

自主彈性的多重微電網協調分散控制

本篇文章由國立臺灣科技大學電機系連國龍教授提供

電力系統可視為人類有史以來所打造最龐大且最複雜的系統。我們僅以台電配電系統為例，其饋線數超過8,500條，饋線長度超過32萬公里，足夠繞地球八次，配電變壓器超過120萬台，用戶數高達1,200萬戶[1]。面對如此複雜的系統，僅使用「經驗法則」去做系統考量是絕對不足夠的，因此，電力工程師需要藉由電腦模擬的方式來驗證系統的規劃設計、評估運轉控制策略、解析故障原因及分析安裝新的電力元件可能對系統造成的衝擊等，進而詳細擬定解決或預防的策略。在模擬方法中，可以分為離線模擬(Offline simulation)與即時模擬(Real-Time simulation)。離線模擬透過安裝在個人電腦(PC)上的模擬軟體進行電力系統的模擬，其模擬所需的計算時間不設限，通常其運算時間比實際事件長得許多。而即時模擬則要求其每一時間步階(time-step)所運算的時間與步階所設定的時間一致。例如，若時間步階設定為 $10\mu\text{s}$ ，則模擬時每一時間步階所需之計算時間就一定要在 $10\mu\text{s}$ 內完成。由於其「即時」的優點，即時模擬器可以與真實的硬體相互作用。因此，即時模擬不僅僅如離線模擬一樣模擬出事件發生時所產生的現象，還可以模擬系統的運轉情形。例如，實際控制器可能因通訊及傳輸上的延遲而影響系統的協調及穩定度，皆可由即時模擬一窺究竟。

即時模擬又可細分為硬體迴路模擬(Hardware-in-the-loop, HIL)及功率硬體迴路模擬(Power-Hardware-in-the-Loop, PHIL)[2]。兩者之架構圖如圖1所示。圖1(a)顯示HIL是由即時模擬器模擬受控元件或系統，而實體控制器為待測物。即時模擬器與待測物之間的溝通由數位/類比(D/A)及類比/數位(A/D)轉換器實現。圖1(b)則顯示PHIL的待測物為一電力硬體設備，而即時模擬器則模擬整體系統的剩餘部分。兩者之間的交互作用是藉由功率放大器及感測器來實現的。各國目前大力推

動智慧電網及以再生能源為主的分散式發電機組，這也使得PHIL於近年來備受關注。許多智慧電力元件如智慧變頻器(smart inverter)、智慧變壓器(smart transformer)、智慧電池(smart battery)及太陽能或風力機組皆可藉由PHIL模擬分析其併網後可能對系統的影響及衝擊。

圖2為一功率硬體迴路模擬之簡單例子，我們使用一太陽能發電系統直接連接至一簡易直流電網。運作方式為透過感測器回授太陽能系統之電壓進入即時模擬器，接著透過即時模擬器的計算得到電網的電流訊號，並將此訊號傳送給功率放大器，最後由功率放大器產生此訊號之實際電流給太陽能系統。圖3為此功率硬體迴路模擬之實拍圖，圖中分別標示了功率硬體迴路模擬中各個不同之設備。

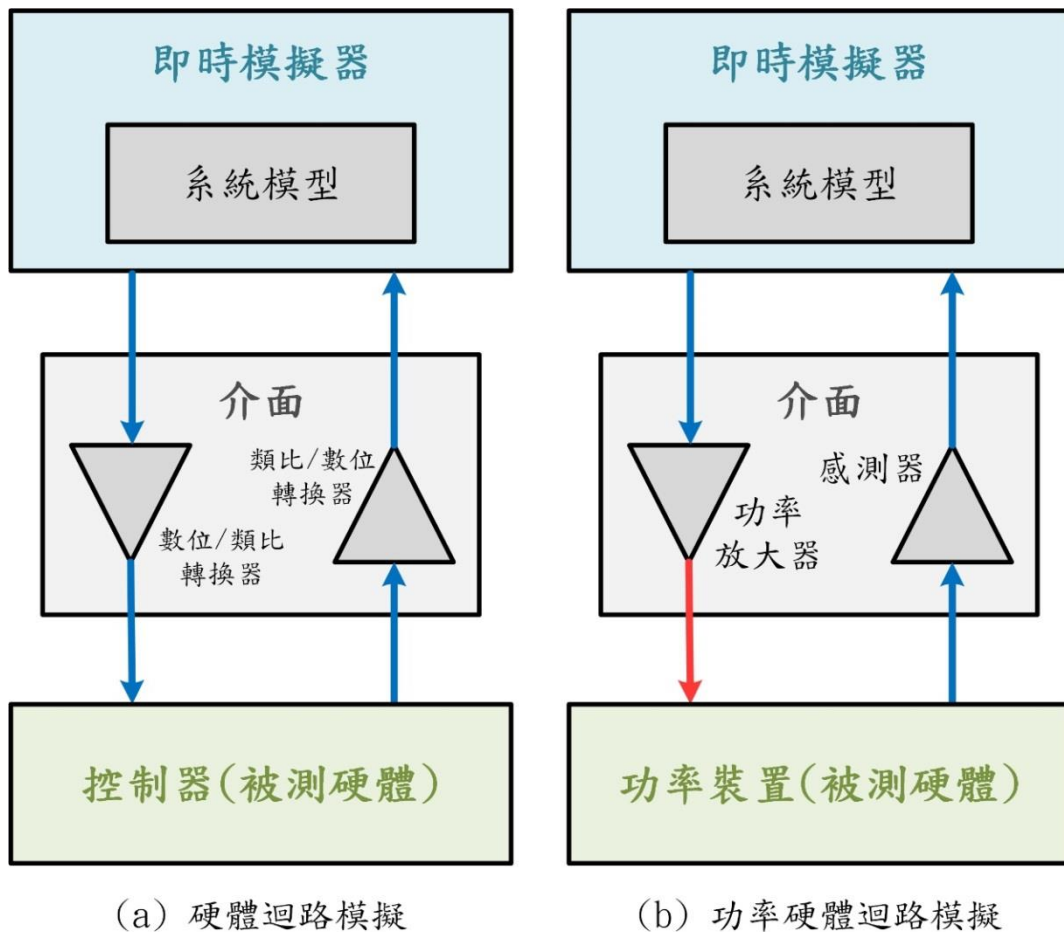


圖1、硬體迴路模擬及功率硬體迴路模擬比較圖

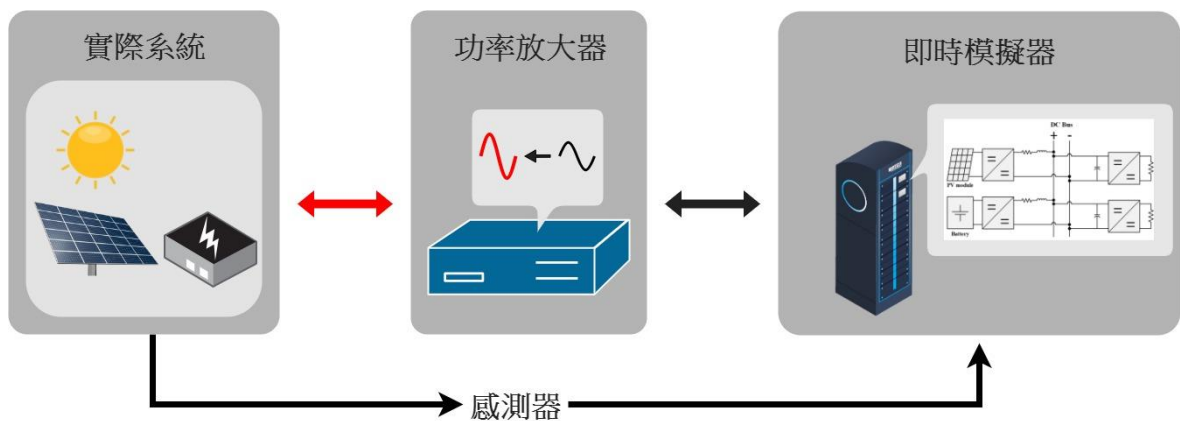


圖2、簡易功率硬體迴路模擬範例

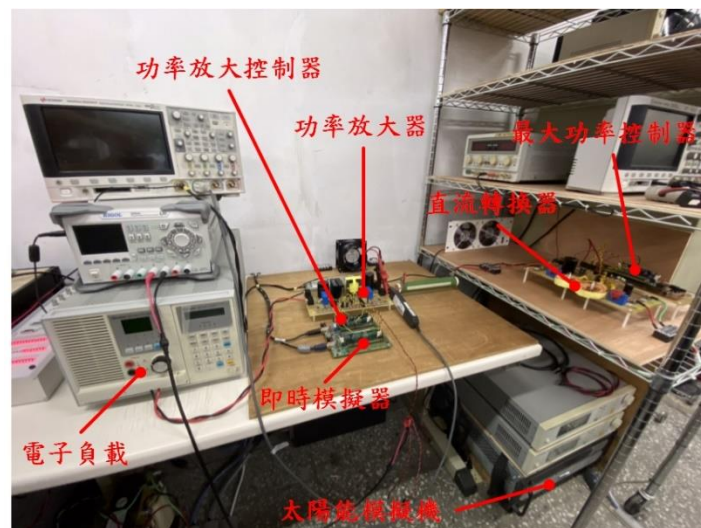


圖3、功率硬體迴路模擬實驗之實拍圖

圖4為因太陽照度變化，所造成的電流的變化情形。從圖中可以看出功率硬體迴路模擬之結果是匹配於實際硬體測試之結果，證明了其功率硬體迴路模擬的有效性。因此透過功率硬體迴路模擬的方式，不僅可以節省傳統模擬所耗費的時間，且可真實反應被測試設備對其餘系統所造成之影響。

值得注意的是要使PHIL能成功地模擬實際的系統，其放大器與感測器所組成的功率介面(power interface)，有多個不同的組成方式。

若組成方式的設計有誤可能使一原本穩定的系統而模擬成為一個不穩定的系統，造成工程師的誤判。文獻[2]有深入淺出的說明，有興趣的讀者可以詳細研讀。

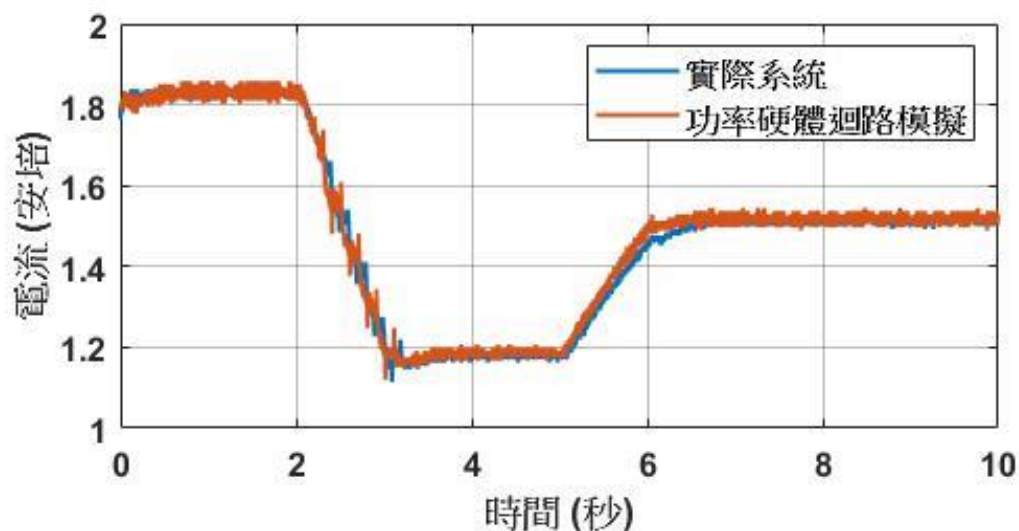


圖4、功率硬體迴路模擬之實測結果

參考文獻

- [1] 台電綜合研究所，「擴大配電規劃需求功能整合應用研究完成報告」，台灣電力股份有限公司，中華民國104年9月
- [2] W. Ren, M. Steurer, and T. L. Baldwin, "Improve the Stability and the Accuracy of Power Hardware-in-the-Loop Simulation by Selecting Appropriate Interface Algorithms," IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 44, no. 4, July/August 2008.