

太陽能發電系統依序與市電併聯的動態特性分析

廖立智¹、陳盟仁¹、吳有基²、劉國才¹、張簡敏¹

¹ 國立高雄應用科技大學電機工程系

² 國立聯合大學電機系

E-mail: mengjen@cc.kuas.edu.tw

摘 要

本論文主要在探討太陽能發電系統依序與市電併聯的動態特性。該系統主要包括市電、太陽能發電系統、功率調節系統、三相變壓器、感應電動機、以及靜態負載等。研究方法是先推導系統組件的數學模型，接著利用 SimPowerSystems 模組開發並依系統架構連接，最後進行動態特性模擬與分析。研究結果顯示，系統變數的變動情形都合乎規定。本研究最大的價值是可做為太陽能發電系統規劃、運轉、以及系統擴充的重要參考。

關鍵詞：市電併聯、太陽能發電系統、動態特性、MATLAB/Simulink、SimPowerSystems

1. 前 言

由於太陽能具有安靜的能源轉換機制、易維修，無人化自動運作、定效率發電、結構模組化，富量產與易於擴充、擴散光源亦可發電、取之不盡用之不竭、低污染發電、可重複使用、在世界每一個角落皆可安裝，台灣位居亞熱帶地區並且較靠近赤道，日照量非常充足，太陽能之應用具有相當的發展潛力，就以太陽能發展的條件而言，遠比日本與美國大部份地區為佳。因此，對於使用太陽能發電之應用，是非常值得鼓勵的。

太陽能發電的相關研究方面，文獻[1]提出一個新的最大功率追蹤器控制法則，其使用四象限的 PWM 轉換器，藉此獲得良好的最大功率追蹤速度。文獻[2]使用 ANFIS 模型，提出線性相關性分析實驗數據。該研究使用短路電流和開路電壓作為輸入因素，模糊控制器利用 ANFIS 的輸出電壓進行最大功率追蹤因而達到高效率與低漣波。文獻[3]提出一種新型微太陽能系統結構與最大功率追蹤方法。該研究採用 Fibonacci 序列可改善日照度不均的情況。文獻[4]研究零電流轉換器，使太陽能發電系統在傳輸損失上有明顯的降低。文獻[5]開發一種新的高效率 DC/DC 轉換器，應用於實務上相當實惠。文獻[6]提出使用最小階觀測控制方法。根據負載的變化控制太陽能功率得到最小的頻率誤差，進而有效地減少頻率的誤差並且達到最大功率輸出。文獻[7]提出一個使用半橋式整流變頻器加上新的控制電路新的變頻器，進而得到較高的效率以及較低的漣波電壓。文獻[8]利用雙層電容器控制太陽能發電的斜率，使得電容快速吸收太陽光電的漣波，進而改變輸出斜率。

本論文主要在探討太陽能發電系統依序與市電併聯型的動態特性。研究方法是先推導系統組件的數學模型，接著利用 SimPowerSystems 模組開發並依系統架構連接，最後進行動態特性模擬與分析。本研究最大的價值是可做為太陽能發電系統規劃、運轉、以及系統擴充的重要參考。

2. 市電併聯型太陽能發電系統數學模型

2.1 系統架構

圖 1 為市電併聯型太陽能發電系統的架構，此系統的組件包括 22.8kV 的電源系統、兩組太陽能模組、兩套功率調節系統、兩台三相感應電動機、四台三相變壓器、以及集總的靜態負載。

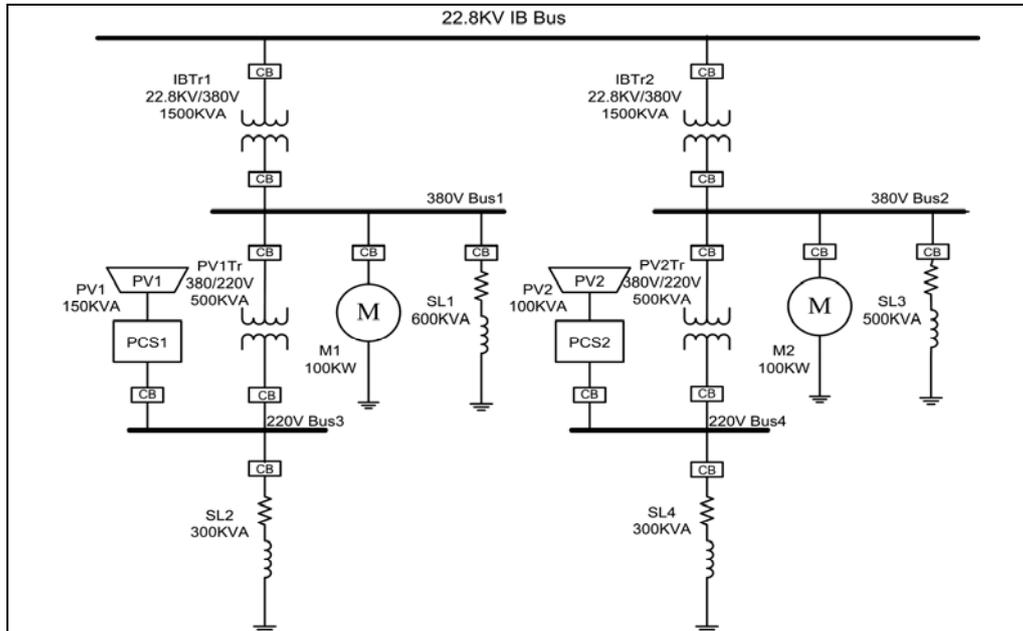


圖 1 市電併聯型太陽能發電系統架構

2.2 基本模組

1. 太陽能模組

太陽能輸出電壓隨著輸入不同的環境溫度及日照強度而改變，其太陽能最大功率也會跟著改變 [9,10]。圖 2(a)為太陽能模組的圖像，輸入端為環境溫度(T_a)、日照強度(E_{tt})、太陽能輸出直流電流，輸出端為太陽能輸出直流電壓。圖 2(b)為內部架構圖，由於目前 SimPowerSystems 尚無太陽能模組，故本研究是以 Simulink 組合而成 [11,12]。

2. 昇壓轉換器模組

太陽能輸出電壓後，先經由昇壓轉換器將電壓提升到某一個等級，其開關導通的責任週期(Duty Cycle)由最大功率追蹤器發出的訊號控制 [13,14]。

圖 3(a)為昇壓轉換器模組的圖像，輸入端為太陽能輸出直流電壓、及最大功率追蹤器控制信號，輸出端為昇壓後的直流電壓。圖 3(b)為模組內部架構。此模組包括了開關元件 IGBT、LC 濾波器、二極體。

3. 最大功率追蹤器模組

當日照強度改變時，太陽能輸出電壓、功率也會跟著改變，這時最大功率追蹤器的功用在於，使系統的輸出功率操作在最大值，不會因為某些模組因為被遮蔽或其他因素，造成系統輸出功率被拖累而驟降 [15-18]。

圖 4(a)為最大功率追蹤器的圖像，輸入端為太陽能輸出功率，輸出端為 PWM 控制訊號。圖 4(b)為模組內部架構。此模組包括了功率取樣器、積分器、PWM 比較器等。

4. 換流器模組

換流器主要作用為將輸入的直流電壓，轉換為 3Ø 60Hz 的交流電壓。圖 5 為換流器模組的圖像與內部結構圖。輸入端為直流電壓、以及閘極信號，輸出端為 A、B、C 三相電壓[19]。

5. 鎖相迴路模組

圖 6(a)為鎖相迴路模組圖像。輸入端為參考系統的三相電壓(Vref)，以及太陽能發電系統的三相電壓 (Vabc)，輸出端為角度誤差信號(sin)，以及控制開關信號(com)。圖 6(b)為鎖相迴路模組內部架構圖包含三相對 dq0 軸轉換器(abc_to_dq0 transformation)、比例積分控制器(PI controller)、以及積分器(Integrator)等模組[20,21]。

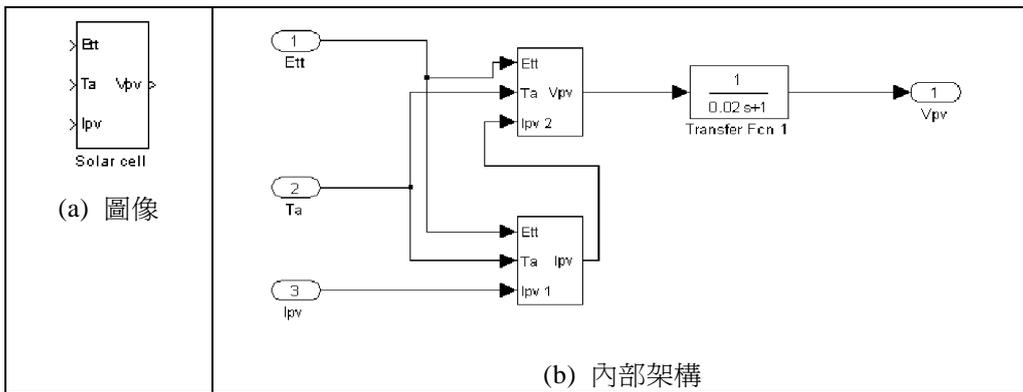


圖 2 太陽能模組圖像與內部架構圖

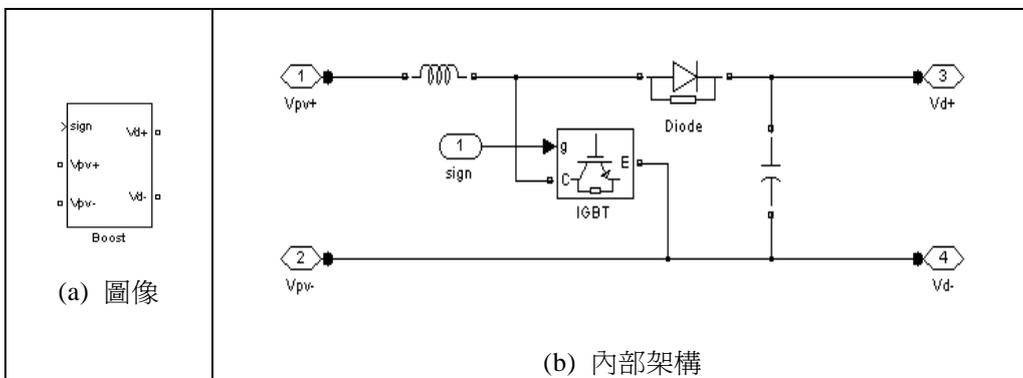


圖 3 昇壓轉換器模組圖像與內部架構圖

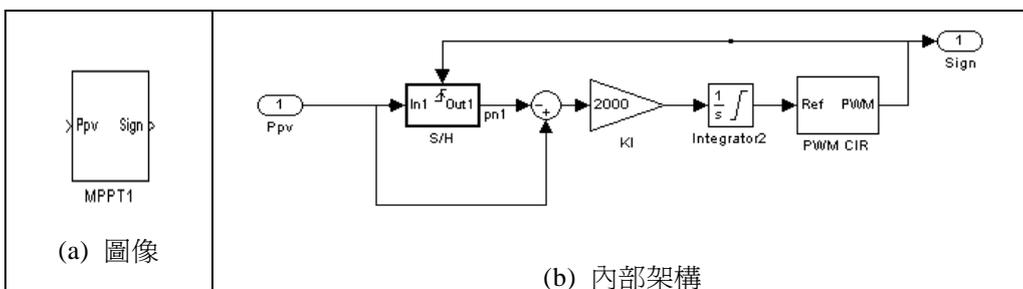


圖 4 最大功率追蹤圖像與內部架構圖

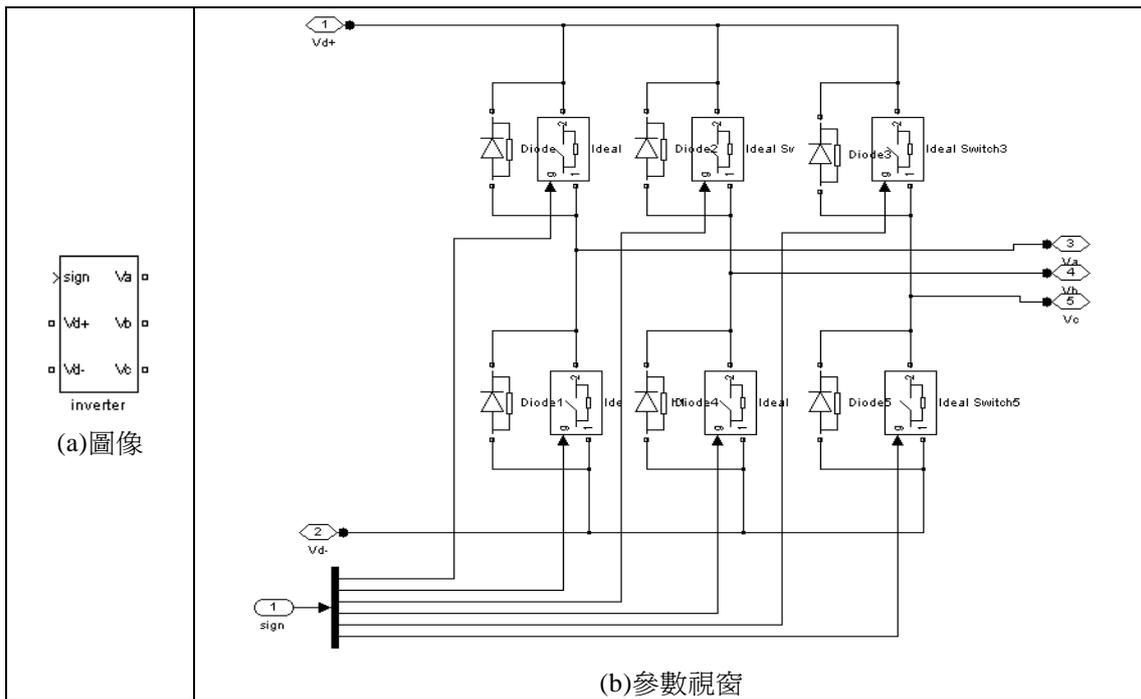


圖 5 換流器模組圖像與內部結構圖

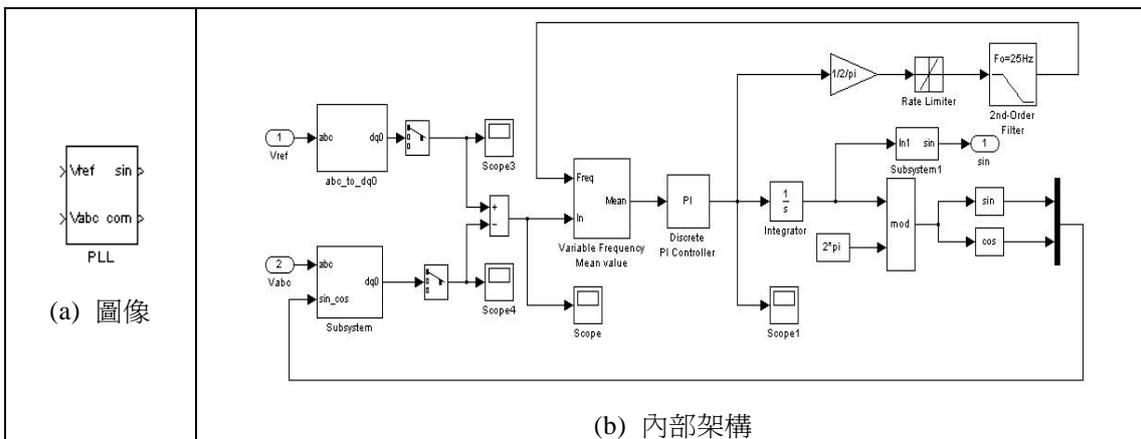


圖 6 鎖相迴路模組圖像與內部架構圖

3. 動態特性模擬

3.2 SimPowerSystems 模組

圖 7 為市電併聯型太陽能發電系統 SimPowerSystems 模組架構圖，主要包括五部分—A 部分為 22.8kV 市電，B 部分太陽能發電系統，C 部份為變壓器，D 部分為靜態負載，E 部分為電動機負載[18,19]。

3.3 模擬順序

圖 8 為模擬的時序圖。由圖中可看出 22.8KV 市電獨立運轉，2 秒時太陽能系統 PV1 投入，接著負載依序投入，12 秒時太陽能系統 PV2 投入，總模擬時間 16 秒。

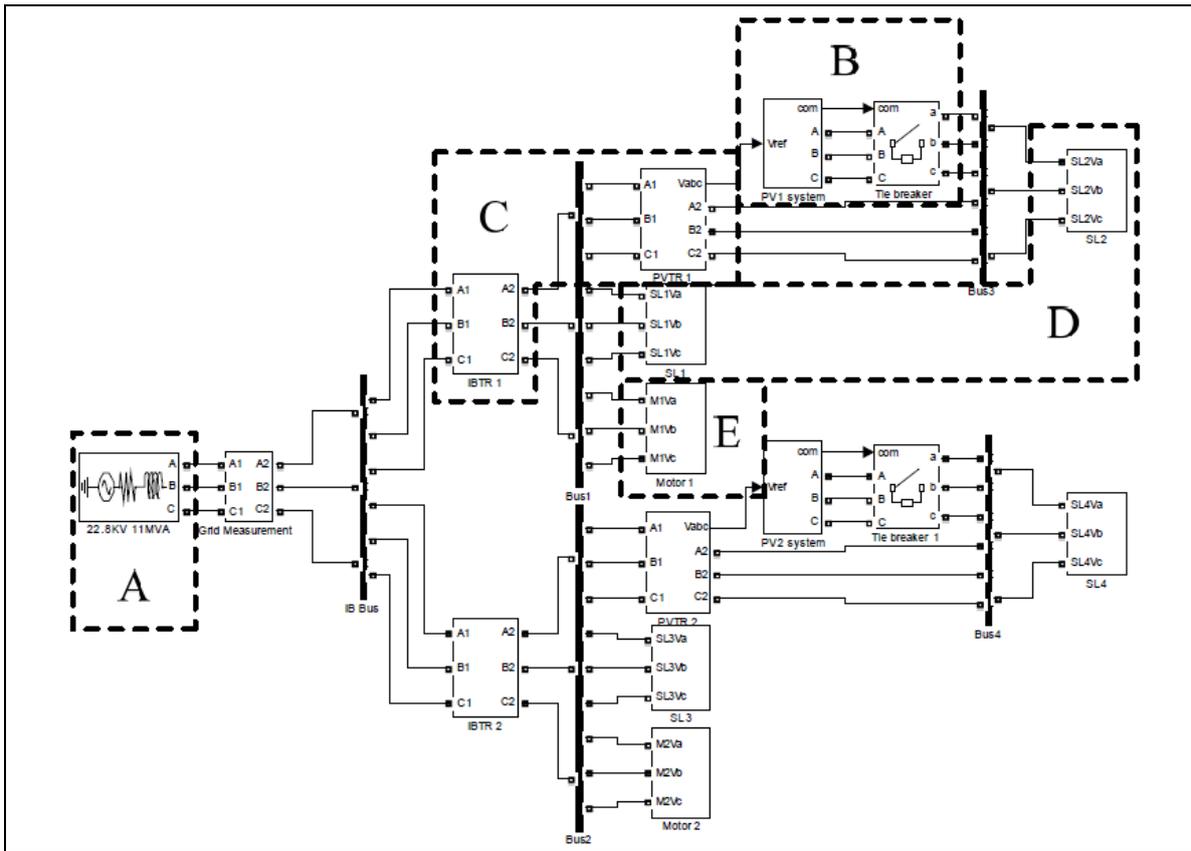


圖 7 SimPowerSystems 模組架構圖

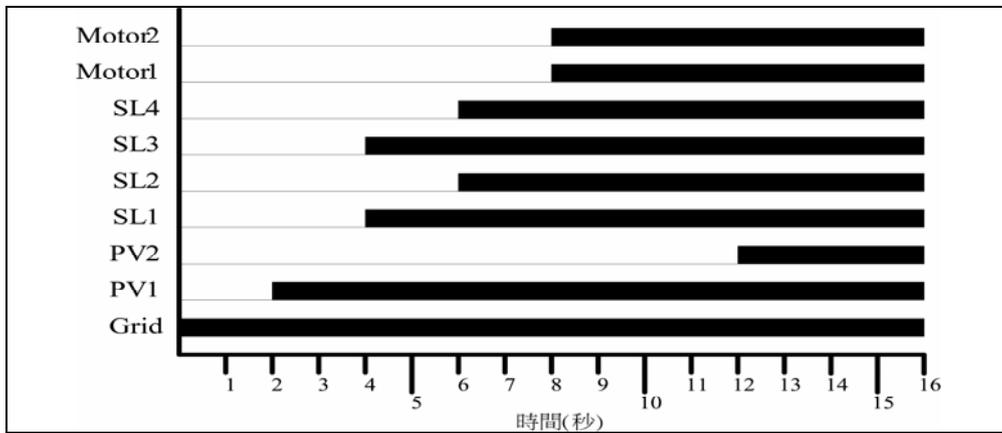


圖 8 模擬時序圖

3.4 模擬結果

圖 9(a)顯示市電輸出的實功率在太陽能系統併聯時會降低，但是因為容量差距很大因此在圖中並不明顯。圖 9(b)示 PV1 輸出功率會受到日照度的影響。圖 9(c)顯示 PCS1 輸出的實功率與 PV1 輸出的實功率相同。圖 9(d)顯示 PVTR1 的電壓受到負載順序投入的影響。圖 9(e)顯示 PVTR1 在負載投入之前有 PV1 提供逆向實功率回送給系統，負載投入後則從系統吸收實功率；圖 9(f)則顯示 PVTR1 的虛功率會隨著負載的投入而增加。圖 9(g)、(h)、(i)顯示 IBTR1 的電壓、實功率、虛功率變動情形與 PVTR1 類似。圖 9(j)~(o)顯示靜態負載 SL1 與 SL2 的實功率、虛功率以及電動機的轉矩、轉速都受到併聯的匯流排電壓的影響。此外，

圖 10(a)顯示日照度變化情形。圖 10(b)示 PV2 輸出功率會受到日照度的影響，但因為 12 秒時才與市電併聯，因此才有功率輸出，使得市電供應的實功率略微減少。圖 10(c)顯示 PCS2 輸出的實功率與 PV2 輸出的實功率相同。圖 10(d)顯示 PVTR2 的電壓受到負載順序投入的影響，PV2 併聯時有明顯暫態發生。圖 10(e)顯示 PVTR2 的實功率在 PV2 併聯後明顯下降，這是因為它供應了實功率；圖 10(f)則顯示 PVTR2 的虛功率會隨著 PV2 併聯而增加，這是因為它吸收了虛功率。圖 10(g)、(h)、(i)顯示 IBTR2 的電壓、實功率、虛功率變動情形與 PVTR2 類似。圖 10(j)~(o)顯示靜態負載 SL3 與 SL4 的實功率、虛功率以及電動機的轉矩、轉速都受到併聯的匯流排電壓的影響。

4. 結 論

本論文主要在探討太陽能發電系統依序與市電併聯型的動態特性。該系統主要包括市電、太陽能發電系統、功率調節系統、三相變壓器、感應電動機、以及靜態負載等。研究方法是先推導系統組件的數學模型，接著利用 SimPowerSystems 模組開發並依系統架構連接，最後進行動態特性模擬與分析。研究結果顯示，系統變數的變動情形都合乎規定。本研究最大的價值是可做為太陽能發電系統規劃、運轉、以及系統擴充的重要參考。

參考文獻

- [1] Sharaf A.M. and Yang L., "A Novel Maximum Power Tracking Controller for a Stand-alone Photovoltaic DC Motor Drive," Canadian Conference on Electrical Engineering and Computer Engineering, May 2006, pp.450-453
- [2] Aldobhani M.S. and John R., "Maximum Power Point Tracking of PV System Using ANFIS Prediction and Fuzzy Logic Tracking," International MultiConference of Engineers and Computer Scientists, Vol. II, March 2008, pp978-988
- [3] Wu X., Cheng Z., and Wei X., "Maximum Power Point Tracking of Micro PV Systems under Non-uniform Insolation," International Conference on Energy and Environment Technology, Vol.2, Oct. 2009, pp164-167
- [4] Bellini and S. Bifaretti, "A Quasi-resonant ZCS Boost DC-DC Converter for Photovoltaic Applications," IEEE International Symposium on Industrial Electronics, June 2007, pp.815-820
- [5] Lee J.P., Min B.D., Kim T.J., Yoo D.W., and Lee B.K., "A Novel Topology for Photovoltaic Series Connected DC/DC Converter with high Efficiency Under wide load Range," European Conference on Power Electronics and Applications, Sept. 2007, pp.1-6
- [6] Senjyu T., Datta M., Yona A., and Kim C.H., "A Control Method for Small Utility Connected Large PV System to Reduce Frequency Deviation Using a Minimal-Order Observer," IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 24, No. 2, pp.520-528, 2009
- [7] Hudson R.M., Behnke M.R., West R., Gonzalez S., and Ginn J., "Design Considerations for Three-phase grid Connected Photovoltaic Inverters," IEEE Photovoltaic Specialists Conference, May 2002, pp.1396-1401
- [8] Kakimoto N., Satoh H., Takayama S., and Nakamura K., "Ramp-Rate Control of Photovoltaic Generator With Electric Double-Layer Capacitor," IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 24, No.2, pp465-473, 2009
- [9] 邱健琮，整合再生能源獨立發電系統之研究，國立勤益科技大學資訊與電能科技研究所，碩士論文，2007
- [10] Gow J. A. and Manning C. D., "Development of a Photovoltaic Array Model for Use in Power-electronics Simulation Studies," IEE Proc. On Electric Power Application, Vol.146, No.2, pp.193-200, March 1999
- [11] Using Simulink, The Mathworks Inc., 2005
- [12] SimPowerSystems User's Guide, Hydro-Quebec TransEnergie International, 2005
- [13] Lai J.-S., "A High-Performance V6 Converter for Fuel Cell Power Conditioning System," IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, Sept 2005, pp.624-630
- [14] 梁適安，交換式電源供給器之理論與實務設計，全華科技圖書，2004
- [15] Eram T. and Chapman P. L., "Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques", IEEE Transactions on Energy Conversion., Vol.22, No.2, June 2007, pp.439-449
- [16] Yongji H. and Deheng L., "A new Method for Optimal Output of a Solar cell Array," IEEE Proceedings of the Industrial Electronics International Symposium, Vol.1, May 1992, pp.456-459
- [17] Hua C. and Lin J. R., "DSP-based Controller Application in Battery Storage of Photovoltaic System," IEEE 22nd International Conference on Industrial Electronics and Control Instrument, 1996, pp.1705-1710
- [18] 楊嘉亨，新型太陽能最大功率追蹤技術之研究，國立高雄應用科技大學電機工程研究所，碩士論文，2007
- [19] Bimal K. Bose, Modern Power Electronics and AC Drives, Prentice-Hall, 2002
- [20] "IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power System," IEEE Std 1547, 2003
- [21] Kaura V. and Blasko V., "Operation of a Phase Locked Loop System Under Distorted Utility Conditions," IEEE Transactions on Industry Applications, Jan.-Feb., 1997, pp.58-63

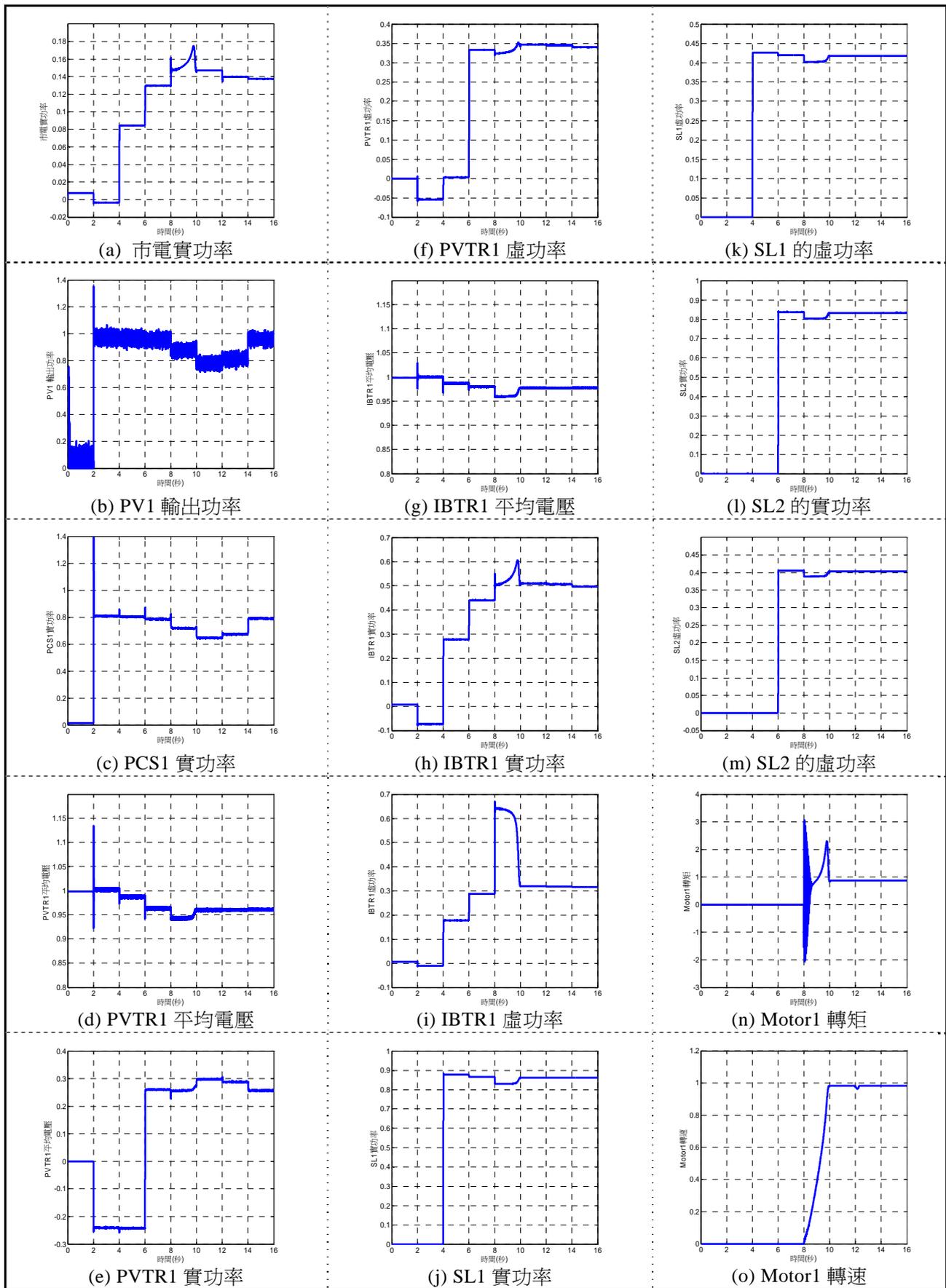


圖 9 系統一變數變動情形

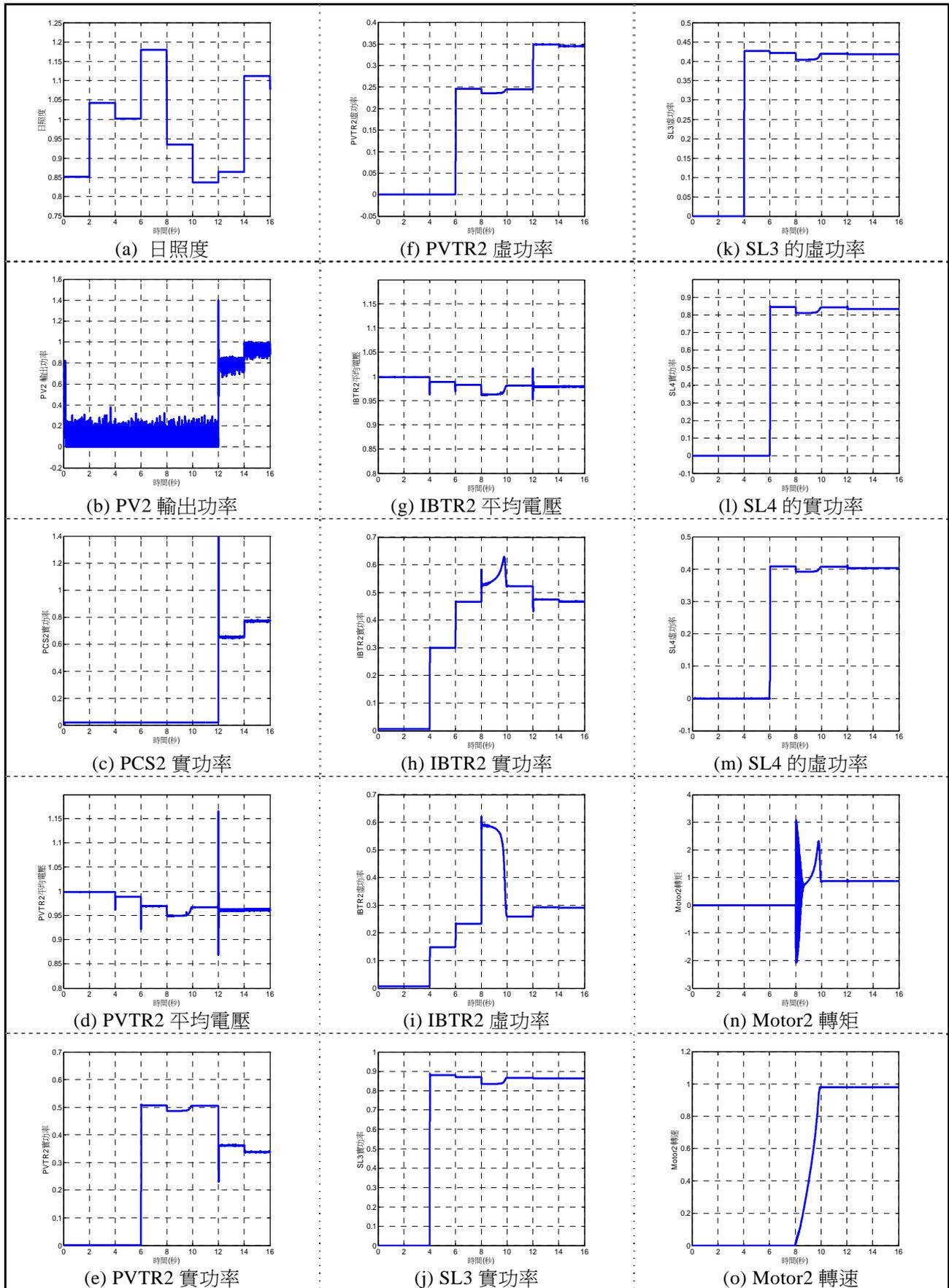


圖 10 系統二變數變動情形