

出國報告（出國類別：進修）

赴英國德倫大學進修新能源 工程碩士學位

服務機關：台灣電力公司 台中發電廠

姓名職稱：李枝榮/主辦機械工程師

派赴國家：英國

出國期間：97年12月20日至99年09月21日

報告日期：99年11月15日

出國報告審核表

出國報告名稱：赴英國德倫大學進修新能源工程碩士學位		
出國人姓名(2人以上，以1人為代表)	職稱	服務單位
李枝榮	主辦機械工程師	台中發電廠
出國期間：97年12月20日至99年09月21日		報告繳交日期：99年11月15日
出國計畫主辦機關審核意見	<input type="checkbox"/> 1. 依限繳交出國報告 <input type="checkbox"/> 2. 格式完整 (本文必須具備「目地」、「過程」、「心得」、「建議事項」) <input type="checkbox"/> 3. 內容充實完備。 <input type="checkbox"/> 4. 建議具參考價值 <input type="checkbox"/> 5. 送本機關參考或研辦 <input type="checkbox"/> 6. 送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 7. 退回補正，原因： <input type="checkbox"/> (1) 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> (2) 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容以 <input type="checkbox"/> (3) 內容空洞簡略 <input type="checkbox"/> (4) 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> (5) 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 <input type="checkbox"/> 8. 本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表： <input type="checkbox"/> 辦理本機關出國報告座談會 (說明會)，與同人進行知識分享。 <input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/> 9. 其他處理意見及方式：	
層轉機關審核意見	<input type="checkbox"/> 1. 同意主辦機關審核意見 <input type="checkbox"/> 全部 <input type="checkbox"/> 部分_____ (填寫審核意見編號) <input type="checkbox"/> 2. 退回補正，原因：_____ <input type="checkbox"/> 3. 其他處理意見：	

說明：

- 一、出國計畫主辦機關即層轉機關時，不需填寫「層轉機關審核意見」。
- 二、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 三、審核作業應於報告提出後二個月內完成。

報告人：	單位：	主管處：
	主管：	總經理：
		副總經理：

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：赴英國德倫大學進修新能源工程碩士學位

頁數 70 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：台灣電力公司/陳德隆/（02）
2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

李枝榮/台灣電力公司/台中發電廠/機械工程師/(04)26302123

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：97/12/20 至 99/09/21

出國地區：英國

報告日期：99/11/15

分類號/目

關鍵詞：風力發電機組(Wind Turbine)、雙饋式感應發電機(DFIG)、
熱電聯產系統 CHP (Combined Heat and Power system)、均
方根值(RMS)

內容摘要：(二百至三百字)

本報告包含下列各大項：

1. 進修計畫緣由及目的。
2. 出國、進修及返國行程介紹、學校簡介及修讀課程概要。
3. 論文題目：風力發電容量未來成長對傳統火力機組電廠的關聯性
(Implications for conventional steam and gas power plants of
the future growth in wind turbine generating capacity)；利
用 Matlab®/ Simulink®套裝軟體所架構出之電力系統模式模擬結果
得知：
 - ◆ 在未來數十年(如 2030 年)，英國及西班牙等國家電力系統頻
率控制將會因風力發電裝置容量增加迅速，佔比由 4.4%提升

至 16.6%而變得更加不穩定。為補償這方面所造成之影響宜審慎重新評估現有傳統火力發電與風力發電機組，嘗試改變機組組成架構方式以獲得改善，使系統頻率控制更加具有彈性、容易控制在國家電力標準 Code 要求範圍內。

- ◆ 模擬結果修正後發現提升機組慣性常數為一可行方式，然而利用統計均方根值(RMS)方式作比較可知：當些微調高傳統火力發電機組之慣性常數時，其穩定系統頻率效應較調高風力發電機組慣性常數高；同時以英國與西班牙為例，西班牙電力系統中其穩定系統頻率效應又較英國明顯，可能原因是西班牙風力發電裝置容量較高所致。

4. 出國期間所遭遇之困難與特殊事項。
5. 心得與感想及建議事項。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網(<http://open.nat.gov.tw/reportwork>)

目錄

1	計畫緣由及目的.....	3
1.1	計畫緣由：.....	3
1.2	目的：.....	3
2	出國、進修及返國行程.....	4
3	進修學校簡介：.....	5
3.1	歷史沿革：.....	5
3.2	學校現況：.....	7
4	進修課程內容簡介.....	9
4.1	語言課程及學術寫作.....	9
4.2	研究所進修課程.....	9
5	論文題目:風力發電容量未來成長對傳統火力機組電廠的關聯性 (Implications for conventional steam and gas power plants of the future growth in wind turbine generating capacity).....	20
	符號及單位 (Nomenclature)	20
5.1	序論.....	21
5.1.1	研究動機.....	24
5.1.2	文獻探討.....	24
5.1.3	論文目標.....	26
5.1.4	論文內容架構.....	26
5.2	發電系統組件及模式.....	27
5.2.1	火力電廠.....	27
5.2.2	調速器-汽輪機-發電機系統.....	28
5.2.3	汽輪機模式.....	29
5.2.4	Droop 特性.....	31
5.2.5	慣性控制.....	32
5.2.6	風力發電機.....	34
5.3	模擬模式.....	36
5.3.1	簡介.....	36
5.3.2	電力系統模式一般概念.....	37
5.3.3	汽輪機及該調速器特性.....	38

5.3.4	慣性效應.....	39
5.3.5	風力發電機模式.....	39
5.3.6	負載頻率控制.....	40
5.3.7	電力系統中穩態設定控制.....	41
5.4	模擬時所需之輸入資料.....	43
5.4.1	英國 2010 年輸入資料與假設.....	43
5.4.2	西班牙 2010 年相關輸入資料及假設.....	47
5.4.3	英國於 2025 年相關輸入資料與假設.....	48
5.4.4	西班牙於 2030 年相關輸入資料與假設.....	50
5.4.5	修正後的模擬.....	51
5.5	模擬結果及討論.....	52
5.5.1	簡介.....	52
5.5.2	2010 年模擬結果.....	52
5.5.3	2025/2030 年模擬結果.....	54
5.5.4	修正建議方式.....	55
5.6	結論及展望.....	60
5.6.1	討論.....	60
5.6.2	結論.....	60
5.6.3	展望.....	61
6	出國期間所遭遇之困難與特殊事項.....	62
7	心得與感想及建議事項.....	65
7.1	心得與感想：.....	65
7.2	建議事項：.....	66
A.	Model parameters	67
B.	Simulink model for this project	69
	參考文獻.....	70

1 計畫緣由及目的

1.1 計畫緣由：

電力為工業之母，是國家經濟發展基礎建設的重要一環，重要性自不待言；當中又以火力發電在推動台灣經濟發展的過程中扮演著舉足輕重的角色。台電公司火力發電採用之燃料不外乎為煤炭、重油及天然氣，其中又以燃煤汽力發電機組為主。然近年來全球各國皆致力實踐保護地球環境及倡導永續發展理念，同時為配合落實能源多元化政策，諸如太陽能、風力、波浪、地熱等再生能源發電之研究大為風行，以節省石化燃料及提供乾淨能源；由於風力發電臻於成熟，日後風力發電裝置容量將大為增加，因此風力電廠建設在未來的電力建設中是不可或缺的一員。身為台電員工並作為上游大型火力電廠負責維護鍋爐設備成員，更需關切此相關所衍生出的議題。

1.2 目的：

為配合公司永續發展，積極培育訓練員工並鼓勵在職赴國外進修，以提昇公司競爭力，同時增進同仁的外語能力與專業知識，以提升本質學能，於 97 年在長官推薦下，參加公司「菁英留學計畫」出國進修人員甄試，該年度共選派 12 人，很幸運地通過甄選，獲得公司資助出國進修之機會，申請赴英國德倫大學(Durham University)進修新能源工程碩士學位。進修主題為機械及能源工程，擬藉電廠工作經驗希望擴大相關專業領域學習，將傳統火力發電機組和新興再生能源作深入探討研究，以提升發電系統穩定性。為尋求與個人工作相關之論文議題，故選定原擔任 ALSTOM 研發部門主管轉至 Durham University 任教之 DR. Simon Hogg 博士所提出之專案研究「Implications for conventional steam and gas power plants of the

future growth in wind turbine generating capacity」風力發電容量未來成長對傳統火力機組電廠的關聯性，作為進修碩士論文題目。

2 出國、進修及返國行程

時間	地點	工作概要
97年12月20日~ 97年12月21日	桃園國際機場→阿姆斯特丹 →Newcastle國際機場→ Durham	去程(台北→ Newcastle→ Durham)
97年12月22日~ 99年09月19日	英國Durham University	進修新能源工程碩士 學位
99年09月20日~ 99年09月21日	Durham→倫敦 Heathrow國 際機場→桃園國際機場	回程(Durham→倫敦 →台北)

Table 2-1 出國、進修及返國行程

雖說95年曾公派出國至英國Mitsui Babcock公司實習有關「中九、十號機鍋爐及附屬設備規劃設計、安裝、運轉及維護」案，但記得首次搭機到英國進修時，心中仍舊忐忑不安。依照原排定出國行程，當天是搭長榮航空經曼谷停留近90分鐘後，再次搭同架飛機繼續飛往荷蘭阿姆斯特丹機場，接著轉搭荷蘭航空飛機由該機場飛行約2小時前往英國Newcastle機場，然後搭乘Newcastle地鐵到Newcastle station火車站，最後再轉搭火車約15分鐘到就讀學校的Durham station後，拖著沉重行李搭乘計程車到租房地點，才總算是完成這極漫長約23~24小時的長途旅程。同樣的在返國行程當中，由學校搭火車約3小時至倫敦，然後再轉搭倫敦地鐵約1小時到希斯羅(Heathrow)國際機場，登機再經曼谷返回國門。

3 進修學校簡介：

3.1 歷史沿革：

Durham University 成立於 1832 年，位於景色優美的德倫 Durham 歷史古城中，以其歷史悠久的大教堂（Cathedral）及城堡（Castle）聞名全球，是僅次於牛津及劍橋外，英格蘭第三古老的大學，同時也是英國十大名校之一。底下為德倫 Durham 在英國的地理位置



圖 3-1-1 德倫地理位置

因為德倫 Durham 地理位置相當特殊，在古代英格蘭及蘇格蘭的衝突歷史中佔有極其重要的地位，每當英格蘭與蘇格蘭的邊界發生戰亂，受到兇猛的 Gail 鬥士頻繁入侵之際，德倫 Durham 就成為百姓躲避戰禍的主要避難地，也是防禦蘇格蘭的最前線。下圖為大教堂大門的門環，代表著當時逃難者要求庇護有求必應的守護神（Sanctuary Knocker）。



圖 3-1-2 大教堂門口的 Sanctuary Knocker

且此地在 1950 年代因採礦曾經繁榮一時，在礦坑關閉後蛻變為綠意盎然的大學城，每年七月的第二個禮拜六在鎮上皆會舉辦一年一度盛大的礦工節（Durham Miner's Gala）來紀念 Durham 過去採礦的輝煌歲月，圖 3-1-3 為 2010 年慶祝德倫礦工節 126 周年的街景。



圖 3-1-3 礦工節慶典活動

整個 Durham 小鎮中心位於威爾河（River Wear）所環繞的半島，半島上壯觀的 11 世紀大教堂和城堡就聳立在這座大學城的中心，說它可媲美台灣的清境農場可一點不為過；同時它也是聯合國教科文組織（UNESCO）指定的世界文化遺產。下圖 3-1-4 為德倫空中鳥瞰以及威爾河岸旁聞名於世的大教堂。



圖 3-1-4 德倫空中鳥瞰及大教堂一景

大教堂是世界上最漂亮的哥德式教堂之一，對面則是古老的城堡，在這裡也是學生的宿舍，住在古城堡內想必相當浪漫。學校校徽如下圖 3-1-5 所示：



圖 3-1-5 德倫大學校徽

3.2 學校現況：

全校目前共由 16 個學院組成，在最新的 2011 年獨立報英國大學排行榜上位列第四名，僅次於牛津大學、劍橋大學和倫敦帝國理工學院。僅次於牛津大學、劍橋大學、和倫敦帝國理工學院，如下表 3-2-1。此外還在 2005 年被《星期日泰晤士報》評為年度大學。

排名	THE TIMES	2011年	2010年
		6	8
	THE INDEPENDENT	2011年	2010年
		4	5
	guardian	2011年	2010年
		17	14

表格 3-2-1 德倫大學在英國排名

在學術資源上，德倫大學有世界級的圖書資源。根據該校官方網站的介紹，德倫大學的圖書館曾被 Colin Steel 收錄列名為世界級主要圖書館名冊 (Major Libraries of the World) 之一；另外，德倫圖書館也是英國研究型圖書館聯盟 (The prestigious Consortium of University Research Libraries, 簡稱 CURL) 的成員之一，與英國其他的研究型圖書館在圖書資源上有密切的交流活動。它擁有人文、科學和社會科學（法律、音樂和教育除外，它們在其他圖書館）的所有藏書，有一百多萬冊印刷品和 3200 種期刊，是英國僅有的六所古老大學之一；另外大學校園有 60 英畝的運動場地可供足球、板球、曲棍球和橄欖球等運動休閒用。

Durham 和牛、劍相同採取學院 (College) 制度，以這樣的制度而言，學院 (College) 和學系 (Department) 是不一樣的，學院是負責學生的生活，學系是負責學生的課業、研究及教學相關事項；共分為大學部、碩士班及博士班，可修習的科目有：管理、MBA、生物及生物醫學、化學、電腦、工程、地質學、地球科學、數學、物理學、心理學、東亞研究、國際關係-中東/伊斯蘭研究、經濟、教育、地理、人類學、考古學、歷史、法律、政府、英文、語言學、音樂、神學、政治學。其中 Ustinov College 是專收國際研究生 postgraduate 的學院，進修期間一些假日及社交活動皆在此處舉辦，底下圖 3-2-1 為 Ustinov College 學院徽章及學院入口一景：



圖 3-2-1 Ustinov College 學院及徽章

4 進修課程內容簡介

4.1 語言課程及學術寫作

由於在國內就讀大學時，鮮少有機會以英文作學術寫作報告，故在英國進修期間首要面臨的難題，便是如何在有限時間內寫出有組織、有系統概念之英文論述文章。例如課程「Organization and Expression of Knowledge」便要求學生撰寫有關與個人進修相關科系之專題報告，我選擇的題目為：「To what extent is nuclear energy perceived as positive in term of the environment safety and economic aspects based on gender、age and nationality」，藉由相關文獻探討、問卷調查製作以及分析討論等都讓我英文寫作方面成長學習許多。

4.2 研究所進修課程

進修德倫大學工程及電腦學院(School of Engineering and Computing Sciences) 工程系中的新能源碩士研究所課程內容及課程安排如下表 4-2-1 及 4-2-2 所示，簡要說明如下：

Items	Module title	Credits	Core(C) or Optional (O)	Form of assessment	Timing
1	New and Renewable Energy Fundamentals	15	C	Continuous Assessment	September
2	Renewable Energy and Environment	15	C	Assignment & Examination	October-May
3	Group Design Project	15	C	Continuous Assessment	October-December
4	R&D Project	90	C	Oral & Examination	January-August
5	Thermodynamics and Turbomachinery	15	O	Assignment & Examination	October-May
6	Thermo-Mechanical Energy Conversion Systems	15	O	Assignment & Examination	October-May
7	Energy Generation and Conversion Technologies	15	O	Assignment & Examination	October-May
8	Energy Delivery and Network integration	15	O	Assignment & Examination	October-May

表格 4-2-1 進修新能源工程碩士課程內容



**Time-Table of MSc New and Renewable Energy
2009-2010 Academic Year**

	Michaelmas Term (10 teaching weeks)	Christmas Break in Lectures	Epiphany Term (9 teaching weeks)	Easter Break in Lectures,	Easter Term (3 teaching weeks)	Easter Term, (Written Examinations period)	Summer Period	R & D Project Oral Exams	
	10 Sept – 5 October	7 October- 16 December	17 Dec – 17 Jan	18 January- 19 March	20 Mar- 25 Apr	26 April- 14 May	15 May- 5 June	6 June-20 August	20 Aug- 5 Sept
Fundamentals Module*									
		Team Design Project*							
		Ren Ener. & Env* and 3 optional modules	Ren Ener. & Env* and 3 optional modules		Ren Ener. & Env* and 3 optional modules	Ren Ener. & Env* and 3 optional modules			
		Finalize choice of R & D Project	Research and Development Project*				Research and Development Project*		

*Core Modules

表格 4-2-2 進修課程進度安排

再生能源基礎課程 (New and Renewable Energy Fundamentals) -- 由各相關機械電機授課老師分別授課，包括 Dr Robert Dominy、Dr Grant Ingram、Dr Khamid Mahkamov、Dr David Sims-Williams、Professor Peter

Tavner、Dr J R Bumby。主要授課內容包括流體力學、熱力學、電路學、電能轉換、熱傳遞學、相關機電實驗課程、原動力廠以及相關電廠設備簡介等，讓一些來自不同背景的國際學生，都能在最短時間內對於能源工程機、電方面有初步基礎概念。

再生能源與環境 (Renewable Energy and the Environment) --授課老師為 Dr Katerina Fragaki，課程大綱主要內容包括風力發電理論分析、英國及歐洲能源政策、潮汐及太陽能等再生能源原理及計算、發電機理論及分類等。作業題目為：「Experimental investigation of solar cell performance」，藉由實驗數據去驗證太陽能相關理論。

能源傳遞與電網整合 (Energy Delivery and Network Integration) --授課老師為 Professor Philip Taylor，課程大綱主要內容包括電力系統演進、穩態電力系統、電力系統的負載流、電力系統分析實驗模擬、電網整合傳輸及分配系統、嵌式發電機及其分析實驗模擬、主動式電網管理、電力系統商業及調度調整議題、離岸式及沿岸式風力機電網路設計與計算、電網系統偵錯分析與防護系統設計、彈性交流電力傳輸系統(FACTS)等。作業題目為：「Distributed Generation Connection and Operation Feasibility and Design Study」。配合 IPSA⁺電網分析軟體（如圖 4-2-1）來分析相關需投資的設備與效益。另一方面亦利用線上電網分析網頁來計算興建電廠之電力傳輸的配置分析等（如圖 4-2-2）。

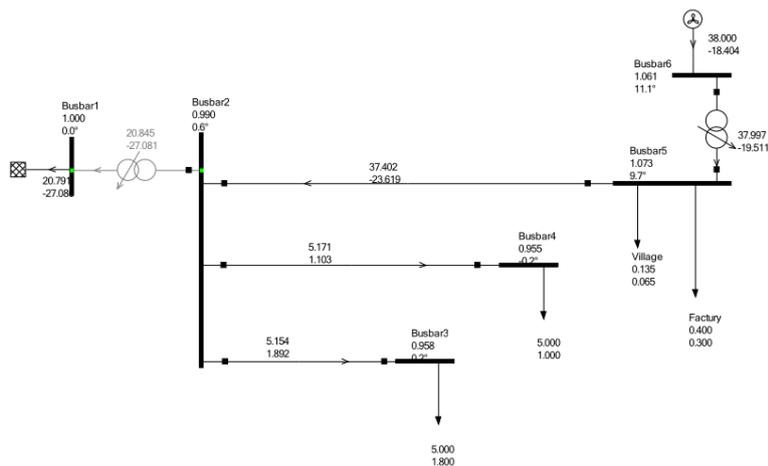


圖 4-2-1 利用 IPSA*分析電網

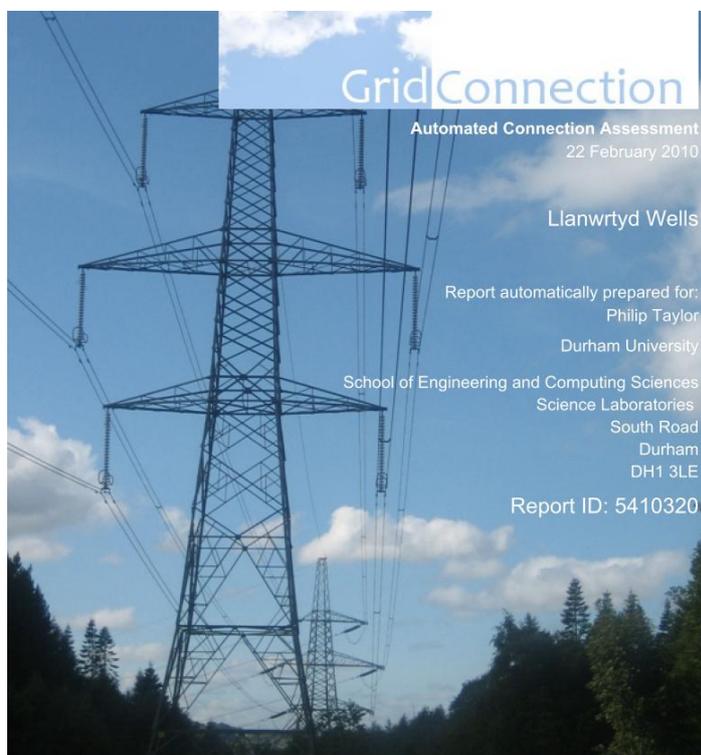


圖 4-2-2 電力傳輸分析及評估報告

發電與轉換技術 (Energy Generation and Conversion Technologies)

--授課老師為 Professor Li Ran，課程大綱主要內容包括發電系統概述、風力發電機基本原理、感應式發電機理論、同步發電機、雙饋式感應風力發電機及變速型風力永磁式發電機系統，定速與變速型風力發電機的電腦模擬、

能量轉換設備理論、電力系統操作-頻率及電壓控制及計算、太陽能系統電能轉換與控制、潮汐發電之發展、燃料電池系統電力調節與控制、汽電共生系統或稱熱電聯產系統 CHP (combined heat and power system) 和能量儲存設備等。作業題目為：「Simulation of Fixed Speed Wind Turbine System with an Induction Generator」，該套裝軟體利用 PLECS blocks of Matlab/Simulink 的模組（如圖 4-2-3）來模擬感應式發電機配備有無軟啟動裝置（如圖 4-2-4 Soft starter）時，啟動電流及加速扭距的差異與變化。

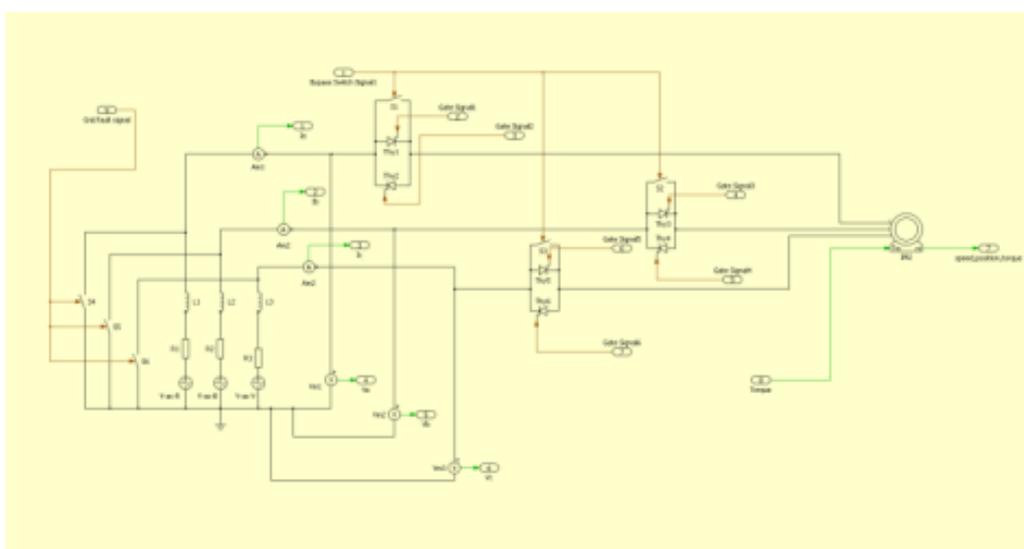


圖 4-2-3 Matlab 軟體中的 PLECS 電力系統模擬

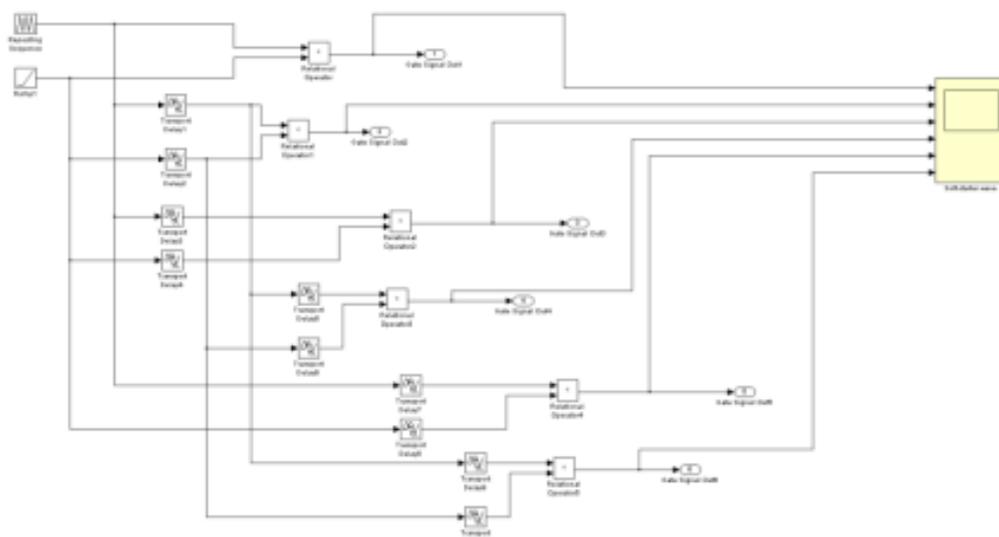


圖 4-2-3 模擬軟啟動之方塊圖

熱與機械能轉換系統 (Thermal-Mechanical Energy Conversion Systems) -- 授課老師為 Dr Khamid Mahkamov, 課程大綱主要內容包括太陽能理論與技術, 史特靈引擎分析「Stirling Engine」, 微型氣渦輪機, 燃燒理論, 生質能及其氣化技術、氫燃料技術以及熱泵相關設備、燃料電池等。作業題目為:「Nuclear reactor」如圖 4-2-5 為火力電廠與核能廠間差異。

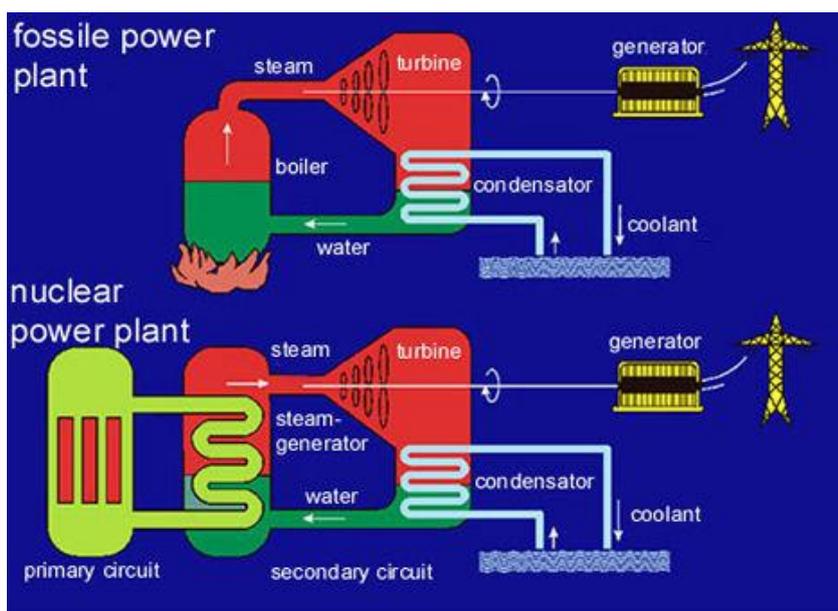


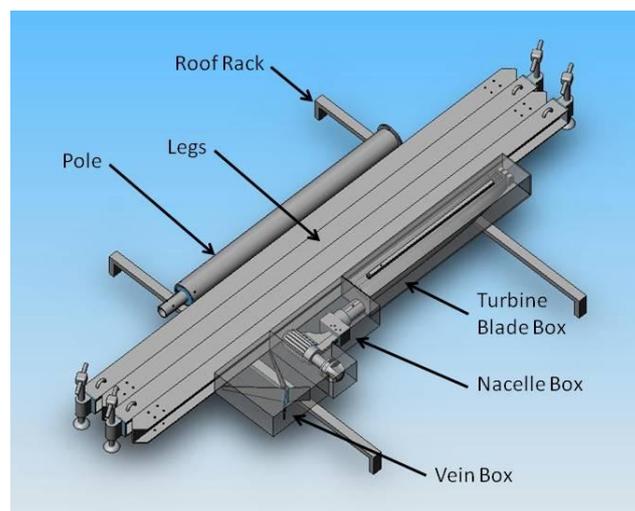
圖 4-2-4 火力和核能電廠間差異

熱力學及渦輪機學 (Thermodynamic and Turbomachinery) -- 授課老師為 Dr Grant Ingram, 此為旁聽課程, 課程大綱主要內容包括渦輪機理論與設計, 熱力系統、風力機設計分析、葉片元素動量理論 (BEM, *Blade element Momentum Theory*) 等。

Group Renewable Energy Design Project -- 該課程相當實用, 一方面可以先讓研究生事先熟悉相關畢業論文的研究方向與學術寫作技巧, 另一方面藉由此團體相互探討專題, 可以了解來自不同的國際學生其文化背景與對設計專案提供不同思考與設計構想, 以充分發揮腦力激盪, 讓我受益良多。

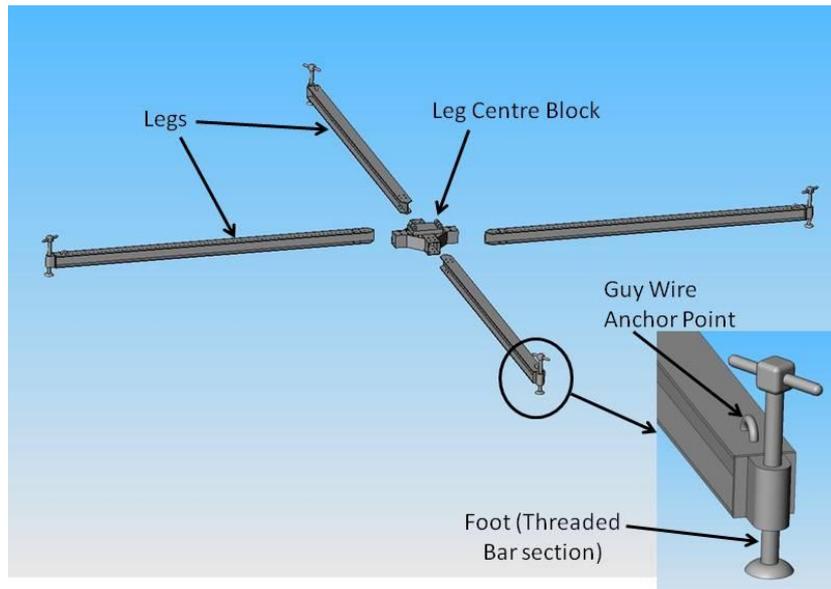
研究專題題目為：「Design of a Collapsible Wind Turbine」，從初步設計概念、市場需求調查、設計所需規範要求、可折疊式風力發電機各單元機構設計（包括機艙、塔台、葉片、基座以及輸配用電纜等）、風能可用率評估、電力需求及所需發電容量、風力發電機電池容量估算、風力空氣動力學分析、風力發電機組件應力分析與設計、設計與應用 Solidworks 繪製以及設計後評估與改善；其設計後成果如下所示：

Step 1: 風力機主要組件的組配托架. The Collapsible Wind Turbine Packed away, showing the majority of parts stowed on roof rack, a ratchet strap will then be used to lock tie them down.

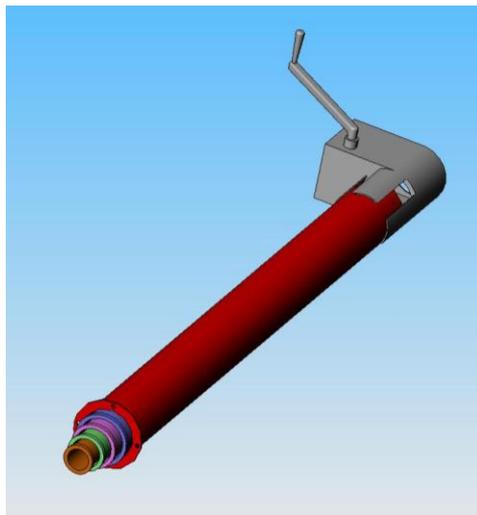


Step 2: 將各組件逐一由托架卸下. Pieces are taken off the rack one by one. This includes taking each of the pole sections down one at a time (in step 1 they are stowed away inside each other but the total mass is too large to take down as a complete unit).

Step 3: 基座組立. Setting up the base. The Legs must be slotted into the centre block and the locking bolts inserted. The Feet are then levelled so the tower will be vertical.

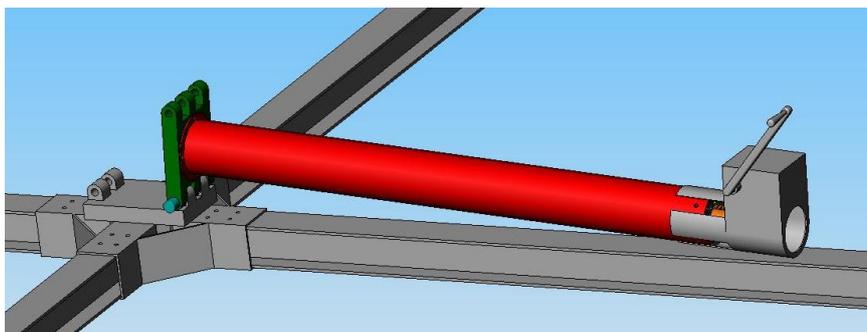


Step 4: 可伸縮式塔桿設計.



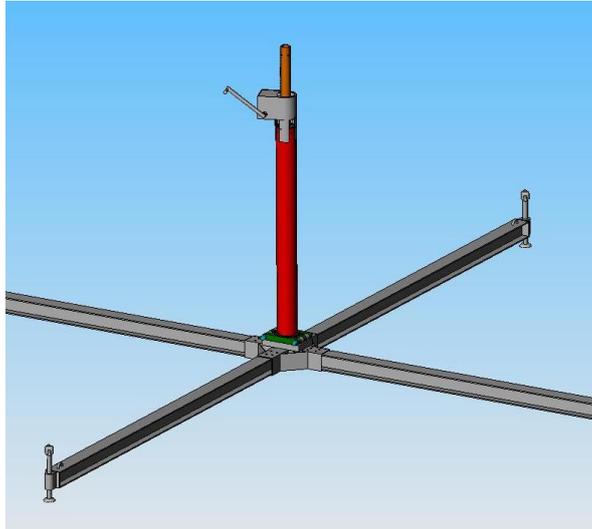
The pole sections are inserted one inside the other from the bottom.

Step 5: 可伸縮式塔桿與基座組裝.

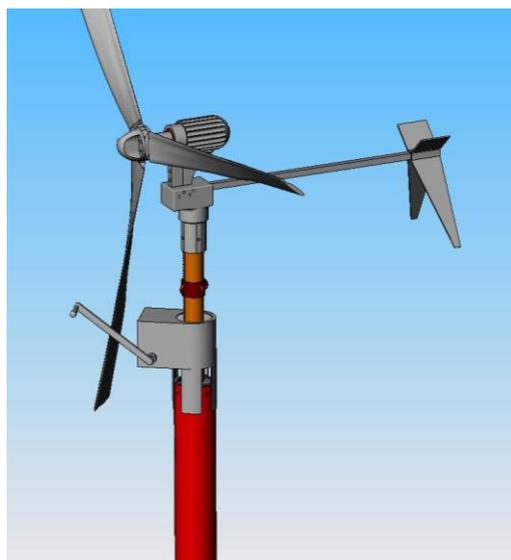


The outer pole section (red) is bolted by its lowest flange to the

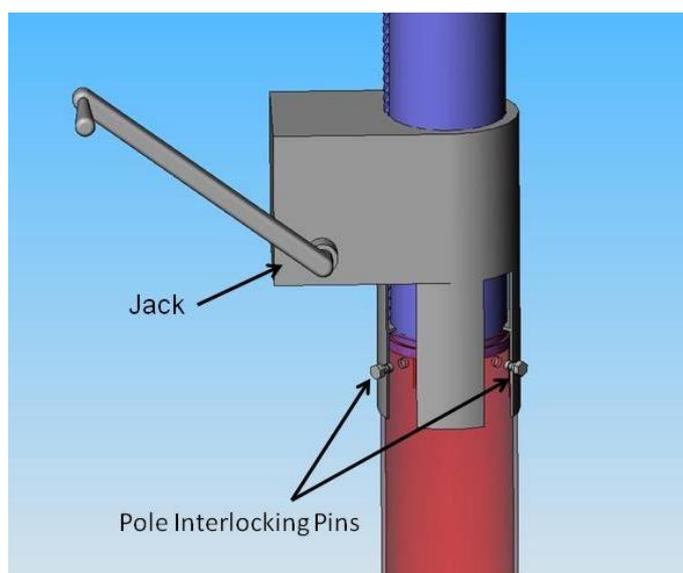
bottom blanking piece (green). The bottom blanking piece pole is then aligned with its partner and the pin (blue) is inserted. This then acts as a pivot the pole is raised and a second pin inserted. The pole is now locked in the vertical position.



Step 6: 葉片及風機組裝. The high guy anchor (maroon) must be put over the pole and the nacelle attached. Then the blades are bolted in place. At this point of installation the guy wires are secured to the leg guy anchor and high guy anchor.



Step 7: 將伸縮塔桿固定. Insert 'pole inter-locking pin'



Step 8: 組立完成圖. Job done! Turbine installed!



5 論文題目:風力發電容量未來成長對傳統火力機組電廠的關聯性(Implications for conventional steam and gas power plants of the future growth in wind turbine generating capacity)

符號及單位 (Nomenclature)

Symbol	Name	Unit
θ	Pitch angle	
ρ	Wind density	Kg/m ³
λ	Tip speed ratio	
A	Swept area	m ²
C _p	Turbine efficiency	
D _{pf}	Droop	
E _k	Stored kinetic energy	
f	Frequency	HZ
H	Inertia constant	second
J	Inertia of machine	Kg·m ²
m _i	Particle mass	
P _e	Electrical power	
P _G	Generating power	
P _m	Mechanical power	
P _t	Shaft power	
R	Turbine radius	m
RMS	Root mean square	
r _i	Radial distance	
S _n	Machine rating	
T _e	Electrical torque	
T _m	Mechanical torque	
V	Wind speed	m/s
ω	Angular speed of turbine	
ω_m	Rotational speed of machine	
ω_s	Synchronous speed	

5.1 序論

綜觀全球各主要國家，發展乾淨、低價格以及永續能源已經變成一項世界潮流；究其原因乃是對於石化燃料未來可能面臨短缺及造成空氣污染議題，因此逐漸意識到在未來數十年內必須發展再生能源以做為替代能源，如風力、太陽能及潮汐能等。而風能正由於具備相當成熟技術，現今以及未來將獲得許多國家致力於其發展與使用[1]。傳統上電力是由各式不同技術而產生，例如由燃氣、燃油、燃煤、核能以及水力等相互搭配而成，以符合顧客群的需求。

由風力發展的目前趨勢，可知將有越來越多的風力機組裝置容量將會併入到現今電網系統內；但由於風力發電的特性異於傳統火力機組電廠，如此發展將會影響到電力系統操作控制上的一些問題，諸如頻率控制等。因此傳統發電廠及設備供應商正面臨著如何改善設備操作性以符合未來為因應經常性的機組起停及負載易變動的挑戰。

實際上大多數傳統火力發電機組在設計上是作為基載或者是二值制運轉，然而隨著裝置容量日漸增加的再生能源(於 2030 年北美洲為 21%，歐盟為 30%如圖 5-1-1 及圖 5-1-2 所示，同樣地英國和西班牙如圖 5-1-3 及圖 5-1-4)[2]，傳統火力發電機組需要更具彈性以支援補償因風力發電機組所造成之負載變動以及降載運轉時能更加有效率;換言之，未來的傳統火力發電機組一部分將作為基載運轉，而另一部分則作為調節負載、控制系統頻率用，以符合電力需求。

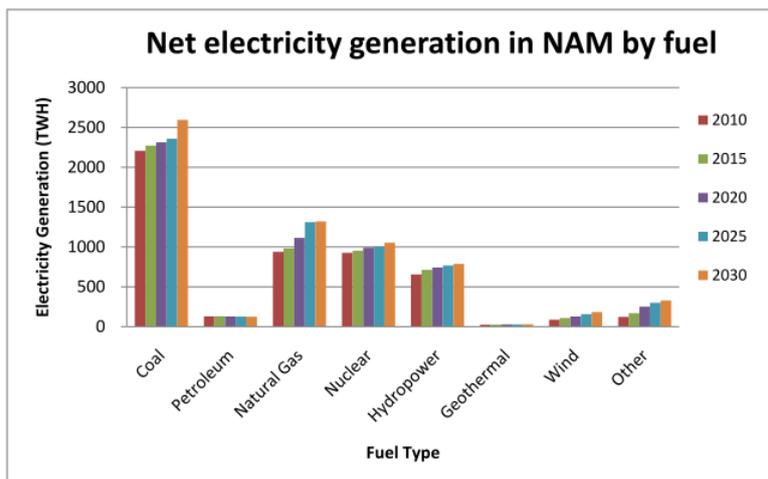


圖 5-1-1 北美洲於 2010-2030 年間淨發電量之燃料配比[2]

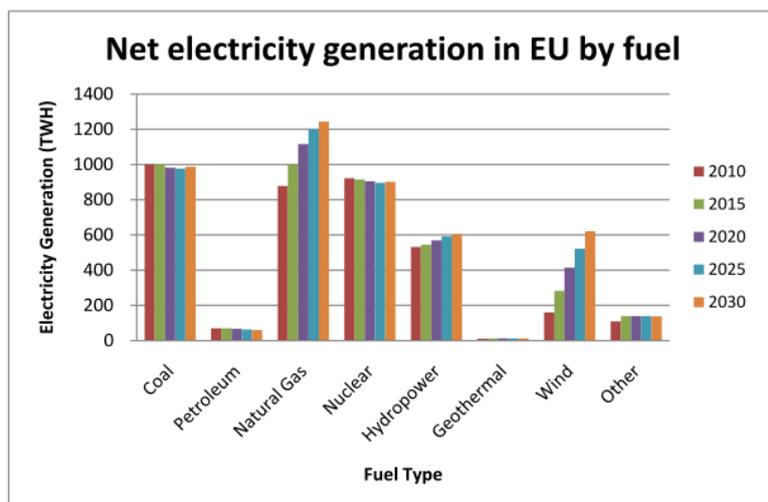


圖 5-1-2 歐洲於 2010-2030 年間淨發電量之燃料配比[2]

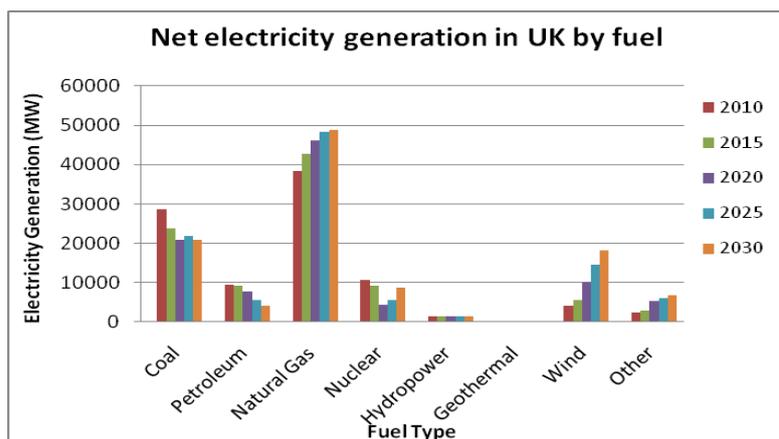


圖 5-1-3 英國於 2010-2030 年間淨發電量之燃料配比[2]

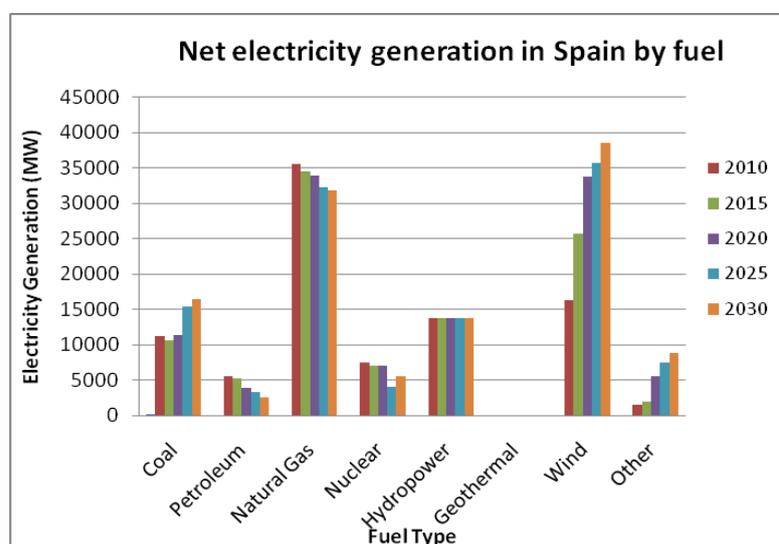


圖 5-1-4 西班牙於 2010-2030 年間淨發電量之燃料配比[2]

在一般標準電力系統操作下，頻率是藉由調整所供應電力去符合需求，而使得系統頻率調整至一限定範圍內。倘供電與需求無法匹配，則系統頻率將隨之改變。本論文中利用套裝軟體 Matlab®/ Simulink® 模擬對於日益增加之風力發電容量將對電力系統頻率的衝擊與影響並尋求修正改善之道。而採用模擬之發電系統模型則是依現今各種不同發電方式所組成，包括燃煤、核能、氣渦輪機以及燃油等一般統稱為傳統火力發電廠以及各種不同形式之風力發電機組模型。透由傳統火力發電模式與風力發電機組上不同比例的發電容量來模擬每日系統頻率穩定性，其結果容後討論。可確定的是在

可預見的未來，風力發電機組在某些國家將會大幅增加其發電比例，導致系統頻率將受到潛藏不穩定且容易超出所限定範圍，因此如何控制系統頻率穩定性將是首要任務，當務之急。

5.1.1 研究動機

當風能逐漸在整個電網內占有一席之地，風能中所有會影響電力系統的品質及安全性相關因素皆必須加以納入考慮，亦即風力發電機的發電比例大幅增加下是否會影響電力系統頻率重大改變已變成工程上關切議題。因此傳統控制系統頻率方式已不再適用，而電網系統控制員需負責提供可靠穩定的電力給大眾，因此如何在現有電力系統中謀求因應之道，以補償風力發電所造成系統頻率不穩定的衝擊已成當務之急。基於上述潛藏問題急待解決，本論文將以各式不同發電方式、容量依現行電廠實際狀況加以搭配，利用套裝軟體 Matlab®/ Simulink®來模擬，並檢視歐盟電力系統如西班牙和英國等國之頻率反應；利用此模擬模式於 2030 年與現今(2010 年)在各種不同比例之風力發電下，頻率反應將會加以比較與討論，並藉此結果來檢視在未來幾年日益增加發電容量的風力發電機是否可利用改變傳統發電方式或結構來改善或維持頻率穩定性。

5.1.2 文獻探討

由於全球油氣價格飆漲、石化燃料日益耗竭以及因全球暖化衍生出之環保議題等龐大壓力下，風能已逐漸獲得重視，而作為發電的另一種替代能源。風力發電裝置容量在國內外均快速成長，當其在電力系統中裝置容量佔比逐漸增加後，對備轉容量規劃、系統頻率控制及穩定度均有相當影響。然該相關研究卻大多著重於風力機的改善，有關試圖藉由傳統火力機組方面做

改善的研究文獻卻付之闕如。因此所衍生的一些議題，近年來亦獲得相關研究單位的重視。在這些相關議題當中，大致上可分成兩方面—風力發電應用上頻率控制及風力發電機組的慣性反應。

由 Divya[3]等人所發表對頻率控制之一般性概念可得知，日益增加的定速型及變速式風力發電容量將會對系統頻率造成某種相當程度的波動變化，且比以往變得反應更加敏感；其中尤以雙饋式感應發電機變速式 Doubly Fed Induction Generator(DFIG)風力機所造成頻率波動比固定式風力機要來得大些。因此固定式風力機似乎可以由該系統釋放些動能以恢復穩定系統頻率，而變速型風力機則無此特性，此論述恰與 Slootweg's[4]的結論不謀而合。同時他歸納出風能對電力系統頻率波動的影響係主要取決於風力發電機的型式(定速或變速型)。如何修正風力發電機以提升電網系統上頻率穩定性之相關議題已發表在許多文獻上，Morren[5]等人曾針對某特定型式風力發電機技術上提出頻率穩定性控制作深入討論，藉由額外控制迴路可使變速型風力機應用於一次頻率控制而提升其慣性。Ekanayake[6]亦論述說適當控制系統應用於變速型風力機將可大大提升動能甚至大於定速型風力機。此外 Conroy 和 Watson[7]亦提及全變速轉換型風力發電機的頻率反應能力已可媲美傳統式發電機並且該控制系統規劃案亦已發展以提升其頻率響應。

另一方面，許多研究亦明確顯示各種不同型式的額外儲存機構是必要的，以維持日漸增加的風力發電下供需間的平衡。正如同 Lalor[8]等人所述額外儲存機構策略和風力發電機慣性響應特性的修訂將可有助於一次頻率控制。另外 Morren[9]等人亦提出，雖風力發電機提供的慣性遠不及於傳統式發電機組，但若與燃料電池併用，將可改善並可應用於一次頻率控制上。雖然已有許多研究提及當風力發電裝置容量於整體電力系統佔有相當比例後所造成頻率上的偏差問題和謀求改善解決之道，然而卻極少有針對傳統發電機組基於頻率穩定分析作討論；故本論文嘗試從各種不同層面尋求可行策略以減少風力發電容量日漸成長所造成電力系統的負面衝擊。

5.1.3 論文目標

為符合電力系統要求，即使需求一直變動，但頻率仍必須維持在標準頻率的 $\pm 1\%$ 內。故本論文目的乃希望藉由模擬不同比例之發電系統模式來找出可減少因風力發電容量增加系統頻率偏差之最佳方式。換言之其目的為：

- 以一簡化電力系統模式找出系統頻率與風力發電機容量相互間之關係
- 在傳統式同步發電機與額外增加之風力發電機組中，試圖找出證明該系統頻率是可被調整控制的。

5.1.4 論文內容架構

本論文報告內容共分六章，第一章為概論並對相關議題作一文獻探討，第二章則簡單描述電力系統各組件和其代表模型及各式傳統發電方式以及相關之頻率控制系統之特性方程式，同時對風力發電機作基本概念和特性介紹。至於各式發電機組相互搭配組合成整體的模擬模型則於第三章加以敘述且以套裝軟體程式 Matlab®/ Simulink®來模擬。相關模擬所需輸入資料則於第四章提及。第五章則就整體電力系統模擬所得結果做各種不同穩定度調整，同時將所獲得的結果加以修正。模擬所得結果以一些適當有效的提升頻率穩定性之策略將會於第六章提出，最後就論文所得到結果作總結且對未來展望提出一些建議與看法。

5.2 發電系統組件及模式

雖然風力發電在未來將可提供部份之電力需求，透過燃料多元化以及電力系統頻率管理觀點以確保供給正常化，傳統火力電廠還是會繼續扮演極重要角色。本章將與系統頻率穩定相關之傳統火力發電廠內元件作簡單敘述，同時檢視相關影響電力系統頻率響應行為。

5.2.1 火力電廠

以石化燃料（如燃煤、燃油等）或核能反應器等產生電力之傳統電廠皆可統稱為火力電廠。以煤、油及天然氣作為燃料在鍋爐內燃燒產生高溫高壓蒸汽以驅動蒸汽渦輪機，毫無疑問地將會引起溫室氣體排放的問題。圖 5-2-1-1 為燃煤發電機組簡單示意圖。

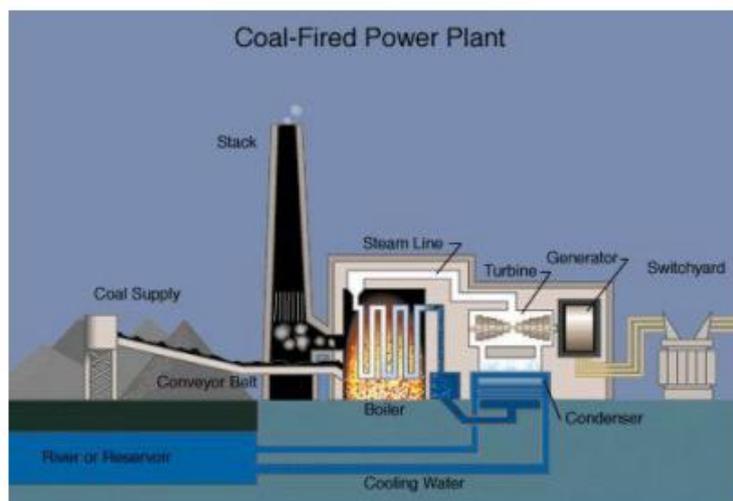


圖 5-2-1-1 典型燃煤電廠示意圖[10]

基本上發電容量高於 100MW 之汽力機組，其效率會隨著將蒸汽通過高

壓段汽輪機膨脹後部分蒸汽經過再熱器而提升[11]。通過低壓段汽輪機之排氣則經由冷凝器冷卻冷凝成為水。圖 5-2-1-2 為利用海水或河水將熱能由冷凝器中移除；冷卻塔則是另一種常見的技術，可將熱能排至大氣中。

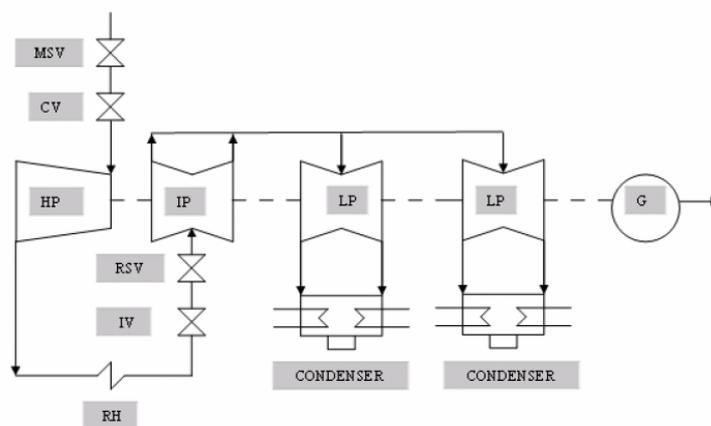


圖 5-2-1-2 串聯複合式單級再熱器汽輪機組成[11]

一般而言，傳統發電廠使用同步發電機，因此在發電系統當中同步調速機響應主要是由 Droop 的轉換函數、調速機構和汽輪機轉換函數所共同決定。在下列章節中蒸汽輪機之特性與模型以及相關調速系統會做一較詳細描述。

5.2.2 調速器-汽輪機-發電機系統

圖 5-2-2-1 為一典型調速器-汽輪機-發電機系統示意圖。當負載發生變化，發電機輸出扭矩亦立即反應而跟隨著改變，而這會引起機械扭矩輸出與電力扭矩間無法匹配而導致速度上的偏差。當電力負載增加使得發電機速度降低，一次控制系統可增加機械輸出而使頻率回復平衡，而這意味著調速器可藉由依據發電機轉軸速度控制閥的位置來控制蒸汽量，以便可控制汽輪機機械功輸出。

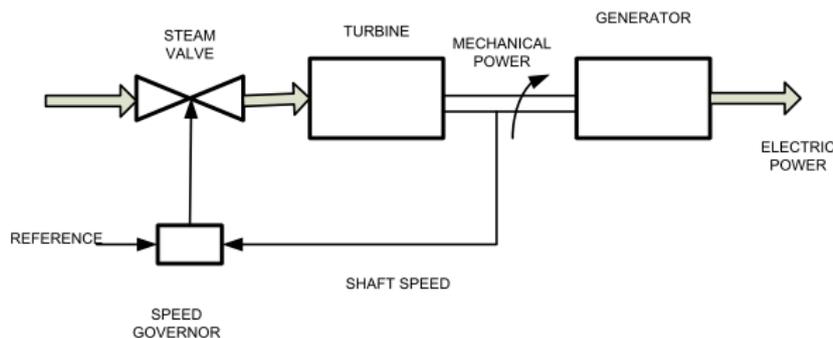


圖 5-2-2-1 調速器、汽輪機及發電機系統

上圖所示為一汽輪發電機調速機構的一次頻率控制迴路，依頻率差距值而增減到汽輪機的蒸汽流量。此外在 CCGT 模擬模式中，該頻率誤差信號將會被放大且積分（PI Controller）去產生控制信號來驅動汽輪機的關斷閥。只有當誤差值為零時，該控制器才會固定維持穩態。

5.2.3 汽輪機模式

本論文中傳統火力發電機組是以串聯多級複合式(高、中及低壓轉子皆為同軸相連結)，單級再熱式(高壓排氣與中壓進口間將蒸汽重新再加熱)蒸汽輪機視為同步發電機來作為模型，其相關參數及轉換函數方塊圖如圖 5-2-3-1[12]所示。

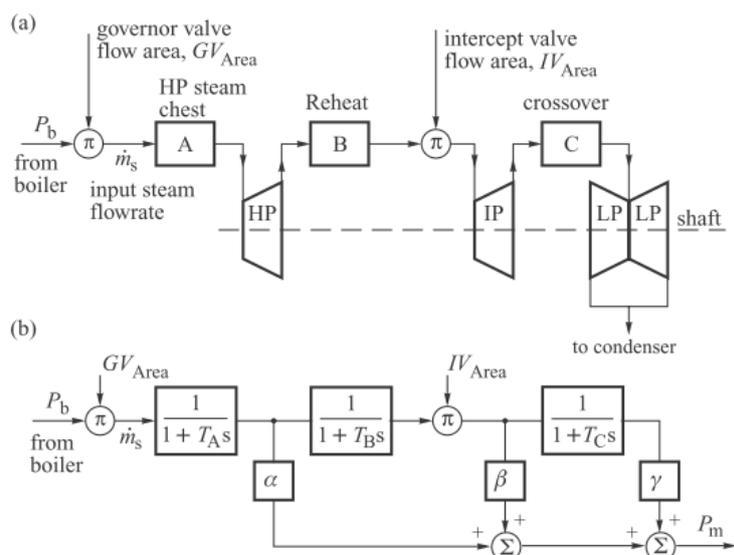


圖 5-2-3-1 單級再熱式汽輪機架構相關參數及方塊圖

一般而言，高壓段佔整個汽輪機扭矩約 30%(HP)、中壓段 40%以及低壓段佔整體的 30%比例。如圖 5-2-3-2 所示。在汽輪機上之蒸汽流量可由調速機構所控制且可區分成兩部分：

1. 汽輪機各階段包括高、中、低壓等部分，可分別以 α β γ 代表，同時 $\alpha + \beta + \gamma = 1$ 。對一典型之單級再熱汽輪機而言， $\alpha = 0.3$ $\beta = 0.4$ and $\gamma = 0.3$ 。
2. 由於蒸汽須先填滿汽櫃與管路系統須耗費些時間，故介於控制閥位置與發電輸出間差異而造成動作時間上的延遲亦必須列入考慮。於圖 5-2-3-1 中所示串級之延時控制函數中典型時間常數分別為 $T_A = 0.1$ to 0.4 s， $T_B = 4$ to 11 s， $T_C = 0.3$ to 0.5 s。圖 5-2-3-2 可作為參考：

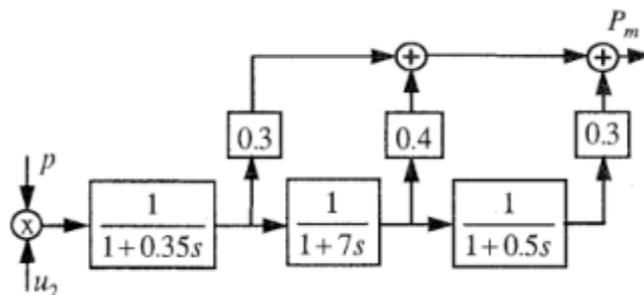


圖 5-2-3-2 單級再熱式汽輪機架構相關轉換函數[13]

此三階系統亦可簡化為單一轉換函數如下圖 5-2-3-3 所示：

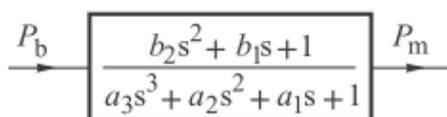


圖 5-2-3-3 轉換後之方塊圖[12]

5.2.4 Droop 特性

當系統頻率偏差超過預設門檻值時，傳統火力電廠的一次頻率控制器將藉汽輪機調速器閥開度上的改變作為反應，換言之改變電力輸出以回應頻率上的差異。此種電力控制器特性定義為 Droop 特性(如圖 5-2-4-1)，圖上直線斜率為 $1/D_{pf}$ 。此 $Droop_{Dpf}$ 一般定義為

$$D_{pf} = \frac{-\Delta f / f_n}{\Delta P_G / P_{Gn}} \cdot 100\%$$

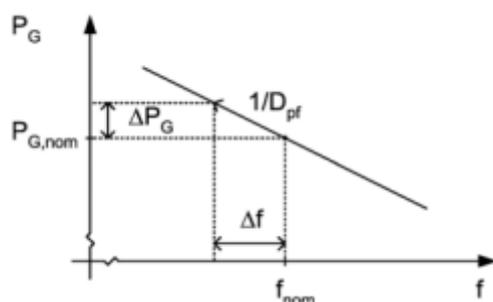


圖 5-2-3-1 電力與頻率特性曲線[9]

在頻率調整控制中 Droop 特性是一重要參數，在火力電廠中 Droop 值一般介於 4%~5%間，亦即 4%~5%之頻率差將引起 100%電力輸出或關斷閥開度的改變。

5.2.5 慣性控制

當系統受到干擾瞬間，頻率將視系統中慣性大小而隨時間做改變；此種受到干擾之初級反應稱為慣性響應，同時它亦可視為對電力系統平衡狀態下改變所作的穩態回應效果。但由於風力發電裝置容量與日俱增地將併到電網系統，整體的慣性將會減少。當系統頻率降低，傳統火力發電廠將會立刻由本身迴轉設備中釋放出動能來作為補償；儲存在迴轉設備的動能可以表示為：

$$E_k = \frac{1}{2} J \omega_m^2$$

上式中， J 為設備的慣性而 ω_m 則為迴轉速度。發電機慣性常數(符號為 H)定義為在同步速度 ω_s 下所儲存之動能 E_k (單位 MJ)除以該機械的額定 S_n (單位為 MVA)，因此慣性常數 H 單位為秒。

$$H = \frac{\text{kinetic energy stored in the rotor at synchronous speed}}{\text{machine nominal power}}$$

$$H = \frac{E_k}{S_n} = \frac{J \omega_s^2}{2 S_n}$$

大型傳統火力電廠之發電機典型慣性常數介於 2-10 秒[11]，端視電廠使用型式及標稱迴轉速度而定，如表 5-2-5-1。例如慣性常數 3 秒即表示儲存在迴轉設備之動能等於該機械可暫時供應 3 秒之負載。

Type of generating unit	H
Thermal unit	
(a) 3600 rpm	2.5 to 6.0
(b) 1800rpm	4.0 to 10
Hydraulic unit	2.0 to 4.0

表格 5-2-5-1 慣性常數 H 正常範圍內的數值[11]

物體慣性 $J(\text{kg} \cdot \text{m}^2)$ 可以下式表示：

$$J = \sum m_i r_i^2$$

該 r_i 為個別質量為 m_i 粒子至慣性軸之迴轉距離，而該加總為該物體總慣性 [14]。近年來對於風力發電容量漸增後，加入整體電力系統中之相關影響都集中在研究如何發展風力機以提升其慣性常數。

5.2.6 風力發電機

風能的重要性已遍及全世界，風力發電乃是將風場之動能轉換成電能。在風力發電機中是經由兩道轉換過程，一是利用可用風力動能將其轉換成機械能，然後再將機械能再次轉換為電能。一般而言，僅有部分風能可被風力機捕捉利用而轉換成有效機械軸功。風力發電機效率係依導葉片相對於風場流動的角度(攻角 θ)和尖速比有關 ($\lambda = R\omega/V$)，其中 R 為風力發電機葉片半徑和角速度 ω (rad/s) 以及風速為 V (m/s)。假設風力機效率為 $C_p(\lambda, \theta)$ ，則輸出軸功為：

$$P_t = \frac{1}{2} C_p \rho A V^3$$

其中 ρ (kg/m³) 為風的密度，風力機與風向相互垂直的橫掃截面積為 A(m²)。

5.2.6.1 風力發電機分類

風力發電機廣泛應用於商業市場一般可分為三種不同形式：定速型風力機、部分電力轉換器之變速型風力機或是雙饋式感應發電機變速式 Doubly Fed Induction Generator(DFIG)風力機以及全額電力轉換之變速型風力發電機。定速型風力機的概念係利用鼠籠式感應發電機或滑動環感應發電機直接連結，使得發電機和風力機之轉子葉片皆能提供慣性至整個電力系統而對其有所助益，當系統頻率降低時同步定速型感應發電機將會釋放迴轉機的動能。另一方面標準的變速型風力發電機與電網頻率控制並無直接關聯，換句話說發電機扭矩和系統頻率並無連結。而這亦使得變速型風力發電機其慣性幾乎為零[5]，此因素在風力發電容量頗具規模情形下，當考慮整個電力系統穩定性時需詳加考慮。

目前大多數已安裝之風力發電機屬於鼠籠式感應發電機定速風力機，

即俗稱”丹尼斯觀念”(Danis’ s Concept)。然而由市場前景來看，未來風力發電機卻是以雙饋式感應發電機變速式(DFIG)風力機為潮流導向。雙饋式感應發電機和全轉換變速風力機因可提供更為彈性可控制性變速操作和較高效率等特性，已經變成大型風力場(Wind Farms)之最佳選擇。一般而言變速型風力發電機控制器乃是使風力機維持在最佳轉速以產生最大電力；但是由前所述可得知，現代變速型風力驅動系統中頻率響應將會為電力品質帶來負面衝擊。因此深入了解變速型風力機頻率行為是有必要的，以利分析其連結至電網系統後對穩定性所產生之效應。

5.2.6.2 容量因子

風力發電機對地區性電力供應實際所能提供的能力與該區風力能源特性有關，且和該區季節性氣候型態之電力需求息息相關。容量因子(或稱負載因子)可定義為實際由發電機所發出之電量佔理論上風力發電機所能發出之最大發電量的百分比。風力發電機於維修時須停機檢修，然而決定風力機容量因子的主要因素是風力的可用率及風速。根據英國年度報導風力機容量因子介於 24%~31%間，長期平均值約在 27%[15]。在英國經由一連串資料驗證結果，30%容量因子可合理代表目前風能發展程度。

5.3 模擬模式

5.3.1 簡介

本論文中所模擬電力系統模式係利用套裝軟體 Matlab®/ Simulink®所建構，此建構之整體電力系統模式是用來模擬發電機輸出和電網頻率響應以符合每日電力需求[16]。因此在此系統模式包括一些大型傳統式同步發電機組(如燃煤、核能、複循環氣渦輪機(CCGT)、燃油以及開放式循環氣渦輪機等)，區域連結電網和各式包括定速型以及變速型風力發電機組等。整體模式中各相關子系統元件如下圖 5-3-1-1 所示：

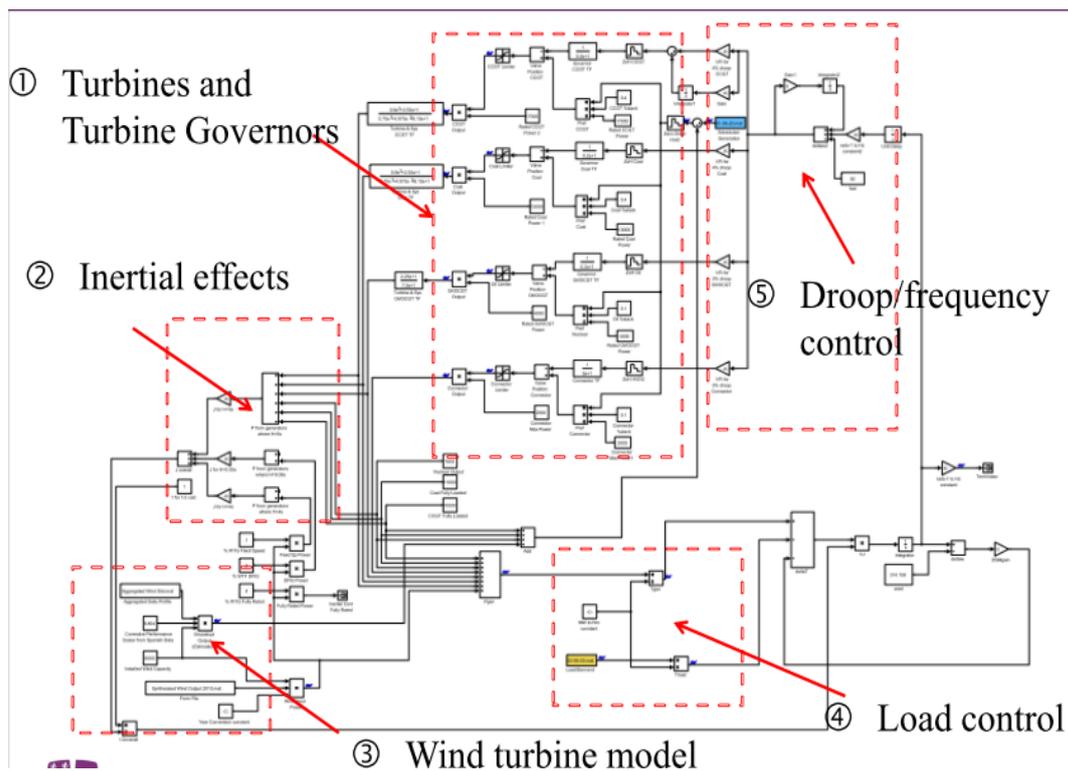


圖 5-3-1-1 電網系統頻率響應模擬所採用模型

5.3.2 電力系統模式一般概念

電力系統一般模式包括各種不同形式發電方式，本節將提出相關特殊特性說明，以模擬系統發電量與需求量間不平衡時頻率的響應，如圖 5-3-2-1[8]所示。其整體概念模式係以 Matlab®/ Simulink®套裝軟體來建構與模擬，以提供在某時區內有關圖形介面來描述電力系統的反應與監視結果。電力系統頻率代表發電量與系統需求間的平衡，正常運轉時少量負載隨時都會變動，為了避免頻率變動過大以及確保電網穩定性，電力系統當局須實施一些頻率控制策略以符合設定目標。典型頻率控制策略包括三階段[5]：

- 初始時頻率偏差係憑藉整體系統之總慣性 H 。
- 接著一次頻率控制或稱 DROOP 控制，係來自汽渦輪機系統的物理反應。
- 最後二次頻率控制乃利用額外控制器迴路，使頻率回復到原始設定值。

一般而言，該積分放大迴路控制器係安裝於總電力系統中單一主發電方式，以避免與其他發電方式發生相互干擾。

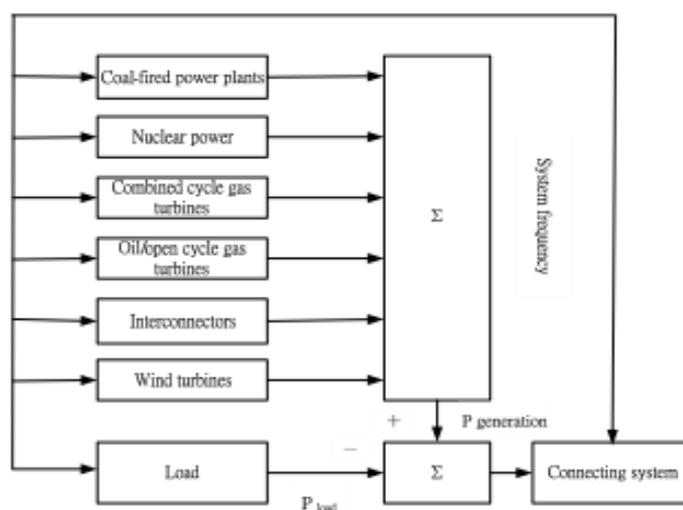


圖 5-3-2-1 電力系統模型之示意圖

5.3.3 汽輪機及該調速器特性

此電力系統模擬模式，係依賴具有 Droop 設定各式不同系統元件的慣性特性、風力發電機容量負載控制以及靜態設定點控制等之汽輪機與該調速器特性。為了解各種不同發電方式組成對電力系統頻率的影響，一連串模擬將會依據實務的一些設定參數來執行。對 Droop 特性而言，在電力系統模式中每一種傳統發電機組都有一 Droop 控制器以幫助系統頻率穩定，而此控制可視為一次頻率控制模式。在此論文中一 Droop 設定值係依據國家電網規範對傳統發電機組之規定，4%將會應用於模擬中[11]。介於 Droop 控制輸出和所使用之汽輪機系統電力輸出係依下列之轉移函數特性來模擬，對一再熱式火力蒸汽輪機而言，此轉移函數和參數值適用於傳統式發電機組的 Droop 模式[11]。此轉移函數代表著一簡化的串級式、單級再熱器蒸汽汽輪機發電機組，相關對應方塊圖如下圖 5-3-3-1 所示。

同步發電機組模式參數：

$$\text{Governor} = \left[\frac{1}{0.2s+1} \right]$$

$$\text{Turbine with reheat} = \left[\frac{0.9s^2+2.53s+1}{0.75s^3+4.975s^2+8.15s+1} \right]$$

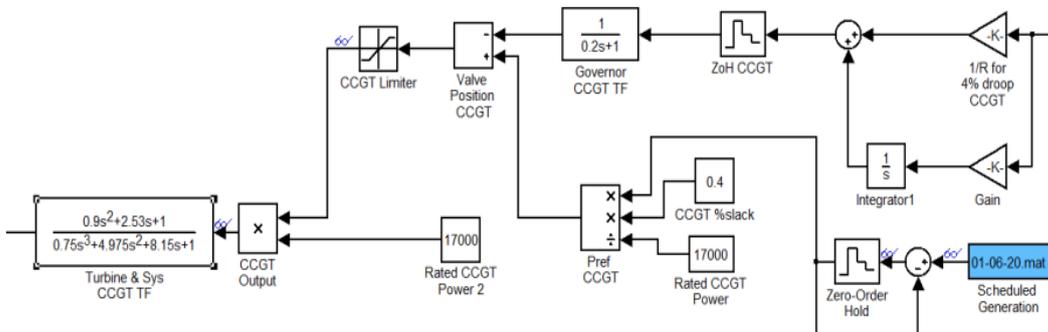


圖 5-3-3-1 汽輪機及調速器模型示意

此外，為了能將系統頻率恢復至原來狀態，一額外控制器必須應用於該電力系統內。通常該整合式控制器僅應用於某特定經選擇之發電機組，以運用於二次頻率控制中。在本論文中複循環氣渦輪機將會運用此功能而多加一額外積分控制器。

5.3.4 慣性效應

在此所架構之電力系統模式中傳統發電機組之慣性常數將設為 5 秒 [12]。另一方面從頻率穩定觀點來看，風力發電的慣性特性僅佔系統一小部分，因此風力發電機中定速型與變速型之慣性常數分別只有 4 秒和 0.05 秒，如圖 5-3-4-1。

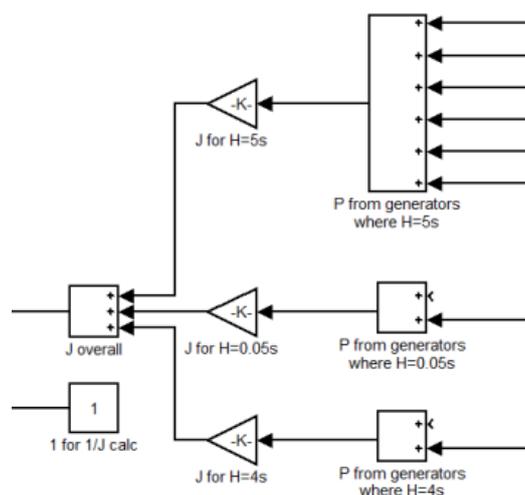


圖 5-3-4-1 慣性效應模式

5.3.5 風力發電機模式

在此模式中風力發電機組可分為定速型、DFIG 變速型以及全額轉換器之變速型發電機，如圖 5-3-5-1。為能徹底了解風力發電機裝置容量漸增下

對頻率的影響，有必要對現今一些傳統式同步發電機組搭配一些風力發電機組作一檢視其對頻率響應，而且希望風力機亦有類似傳統同步發電機組的響應特性。當愈來愈多風力發電裝置容量嵌入整個系統時，未來數十年對於頻率響應的預測已變得更加重要。為模擬此種案例，將英國風力發電容量案例由現今的 3GW 增加至 30.3GW[17]，而這也幾乎佔整發電系統容量約 36.7%。

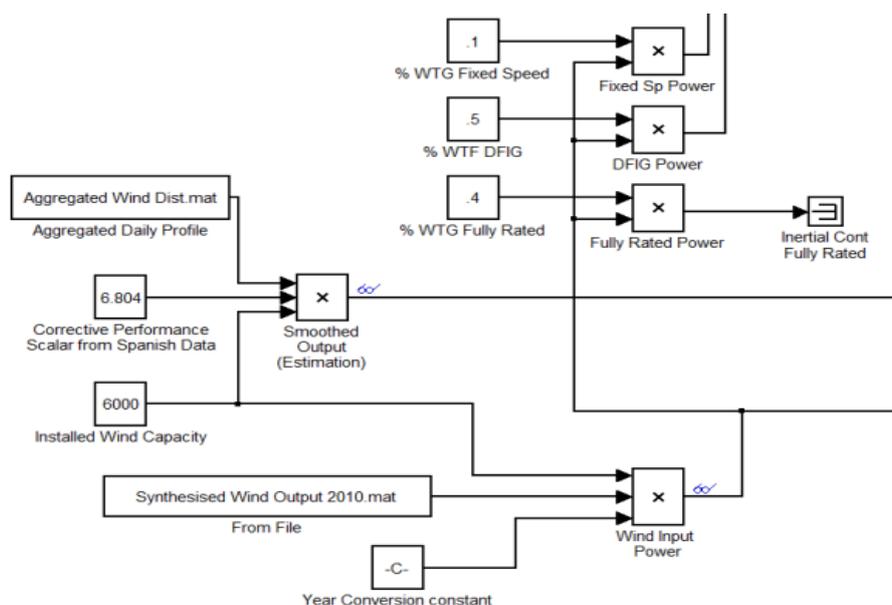


圖 5-3-4-1 風力機模型

5.3.6 負載頻率控制

由於負載頻率控制提供機組最重要的發電控制，因此在整體發電系統中扮演極重要的地位。一般而言大型發電機頻率控制在限定標稱範圍內，換言之，如以歐洲來說，不得超過或低於 1% 即 50Hz ((50±0.5 Hz)。當發電量與負載相互平衡性愈好，則相對地其頻率與原標稱設定值偏差就會愈小。發電量與負載側需求量相互間關係可以下式表示之，同時請參考圖 5-3-6-1。

$$J\omega_m \frac{d\omega_m}{dt} = P_m - P_e$$

$$J \frac{d\omega_m}{dt} = T_m - T_e$$

當負載發生改變，很快地在發電機輸出扭矩 T_e 亦隨即改變，即機械扭矩 T_m 與電力扭矩 T_e 間的差異而導致速度變化。該 J 為發電機慣性，單位為 kgm^2 以及 ω_m 則為發電機之角速度 rad/s 。

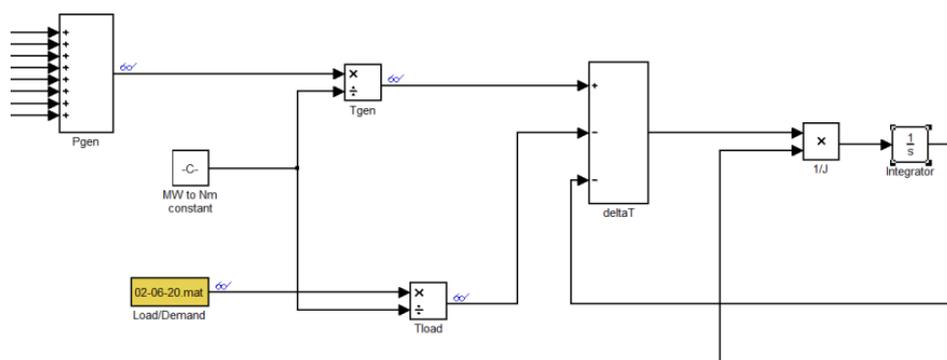


圖 5-3-5-1 負載頻率控制模型

5.3.7 電力系統中穩態設定控制

電力系統中的頻率可視為發電機發電量與負載需求間之平衡與否的參考值。例如在英國若頻率低於 50HZ 則表示負載需求電量高於實際發電量；反之，高於 50HZ 即表示負載需求低於實際發電量。電力調度者的責任則是根據國家電網規範藉由控制發電量多寡至電網中，於任何異常狀況需將系統頻率保持控制在 50.5HZ 和 49.5HZ 間，亦即標準值 50HZ 的 $\pm 1\%$ [18]。現今電網控制亦依靠傳統式電廠，同時為符合規定之變化容許範圍，傳統式電廠亦配備有調速裝置以因應系統頻率改變時能自動改變輸出電量，請參考下圖 5-3-7-1。

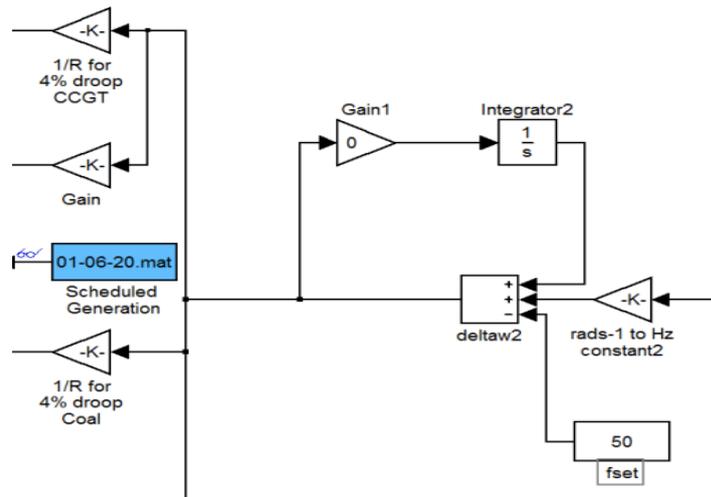


圖 5-3-6-1 穩態設定控制模型

5.4 模擬時所需之輸入資料

本章將談論有關英國和西班牙於 2010 年及分別於 2025/2030 年用於電力系統所作模擬的資料來源及其假設；為了解於 2010 年及 2025/2030 年此兩個國家對國家電力系統頻率造成的變化，嘗試模擬對於傳統火力發電方式和風力發電機組系統頻率穩定性的變化。

5.4.1 英國 2010 年輸入資料與假設

5.4.1.1 電力需求

由於每日電力需求係隨時在改變，依據英國國家電網所公布之數據可作為模擬時使用之負載需求參考。該資料對於英國每日需求電力趨勢大致如圖 5-4-1-1-1[17]所示，而此全天候日電力需求分佈趨勢狀態，將會應用於電力系統頻率控制程序上的模擬。其中每日電力需求上的改變、季節氣候上的變化和一些社會活動，如國定假日等有密不可分的關係。

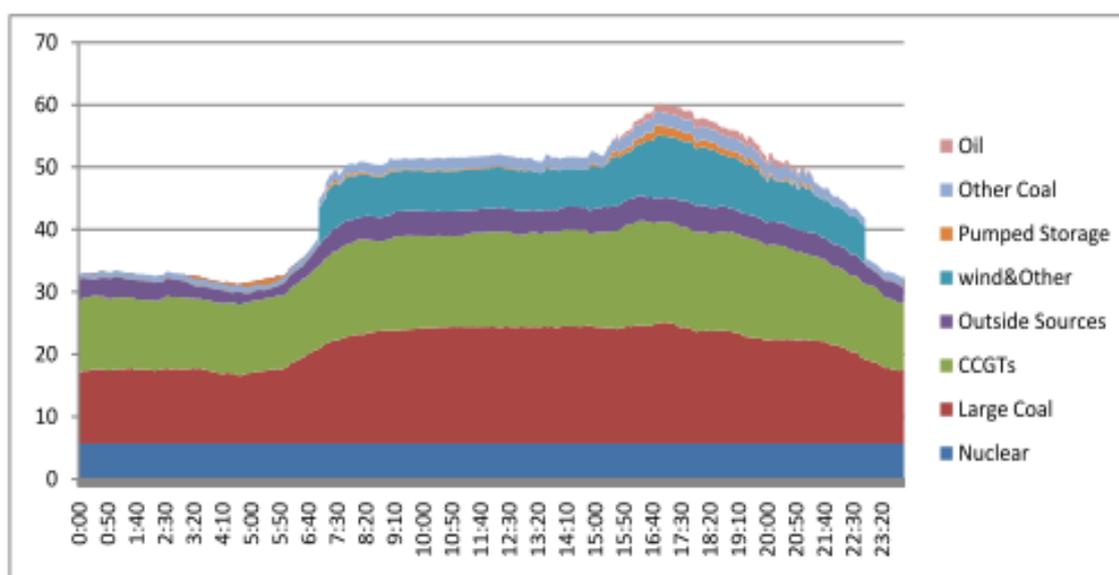


圖 5-4-1-1-1 英國每日負載需求趨勢變化圖[18]

5.4.1.2 發電容量

英國整個發電系統所使用能源採用多元化，如表 5-4-1-2-1[17]所示。在 2010 年整個發電裝置容量高達 81GW，分別由火力電廠包括(燃煤、燃油、天然氣以及核能電廠等)，再生能源和由歐洲整個區域電網相互連通之電力網路所共同組成。然而考量英國境內發電廠可用率如表 5-4-1-2-2 所示，根據表 5-4-1-2-3 可得知於 2010-2025 年間英國電力系統實際可用發電容量，在 2010 年其真正可用發電量降至 68.7MW[17]。另外有一點需值得特別注意的是，本論文中所提之相關模擬與討論皆是基於所謂” Gone Green” 假設理論[17]。

Generation capacity in gone green scenario(GW)																
	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21	2021/22	2022/23	2023/24	2024/25	2025/26
Wind	3.2	4.2	6.3	8.1	9.8	11.3	13.5	16.2	20.7	24.7	29.4	30.4	31.4	32.3	33.3	34.2
Wave and Tidal	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.6	1.1	1.4	1.5	1.6	1.7	2.1	2.4
Biomass	0.1	0.4	0.6	0.6	0.6	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1.1	1.1	1.1	1.1
Gas(CCGT+CHP+MGT)	29.7	30.5	32	32	32.9	34.2	33.7	34.8	34.6	34.6	33.5	34.2	34.8	33.1	31.3	
OCGT	0.8	0.8	0.8	0.7	0.6	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2
Coal	28.4	28.4	27.4	25.4	24.3	23.1	23.1	22.7	20.8	19.8	19.8	19.8	16.8	16.8	15.8	13.9
Hydro	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Pump storage	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
Oil	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nuclear	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	7.1	7.1	6	5.3	6.9	6.9	8.6	8.6	9.7	9.7
Interconnections	2	3.2	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2
Total generation capacity	80.8	84.1	87.4	87.1	88.5	86.7	86.2	89.7	91.9	94.6	101.2	101.2	102	103.6	103.4	100.8

表格 5-4-1-2-1 假設發電量介於 2010-2025 年間

Generation Type	Availability (%)	Generation Type	Availability (%)
Nuclear	80	Offshore Wind	85
Coal	85	Biomass	90
Oil	95	Wave	90
CCGT/CHP/MGT	90	Tidal	90
OCGT	95	Hydro	60
Pumped Storage	95	Interconnectors	100
Onshore Wind	95	New Nuclear	95

表格 5-4-1-2-2 可用假設之發電量介於 2010-2025 年間

Assumed Generation availability at winter peak (GW)																
	2010 /11	2011 /12	2012 /13	2013 /14	2014 /15	2015 /16	2016 /17	2017 /18	2018 /19	2019 /20	2020 /21	2021 /22	2022 /23	2023 /24	2024 /25	2025 /26
Wind	3	3.9	5.9	7.4	9	10.3	12.3	14.6	18.6	22	26.1	27	27.8	28.6	29.5	30.3
Wave and Tidal	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.5	1	1.3	1.4	1.4	1.5	1.9	2.2
Biomass	0.1	0.4	0.5	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	1	1	1	1
Gas(CCGT+CHP+MGT)	26.7	27.5	28.9	28.9	29.6	30.8	30.3	31.4	31.1	31.1	31.1	30.2	30.8	31.4	29.8	28.2
OCGT	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
Coal	24.1	24.1	23.3	21.6	20.7	19.6	19.6	19.3	17.7	16.9	16.9	16.9	14.3	14.3	13.5	11.8
Hydro	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Pump storage	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
Oil	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nuclear	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	5.7	5.7	4.8	4.3	5.7	5.7	7.1	7.1	8	8
Total generation capacity	68.7	70.7	73.5	73.2	74.6	72.7	72.3	75.5	77.1	79.6	85.4	85.5	85.9	87.4	87.2	85

表格 5-4-1-2-3 冬季尖峰用電期之可用發電量

5.4.1.3 傳統電廠發電配比(基載以及備載容量)

為了模擬每日發電量輸出，有關電力需求和可提供之發電量詳細的資料是有必要了解的。該電力系統假設理論是以所有同步發電機都在運轉為前提，以及依據假設風力發電機組佔比來做改變。在 4.2.1 節中討論有關英國總電力需求特性，但模擬時對於各種不同類型之發電機組發電量配比亦是相當重要。表 5-4-1-3-1 為經測試後最佳化所選定之模擬英國電力系統參數輸入值。

Setting value of simulated parameters in 2010					
Assumed availability (GW)	generation	Base load	Adjustable load	Adjustable percentage	PI controller gain
					0.012
Wind	3				
CCGT	26.7	10	17	0.4	
OCGT& Oil	4		4	0.1	
Coal	24.1	11	13	0.4	
Nuclear	7.6	7.6			
Interconnection	2		2	0.1	
Total generation	67.4				

表格 5-4-1-3-1 英國 2010 年發電模擬參數設定值[17]

5.4.1.4 風力發電

英國目前(2010年)所累計風力發電裝置容量為 3GW,且僅有大約 4.5% 電力消耗是來自於風力發電所提供。此外在每日風力發電輸出基準上對於風速部分假設先不列入考慮。在英國境內典型風力資源曲線分布,可得知白天時相對於晚上會有較高風力輸出,如圖 5-4-1-4-1[15]。此風力輸出模式將被使用於模擬參考資料以代表典型每小時風力輸出百分比。

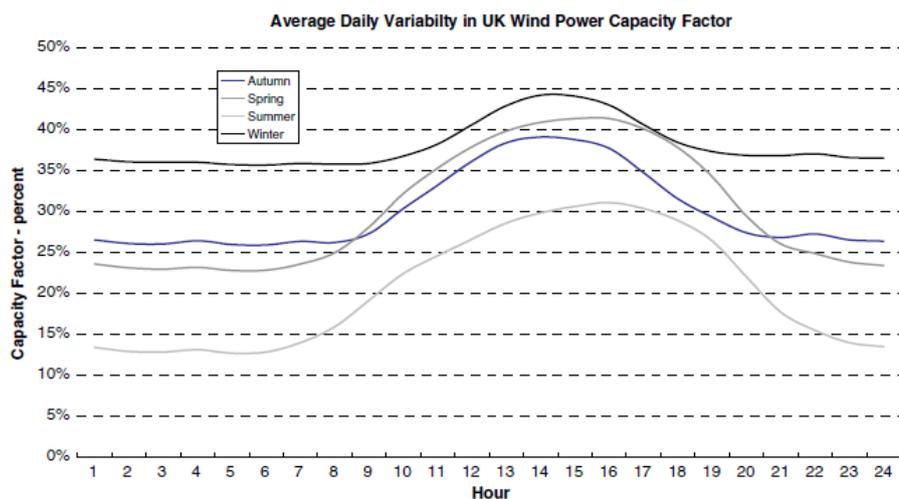


圖 5-4-1-4-1 英國風能容量因子每日的變化[15]

5.4.2 西班牙 2010 年相關輸入資料及假設

5.4.2.1 電力需求

根據歐洲 2030 年能源與交通運輸趨勢所發表的期刊[19]，該裝置容量預測數據將會應用於西班牙 2010 和 2030 年有關對系統頻率影響的參考資料，由於其地理位置與英國類似，故假設該電力需求模式與英國雷同。

5.4.2.2 發電量

西班牙整個發電系統能源亦採多元化，如表 5-4-2-2-1 所示。在 2010 年整個發電裝置容量高達 91.6GW，分別由傳統火力電廠包括(燃煤、燃油、天然氣以及核能電廠)，再生能源和其他等共同組成。此項資料來自於 EU-27 2030 年基載假設的情境規劃[19]。

Spain

	Coal	Petroleum	Natural Gas	Nuclear	Hydropower	Geothermal	Wind	Other	Total capacity
2010	11277	5589	35544	7434	13817	0	16363	1545	91569
2015	10570	5216	34467	6986	13820	0	25712	1961	98732
2020	11342	3925	33883	6986	13822	0	33692	5484	109134
2025	15425	3248	32314	4107	13822	0	35695	7487	112098
2030	16378	2504	31804	5600	13822	0	38509	8841	117458

表格 5-4-2-2-1 西班牙於 2010-2030 年之假設發電量(MW)

5.4.2.3 傳統電廠發電配比(基載以及備載容量)

在 2010 年在各項不同發電方式上之電力配比如表 5-4-2-3-1 所示，其

相關數據將被選用作為西班牙模擬輸入用的資料，以獲取最佳化的結果。

Setting value of simulated parameters in 2010 in Spain				
Assumed generation availability (GW)	Base load	Adjustable load	Adjustable percentage	PI controller gain
				0.01
Wind	16.363			
CCGT	35.544	15	20.544	0.4
OCGT& Oil	5.589		5.589	0.1
Coal	11.277	6	5.277	0.4
Nuclear	7.434	7.434		
Interconnection and others	15.36		15.36	0.10
Total generation	91.569			

表格 5-4-2-3-1 西班牙於 2010 年發電量模擬參數設定值

5.4.2.4 風力發電

在西班牙其累計風力發電裝置容量在 2010 年為 16.4GW，約有 17.9% 的電力是由風力發電所供給，比英國高出許多。其每日風力能源分佈曲線模式亦假設與英國相同，以作為模擬時基本資料輸入時使用。

5.4.3 英國於 2025 年相關輸入資料與假設

5.4.3.1 電力需求

根據英國國家電網內部諮詢文件表示[18]，到 2020 年電力需求與現今電需求量比較將不會有重大改變，亦即預測 2020 年尖峰負載用電量將維持大約與目前 2010 年相同約 60MW。此情境規劃是假設任何因經濟發展所增加之電力需求量於 2020 年將會因電能效率提升所補償；另外如交通熱泵應用等所增加電力需求則大部分會由坎入式發電機組所補充該缺口；因此在本篇中所提及之模擬預測電力需求數據是與 2010 年相同。在此「Gone Green」

假設的情境規劃資料，將會使用在對於 2025 年該裝置容量對系統頻率之影響調查。

5.4.3.2 發電量

英國於 2025 年發電裝置容量總共為 85GW，如表 4-3 所示，分別由傳統火力電廠(燃油、燃煤、天然氣以及核能)，再生能源以及一些泵儲存設備等所共同供應。

5.4.3.3 傳統電力的分配(基載及變動負載)

在 2025 年各不同類型發電方式其發電量分配如表 5-4-3-3-1 所示，以利模擬時能獲得更加穩定之電網系統頻率響應。

Setting value of simulated parameters in 2025					
Assumed availability (GW)	generation	Base load	Adjustable load	Adjustable percentage	PI controller gain
					0.012
Wind	30.3				
CCGT	28.2	10	18.2	0.5	
OCGT& Oil	0.2		0.2	0.05	
Coal	11.8	6	5.8	0.3	
Nuclear	8	8			
Interconnection	4.2		4.2	0.15	
Total generation	82.7				

表格 5-4-3-3-1 英國於 2025 年發電量之模擬參數設定值

5.4.3.4 風力發電

2025 年由於風力發電裝置容量倍增，該假設的情境規劃預測數據如表 4-3，在英國於 2025 年風力發電所累積總裝置容量為 30.3GW，並且大約有 35.65%電力是由風力發電機組所供應。

5.4.4 西班牙於 2030 年相關輸入資料與假設

5.4.4.1 電力需求

在該基載假設的情境規劃，將會被應用於 2030 年裝置容量對系統頻率的影響調查，因此在本節中所提及之模擬預測電力需求數據特性是與 2010 年相同。

5.4.4.2 發電量

西班牙於 2025 年發電裝置容量總共為 117.5GW，如表 4-5 所示，分別由火力電廠(燃油、燃煤、天然氣以及核能)，再生能源以及一些由歐洲區域性連結電網所共同供應。

5.4.4.3 傳統電力的分配(基載及變動負載)

在 2030 年各不同類型發電方式發電量分配如表 5-4-4-3 所示，以利模擬時所需輸入資料使用。

Setting value of simulated parameters in 2030 in Spain				
Assumed generation availability (GW)	Base load	Adjustable load	Adjustable percentage	PI controller gain
				0.01
Wind	38.509			
CCGT	31.804	20	11.804	0.4
OCGT& Oil	2.504		2.504	0.1
Coal	16.378	1	15.378	0.4
Nuclear	5.6	5.6		
Interconnection and others	22.663		22.663	0.1
Total generation	117.458			

表格 5-4-4-3-1 西班牙於 2030 年假設發電量之模擬參數設定值

5.4.4.4 風力發電

2030 年西班牙風力發電所累計總裝置容量為 38.5GW，並且大約有 32.8%電力是由風力發電機組所供應。

5.4.5 修正後的模擬

當風力發電裝置容量在電力系統中裝置容量佔比逐漸增加後，由於該系統慣性變低，使得當發電量或負載若有突然有較大變化發生時，對系統頻率控制及穩定度均有相當重大影響。低慣性代表頻率變化率對於供給需求間的不平衡，由於整個電力系統不平衡，控制器充分反應時間又較為緩慢，反而造成頻率響應變得非常敏感。因此在最後模擬修正階段，可行的方法之一是去增加發電機慣性將有助於電力系統中頻率響應穩定性。

5.5 模擬結果及討論

5.5.1 簡介

本章對於論文中所提及之模擬結果將做一總結，同時對整個議題多做討論。有兩種案例將會加以模擬：包括現今及未來假設的情境規劃預測，同時將模擬結果對英國與西班牙兩國作一比較；現今 2010 年模式對於傳統火力機組發電裝置容量、風力發電裝置容量、可用率等去模擬兩國間現存之電力系統。對於未來電力系統模式，風力發電裝置容量快速發展以及傳統火力機組發電分配比例之改變，再再皆會影響到系統頻率控制。本章中係以英國 2025 年及西班牙 2030 年的假設情境規劃做預測之資料作為模擬數據，且此模擬乃利用套裝軟體 Matlab® / Simulink® 來執行在一簡化型整體電力系統的反應。

5.5.2 2010 年模擬結果

5.5.2.1 英國模擬結果

2010 年電網頻率變化與發電量間的關係，於每日 24 小時之模擬結果分別如圖 5-5-2-1-1 及 5-5-2-1-2 所示，由結果顯示該頻率變化皆在可接受運轉範圍內，大約介於 50.15 和 49.9 赫茲間（該限定範圍介於 50 赫茲 \pm 1%）。

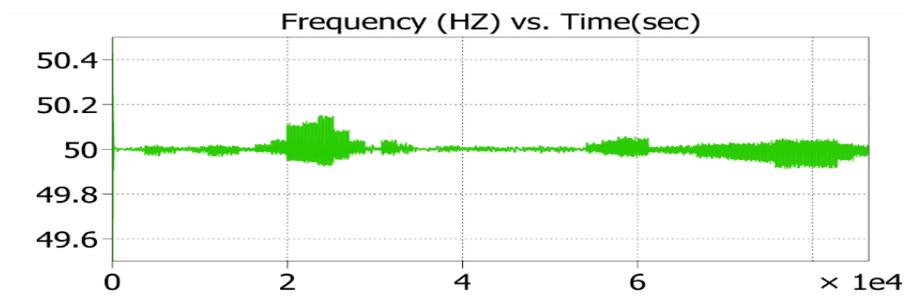


圖 5-5-2-1-1 英國於 2010 年每日頻率的變化

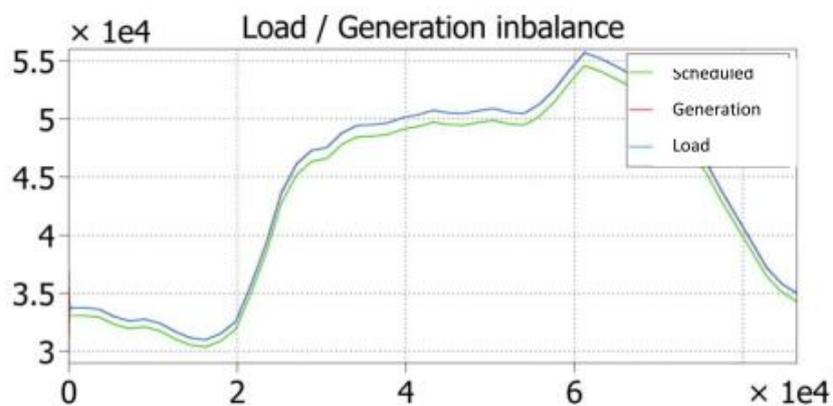


圖 5-5-2-1-2 英國每日發電量與負載需求的變化

5.5.2.2 西班牙模擬結果

西班牙於 2010 年模擬系統頻率變化結果如圖 5-5-2-2-1 所示，同樣地該圖顯示電網頻率響應亦在可接受運轉限制範圍內，介於 50.12 與 49.92 赫茲間。

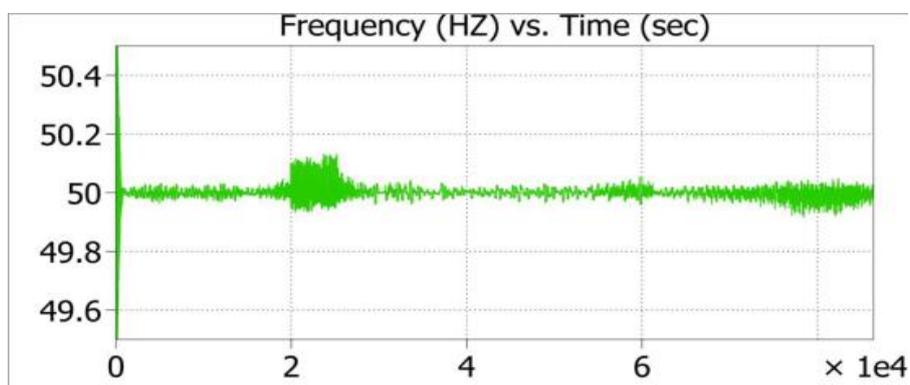


圖 5-5-2-2-1 西班牙於 2010 年每日頻率的變化

5.5.3 2025/2030 年模擬結果

5.5.3.1 2025 年英國模擬結果

英國於 2025 年基於第 4 章所描述之輸入資料，對於電力系統穩定性模擬結果如圖 5-5-3-1-1 所示，與圖 5-1 相互比較可知該反應變成較為震盪波動。這是因為風力發電裝置容量增加，傳統火力發電機組為了補償該區段間發電量與負載需求隨時間之梯度變化差異所引起。如圖 5-5-3-1-1 所示雖然頻率響應仍然維持在 50Hz +/- 1%區間，但是頻率對電力系統變得較為靈敏，也因此將會容易造成電器設備損壞與故障。

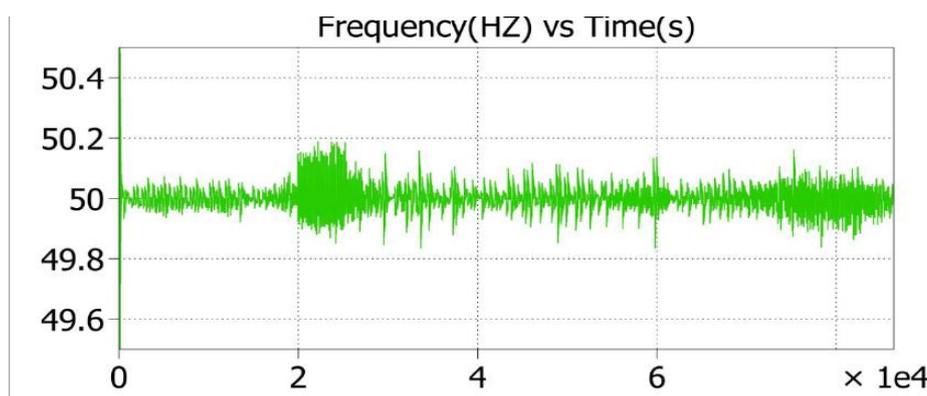


圖 5-5-3-1-1 英國於 2025 年所假設模擬出每日頻率變化

5.5.3.2 2030 年西班牙模擬結果

西班牙於 2030 年模擬結果係基於第 4 章所描述的資料，如圖 5-5-3-2-1 所示；同樣地與該國 2010 年之頻率相互比較，頻率反應亦變得波動較大更加震盪，參照英國 2025 年模擬結果，該圖示頻率變得更加不穩定，偏差標準值亦變大，介於 50.25 和 49.75 赫茲之間。雖然亦在限制值範圍內，然該頻率變動程度將容易造成電器設備損壞與故障。

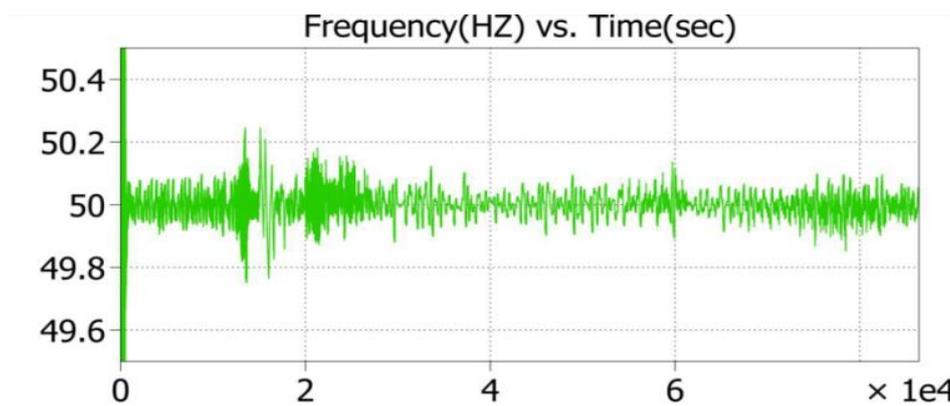


圖 5-5-3-2-1 西班牙於 2030 年所假設模擬出每日頻率變化

總而言之，將 2010 年與 2025/2030 年英國與西班牙兩國間頻率響應加以整理作比較，如圖 5-5-3-2-2 所示：

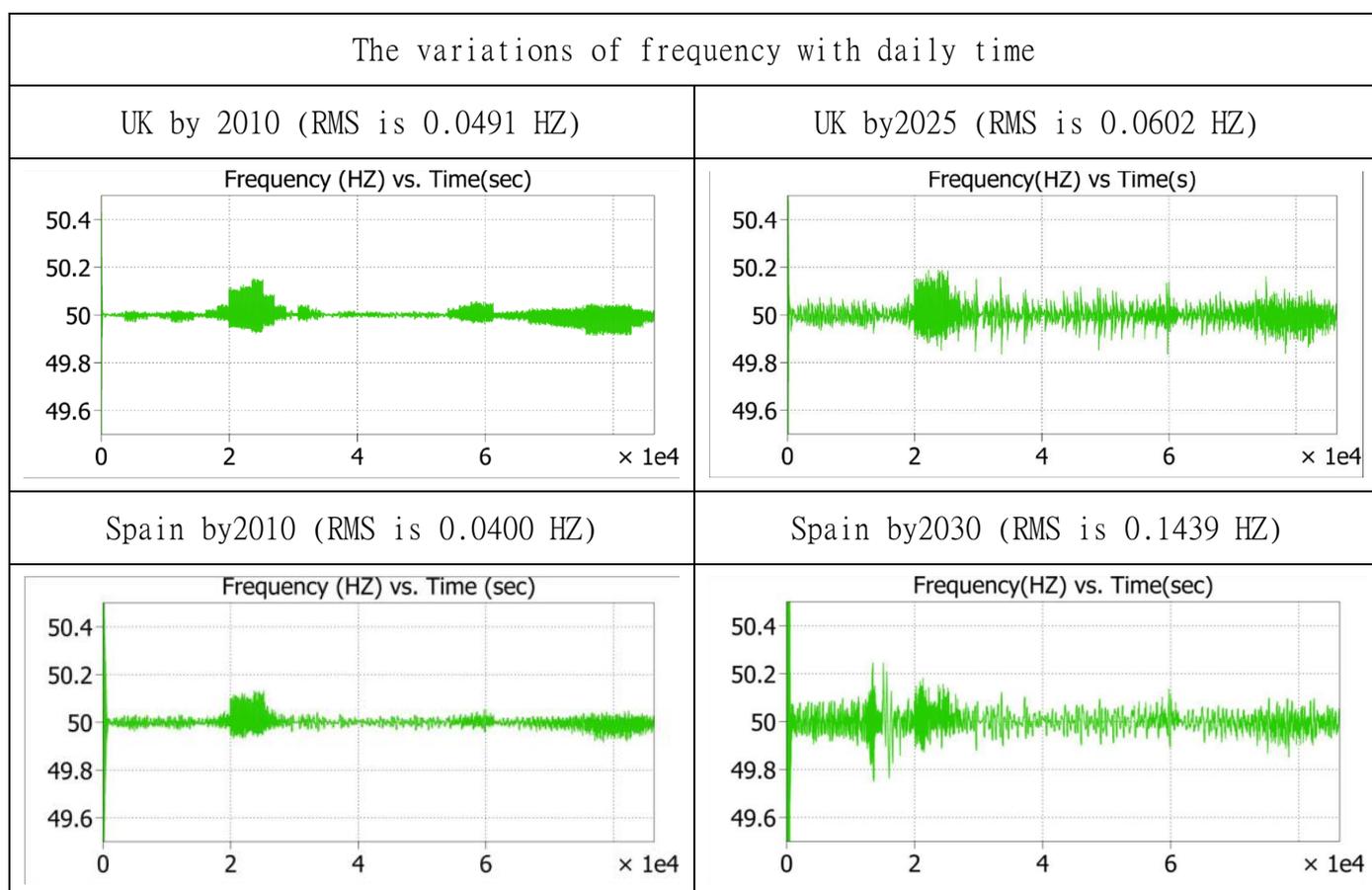


圖 5-5-3-2-2 英國與西班牙於 2010 年與 2025/2030 年所假設模擬出每日頻率變化比較

5.5.4 修正建議方式

首先藉由調整模擬模型中傳統火力發電方式相關參數，以改善未來電

力系統穩定性。此概念是希望找出所需改變模型中一些參數，以利將頻率恢復成原來 2010 年狀況，同時考慮該參數在各類型發電方式所可能代表的意義，以作為未來汽渦輪機結構設計上的考量。然而依目前實驗結果發現，就 2.3.1 及 2.3.2 章節所提之相關傳統火力發電方式中有關汽渦輪機及其調速器之參數調整，並無法將電網頻率穩定性作有效明顯的改善。因此接著便將研究重心轉移至與頻率息息相關之系統慣性方面，修正慣性控制方式後以利將儲存在迴轉機內動能釋放出來去補償支援瞬間頻率變化的不足。初步階段將傳統火力發電機組或風力發電機組之慣性加以改變，以獲得電網頻率穩定性改善；論文中調高慣性常數的策略可行性，將容於下章節說明。

圖 5-5-4-1 以及圖 5-5-4-2 所示為修正後在個別不同傳統火力發電方式及風力發電模式下，不同慣性常數下模擬結果（分別為英國及西班牙），其利用統計概念均方根值（RMS）對於相對應慣性常數變化之反應分別如表 5-5-4-1 及表 5-5-4-2 所示。

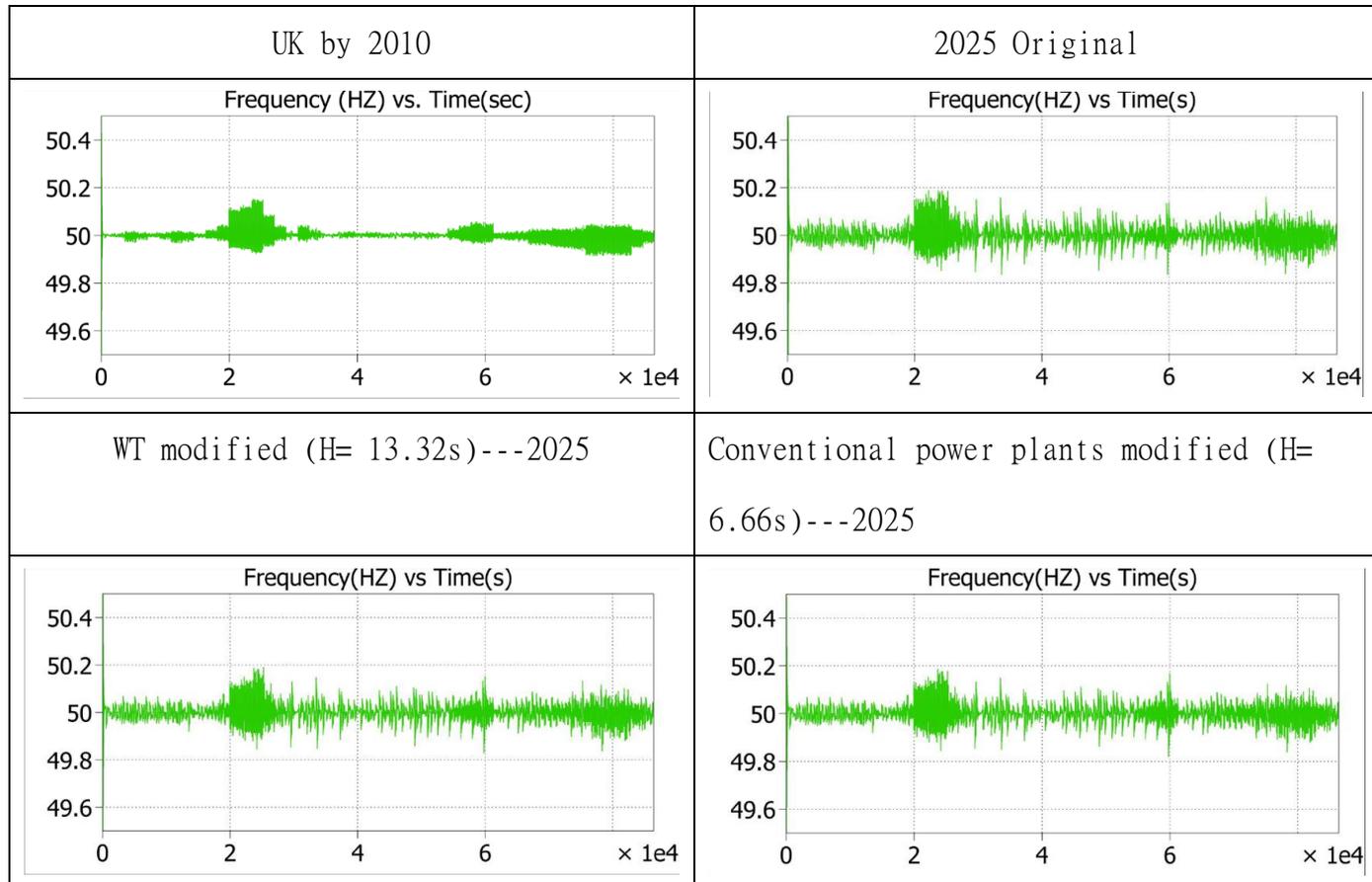
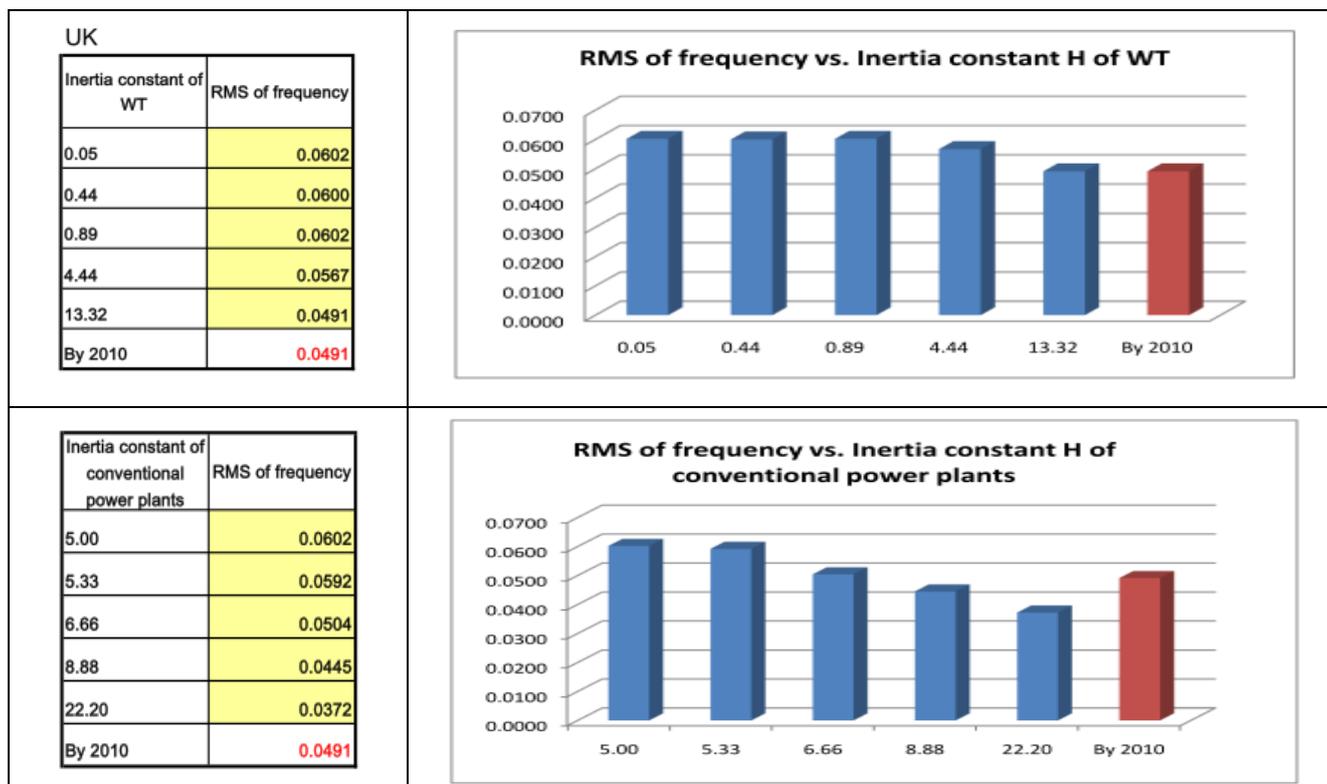
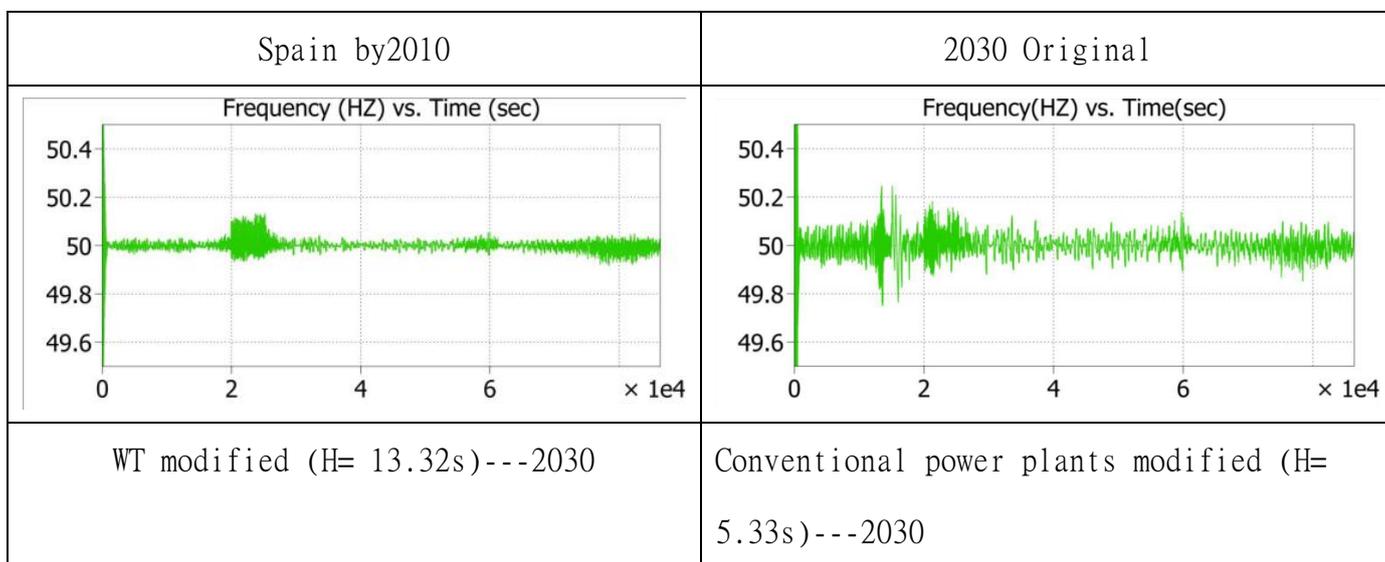


圖 5-5-4-1 英國慣性參數修正後的頻率變化



表格 5-5-4-1 英國經修正後頻率 RMS 變化



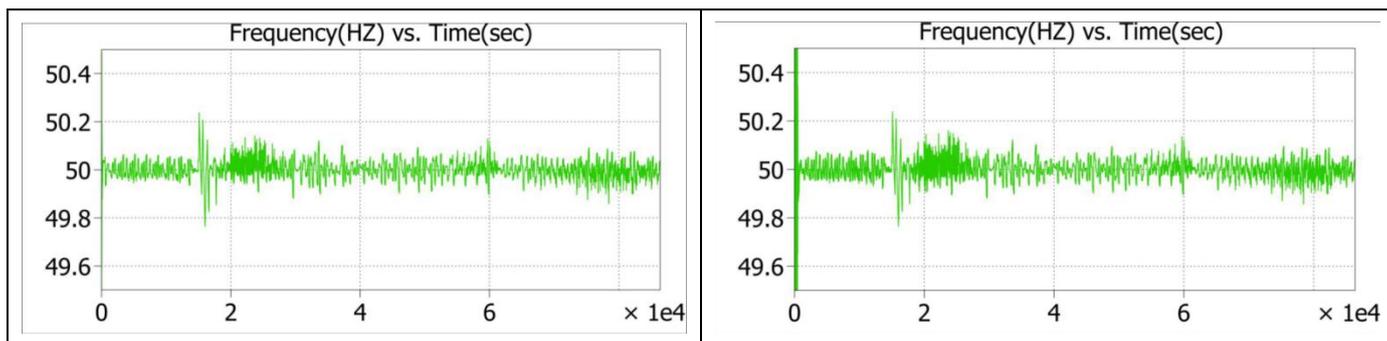


圖 5-5-4-2 西班牙於 2030 年經修正後結果



表格 5-5-4-2 西班牙經修正後頻率 RMS 變化

上述兩國的 RMS 值以及隨時間頻率的變動，顯示出風力發電裝置容量迅速增加後對系統頻率穩定度所造成之負面影響。然而增加風力發電機組或傳統火力機組又或者兩者相互結合之系統慣性，將對減輕整體系統頻率不穩定性提供一可行解決之道。而藉由內部控制策略或裝置額外之儲能機構諸如電池等等，皆能提供實際有效的提升系統慣性。

基本上透由本論文模擬，可知在未來數十年間因風力發電裝置容量成長極其快速，欲維持系統頻率變化仍然像目前容許範圍內，增加慣性將會是一有效可行方式。由前述圖形說明得知：當風力發電機組之慣性常數由 0.05s 增加至 13.32s，其頻率 RMS 值將會降至像目前 2010 年如英國、西班牙所模擬之初始值；另一方面，當增加大型傳統火力發電機組的慣性分別由 5.0S 增加至 6.66S 於英國以及由 5.0S 增加至 5.33S 於西班牙，其頻率 RMS 值亦將會降至像目前 2010 年如英國、西班牙所模擬之初始值。對此兩國可看出在對慣性值改變下有極大不同的感應度。對西班牙言，當慣性常數值 H 由原先 5.0S 增加至 5.33S 時，即可立即恢復回現今 2010 年頻率之 RMS 值，此改變可由圖 5-8 及 5-10 分別看出彼此間慣性常數對響應的不同。而彼此間差異應是在未來西班牙風力發電機組裝置容量配比高於英國所致。

5.6 結論及展望

5.6.1 討論

透由模擬結果，一些現象將於本章節中做討論與描述：

- 從英國和西班牙兩國於風力發電機組裝置容量迅速增加後所造成之影響模擬結果，發現將會造成系統頻率波動變得遠大於現今狀況。
- 於預測 2025(英國)/2030(西班牙)年系統電網穩定性的表現，其相關輸入資料乃基於第 4 章所述，雖其模擬結果尚在目前容許運轉範圍值內，但是該成長趨勢將會導致某些電器設備的損壞或故障之虞。

因此實有必要深入研究探討現今傳統大型火力發電機組汽輪機部分的設計與架構，來回應補償這部分所衍生的問題。換言之，就此議題如何改變設計方針是一大研究目標，以利大型蒸汽或燃氣發電機組運轉更具彈性，以因應未來極可能因各式能源分配多元化政策趨勢下，負載經常變動所造成的負面效應。

5.6.2 結論

隨著風力發電機組裝置容量迅速發展，形成能源多元化的電力系統下，本論文所做各項模擬及改善，提出一較具彈性且可行的方式，以提升系統頻率穩定性。由前討論可得知風力發電機組容量與日漸增下所造成影響，是與系統慣性高低息息相關。同時可利用一高慣性動能儲存裝置結合風力發電機組亦為一有效方式，以解決此頻率不穩定性問題。由此可得以下結論：利用調整傳統火力發電機組與高裝置容量的風力發電機組之慣性常數模式下，將有助於系統頻率穩定度。以西班牙為例，因高裝置容量的風力發電機組導致頻率偏離標準值而有較大均方根值 RMS(一般約 10%比例)下，僅須修

正調升些微傳統火力機組的慣性常數 H 是值得被推薦的方式。因此本篇論文對此議題初步研究得知：藉由額外能量儲存設備以提升系統慣性常數，不論是在傳統火力發電機組或者是風力發電機組都將可提供另外一有效解決之道，而此構想亦值得深入探討與實作來繼續深入研究。

5.6.3 展望

就風力發電機組裝置容量逐年增加，所引發電力系統頻率控制問題而言，如何將日趨嚴重之頻率響應偏離作妥善處理，使其維持在可接受運轉範圍內將是重要議題。也因為前面提及的理由，對於傳統火力發電機組之系統頻率控制方式，應稍做調整使其符合要求標準範圍內。在此篇論文結尾前提出一些建議，有關如何提升機構慣性方式，使系統頻率保持在如目前狀態平衡下；其可分為內部增加控制迴路與外部加裝額外儲能機構兩種方式[20]。

1. 藉由內部控制迴路管理與設定，來調整發電量以控制系統頻率，將可提升系統慣性；換言之此想法是需要各種不同型態備載發電容量是必須的，以維持任何時間內電力供應與負載需求間的平衡。
2. 額外慣性亦可來自外部，例如裝置額外能源儲存設備以支援部分電力需求，例如燃料電池、超大型電容器、飛輪以及電池等等，皆可為整體電網系統帶來極大助益，而且可視為一“實用慣性機制”。

有關本論文相關議題在未來可加以深入探討研究的。首先是考量如何得到更多慣性，基於增設額外裝置和經濟性觀點來使頻率更加穩定；另一議題則為尋求與傳統火力發電機組有關參數，以減緩風力發電機組發電容量擴增下所造成頻率響應負面效應。總之本論文經模擬與修正後，已得到初步結果，並且可被當作基礎資料庫，作為未來更進一步的研究；同時對頻率不穩定問題能提供研究者另一個方向。

6 出國期間所遭遇之困難與特殊事項

學業生活

在留學進修階段，整個課程安排大致上可分：課程→作業→Group Project →簡報→R&D Project →Meeting →期末考→Poster 製作→論文提交→口試等排程。每個課程進度都緊湊極具挑戰性，舉例來說，一份 Group Project 團體專題製作(Design of a Collapsible Wind Turbine)共四人，每週皆排定小組會議針對當周進度做密集討論，相互腦力激盪及分工；學期結束前需提交約 18,000 字書面報告外加每人需上台做 10 分鐘簡報，在這方面的確投入相當多的時間與精力去達成目標。同時不論是必修或是選修科目，每學科授課老師都會額外指定作業(Assignment)，需繳交約 4,000~5,000 字報告。這些都讓自己深刻體會學習如何“自我抗壓”、“團隊合作”以及“時間管理”等重要課題，很多的想法、觀念也隨著視野的擴大而改變了，遇到不同的人種和文化也讓我對這個世界更加的認識；畢竟念書只是人生中的一小段，體驗與學習才是一生中重要課題。

德倫大學台灣同學會

俗話說：「在家靠父母，出外靠朋友」，更何況是遠在千里之外的英國。參加台灣同學會可以让你感受到雖然遠在異鄉，但是逢年過節舉辦的一些應景活動，可以让你亦能感受到台灣人的節慶氣息，同時也讓自己能在課餘閒暇之際多一些社交活動；在這裡常舉辦一些活動，例如除夕團圓飯、慶元宵戳湯圓聚餐、迎新餐會及市區導覽活動等等相當頻繁，是擴展人脈，多認識來自不同專業領域留學生的絕佳機會。下圖 6-1 為德倫台灣同學會的會徽。

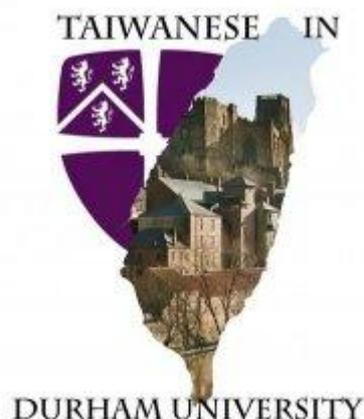


圖 6-1 德倫台灣同學會會徽

休閒活動

Durham 當地屬世外桃源般的小鎮，一般到了下午約 5 點過後街上所有商家皆已關門下班，整條街上變得冷冷清清，行人三三兩兩；而每遇到周末假日，夜店 Pub 就變得異常熱鬧，街上行人也變得熱絡起來，不僅每位打扮入時，甚至一些年輕女孩裝扮得花枝招展，對較保守的東方人來說有些不可思議。足球是英國全民運動，每當有足球賽程，四周有看臺的運動場

(Stadium) 周邊可說是擠得水泄不通，人山人海，可媲美台灣過年過節的氣氛。還記得今年七月世界盃冠亞軍足球賽，那晚就在德倫大學台灣同學會提議下，一起到一家西班牙餐廳聚餐為西班牙隊加油，原因無他就是西班牙倘若奪冠，則當晚除了飲料外所有消費都是免費的，冠亞軍比賽過程中餐廳內加油聲如雷貫耳，此起彼落；一直到最後一局靠罰球西班牙才贏得世界盃足球冠軍，而我們也獲得了免費的一頓西班牙大餐，想來真是超刺激超興奮。

額外收穫

此次至英國進修附帶的將小女兒帶到當地小學就讀整整一年，或許有人在想在英國念書一定花不少錢吧！其實不然，在英國念公立小學和國中是完全免費的，課本也不用買，文具用品也都由學校提供，真是一個福利很好

的國家。即便是像我這樣的外國人，因在這裡註冊為全職學生，所以小孩也視同英國人，可享有免費受教育的權利。同時每天上課的中餐費用，剛好德倫市政府正在試行營養午餐計畫，又省下了一筆可觀的金額，想想帶小孩到英國就讀，除了買幾件制服外，其他可都是免費，對我的負擔可說是減輕不少。然而在這一年當中個人承受壓力卻不少，因為出國進修要能順利畢業取得學位是首要目的，倘因此受到影響那將會有愧公司長官的美意，幸好這一切都能符合原先所預期的結果，順利完成學業取得碩士學位同時又能趁此機會讓孩子增廣見聞。尤其在純英式美語生活環境下學習英文，認識與結交不少英國同學，更激發她對英語學習上的興趣，還嚷嚷說長大後要以當英文老師為志向。這都是對她人生有著正面影響，也將會是她一輩子美好的回憶。

沒落中的英國

雖說留洋經驗令人難忘，到處可見歷史遺蹟文化古堡類及英式風情，不過有些負面印象卻對英國又有些不同觀感，舉例來說，猶記得有次搭火車由 Newcastle 回到 Durham，一下車就看到一群年輕人喝酒鬧事和另一批老外一言不合下，當場打起群架來，這種感覺讓我當時感到不安，立即離開現場；另一方面也常常遇見一些年輕英國學生開車從身邊經過時，常發出大吼大叫喧囂吵鬧及挑釁，給國際學生們覺得是種不友善行為。加上英國近年來經濟大幅衰退，失業率不斷攀升，各地常有罷工抗爭活動；以倫敦來說，就碰過數次罷工造成市區交通癱瘓，影響大眾運輸系統造成不便。

7 心得與感想及建議事項

7.1 心得與感想：

曾幾何時，打從大學畢業後就不敢奢求有朝一日能有機會出國留學進修，取得工程碩士學位。原因不外乎一方面礙於家庭經濟無法負擔國外昂貴的學雜費以及生活費用，另一方面是自從畢業進入公司，由結婚、生子一路至今，經歷了人生黃金階段，家中生活重擔需要一肩挑起，要出國進修更是遙不可及。在這段期間，個人一直利用時間充實本職學能，其中包括值班時利用空閒準備並通過專技人員消防設備師證照考試；接著調至保養部門負責鍋爐設備維護工作時，則考取在職專班研究所，利用下班後到中興大學繼續進修有關熱流組方面的碩士課程，期間辛苦真是點滴在心頭；尤其白天既要忙於壓力大且極具挑戰性的工作，下班後又要同時兼顧學業實屬不易。很幸運地於 97 年間獲得廠內長官賞識給予機會，參加公司所舉辦之菁英出國進修計畫方案甄選活動，獲得正取資格才有幸一圓出國留學的夢想。

當然從一接獲錄取通知後，除了繁忙的工作外還需著手開始申請學校，想當然爾一些必備申請文件，如兩份推薦信、大學成績單、撰寫讀書計畫、出國體檢、報考托福及、IELTS 及語言訓練測驗中心外語能力測驗等，在在都跟時間賽跑，相當匆促。尤其是那段一下班後就立刻趕往外語補習班加強口說能力更是記憶猶新。待一切出國規定資格符合後，其他如後續的核准公文、借支、簽證、機票等相關手續，可說是千頭萬緒、行程相當緊湊。不過這一切都能在長官與同仁支持下，迎刃而解也都能順利成行。回顧過去那段時間雖然帶有苦澀，如今回想起來至今難忘的是那辛苦過後入喉的香甜。在此要感謝公司各級長官對我的支持肯定，給予機會讓我更加成長茁壯。

7.2 建議事項：

1. 近年來綠色能源議題全球發燒，風力發電機組技術發展益趨成熟，裝置容量亦逐年增加；就台灣地理位置與永續能源概念而言，發展風力發電有其優勢與必要性；然風力因具不確定特性，當風力發電機組裝置容量具一定規模(約佔比 10%)以上時，對系統頻率控制、傳統火力機組備轉容量規劃等勢必造成困擾。尤其系統頻率可視為電力品質的一項重要指標，本公司宜著手規劃投入相關研究議題，以因應風力發電快速增加後衍生問題，並可提供公司日後風力發電擴建時相關控制與機構設計與維護之參考。
2. 至燃煤電廠實地參訪時，電廠提供參訪者高音質兼具耳機功能的耳罩，每位參訪者至現場後對解說員所介紹的設備都能聽得一清二楚，不受現場噪音干擾。建議本公司一些現場高噪音單位(如電廠)，能朝此方向評估其可行性，加強溝通宣導平台，相信能為公司加分不少提升公司形象。
3. 地球村時代來臨，英語能力的培養是增加個人以及公司競爭力的必備基本功。尤其現今資訊發達加上高科技等產業的共同語言是英語，要進入世界舞台，英語閱讀能力的培養相當重要；然而口說能力更為重要，礙於平日工作環境鮮少有機會口說練習，在這方面公司宜提供更多進修、受訓以及相關國際研討會的平台，多讓員工有機會參加。尤其在參加國際研討會時，與其他人討論相互交換意見是非常重要的學習經驗。

附錄

A. Model parameters

Table 1 shows the turbines/turbine governor model parameters

Parameter name	Recommended value
Gain	0.02~0.01
1/R for 4% droop CCGT	0.079578
1/R for 4% droop coal	0.079578
1/R for 3% droop oil/OCGT	0.106103
1/R for 3% droop connector	0.106103

Table 1 Turbines/turbine governor model parameters

Table 2 shows the inertia effect model parameters

Parameter name	Recommended value
J for H =5s	112.579093
J for H =0.05s	1.125791
J for H =4s	90.06327425

Table 2 Inertia effect model parameters

Table 3 shows the wind turbine model parameters

Parameter name	Recommended value
% WTG fixed speed	0.1
% WTG DFIG	0.5
% WTG fully rated	0.4

Table 3 Wind turbine model parameters

Table 4 shows the load frequency control model parameters

Parameter name	Recommended value
----------------	-------------------

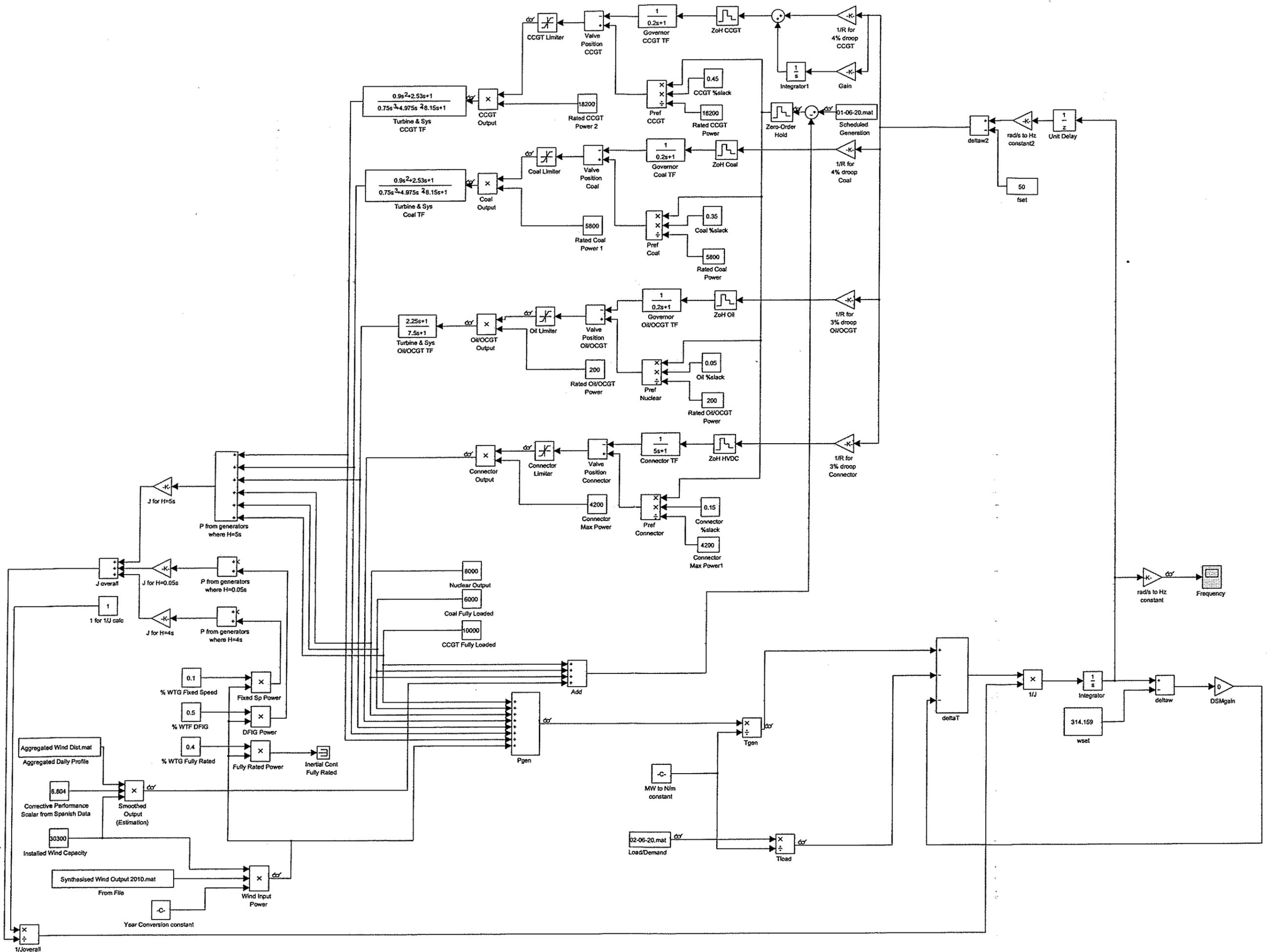
MW to N/m constant	0.000314159
rad/s to HZ constant	0.159154
ω_{set}	314.159

Table 4 Load frequency control model parameters

Table 5 shows the steady state set-point control model parameters

Parameter name	Recommended value
rad/s to HZ constant	0.159154
f set	50

Table 5 State set-point control model parameters



參考文獻

- [1] A. Zervos and C. Kjaer, "Pure power – wind energy scenarios up to 2030," *European Wind Energy Association*, vol. 250, 2008.
- [2] L. Doman, "International Energy Outlook 2009," Washington May 27, 2009 2009.
- [3] A. D. H. Divya K. C., Poul E Sørensen and Jacob Østergaard "Variable Speed (DFIG) Wind Turbines: Rapid Frequency Response to Power System Disturbances," *European Wind Energy Conference-2008 (EWEC'08)* 2008.
- [4] J. G. Slootweg and W. L. Kling, "The impact of large scale wind power generation on power system oscillations," *Electric Power Systems Research*, vol. 67, pp. 9-20, 2003.
- [5] J. Morren, *et al.*, "Wind turbines emulating inertia and supporting primary frequency control," *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol. 21, pp. 433-434, 2006.
- [6] J. Ekanayake and N. Jenkins, "Comparison of the response of doubly fed and fixed-speed induction generator wind turbines to changes in network frequency," *Energy Conversion, IEEE Transactions on*, vol. 19, pp. 800-802, 2004.
- [7] J. F. Conroy and R. Watson, "Frequency Response Capability of Full Converter Wind Turbine Generators in Comparison to Conventional Generation," *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol. 23, pp. 649-656, 2008.
- [8] G. Lalor, *et al.*, "Frequency control and wind turbine technologies," *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol. 20, pp. 1905-1913, 2005.
- [9] J. Morren, *et al.*, "Primary power/frequency control with wind turbines and fuel cells," in *Power Engineering Society General Meeting, 2006. IEEE*, 2006, p. 8 pp.
- [10] (2010, 3, August). *GEOS 24705 / ENST 24705: Science, Technology, and Human Usage of Energy*.
- [11] P. Kundur, *et al.*, *Power system stability and control*: McGraw-Hill New York, 1994.
- [12] J. Machowski, *et al.*, *Power System Dynamics: Stability and Control*: J. Wiley & Sons, 2008.

- [13] A. Ben-Abdenmour and K. Y. Lee, "An autonomous control system for boiler-turbine units," *Energy Conversion, IEEE Transactions on*, vol. 11, pp. 401-406, 1996.
- [14] J. Morren, *et al.*, "Inertial response of variable speed wind turbines," *Electric Power Systems Research*, vol. 76, pp. 980-987, 2006.
- [15] G. Sinden, "Characteristics of the UK wind resource: Long-term patterns and relationship to electricity demand," *Energy Policy*, vol. 35, pp. 112-127, 2007.
- [16] A. M.J., Under graduated, Engineering and computer, University of Durham, 2010.
- [17] "Operating the Electricity Transmission Networks in 2020," N. Grid, Ed., ed. London: National Grid, 2009, p. 82.
- [18] N. Grid, "Operating the Electricity Transmission Networks in 2020", Initial Consultation 2009.
- [19] P. Capros, *et al.*, "European Energy and Transport - Trends to 2030 - Update 2007," *European Commission - Directorate-General for Energy and Transport*, 2008.
- [20] L. Friedrich and M. Gautschi, "Grid Stabilization Control and Frequency Regulation."