

# 燃料電池機車反向動態模擬性能最佳化與硬體迴路模擬設計

黃英傑、張一屏

E-mail: 9419923@mail.dyu.edu.tw

## 摘要

本研究旨在探討燃料電池機車反向動態模擬性能最佳化與硬體迴路模擬設計之整合方法。分別針對燃料電池機車動力系統採用複合式系統與純燃料電池系統。探討在法規行車型態下不同動力系統供應之燃料電池機車之動態響應與性能分析。在燃料電池模擬模組驗證部分則由實驗測試機台所量測之8W單顆燃料電池分別在不同的負載電流及氫、氧燃料入口端不同溫度條件輸入下，來觀察燃料電池輸出電壓變化情形，經由實驗設計最佳化搜尋燃料電池模擬模組內部穩態及暫態參數與機台測試數據。配合硬體迴路技術，建立燃料電池氫、氧入口溫度動態模擬即時控制之環境。設計燃料電池機車氫燃料控制器部分，分別採用模式邏輯與模糊邏輯兩種不同控制法則進行氫燃料控制，使用實驗設計與功效係數法進行最佳化分析模糊控制器內部不同歸屬函數形狀，使氫燃料有最佳之控制輸出，節省氫燃料之消耗。本論文所建構之燃料電池模擬模組經由測試機台之實驗數據驗證，在不同負載電流與氫、氧入口端溫度之條件下，均可有效模擬出暫態燃料電池輸出電壓特性。在複合式動力系統燃料電池機車的氫燃料控制器，透過實驗設計法所設計出之最佳模糊控制器比原模糊控制器在氫燃料的消耗量與燃料電池輸出功上均有較佳的控制性能。在純燃料電池動力系統機車的氫燃料控制器上，經由實驗設計法所設計之最佳模糊控制器比原模糊控制器與模式邏輯控制器在氫燃料的消耗量與燃料電池輸出功上均有較佳的控制性能。本文亦比較複合式動力系統燃料電池機車與純燃料電池動力系統機車動態性能，由系統模擬之結果，建議採用複合式動力系統來搭配，利用小功率燃料電池搭配電瓶之動力系統有較佳的氫燃料消耗量。本研究提供一個系統設計性能最佳化的方案，使工程師在設計燃料電池與燃料電池機車時，能迅速改變控制參數並使之性能最佳，提升設計能力，縮短研發試誤及時辰。

關鍵詞：氫燃料電池機車動態控制、模糊控制器參數最佳化分析、燃料電池入口溫度控制

## 目錄

封面內頁 簽名頁 博碩士論文電子檔案上網授權書	iii	博碩士論文授權書
書	iv	中文摘要
ABSTRACT	vii	誌謝
目錄	x	圖目錄
錄	xx	符號說明
論	1	1.1前言
顧	2	1.2文獻回顧
交換膜燃料電池建模與暫態行為	6	1.2.1氫燃料電池機車之發展
制	11	1.2.2質子交換膜燃料電池車輛動力系統控制
機	17	1.2.3燃料電池車輛動力系統控制
方法	19	1.2.4硬體迴路模擬技術在車輛控制器之發展
建立燃料電池氫入口溫度控制模擬環境，配合硬路技術與軟體模擬程式整合	26	1.3研究動
組建立	26	2.1質子交換膜燃料電池動態模組建立
車反向動態模組建立與模擬技術	39	2.2建立燃料電池氫入口溫度控制模擬環境，配合硬路技術與軟體模擬程式整合
2.3.1 機車動態模組	41	2.2.1 燃料電池氫入口溫度控制模擬模
2.3.2複合式動力分配控制模組	41	2.2.2配合硬體迴路技術與燃料電池氫入口溫度控制模擬整合
組	42	2.3燃料電池機車反向動態模擬結果
2.4建立燃料電池機車氫燃料控制器參數多目標最佳化	48	2.3.1 機車動態模組
章 結果與討論	49	2.3.2複合式動力分配控制模
果	49	2.3.3氫燃料控制器模
組暫態模擬分析	59	2.4建立燃料電池機車氫燃料控制器參數多目標最佳化
3.2燃料電池氫、氧入口端不同溫度之模擬結果與分析	70	3.1質子交換膜燃料電池模擬驗證結
3.3燃料電池氫、氧入口端溫度控制及硬體迴路模擬分析	95	3.1.1燃料電池模擬模組穩態模擬分析
與 分析	95	3.1.2燃料電池模擬模
3.3.2燃料電池氫、氧入口端溫度控制硬體迴路測試分析	98	組暫態模擬分析
3.4 燃料電池機車反向模擬結果	107	3.2燃料電池氫、氧入口端不同溫度之模擬結果與分析
3.4.1 複合式動力系統機車模糊邏輯控制器之最佳化設計與分析	108	3.3燃料電池氫、氧入口端溫度控制及硬體迴路模擬分析
3.4.2 純燃料電池動力系統機車模糊邏輯控制器之最佳化設計與分析	118	與 分析
3.4.3 複合式與純燃料電池動力系統機車動態模擬與性能分析	129	3.3.2燃料電池氫、氧入口端溫度控制硬體迴路測試分析
第四章 結論	132	3.4 燃料電池機車反向模擬結果
論	132	3.4.1 複合式動力系統機車模糊邏輯控制器之最佳化設計與分析
4.2建議事項與未來研究項目	135	3.4.2 純燃料電池動力系統機車模糊邏輯控制器之最佳化設計與分析
		3.4.3 複合式與純燃料電池動力系統機車動態模擬與性能分析

參考文獻

- [1]J.H. Wang et.al., "The Prospects-Fuel Cell Motorcycle in Taiwan," Journal of Power Sources 86, pp.151-157, 1999.
- [2]B.Lin, "Conceptual Design and Modeling of a Fuel Cell Scooter for Urban Asia," Journal of Power Sources 86, pp202-213, 2000.
- [3]C.Tso, and S. Y. Chang, "A Viable Niche-Fuel Cell Scooters in Taiwan," International Journal of Hydrogen Energy 28, pp.757-762, 2003.
- [4]J.M. Correa et.al., "An Analysis of the Dynamic Performance of Proton Exchange Membrane Fuel Cells Using an Electrochemical Model," Industrial Electronics Society, IEEE IECON '01, pp.141-146, 2001.
- [5]J.M. Correa et.al., "Simulation of Fuel-Cell Stacks Using a Computer-Controlled Power Rectifier with the Purposes of Actual High-Power Injection Applications," IEEE Transaction on Industry Applications, pp.1136-1142, 2003.
- [6]J.M. Correa et.al., "An Electrochemical-Based Fuel-Cell Model Suitable for Electrical Engineering Automation Approach," IEEE Transactions on Industrial Electronics, pp 1103-1112, 2004.
- [7]X.A. Xue et.al., "System Level Lumped-Parameter Dynamic Modeling of PEM Fuel Cell," Journal of Power Sources 133, pp.188-204, 2004.
- [8]S.Yerramalla et.al., "Modeling and Simulation of the Dynamic Behavior of a Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell," Journal of Power Sources 124, pp.104-133, 2003.
- [9]W.Friede, "Mathematical Model and Characterization of the Transient Behavior of a PEM Fuel Cell," Power Electronics, IEEE Transactions on, pp.1234-1241, 2004.
- [10]S.Yerramalla et.al., "Dynamic Modeling and Analysis of Polymer Electrolyte Fuel Cell," Power Engineering Society Summer Meeting, IEEE, pp.82-86, 2002.
- [11]M.Y. Sharkh et.al., "A Dynamic Model for A Stand-Along PEM Fuel Cell Power Plant for Residential Applications," Journal of Power Sources 138, pp.199-204, 2004.
- [12]Z.Yangjuna et.al., "A Model Predicting Performance of Proton Exchange Membrane Fuel Cell Stack Thermal Systems," Applied Thermal Engineering 24, pp.501-513, 2004.
- [13]Y.H. Kim and S. S. Kim, "An Electrical Modeling and Fuzzy Logic Control of a Fuel Cell Generation System," IEEE Transactions on Energy Conversion, pp.239-244, 1999.
- [14]J.O. Schumacher et.al. "Control of Miniature Proton Exchange Membrane Fuel Cells Based on Fuzzy Logic," Journal of Power Sources 129, pp.143-151, 2004.
- [15]Y.Gao and M. Ehsani, "Systematic Design of Fuel Cell-Powered Hybrid Vehicle Drive Train," Advanced Powertrain and Engine Technology, SAE, 2001.
- [16]K.S. Kwi and B. S. Oh, " Fuel Economy and Life-Cycle Cost Analysis of a Fuel Cell Hybrid Vehicle," Journal of Power Sources 105, pp.58-65, 2002.
- [17]J.H. Jung et.al., " Power Control Strategy for Fuel Cell Hybrid Electric Vehicles," Fuel Cell power for Transportation, SAE, 2003.
- [18]陳世龍, "混成機車動力系統省能動態規劃與硬體嵌入式即時模擬", 國立清華大學動力機械工程學系碩士論文, 九十二年。
- [19]J.Schaffnit et.al., "Hardware-in-the-Loop Simulation for the Investigation of Truck Diesel Injection Systems," American Control Conference, pp.21-26, 1998.
- [20]S.Alles et.al., "Realtime Hardware-in-the-Loop Vehicle Simulation," Instrumentation and Measurement Technology Conference IEEE, pp.159-164, 1992.
- [21]B.K.Powell et.al., "Hardware-in-the-Loop Vehicle and Powertrain Analysis and Control Design Issues," American Control Conference, pp.21-26, 1998.
- [22]S.Brennan et.al., "The Illinois Roadway Simulator-a hardware-in-the-Loop Testbed for Vehicle Dynamics and Control," American Control Conference, pp.493-497, 1998.
- [23]林昇佃等人, "燃料電池:新世紀能源", 滄海書局, 九十三年。
- [24]L.James, "Fuel Cell Systems Explained," Wiley, 2003.