

# 台電工程月刊 837 期 (5 月號) 目錄

---

---

## 動態模擬在電力系統之應用與發展 專輯

- 即時動態模擬於台灣電力系統應用之情形 ..... 林閔洲 等 ..... (1)
- 適用於高功率中高壓功率轉換器之新型控制法則 ..... 羅宇軒 等 ..... (13)
- 即時數位模擬技術於電力系統之應用 ..... 朱家齊 等 ..... (23)
- 應用即時模擬技術於電力與能源系統研究 ..... 劉佑任 等 ..... (35)
- 風力發電頻率調節之併網規範與動態模擬研究 ..... 吳元康 等 ..... (47)
- 應用EMTP軟體於超高壓發電廠之鐵磁共振分析 ..... 陳昭榮 等 ..... (61)
- 使用PSS<sup>®</sup>E展期動態模擬開發具有自動發電控制(AGC)之負載頻率  
控制展期動態模擬 ..... 李盛輝 等 ..... (71)
- 風力發電機低電壓穿越控制技術簡介 ..... 胡毅亮 等 ..... (83)
- 基於RTDS系統進行聯級故障分析 ..... 梁威志 等 ..... (95)
- 
-

# 即時動態模擬於台灣電力系統應用之情形

Application of Real-time Simulation Technology in Taiwan Power System

林閔洲\*

Lin, Ming-Jhou

梁威志\*

Liang, Wei-Chih

黃昭榕\*

Huang, Chao-Jung

萬人碩\*

Wan, Ren-Shuo

吳立成\*

Wu, Li-Cheng

## 摘要

本文旨在介紹即時動態模擬應用於電力系統的情形。首先，電力系統模擬工具可分類為離線模擬以及即時模擬，兩者將進行比較以及分析，指出即時模擬的必要性。即時模擬現已廣泛地應用於電力系統模擬分析以及設備測試，故本文蒐集了目前即時動態模擬應用於國際的情形，進行案例介紹。最後介紹即時模擬應用於台灣電力系統的各项案例，其中包含了電力系統故障分析、再生能源動態模擬測試以及保護電驛的硬體閉迴路測試。

**關鍵詞(Key Words)：**電力系統模擬(Power System Simulation)、即時模擬(Real-time Simulation)、即時數位模擬系統(Real Time Digital Simulator)、硬體閉迴路(Hardware in the Loop)、再生能源(Renewable Energy)。

---

\*台灣電力公司綜合研究所

# 適用於高功率中高壓功率轉換器之新型控制法則

A New Control Law for High-power and Medium/High Voltage Power Converters

羅宇軒\*  
Lo, Yu-Hsuan

連國龍\*  
Lian, Kuo-Lung

楊程鈞\*\*  
Yang, Chen-Jun

## 摘 要

中高壓功率轉換器系統通常在低開關頻率下工作，以減少半導體開關的開關損耗。然而，目前使用的大多數控制和調製方法皆是針對具有高切換的低壓功率變換器頻率做設計。本文提出了一種基於擬似牛頓疊代控制演算的新型控制方法，在高功率及低開關頻率下，能夠實現期望的控制目標。研究了基於該控制方法的靜態同步補償器(STATCOM)和不平衡電源，研究了其有效性。該方法的有效性已通過 PSCAD / EMTDC 離線及 RSCAD 即時模擬驗證。

**關鍵詞(Key Words)：**中高壓功率變換器 (Medium-and High-voltage Power Converter)、擬式牛頓疊代控制算法(QuasiNewton Iterative Control Algorithm)、靜態同步補償器(Static Synchronous Compensator)、不平衡電源(Unbalanced Power Source)。

---

\*台灣科技大學電機研究所

\*\*台灣電力公司配售電事業部配電處

# 即時數位模擬技術於電力系統之應用

Applications of Real-time Digital Simulation Technologies in Electrical Power Systems

朱家齊\*  
Chu, Chia-Chi

吳有基\*\*  
Wu, Yu-Chi

吳昌杰\*\*\*  
Wu, Chan-Jie

葉子涵\*\*\*\*  
Yeh, Tzu-Han

羅兆峻\*  
Lo, Zhao-Jun

## 摘要

本文描繪即時數位模擬技術之工作原理與基本功能，說明即時數位模擬平台在設計，模型構建，測試，教學和培訓中的功能之各項應用。亦描述即時模擬器於世界各國應用之現狀，並以國內大學內現有之即時數位模擬平台為例，說明如何以進行測距電驛之演算法開發與功能驗證。最後說明將即時數位模擬技術融入通信協定協同模擬之新方向。

**關鍵詞(Key Words)：** 即時模擬(Real-time Simulations)、即時數位模擬器(Real-time Digital Simulator)、硬體迴路控制(Hardware-in-the-loop)、快速控制原型化系統(Rapid Prototype)。

---

\*國立清華大學電機工程系

\*\*國立聯合大學電機工程系

\*\*\*台灣電力公司配售電事業部苗栗區營業處

\*\*\*\*思渤科技公司

# 應用即時模擬技術於電力與能源系統研究

Application of Real-time Simulation Technology in Power and Energy Systems Study

劉祐任\*  
Liu, Yu-Jen

張文恭\*  
Chang, Wen-Kung

蘇懷哲\*\*  
Su, Huai-Jhe

藍培修\*\*  
Lan, Pei-Hsiu

## 摘要

電腦模擬技術長久以來一直被廣泛應用於電力與電氣系統之規劃設計與分析改善。隨著資訊與計算技術之持續提升，模擬工具的發展也同樣在不斷進步中。而受到傳統電力系統整合越來越高占比的再生能源發電設施以及電網朝向微電網與智慧電網技術開發之故，導致現行的電力系統架構複雜度逐漸在增加，系統的調度、運轉與控制策略亦顯得更加多樣；此時，對於從事電力工程與能源系統工作之研究人員與工程師而言，唯有追求使用經濟實惠且更具性能之模擬工具，來處理與面對諸此電網變革所衍生帶來的系統設計與分析問題。也因此，有別於傳統離線模擬的「即時模擬」技術應用越來越被受到關注與重視，現亦已有多項成熟的商業化即時模擬產品可供利用。本文將針對過去採用即時模擬於電力與能源系統研究之經驗進行介紹，以了解此項技術應用之新知。

**關鍵詞(Key Words)**：電力系統模擬(Power System Simulation)、再生能源(Renewable Energy)、微電網(Microgrid)、智慧電網(Smart Grid)、即時模擬(Real-time Simulation)。

\*國立中正大學

\*\*財團法人台灣大電力研究試驗中心

# 風力發電頻率調節之併網規範與動態模擬研究

Integration Standards and Dynamic Simulation Studies for the Frequency Regulation by Wind Power Generators

吳元康\*  
Wu, Yuan-Kang

胡毅亮\*  
Hu, Yi-Liang

許文華\*\*  
Hsu, Wen-Hua

藍柏荏\*\*  
Lan, Bo-Ren

## 摘要

當系統的風力占比提高後，系統頻率穩定度將受到極大的挑戰。因此，電力工業愈來愈重視風力發電機應參與系統頻率控制以降低傳統同步發電機所提供額外調頻輔助服務的需求。全球一些風力併網規範已經要求風場需要具備頻率調節的能力。本研究的目的即是研究雙饋式感應發電機以及所組成的風場之頻率調節技術。首先，本研究將建立單一風力機完整模型以及典型的頻率調節控制，這些研究包含風機數學模型、轉子與定子側轉換器的控制、葉片空氣動力模型、雙饋式感應發電機轉子速度可控制的區域與限制，以及機械傳動軸等效模型等。接著本研究將設計風機的轉速控制器，包含虛擬轉動慣量與下垂(Droop)控制迴路，以及降載曲線的設計。為了評估所開發的頻率調節控制技術，本文最後將進行一個實際的電力系統案例分析，以驗證控制技術的可行性。

**關鍵詞(Key Words)：**雙饋式感應發電機(Doubly-Fed Induction Generator, DFIG)、頻率調節(Frequency Regulation)、慣量(Inertia)、下垂控制(Droop Control)。

\*國立中正大學電機系

\*\*工業技術研究院

# 應用 EMTP 軟體於超高壓發電廠之鐵磁共振分析

Ferroresonance Analysis of Extra High Voltage Power Plants using EMTP Packages

陳昭榮\*  
Chen, Chao-Rong

周至如\*  
Chou, Chih-Ju

陳瑞豪\*  
Chen, Ruei-Hao

## 摘要

鐵磁共振是由於電力系統中非線性電感元件進入飽和區與電容共振產生的非線性共振現象，其主要原因為一般變壓器之運轉點都相當接近飽和區，因此系統發生異常現象時，甚至電力系統中之突波或諧波均有可能使變壓器進入飽和區。本文使用 EMTP 軟體模擬發現發電廠歲修時，萬一發生不當操作，發電廠將有產生鐵磁共振的可能性。由模擬結果顯示，若僅變電所端發生多重跳脫時發電廠內並不會產生鐵磁共振；若變電所端輸電線路多重跳脫促使兩發電機組跳脫，啟動變壓器及匯流排比壓器可能產生鐵磁共振現象。而當發電廠歲修期間，若因不當操作而單獨投入主變壓器到系統中，而造成保護電驛跳脫，將促使匯流排上電磁感應型比壓器及啟動變壓器磁通量瞬間飽和並且產生鐵磁共振現象。

**關鍵詞(Key Words)：**鐵磁共振(Ferroresonance)、電磁暫態程式(Electromagnetic Transient Program, EMTP/ATPDraw)、超高壓發電廠(EHV Power Plant)、匯流排比壓器(Bus Potential Transformer)。

---

\*國立臺北科技大學電機工程系

# 使用 PSS<sup>®</sup>E 實現具有自動發電控制(AGC)之負載頻率控制展期動態模擬

Developments of Extended Dynamic Simulations of Load-frequency Control in Power System with Automatic Generation Control (AGC) using PSS<sup>®</sup>E

李盛輝\*  
Lee, Sheng-Huei

朱家齊\*\*  
Chu, Chia-Chi

林堉仁\*\*\*  
Lin, Yun-Ren

洪穎怡\*\*\*\*  
Hong, Yin-Yi

于席正\*\*\*\*\*  
Yu, Hsi-Cheng

廖清榮\*\*\*\*\*  
Liao, Ching-Jung

## 摘要

自動發電控制(Automatic Generation Control, AGC)可作為負載頻率之二次控制，以策動發電機調速機的一次控制，使系統頻率及互聯聯絡線的電力潮流維持恒定。廣為國際上之研究單位、電力公司及學術單位使用的 PSS<sup>®</sup>E 可用於電力系統之動態模擬以評估電力系統之暫態動態響應，惟 PSS<sup>®</sup>E 並未提供 AGC 動態模型，無法直接用以評估 AGC 加入電力系統中對負載頻率調控的效益。本文介紹一種建立使用者自訂 AGC 模型以加入 PSS<sup>®</sup>E 動態模擬的方法，除了可執行狀態空間動態模擬之外，亦可執行展期動態模擬。並以台電 2025 年尖峰負載系統為模擬案例，分別考慮發生降頻事件、升頻事件及連續機組跳脫事件等模擬情境來測試 AGC 自訂模型的有效性。

**關鍵詞(Key Words)：**自動發電控制(Automatic Generation Control)、負載頻率控制(Load-frequency Control)、展期動態模擬(Extended-term Simulations)、狀態空間動態模擬(State-space Simulations)、使用者自訂模型(User-written Models)。

---

\*健行科技大學

\*\*國立清華大學

\*\*\*義守大學

\*\*\*\*中原大學

\*\*\*\*\*台灣經濟研究院

\*\*\*\*\*台灣電力公司綜合研究所

# 風力發電機低電壓穿越控制技術簡介

Introduction of Low-Voltage-Ride-Through Control Technologies for a Wind Generator

吳元康\*  
Wu, Yuan-Kang

胡毅亮\*  
Hu, Yi-Liang

許文華\*  
Shu, Wen-Hwa

王志華\*\*  
Wang, Chih-Hua

卓良憶\*\*  
Cho, Liang-Yi

林良陽\*\*\*  
Lin, Liang-Yang

## 摘要

近幾年風力發電於電力系統的占比大幅地成長，許多國家已經針對風力發電機之低電壓穿越能力制定相關的併網準則，當電網電壓因為短路故障而下降時，風力發電機必須在一段時間內保持和電力系統之間的相聯。本文主要的目的是探討風機低電壓穿越技術的控制原理，並簡介 IEC 61400-27-1 標準以及西班牙與德國有關風機 LVRT 試驗與驗證準則。目前風機低電壓穿越技術主要分為二大類型：第一種是被動地減緩暫態過電壓和過電流對風機造成的傷害，第二種是讓風機在故障期間可以主動地提供虛功。最後，本文利用 PSCAD/EMTDC 軟體模擬雙饋式感應風力發電機在低電壓情境下的行為，以分析四個不同控制情境下產生的效果。模擬結果證實了加入主動式虛功控制的雙饋式感應風力發電機可以符合最新的併網法規。

**關鍵詞(Key Words)：**雙饋式感應發電機 (Doubly-Fed Induction Generator, DFIG)、低電壓穿越 (Low-Voltage Ride-Through, LVRT)、虛功輔助(Reactive Power Support)。

---

\*國立中正大學電機系

\*\*台灣大電力研究試驗中心

\*\*\*標準檢驗局

# 基於 RTDS 系統進行聯級故障分析

## Cascading Failure Analysis Based on Real-time Digital Simulator

林閔洲\*  
Lin, Ming-Jhou

梁威志\*  
Liang, Wei-Chih

于允中\*\*  
Yu, Yun-Chung

江昭皚\*\*  
Jiang, Joe-Air

### 摘要

隨著人類對電力需求之提升，電網已經成為了世界各國內最重要的基礎建設之一，相關研究的重要性也不斷的提升。近年來，連鎖的大區域停電事件往往造成了重大的安全危險和經濟損失，電網的安全性成為了各領域的研究者探討的主要目標，而因為輸電線之連續性，少部分的斷路器跳脫和故障時常擴展成為聯級故障問題，造成大範圍區域內的停電事件，如何提前警告及預防相關事件的發生即是一個主流的研究方向。

現今的電力系統對於穩定度和聯級故障的研究中，大多使用 IEEE 的標準匯流排系統進行模擬和驗證。本研究依照針對聯級故障研究提出的機率模型概念和統計結論，搭配即時模擬軟體運行現實的電力系統模型進行更為精確的負載潮流分析，透過模擬斷路器跳脫之情況建立歷史模擬數據，並利用模擬歷史數據進行統計數據分析，以觀察是否能以模擬結果驗證此方法並提供一項指標特徵可提供給未來針對聯級故障和系統狀態之研究提供分析方向，以避免社會經濟的災害。

**關鍵詞(Key Words)：**電力系統模擬(Power System Simulation)、即時模擬(Real-time Simulation)、即時數位模擬系統(Real Time Digital Simulator)。

---

\*台灣電力公司綜合研究所

\*\*國立台灣大學