

不同 PURGE 模式之單晶片進行燃料電池除水與風扇組件控制暨效能探討

The Water Removable and Fan Control and Performance Investigation of the Fuel Cell with a Microcontroller using Different Purge Types

管衍德¹、張靜怡²、翁韻翔¹、古瀚騰¹

Yean-Der Kuan¹, Jing-Yi Chang², Yun-Hsiang Weng¹, and Han-Teng Ku¹

¹ 國立勤益科技大學冷凍空調與能源系

¹ Department of Refrigeration, Air Conditioning and Energy Engineering,
National Chin-Yi University of Technology

E-mail : ydkuan@ncut.edu.tw

E-mail : ssd4424@yahoo.com.tw

E-mail : sunflower1026@hotmail.com

² 和泰興業股份有限公司技服總處檢測中心

² Test Central, Technical & Service Group
HO TAI DEVELOPMENT CO., LTD

E-mail : dio990@gmail.com

NSC-101-2628-E-167-001-MY3

摘要

本文之主要目的為使用可程式模塊系統晶片 (Programmable System On Chip, PSoC) 來製作出燃料電池的控制器，主要控制為燃料電池的操作環境。質子交換膜燃料電池在反應時，其性能與操作條件例如溫度、水管理等，息息相關。為了使燃料電池能夠在適當之操作環境下運轉，本研究首先將探討如何在不同的負載下搭配不同的排水時間，使燃料電池得以最穩定的功率輸出，進而搭配三款以不同模式之控制器，探討燃料電池之其效能及耗氫量。

關鍵字詞：可程式模塊系統晶片、控制器、質子交換膜燃料電池

Abstract

The main objective this paper is to adopt the programmable system on chip (PSoC) to make a fuel cell controller to make the control of operation environment of the fuel cell. During the reaction, the performance of a proton exchange fuel cell (PEMFC) depends on the operation condition such as temperature and water management, In order to make the PEMFC could operate under the proper operation condition, this research will discuss how to make stably power output of the PEMFC with different purge time at different electric load. Then investigate the performance and hydrogen consuming of the PEMFC associated with three types of controllers.

Keywords: Programmable System On Chip, Controller, Proton Exchange Fuel Cell

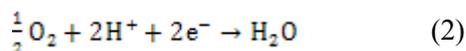
1. 前言

質子交換膜燃料電池(PEMFC)以氫氣為燃料氣體，空氣或純氧為氧化劑。圖 1 為 PEMFC 的工作原理之示意圖。電解質將電池分隔成陰極與陽極兩部分。在陽極中，氫氣在觸媒的催化下而

降低活化能，使其解離成氫離子與電子如式 1 所示：



氫離子通過質子交換膜往陰極移動，而電子則經由外電路對負載做功後移往陰極。陰極半反應則是氧分子、電子以及氫離子在觸媒的催化下發生氧還原反應(oxygen reduction reaction)產生水如式 2 所示：



PEMFC 以質導度佳的固態高分子膜為電解質。PEMFC 內唯一的液體為水，因此，腐蝕的問題較低，然而水管理則是影響燃料電池效率的重要因素之一[1]。

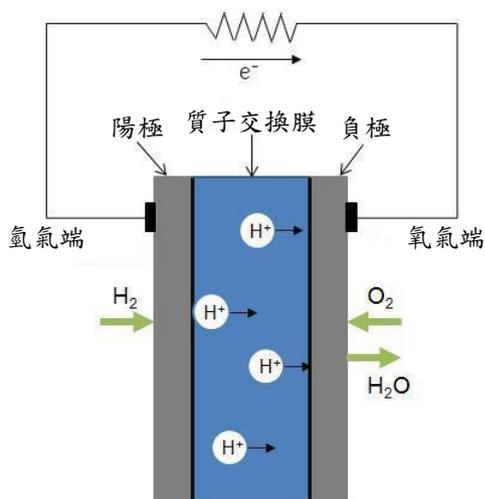


圖 1. PEMFC 工作原理之示意圖[1]

Huang[2]等人提出燃料電池(Fuel Cell, FC)將成為未來的動力之一，因為我們正進入氫能時代，它可以使用在住家、大樓、醫院、工廠等等…，需要高效率，低污染動力的地方。燃料電池在使用過程中可能會遇到的問題，例如負載瞬變、不規則負載；則控制器必須解決這些問題，延長燃料電池的壽命。

本研究所製作的燃料電池控制器所選用的晶片是可程式模塊系統晶片(PSoC)，PSoC 是美國 Cypress 公司的產品，Cypress 公司亦稱 PSoC 為混合信號陣列(Mixed Signal Arrays)系統晶片。PSoC 內部除了具備一般微控制器的功能外，還包含可自行組合的數位及類比模塊 (Block)

陣列，以及可自選腳位進行數位或類比的輸入與輸出[3]。

2. 問題討論與研究方法

2.1 問題與討論

在製作質子交換膜燃料電池的控制器之前，必須先了解，甚麼是影響 PEMFC 性能的主要條件。一般來說影響 PEMFC 性能的原因如：溫度、壓力、氣體流量和負載變化。這其中有著許多複雜的水、熱、氣體管理[4]。Cho[5]等人研究質子交換膜燃料電池動態行為特性，透過分析工作條件和排水機制如何影響瞬態響應。他們的結論是瞬態變化過程中的突波現象是由於氧氣的供應，不均勻的氧分佈，陰極內積水(Flooding)使得性能衰退。

在正常的燃料電池操作期間，燃料電池的陽極側會累積液態水，適時的進行陽極除水有助於提高水和氣體管理，使電池維持在較穩定的狀態[6]。Yong Tang[7]等人探討在五種不同的負載條件：啟動、關機、負載瞬變、定負載、不規則負載的各種情狀下，燃料電池的控制響應，成功製作出一款偵測並控制燃料電池周邊元件的控制器。圖2為除水對燃料電池性能影響。圖上明顯看出在每一次的除水，使燃料電池可以在穩定下輸出。

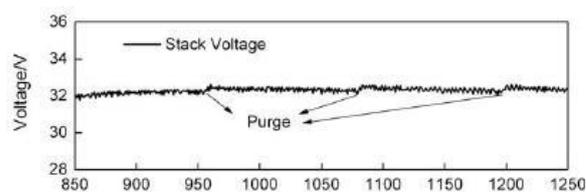


圖 2. 除水對燃料電池性能影響[7]

燃料電池在不同的負載下，所產生的水量也會有所不同；然而，實驗中為基準的燃料電池控制器卻都是以固定除水時間的方式來做控制，在每一次的除水即是供給燃料的排放，在低負載時，供給的燃料過剩，除水便是燃料的浪費；在高負載時，供給的燃料不足就造成燃料電池性能的影響。

2.2 控制系統與策略

了解影響質子交換燃料電池性能的原因與市售燃料電池的缺點後，著手規劃控制器所需要控制的元件，並依據參考文獻[7]從PEMFC的啟動、運轉、關機與負載瞬變所需要的周邊元件。圖3為本研究燃料電池控制系統之規劃圖。

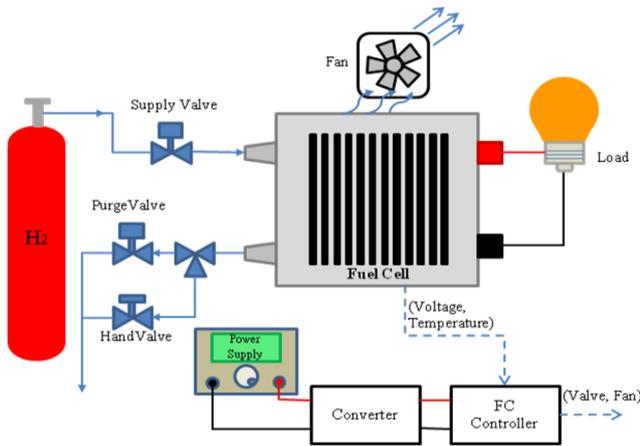


圖3. 燃料電池控制系統之規劃圖

在啟動燃料電池過程中，由圖3所示的燃料供應端，氫氣由氣體鋼瓶經過供氣閥進入燃料電池，再通過三通閥從手動閥排出，待數秒燃料電池順利發電後，再關閉手動閥，氫氣由排氣閥排出。燃料電池控制器的電力來源皆由可程式電源供應器供應，電力經由電源轉換器輸出為5V及12V供給控制晶片、電磁閥及風扇使用。控制器感測燃料電池的電壓與溫度，回饋訊號給所要控制的風扇、電磁閥，使PEMFC正常運作。

PEMFC瀕臨在過高負載運作時，控制器蜂鳴器發出緊報，提醒使用者注意燃料電池的使用狀況。當燃料電池遇到負載瞬變或溫度過高的危險的運轉下，立即關閉供氣閥，停止氫氣供應並切斷負載的電力輸出；並在顯示器上閃爍背光，通知使用者燃料電池停止輸出；避免燃料電池的毀壞並延長使用壽命。如表一所示為各控制元件的策略。

表1.控制元件策略

控制元件	控制條件	35°C ↓	35-50°C	50-65°C	65°C ↑	14.4V ↑	14.4-14V	14V ↓
FAN		40%	70%	100%	100%	40-100%	100%	100%
Buzzer		off	off	on	on	off	on	on
Safety Switch		off	off	off	on	off	off	on
LCD Backlight		off	off	Blinking	off	off	Blinking	off
Supply Valve(NO)		off	off	off	on	off	off	On
Purge Valve(NC)		Normal Purge			Normal Purge			

2.2.1 控制器開發

本研究控制器晶片使用PSoC，開發使用圖形化的設計介面(Graphical User Interface)，藉由圖形化的PSoC Designer設計介面，以及多樣化如PWM、ADC、DAC等各種模組功能，可接觸到多種元件功能。圖4為本研究PSoC Designer開發設計介面。

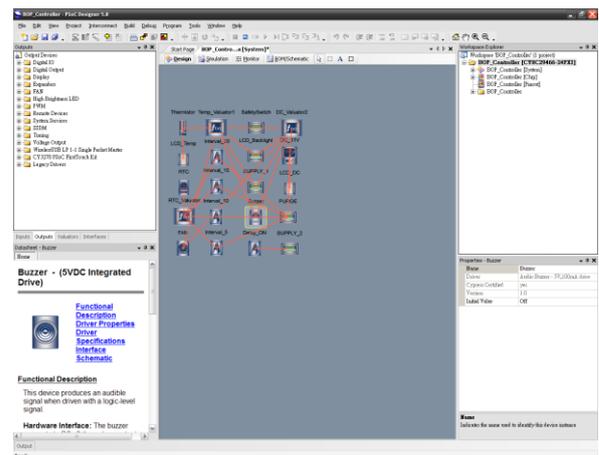


圖4. PSoC Designer開發設計介面

開發完成後的控制器具有監看PEMFC的電壓、溫度功能；並控制燃料電池周圍啟動元件如電磁閥、風扇，可以依程式更改除水時間。燃料電池在危險運轉時，警告使用者燃料電池運作狀況，並且在過負載時的保護機制。圖5為本研究開發控制器之電路圖。依據電路圖所完成的控制器實體圖，如圖6所示。

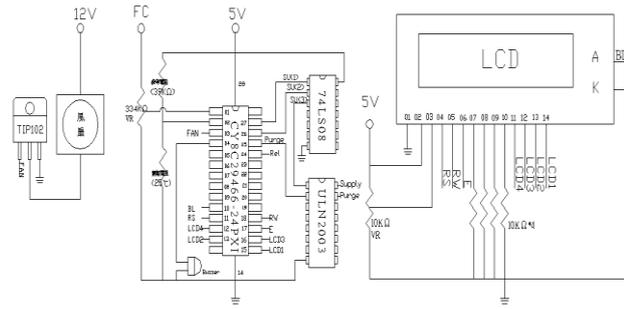


圖 5.燃料電池控制器電路圖

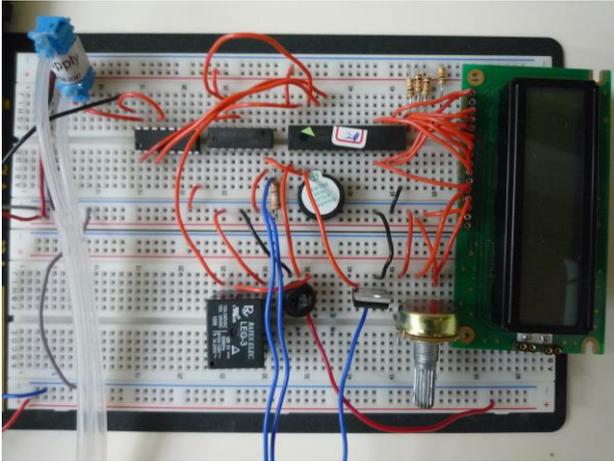


圖 6.燃料電池控制器實體圖

2.3 測試方法與平台

在前述文獻中可得，PEMFC在正常運作時，會漸漸的產生水份，適當的水份可以濕潤膜電極組(Membrane Electrode Assembly, MEA)，有助於 H^+ 的傳遞，提升PEMFC的性能；反之，過多的水份會造成積水現象，導致電極無法順利輸送反應氣體，PEMFC也隨之性能下降。因此，本研究主要測試在不同的除水時間下對PEMFC的性能影響。

本研究測試平台架設如圖7所示，氫氣由氣體鋼瓶經過壓力調節閥以0.45 bar壓力與機台內置的流量精控計以1400 sccm流量送至PEMFC的陽極側(壓力與流量參照PEMFC的使用手冊的標準使用)。100W電池堆為24顆單電池組成，其電壓值範圍13V-23V。電池堆外掛風扇吹空氣至燃料電池的陰極側，完成對燃料電池的燃料供應；

使燃料電池順利發電，再由電腦設定直流負載機給定負載。定負載測試方式主要分為低、中、高三種不同負載；負載分別為19V、17V與15V，並擷取負載資料於電腦。圖8為二種不同PURGE除水時間之電壓訊號，主要比較不同的除水時間每2秒、6秒、10秒、14秒、18秒除水0.43秒的循環動作，並量測PEMFC的性能，找尋相對使燃料電池穩定輸出的除水時間，選取穩定輸出的除水時間(在此稱為動態除水時間)，比較二種不同模式之控制器與基準控制器的極化曲線，主要比較耗氫克數的差異。本研究的流程如圖9所示。

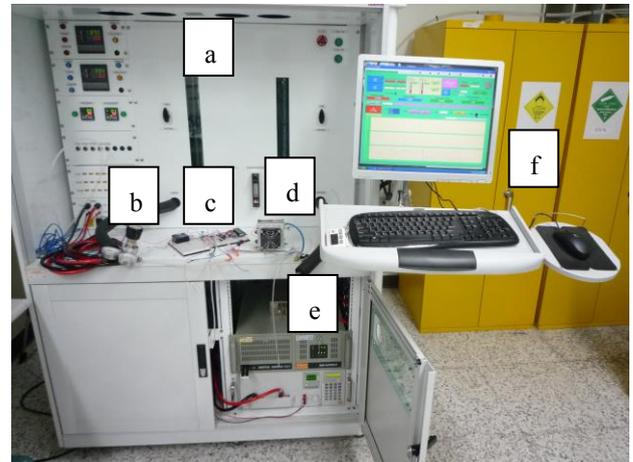


圖 7.燃料電池測試平台架設圖

(a.千瓦 PEMFC 測試設備、b.壓力調節閥、c.燃料電池控制器、d. 100 瓦 PEMFC、e.負載機、f.氣體鋼瓶)

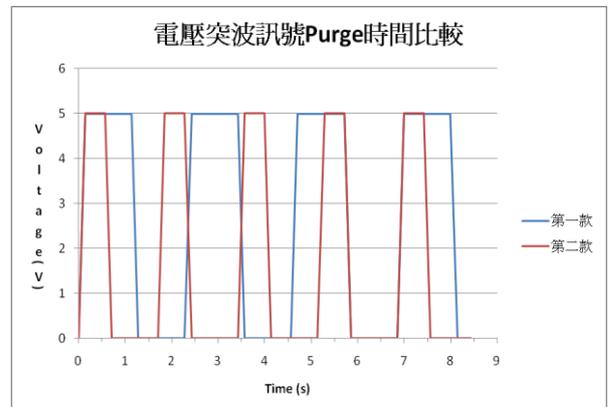


圖 8.二款控制器 PURGE 之電壓訊號比較

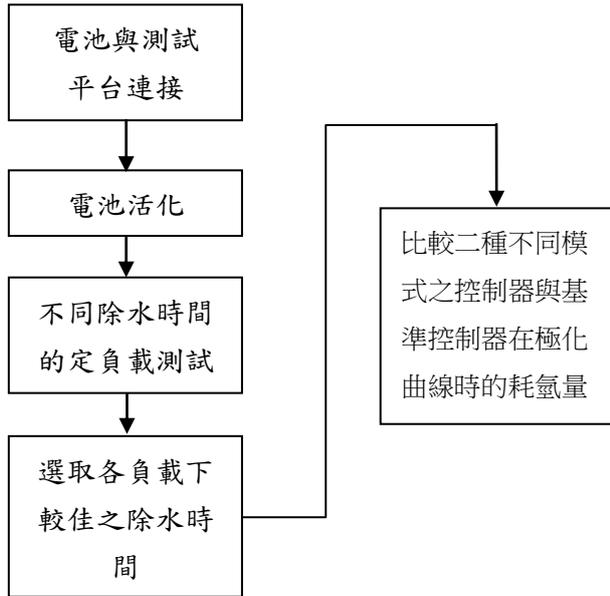


圖 9.燃料電池搭配控制器之研究流程圖

3. 結果與討論

定電壓測試不同除水秒數，每組實驗時間拉載為 15 分鐘，由圖 10、圖 11、圖 12 所示，低負載在定電壓 19V 除水 14 秒、中負載在定電壓 17V 除水 10 秒及高負載 15V 除水 2 秒的情況下，有較高且較穩定之效能。

這些結果符合了在低負載及中負載的狀態下氫氣使用量小，若除水秒數太短，會將未反應完之氣體排出，造成大量的氫氣消耗；而在高負載時，由於在除水 6 秒時出現明顯的積水，使燃料電池性能開始下降，實驗中，為了保護燃料電池功率降至約 85W，則切斷負載，如圖 12 所示，驗證了秒數過長造成之積水對燃料電池的影響，因此將高負載之除水秒數調整為最高到 10 秒，在 2 秒時除水良好，而在 6 秒時有出現積水現象，故在高負載實驗中 2 秒及 6 秒取中間值 4 秒來做一組實驗。由表 2、表 3、表 4 可以看出高、中、低負載其個別除水秒數下的終值功率。

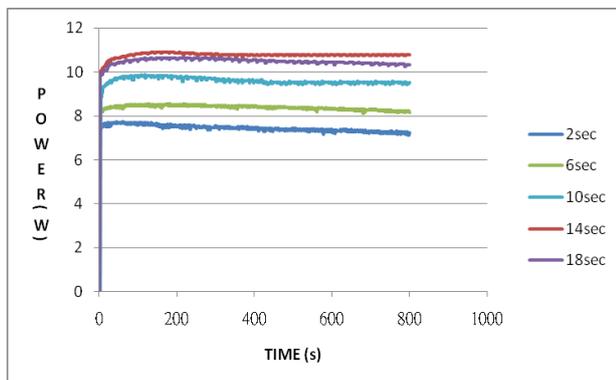


圖 10.定電壓 19V 不同時間除水比較

表2.定電壓19V除水時間與平均功率比較

	2sec	6sec	10sec	14sec	18sec
終值功率(W)	7.23	8.16	9.51	10.79	10.33

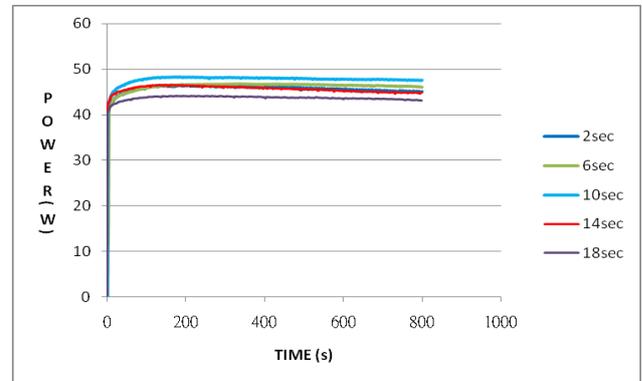


圖 11.定電壓 17V 不同時間除水比較

表3.定電壓17V除水時間與平均功率比較

	2sec	6sec	10sec	14sec	18sec
終值功率(W)	45.05	45.98	47.61	44.89	43.08

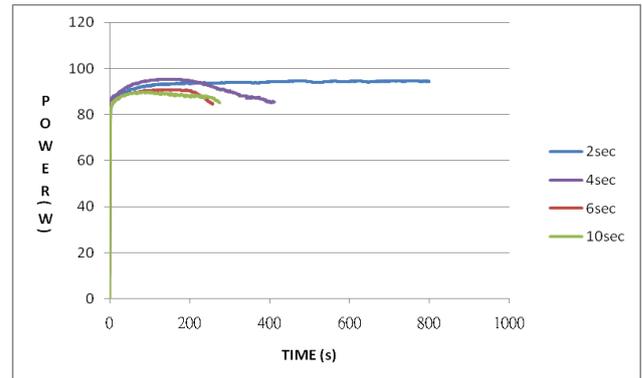


圖 12.定電壓 15V 不同時間除水比較

表4.定電壓15V除水時間與平均功率比較

	2sec	4sec	6sec	10sec
終值功率(W)	94.49	85.29	84.31	85.15

接著比較在極化曲線時，二款控制器之最佳的動態除水時間，本研究設計之第二款控制器所使用的除水秒數為 0.43sec(19V 以上每 14 秒除水 0.43 秒，17V 到 19V 每 10 秒除水 0.43 秒，17V 以下每 2 秒除水 0.43 秒)，先前所研究之第一款控制器除水秒數為 1 秒(19V 以上每 30 秒除水 1 秒，17V 到 19V 每 15 秒除水 1 秒，17V 以下每

10 秒除水 1 秒)，此二款控制器與基準控制器之除水時間做極化曲線後比較個別之耗氫量。在相同的負載條件下，由開路電壓每次下降 1.2V 直至 14.4V 為止，每次下降時間為 2 分鐘，其極化曲線結果如圖 13 所示。

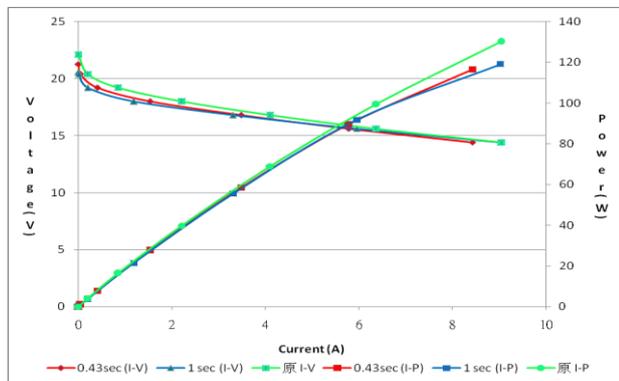


圖 13.三款控制器之 I-V 性能曲線

最後個別測試耗氫量，測試時之燃料來源為儲氫合金罐，其低、中、高負載分別為 10W、45W、90W，每個負載下實驗時間為 15 分鐘，在測試前後量測瓶身重量，比較其前後消耗克數。個別之消耗克數整理成表 5 所示。由圖表中可以得知在相同負載條件下，燃料電池之性能雖不及基準控制器，但二款控制器所做的極化曲線也有不錯的效能，且相較之下，第二款控制器所消耗的氫氣有較佳的使用率。

表5.三種控制器負載15分鐘之耗氫量比較

	第二款 (0.43sec)	第一款 (1sec)	市售
10W 耗氫量 (g)	0.2	0.4	0.4
45W 耗氫量 (g)	0.6	1	0.8
90W 耗氫量 (g)	1.4	2	1.6

4. 結論

本研究成功的改良且製作出第二款燃料電池控制器，控制器具備了在不同負載下，對應不同的除水秒數來達到減少耗氫量的目的。本研究所製作之控制器與其他二款相比較而言，在高負載下，可分別與第一款比較節省下 42.9%及基準

14.3%的耗氫量；在中負載下，分別也節省了 66.67%及 33.34%的耗氫量；而在低負載下，與其他二款的節省耗氫量相比較，更是高達一倍。以整體的耗氫量來看，第二款控制器無論在各個負載下皆有較少的氫氣損耗。

5. 誌謝

本研究為行政院國家科學委員會單位編號 NSC -101-2628-E-167-001-MY3 之計畫，由於國科會的支持，使本計畫得以順利進行，特此致上感謝之意。

6. 參考文獻

- 1.黃鎮江，燃料電池(第三版)，第 15-16 頁，滄海書局，臺灣，2008
- 2.Sy-Ruen Huang, Chiu-Yue Lin, Chueh-Cheng Wu, Shin-Joe Yang, "The application of Fuzzy controller for fuel cell generating studies," international Journal of hydrogen energy, Vol. 33, pp. 5205-5217, 2008.
- 3.施威銘研究室，嵌入式微電腦控制發展系統，旗標出版股份有限公司，臺灣，2011
- 4.M.Y. El-Sharkh, N.S. Sisworahardjo, M. Uzunoglu, O. Onar, M.S. Alam, "Dynamic behavior of PEM fuel cell and microturbine power plants," Journal of Power Sources, Vol. 164, pp. 315-321, 2007.
- 5.Junhyun Cho, Han-Sang Kim, Kyoungdoug Min, "Transient response of a unit proton-exchange membrane fuel cell under various operating conditions," Journal of Power Sources, Vol. 185, pp. 118-128, 2008.
- 6.Lixing Hao, Hongmei Yu, Junbo Hou, Wei Song, Zhigang Shao, Baolian Yi, "Transient behavior of water generation in a proton exchange membrane fuel cell," Journal of Power Sources, Vol. 177, pp. 404-411, 2008.
- 7.Yong Tang, Wei Yuan, Minqiang Pan, Zongtao Li, Guoqing Chen, Yong Li, "Experimental investigation of dynamic performance and transient responses of a kW-class PEM fuel cell stack under various load changes," Applied Energy, Vol. 87, pp. 1410 - 1417, 2010.