載的加載、降載都會導致燃料電池的電壓波動。燃料電池的單片電壓類似蓄電池，有所謂的最低的放電電壓，當蓄電池的放電電壓過低，會導致蓄電池停止工作，甚至造成永久損壞。燃料電池也有此相同的限制，除了維持每一片燃料電池電壓在最低的工作電壓以上，亦需維持各個單片電壓的平均性，二者都是很重要的。為了確保燃料電池電壓能夠在正常的工作電壓下工作與各個單片電壓的平均性，因此必須隨時監控電池堆的每一片的單片電壓，用來告知現今燃料電池堆的工作狀態與性能。因此需要開發燃料電池單電壓監測系統以即時量測、顯示、儲存燃料電池的單片電壓，當燃料電池單電壓顯示異常(單一片電壓波動幅度大或電壓過低)時，可讓操作人員即時採取保護的措施，以免損壞整個電池堆或降低電池的性能<sup>[4]</sup>。此監測系統對於維護燃料電池於正常工作上是十分重要的。

## (二)量測多點串聯電壓的困難與過去的做法

在量測燃料電池單電壓時會先遇見探頭很難固定之問題，以往在量測燃料

電池單片電壓，都是使用傳統探針碰觸到燃料電池單片cell的小洞上，藉由探針的導電性來傳遞類比信號電壓。少量探針的量測不會有大問題，但因為施工方面的問題造成探針在平台上伸出的長度無法完全一致，因此大量的探針同時碰觸到同一平面的燃料電池會有一定程度的難度，某些部分的探針會無法完全碰觸到燃料電池本體，造成量測值會不準確，本文即針對此問題提出一可行的設計，並經由實測證明其可用性。

假設解決完探頭或探針之裝置問題，事實上只解決了一半的燃料電池多點單電池電壓量測問題，還必須解決電池串聯數目很多時的問題。以往都是電池串聯多少數目，量測系統就對應多少電壓，但以前並不常見這麼多電池堆疊或串聯而成的系統，也許一個量測電壓微控制系統可以對應十幾二十幾個電壓沒有問題，但假設電池是由上百個堆疊或串聯而成的系統，將無法再照以往的方式去做，並且微控制器在量測每片電壓的間隔縱使極為短暫，但串連數量大時從第一片量到最後一片電壓的時間將會在不同基準點上，所以必須將多點單電池電壓量測系統模組化，一個微控制器只對應十幾個單電池電壓，以本文使用的PIC18F4520晶片為例，最大頻率為40M Hz，一個指令週期約為100n Sec，在量測少量數目的單片電壓上，輪詢時間差幾乎可忽略不計，最後再將幾乎在同個時間點上的單片電壓經由通訊傳輸給中央管理單位或監控端。

多電池串聯在量測單電池電壓時將又會發現共地問題，且串聯數目多時其頭尾電壓降將會非常大，假設如圖1之接法時，AN1量到的電壓為V1，AN2量到的電壓將為V1+V2，AN3量到的電壓又為V1+V2+V3，以此類推，一般微控制器最高耐壓約為5V，不用多少電池，電壓值就會超過微控制器的上限。

測量串聯的電池電壓還有其他方法，使用分壓電阻法是很常見的方法，簡單但有些問題，其中有幾個缺點，首先必須提供開關，以防止從分壓電阻消耗功率在電池沒有使用時。其次，分壓電阻需要非常精確的計算比例如圖2所示，由圖2可知第一顆電池電壓通常不會超過微控制器耐壓，所以AN1=V1，可直接經由類比數位轉換給微控制器，而AN2的值是V1+V2的電壓

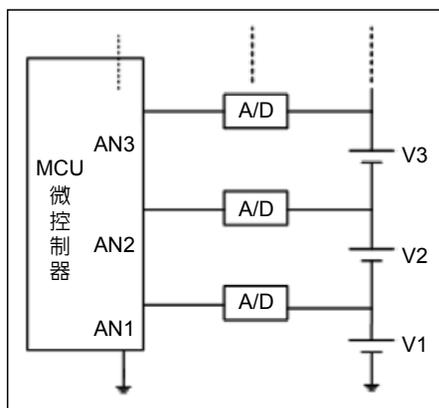


圖1 有共地問題之測量電壓電路

經由分壓電阻分壓，可得 $AN2=(V1+V2)/2$ 的電壓值，所以必須在軟體中將AN2的值乘於2再減掉AN1也是V1的值才是V2的值，以此類推 $AN3=(V1+V2+V3)/3$ ，軟體中就必須將AN3的值減掉V2跟V1的值，所以當串聯電池數量大時，不僅軟體上計算繁複，再來當電阻就算是精密電阻時也有1%的誤差，累加到尾端電壓的誤差可能非常可觀，並且在不同溫度時電阻值也會跟著變動，連帶影響最後的量測準確率<sup>[8,9]</sup>。

基於以上敘述到的種種瓶頸及困難，本文提出植基於微控制器及運算放大器減法器電路之燃料電池單電壓量測系統研製方法<sup>[10,11]</sup>，並將電池單電池電壓量測系統以1個微控制器對應至12片電池電壓方式模組化，並配合燃料電池量測上之限制，發展特殊的燃料電池多點單片電壓採集量測探頭裝置及固定方式，包括探頭、整合型端子台以及模組化排線等，最後會將通訊及人機監控結果以及將長期的運轉測試結果呈現。

## 燃料電池單電池電壓量測系統設計

本文之燃料電池單電池電壓量測系統研究

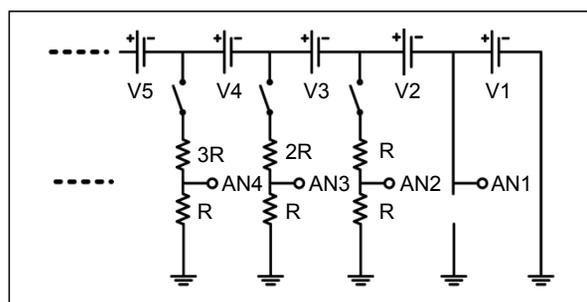


圖2 分壓電阻量測電壓法

方法將分成兩部份，第一部份為燃料電池單片電壓量測探頭及整合端子台，第二部份則是以微控制器及運算放大器減法器為基礎之單片電壓量測電路，兩者必須相輔相成，探頭如果沒有設計得當會使得電壓採集不穩定，或是單片電壓測量電路失準，整個系統將會以失敗收場。本段將探討整個量測的設計及設計上必須注意的重點之研究方法。

### (一)電壓量測探頭設計

量測燃料電池單片電壓必須要有碰觸到燃料電池本體每一片Cell的裝置，才能確實量測到各片的電壓。為了讓每一片單片電壓都能確實地被量測，裝置上接觸到電池本體的探頭不能是堅硬的，因為只要一組抵觸到電池後，其兩旁的探頭可能又會被頂開，因此想出一個辦法就是讓碰觸到電池的探頭是能夠被緩衝的，彈簧就是個很好的緩衝裝置。

本研究使用容易取得的五金材料手工打造一可靠的燃料電池電壓量測探頭平台，平台的示意圖如圖3所示。使用工業界常用的自攻螺絲釘為可調的探頭，將一根根的螺絲釘鑽入木片內，再將做為緩衝用的彈簧套入剛剛鑽出木片的螺絲頭，最後將木片固定在燃料電池的兩側端板上，且必

須確定每一片接觸到燃料電池的量測彈簧是準確碰觸到每一個Cell，否則可能會讓單片電壓短路或是因為接觸電阻太大而讓量測值不準確。使用彈簧碰觸到電池本體的好處是讓每一個量測的探頭都能有自己的緩衝長度，若太短未碰觸到則調整螺絲將其鎖入，鎖到量測電路能接收到電壓值則停止。

### (二)單電池電壓量測系統設計

本文提出之燃料電池單片電壓量測系統在設計上，是以結合微控制器及運算放大器的方式進行，流程上是先以運算放大器做成減法器電路測量兩片燃料電池間的壓降，燃料電池與減法器電路間必須以運算放大器之電壓隨耦器電路做阻抗隔離，避免電池內阻干擾減法器電路之電阻，影響輸出，最後再經由微控制器將類比訊號轉換成數位訊號並經由通訊傳出，圖4為單電壓量測電路運作流程圖。電壓採集依照前段章節設計之探頭，並以12片單片電壓為單位，裝置排線及模組化接頭如圖5架構圖。燃料電池單片電壓經

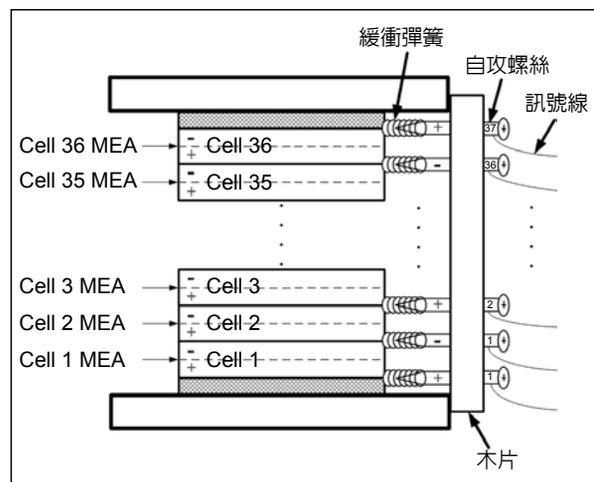


圖3 燃料電池單片電壓量測探頭示意圖

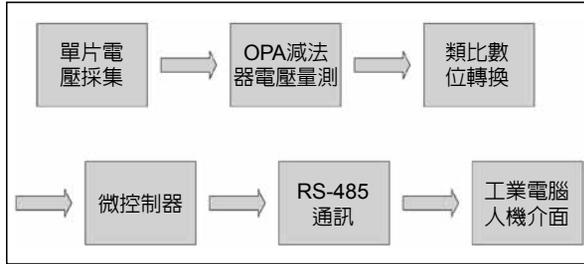


圖4 單電壓量測電路運作流程

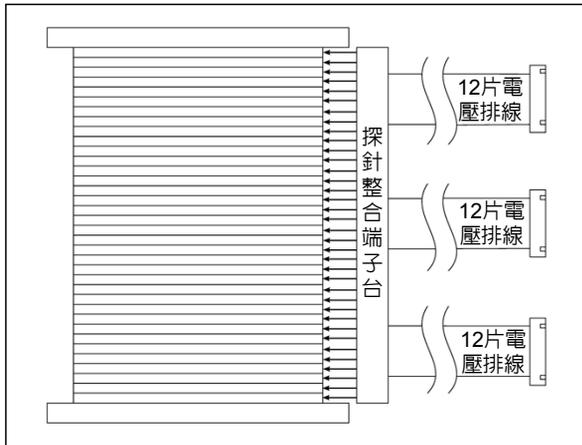


圖5 燃料電池單片電壓採集及排線架構

由排線及模組化接頭，接上單電壓量測系統，其單片電壓量測電路系統架構如圖6所示。軟體撰寫上利用微控制器強大且快速的運算能力，以PIC18F4520<sup>[5]</sup>來說頻率最高可達40M Hz，等於1個指令週期只需要100n Sec，所以每個模組間的每片燃料電池之電壓量測，幾乎是位於同一個時間點上以及基準點上，最後在通訊上設計成使用Modbus協定中的RTU傳送模式以RS-485介面傳送系統採集到的數據給工業電腦做後處理，包括輸出至網路型線上即時人機監控平台，以及做長期運轉測試之數據資料建立等處理。

## 1. 模組化

本文將燃料電池單片電壓量測系統電路設計成一塊模組化電路能對應12片電壓，雖說本文所量測的燃料電池組是只由36片燃料電池堆疊而成，也許由一顆微控制器而成的電路就能勝任對應至36片電壓量測工作，但假設燃料電池組是由上百片堆疊而成，只由一微控制器是無法應付而來，並且考慮測量每片的間隔時間縱使非常短暫，也因燃料電池堆疊片數太多使得頭尾的電壓採集時間點間隔太大，使得在數據判讀上會有很大的誤差，所以在設計上由一顆微控制器對應至12片燃料電池單片電壓，再經由通訊傳輸給工業電腦數據。在燃料電池上的採集電壓裝置也設計成模組化模式，將以每12片燃料電池經由探針整合端子接成對應的排線，並在排線尾端接上模組化接頭，其優勢為架設非常容易，經由模組化接頭，可輕易架設好此系統，也可避免接線錯誤所造成不可挽回的情況發生<sup>[12]</sup>。

## 2. 通訊

通訊是為此系統相當重要的環節，使工業電腦能跟各模組間溝通，通訊介面將不考慮RS-232，其為全雙工串列式通訊，缺點為抗雜訊較弱，只適用於點對

點短程通訊，而選用在業界的工業電子設備上較常見的通訊介面RS-485(圖7)，其為半雙工串列式通訊，可以應用於配置便宜的廣域網和採用單機發送，多機接受通訊連結，它提供高速的資料通訊速率，抗雜訊能力較高，可進行大面積長距離傳輸，其Modbus通訊協定是個有效率率的串列通信協定，利用Modbus協定中的

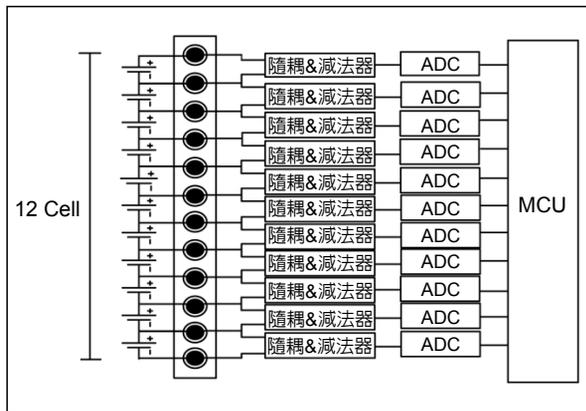


圖6 燃料電池單片電壓量測電路系統架構

RTU傳送模式能有效率地傳輸各燃料電池單片電壓量測系統模組的數據，不論是要任一片燃料電池單片電壓或者是某個區間中的燃料電池各單片電壓都有辦法勝任。

### 3.人機介面

人機介面是以圖形或文字介面的方式來表示監視或控制的狀況和資訊，具有高度的彈性、極高的效率與高度的親和力等特性，使人們能利用人機介面非常清楚地了解一個系統上的狀況，將所有的參數即時的顯示在面板上，設計上必須要每個值都準確地根據微控制器電壓量測電路量測結果而來，當電池上參數發生變化，人機介面也將會跟著改變，並且可直接在面板上直接對控制端做控制和提供一個完善的

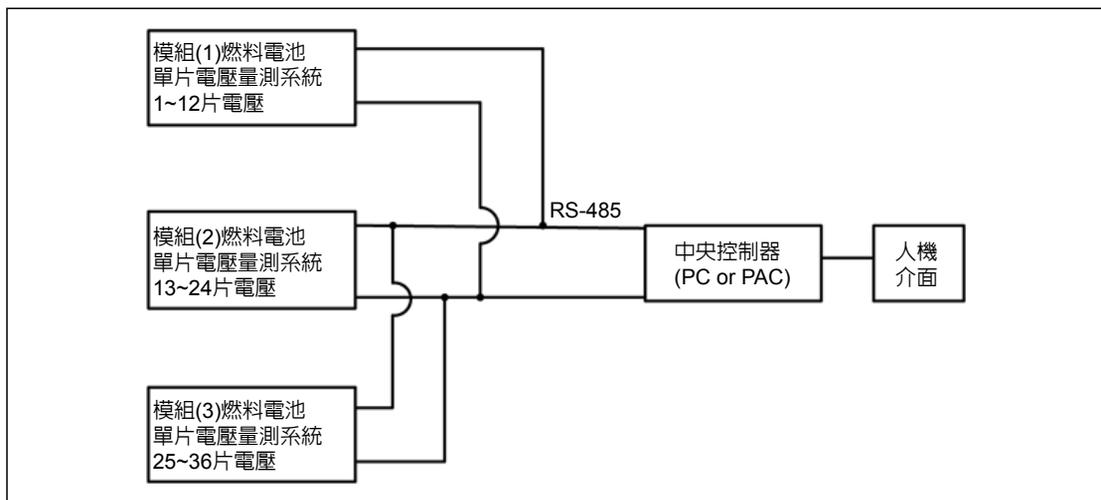


圖7 燃料電池單片電壓量測系統通訊架構

警報功能，並且系統長期運轉及測試其資料傳遞與顯示的過程中必須穩定，沒有信號中斷等錯誤發生。透過RS-485介面通訊與微控制器做雙向溝通，持續且穩定的接收數據於電腦上，以這些數據能建立趨勢圖及資料庫。

#### 4. 微控制器

採用Microchip公司的8位元PIC184520晶片來建立本文中的燃料電池單片電壓量測系統(圖8)，此晶片擁有強大的功能但其價格卻非常的平易近人，其優勢為採用RISC架構的指令集，使不同系列的產品具有高度的相容性可在同樣的開發軟體MPLAB IDE下，利用最佳化的C語言編譯器架構和相容的指令集完成設計開發。其晶片並整合許多常見的標準通訊協定，除了本文中使用的RS-485通訊，還有包括RS232、SPI、I<sup>2</sup>C、USB、CAN等都有支援。並且其內建13組高達10位元精度的類比數位轉

換器，使本系統能夠順利採集到高精度的參數，尤其是其寬廣的溫度操作範圍及其穩定的性能足以能應付在各種惡劣的環境。並且控制器的消耗功率表現也是非常的低<sup>[5]</sup>。

#### 5. 運算放大器之減法器電路

運算放大器(Operational Amplifier)，為一常見的電子元件IC，理想的運算放大器具有無限大的輸入阻抗、趨近於零的輸出阻抗，無限大的開迴路增益、無限大的共模拒斥比以及無限大的頻寬，當將運算放大器接成減法器時需注意抵補電壓的誤差，其誤差值越小越好，否則量測電壓時會有抵補電壓的誤差值。減法器電路(圖9)，其工作原理為正端

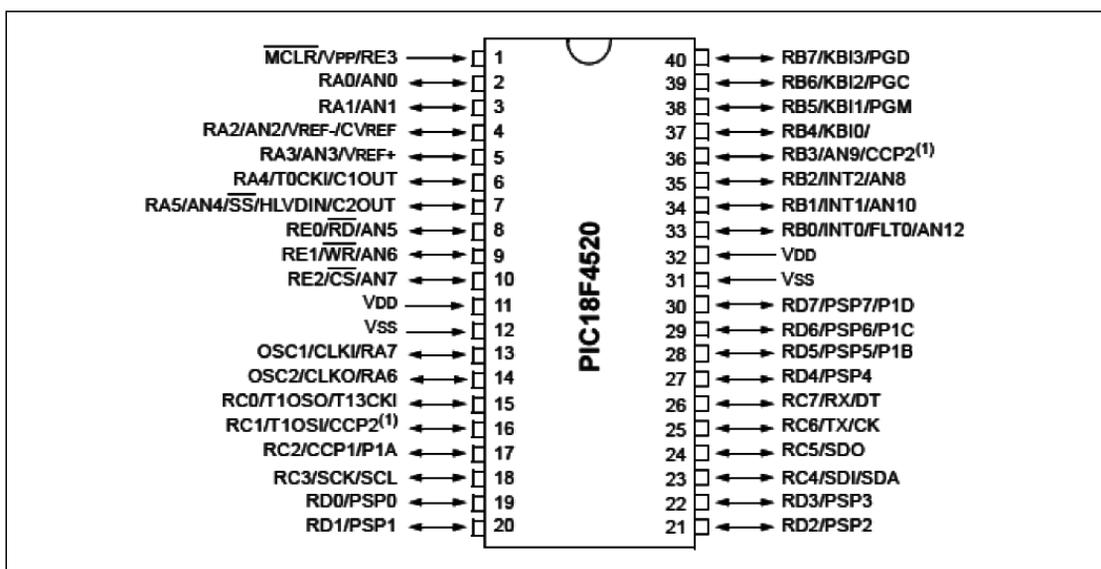


圖8 微控制器引腳圖

電壓 $V_+$ 為 $V_1$ 經過 $R_1$ 及 $R_3$ 的分壓，經過非反向放大後如式(1)，而負端電壓 $V_-$ 為 $V_2$ 經過反向放大後如式(2)， $V_o$ 的值為 $V_+$ 減去 $V_-$ 如式(3)，當 $R_1=R_2=R_3=R_4$ 時， $V_o$ 就等於 $V_1$ 減去 $V_2$ 也就是電池兩端壓差。

$$V_+ = V_1 \times \frac{R_3}{R_1 + R_3} \times \frac{R_2 + R_4}{R_2} \quad (1)$$

$$V_- = V_2 \times \left(-\frac{R_4}{R_2}\right) \quad (2)$$

$$V_o = \left(V_1 \times \frac{R_3}{R_1 + R_3} \times \frac{R_2 + R_4}{R_2}\right) - \left(V_2 \times \frac{R_4}{R_2}\right) = (V_+) - (V_-) \quad (3)$$

## 燃料電池單電池電壓量測系統實現

本章節將介紹如何實現前面章節介紹之特殊設計探頭以及多點單電壓量測基於微控制器及運算放大器之減法器電路系統，在本章節將會詳細談及如何安裝本文特殊設計之探頭以及如何36片燃料電池的電壓量測點探頭安置，接著將介紹單電壓量測基於微控制器及運算放大器之減法器電路系統實現，最後將敘述如何整合多塊模組及系統。

### (一)電壓量測探頭實現

本研究待量測之燃料電池單片電壓的點數共有37個量測點，如圖10所示為探頭佈置

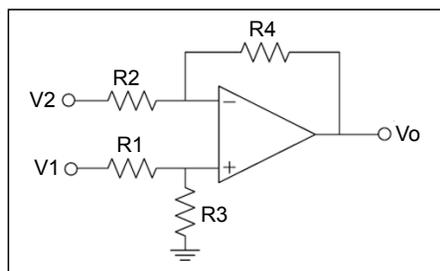


圖9 減法器電路

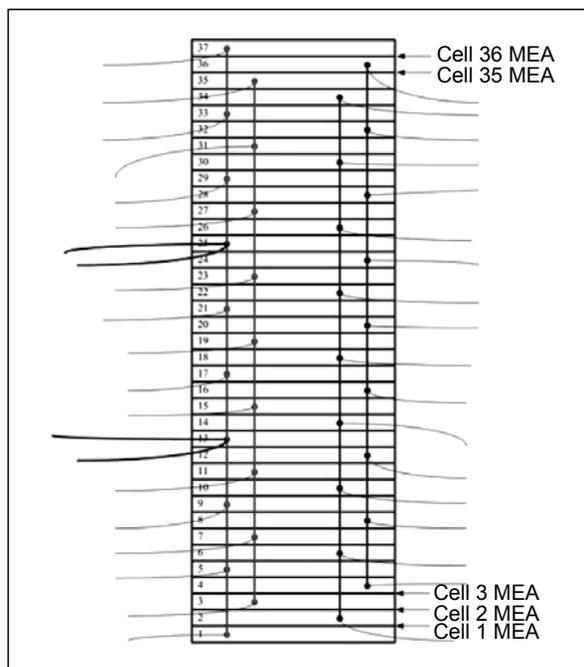


圖10 探頭佈置圖

圖，燃料電池陰陽極中間夾著一片膜電極組(MEA: Membrane Electrode Assembly)，共有36個MEA(36片Cell)，所以量測單片電壓探頭的正端必須接在單一個Cell的陽極側，負端接在陰極側。以量測第一片電壓為例，若欲量測Cell 1的單片電壓，量測第一片電壓的正端的探頭就連接在最下端的第一個紅點，負端的探頭則連接在最下端的第一個黑點，以此類推便可量測到燃料電池的36片單片電壓，量測到36組電壓則拉排線到端子台上，再由端子台上再拉另一組排線到實體單片電壓量測電路上，目的是為了讓實體探頭端及量測電路端分別獨立出來，為將來不同量測的目標依據其需求作準備和設計，圖11為探頭量測實體圖。

## (二)電壓量測電路實現

每個模組電壓來源由單獨的交流110V轉12V中心抽頭變壓器供給，再將交流12V轉直流並穩壓成±5V，變壓器

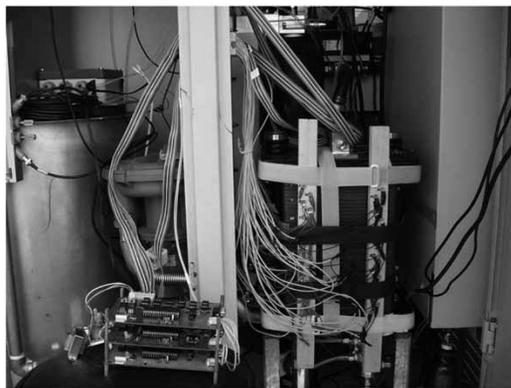


圖11 探頭量測平台實體圖

有電氣隔離的效果使每個模組間不會有干擾，運算放大器我們使用OP07CP<sup>[6]</sup>這顆OPA經測試發現正負電壓供電的精度比單電壓供電的精度要好，雖然使電路比較複雜，但精度可達到小數點第三位，燃料電池單片電壓訊號及減法器間必須以電壓隨耦器做阻抗隔離，避免燃料電池的內阻影響減法器上之電阻而造成測量誤差，電路如圖12、圖13所示。通訊電路使用訊號轉換IC SN75176BP<sup>[7]</sup>這顆通訊晶片將微控制器的通用同步/非同步接收傳輸模組或稱USART<sup>[5]</sup>資料傳輸模組輸出的訊號準位信號轉換為RS-485準位信號，但因RS-485為半雙工串列式通訊，所以利用晶片上的DE致能腳位配合軟體控制傳送資料或讀取資料，當DE=1時為傳送資料，DE=0時為讀取資料，第六腳A接RS-485的D+線，第七腳則接RS-485的D-線。

## (三)系統整合

本文之全部硬體設備有36片燃料電池主體、電壓量測探頭及整合端子台、3個對應至12片電池之單片電壓量測模組以及主控端PAC，PAC上有後端人機介面程式，系統整合架構如圖14所示。首先我們先將探針及整合端子台固定於燃料電池上後，利用排線將3個單片電壓量測模組與燃料電池連接，而PAC主控端與三個單片電壓量測模組則是利用RS-485介面連接，RS-485為一對多之通訊介面架構，PAC為Master，3個單片電壓量測模組為Slave，PAC透過Modbus通

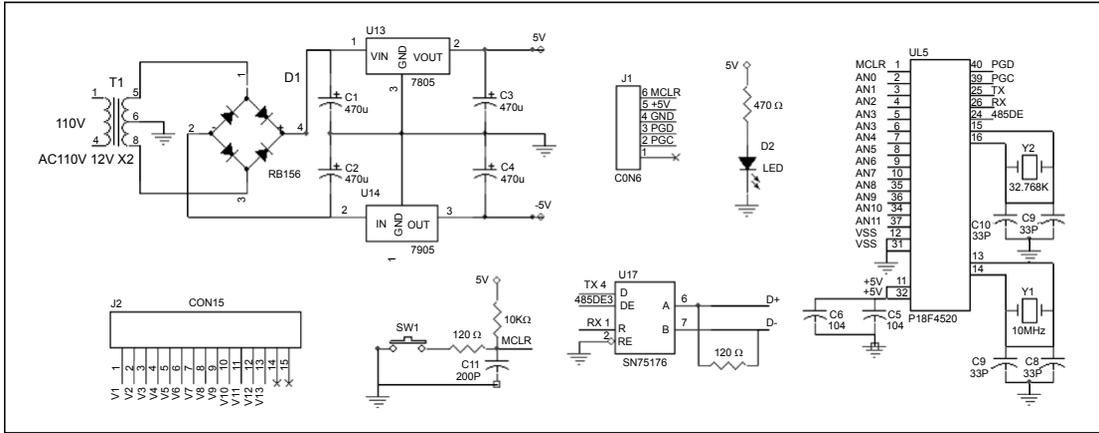


圖12 多點單片電壓量測主要電路

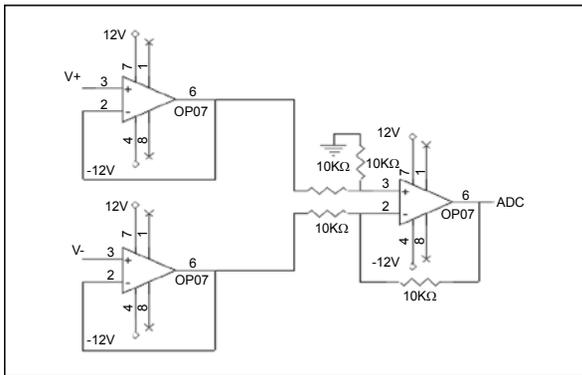


圖13 多點單片電壓量測隨耦器及減法器電路

訊協定發送包括站號的命令給所有模組，3個模組收到PAC發送的命令後將會針對命令中的CRC檢查碼做比對，如果CRC檢查碼比對無誤代表訊號是正常無誤的，反之CRC檢查碼比對錯誤代表此命令是錯誤的，接著會判斷命令中的站號是否與自己的站號相同，如果是的話將回應PAC送出12個單片電壓值，反之將等待下個命令，而此通訊協定還有一優勢為，可同時送出12筆電壓資料，在人機介面上的資料更新動作為一次12筆電壓，並不是一筆一筆資料做更新，而是一個模組同時量12片電壓並同時送出12片電壓資料。PAC上的人機介面將由InduSoft Web Studio的專業圖控軟體撰寫，並且此系統之PAC擁有一組實體IP位置，利用InduSoft Web Studio強大的功能，本文建置了網路型人機介面如圖15所示，並且

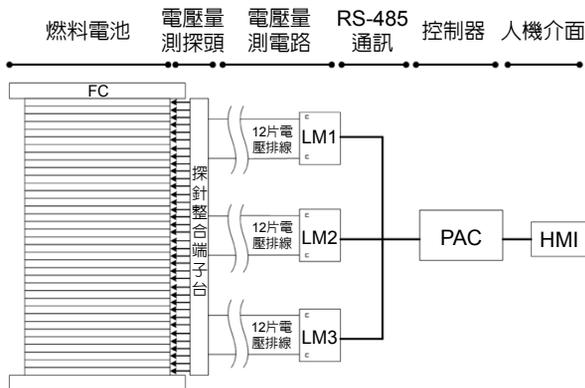


圖14 系統架構示意圖

從網頁上或者PAC之螢幕上的人機介面將會從各模組接收來的數據並轉換成人們能一目了然、快速接受的圖表量化顯現如圖16所示。

## 燃料電池單電池電壓量測實驗結果與討論

### (一)實驗步驟及方法

本燃料電池發電系統中，電池剛啟動時，由市電供應電力於周邊元件以輔助電池啟動運轉，待氫氣供應至燃料電池的陽極入口端時，電池的開路電壓值會由0V上升到31V，而燃料電池電壓大於24V時，電池便開始產出電流，此時電力供應來源即從市電切換至燃料電池本體供應，在供應啟動電力的需求後，燃

料電池的輸出功率達900W以上，電池的電壓會下降約27V，當電池額外加載時，電池的電壓會緩緩下降，待電壓與電流不再隨時間劇烈變動而呈現穩定的狀態時，才可再外加額外負載，加至滿載時電池約降至23V。而反應氣體(氫氣、空氣)通過燃料電池時，每一個單電池的流速都不相同，因此每個單電壓所輸出的電壓也不同，所以在正常操作時必須隨時監測電池堆中每一片電池的電壓，告知電池是否處於正常工作的狀態，一但發現其中任何一片電池電壓低於操作電壓也可以立即採取保護電池的措施<sup>[13,14]</sup>。

### (二)實驗結果分析

本研究量測電壓模組共3組，再從

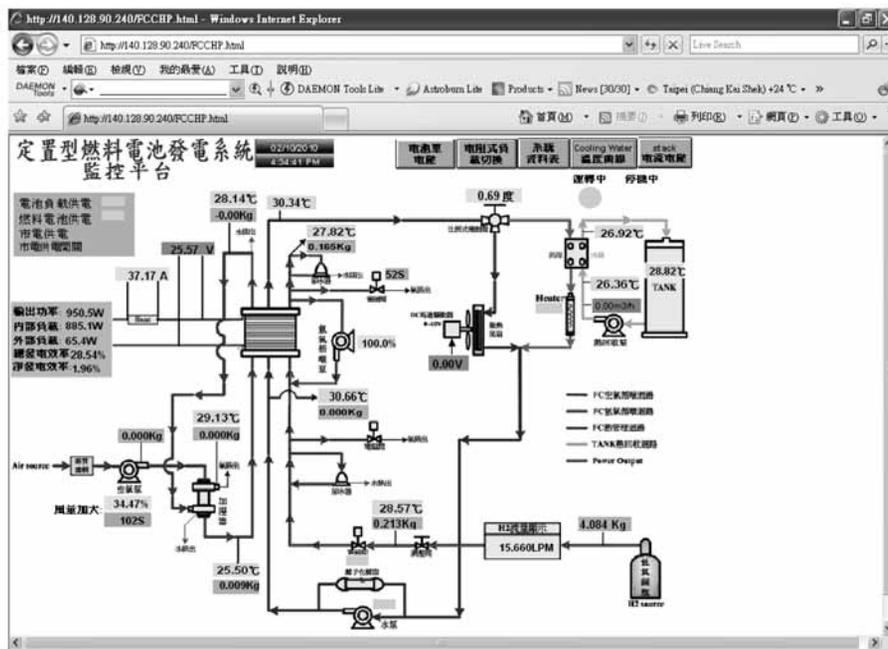


圖15 Web型人機介面實際圖

各個電壓量測模組各挑1組電壓來呈現，分別為第一組第4片電壓、第二組第20片電壓、第三組第33片電壓，量測到的數據會被儲存在PAC主機內的CF卡。數位電表方面使用RS-232轉USB跟電腦做連線，接收到的即時數值會隨著時間被儲存下來。圖17為總負載加載至約1800W(內部負載加上部份外部負載)單片電壓量測比較，實驗結果發現第20片cell的量測，其誤差值 $\Delta V$ 最大約為0.023V，最小值約0.002V。

### (三)系統量測36片電壓

在燃料電池供給負載時，在供給只有內部負載約300W時單片電壓會落在0.8V以上，本研究量測的燃料電池共有

36個cell，圖18紀錄了僅內部負載時第一個模組共12個cell所量測到的單片電壓趨勢圖表。

### 結論

本文之全部硬體設備有36片燃料電池主體、電壓量測探頭及整合端子台、三個對應至12片電池之單片電壓量測模組以及主控端PAC，而PAC上有後端人機介面以供使用者觀察監控電壓，具備以上軟體設備便能開始搭配燃料電池發電系統來量測電池單片電壓。本研究使用植基於微控制器及運算放大器減法器電路之燃料電池單電壓量測系統方法，並將燃料電池單電池電壓量測系統以1個微控制器，對應至12片電池電壓方式模組化，最後量測

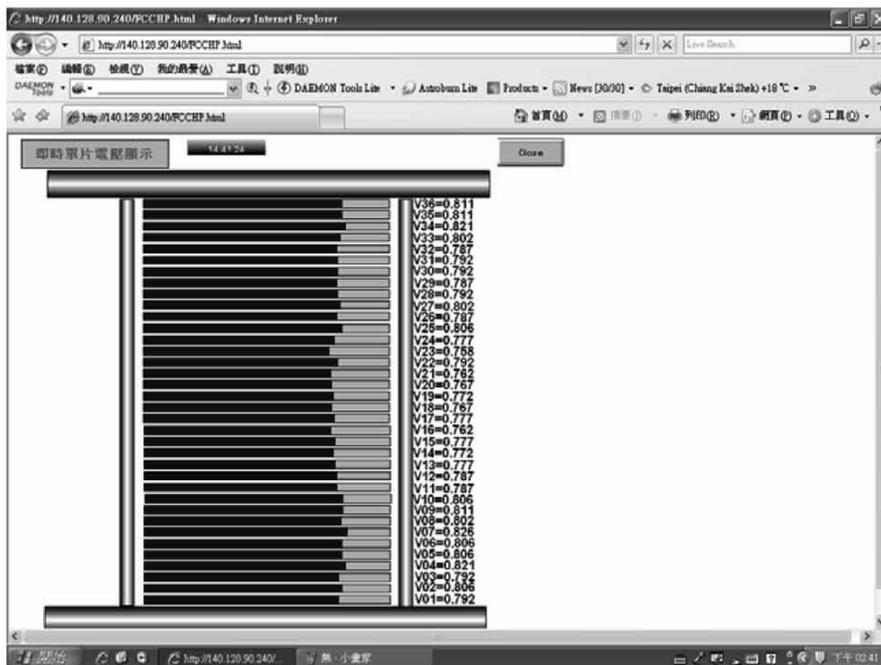


圖16 Web型人機介面即時單片電壓顯示實際圖

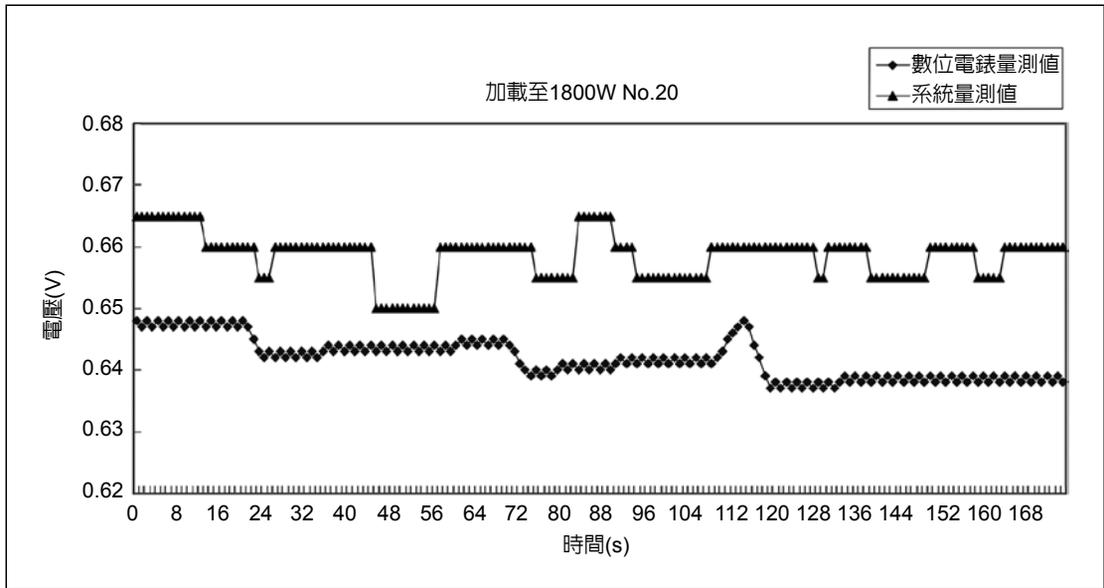


圖17 加載至約1800W時No.20單片電壓比較

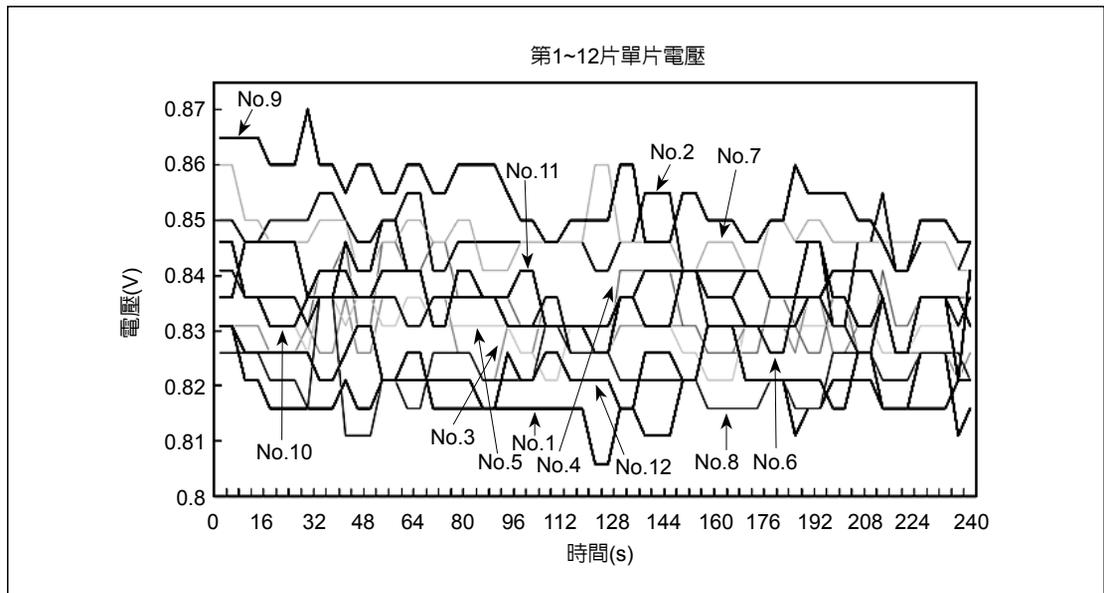


圖18 僅內部負載約300W時第1~12片單片電壓

到的電壓資料透過RS-485通訊傳送至PAC主機，由IWS的專業圖控軟體撰寫並建置了網路型人機介面，從各模組接收來的電壓數據在網頁上或現場端螢幕以圖表量化的方式來呈現，並能即時監控目前系統的運作情況。

本研究完成了燃料電池單片電壓量測系統的研製，系統電壓量測誤差值 $\Delta V$ 約在0~3.8%左右，本系統開發出燃料電池單片電壓量測、即時顯示、歷史資料儲存，當燃料電池單電壓顯示異常，操作人員得以馬上作出適當的保護處理，避免燃料電池損壞整個電池堆或降低電池的性能。❷

## 參考文獻

- [1]EG&G Technical Services, Inc., "Fuel Cell Handbook," U.S. Department of Energy, Seventh Edition, 2004.
- [2]Cheng Wang, Zongqiang Mao, Fuyi Bao, Xiaoguang Li, Xiaofeng Xie, "Development and performance of 5kw proton exchange membrane fuel cell stationary power system," International Journal of Hydrogen Energy, vol. 30, pp.1031-1034, 2005.
- [3]S.J.C. Cleghorn, D.K. Mayfield, D.A. Moore, J.C. Moore, G. Rusch, "A polymer electrolyte fuel cell life test: 3 years of continuous operation," Journal of Power Sources, vol. 158, pp.446-454, 2006.
- [4]Kazim, A., Liu, H. T., Forges, P., "Modelling of Performance of PEM Fuel Cells with Conventional and Interdigitated Flow Field," Journal of Apply Electrochemistry, vol. 29, pp.1409-1416, 1999.
- [5]PIC18F4520 Datasheet, MicroChip Inc.
- [6]OP07CP Datasheet, Texas Instruments Inc.
- [7]SN75176BP Datasheet, Texas Instruments Inc.
- [8]Abhiman Hande, Sukumar Kamalasan, "An electromechanical transfer circuit to measure individual battery voltages in series packs," Journal of Power Sources, vol. 162, pp.719-726, 2006.
- [9]Dale B. Garrett, Thomas A. Stuart, "Transfer circuit for measuring individual battery voltages in series packs," IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems VOL. 36, NO. 3 pp. 933-940, 2000.
- [10]X. Wang, T. Stuart\*, "An Op Amp transfer circuit to measure voltages in battery strings," J. Power Sources, vol. 109, pp. 253-261, 2002.
- [11]Michael Kultgen, "Managing high-voltage lithium-ion batteries in HEVs," Linear Technology Corp, EDN paper, pp.1343-1349, 2009.
- [12]Thomas Stuart and Fang Fang, Xiaopeng Wang, Cyrus Ashtiani, Ahmad Pesaran, "A Modular Battery Management System for HEVs," IEEE Trans, 2002.

- [13]Kazim, A., Liu, H. T., Forges, P., "Modelling of Performance of PEM Fuel Cells with Conventional and Interdigitated Flow Field," Journal of Apply Electrochemistry, vol. 29, pp.1409-1416, 1999.
- [14]Nedjib Djilali , Dongming Lu, "Influence of heat transfer on gas and water transport in fuel cells," Int. J. Therm. Sci., vol. 41, pp.29-40, 2002.

#### 作者簡介

---

---

##### 林正乾先生

現職：國立勤益科技大學電機工程系(所)副教授

學歷：美國賓州州立大學機械工程博士

專長：再生能源工程、氫能與燃料電池、電池管理系統、數值模擬

##### 林易佑先生

現為國立勤益科技大學電機工程系(所)研究生

專長：微控制器應用、電池管理系統

##### 戴亞霖先生

現為國立勤益科技大學電機工程系(所)研究生

專長：燃料電池發電、LabVIEW圖控軟體、硬體裝修

##### 王頌凱先生

現為國立勤益科技大學電機工程系(所)研究生

專長：氫能燃料電池、遠端監控人機介面(HMI)、PAC、PLC

##### 顏志安先生

現為國立勤益科技大學電機工程系(所)研究生

專長：氫能燃料電池、遠端監控人機介面(HMI)、PLC、PAC、VB

---