

電力研究簡訊

Power Research Newsletter

113 年第 1 季 (113.01 No.131)

台電綜合研究所 **TPRI**

地址：(100046) 台北市中正區羅斯福路 4 段 198 號 電話：(02)2360-1185 傳真：(02)2365-8477

目錄

研究計畫成果

- 一、IEC 61850 配電級變電所通訊模擬研析1
- 二、家庭型微電網與能源管理系統建置分析研究2
- 三、國外售電業電力供需預測及管理之研究4
- 四、高壓直流輸電技術應用於離岸風力系統之動態模擬5
- 新技術新設備介紹
- 超高頻感測器靈敏度測量7

台灣電力公司

使命：以合理成本及友善環境的方式，提供社會多元發展所需的穩定電力。
願景：成為卓越且值得信賴的世界級電力事業集團。
經營理念：誠信、關懷、服務、成長。

研究計畫成果

一、IEC 61850 配電級變電所通訊模擬研析

(資訊與通信研究室：許祐寧、陳韋光、林敬倫、陳鳳惠)

(一) 研究緣由：

台電公司導入 IEC 61850 變電所自動化國際標準，並制定變電所 GOOSE(Generic Object Oriented Substation Event)邏輯策略，利用 GOOSE 通訊服務使智慧電子裝置(Intelligent Electronic Device, IED)發布自身饋線與訂閱其他饋線偵測故障的情形，在發生越級跳脫事故時，能快速傳輸故障訊號，加速饋線進行跳脫，避免擴大停電範圍。

本研究建置 GOOSE 通訊測試平台，使用 OPAL-RT 模擬變電所單匯流排雙饋線模型，透過 IEC 61850 的取樣值(Sampled Values)通訊服務傳送電壓電流訊號給規劃完成 GOOSE 邏輯策略的 IED，藉由與實體設備介接進行通訊以及故障模擬，驗證 IED GOOSE 邏輯策略規劃的正確性。

(二) 研究成果：

台電公司 GOOSE 邏輯策略(註)中策略一的 Case 1 是為了防止 2 饋線同時發生故障時，因故障電流的疊加會造成 Main CB 越級跳脫的情況發生，簡易故障情境示意圖如圖 1 所示，假設簡化單線圖為單匯流排雙饋線，電驛設定值如圖 1 所示，當 2 饋線同時發生故障時，流過 Main CB 的故障電流為

2 條饋線的總和，單一饋線故障電流為 1770A 時，跳脫時間為 2.314 秒，流過 Main CB 的故障電流為 3540A，跳脫時間為 1.076 秒，如圖 1 所示，此時就會造成 Main CB 先行跳脫，而不是跳脫 2 條故障饋線，因此制定出 Case 1 的 GOOSE 邏輯為當 2 條饋線都達到故障電流始動值且持續 20 週波後，加速跳脫饋線。

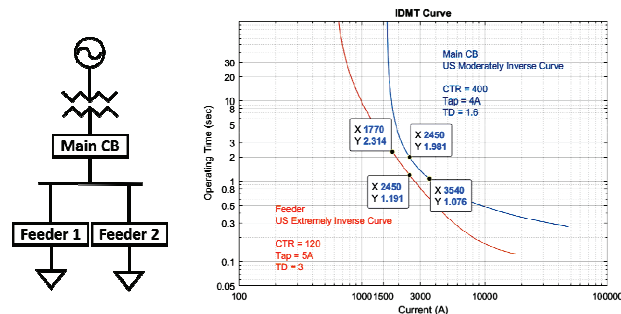
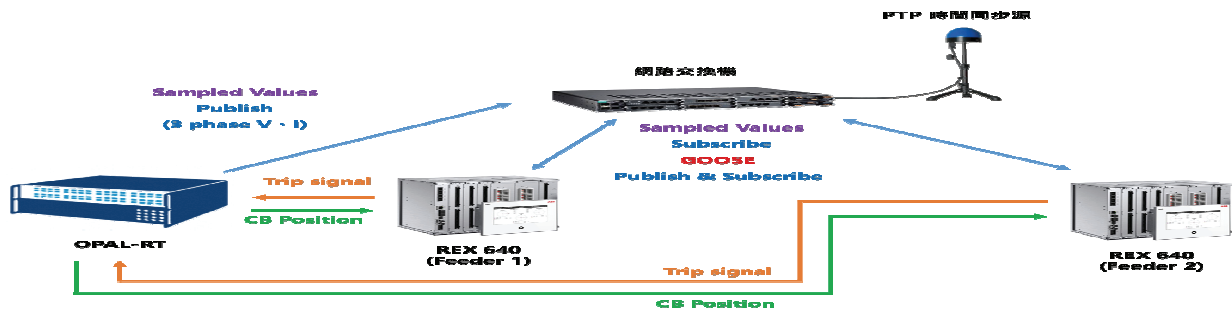


圖 1 策略一 case 1 越級跳脫情境

為驗證 IED 中 GOOSE 邏輯的規劃是否正確，透過建置 GOOSE 通訊測試平台，模擬越級跳脫的情境，與實際 IED 介接進行硬體閉迴路測試。

平台架構如圖 2 所示，平台使用 OMICRON 公

¹資料來源：台灣電力公司配電處，「GOOSE 邏輯策略」，2023 年 6 月。



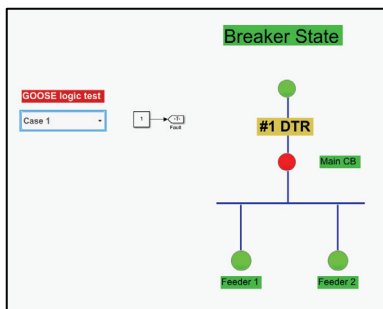
資料來源：本研究

圖 2 GOOSE 通訊測試平台架構

司 CMGPS588 的 PTP(Precision Time Protocol)時間同步源，將 GPS 訊號轉成 PTP 協定的網路封包到網路交換機上，OPAL-RT 和 2 台 ABB 公司 REX640 的 IED 也接到網路交換機上進行校時。

在平台中，OPAL-RT 透過 MATLAB/Simulink 模擬軟體建立單匯流排雙饋線的模型，如圖 1 左半部分所示，以及模擬越級跳脫的情境，再經由 Sampled Values 通訊服務傳送電壓電流訊號給 2 台 IED，接著在 IED 的規劃軟體裡設定 Sampled Values 的訂閱、GOOSE 的發布和訂閱以及 GOOSE 邏輯策略的規劃，而當 IED 輸出跳脫訊號時，採用硬接線的方式傳送給 OPAL-RT，並藉由 OPAL-RT 模擬斷路器動作時間，傳送斷路器閉合、動作中或是切離的狀態給 IED。

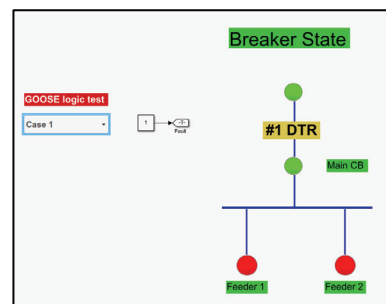
在模擬 GOOSE 邏輯策略一 Case 1 的情境時，會模擬第 1 條饋線發生故障，經過 0.1 秒後第 2 條饋線再發生故障，這時 2 條饋線同時發生故障，若閉鎖 GOOSE 策略時，將造成 Main CB 越級跳脫，如圖 3 所示，只有 Main CB 跳脫，燈號變成紅色。



資料來源：本研究

圖 3 Case 1 故障情境結果(GOOSE 閉鎖)

在 GOOSE 功能啟用的情況下，利用 OPAL-RT 模擬 Case 1 的故障情境，在同時發生故障時，2 條饋線收到對方的 GOOSE 始動(Start)訊號以及偵測到自身饋線發生故障，持續經過 20 週波後進行 GOOSE Trip 跳脫各自饋線斷路器，測試結果如圖 4 所示。



資料來源：本研究

圖 4 Case 1 故障情境結果(GOOSE 啟用)

透過本研究建置之 GOOSE 通訊測試平台設計故障情境可以測試實體 IED 所規劃的 GOOSE 邏輯策略是否正確，而且利用硬體閉迴路的方式模擬並驗證在實際變電所可能遇到之越級跳脫事故下，導入 GOOSE 邏輯規劃的 IED 可達到加速跳脫並縮小事故範圍之成效。除此之外，若未來需增加 GOOSE 邏輯策略或其他相關應用亦可先透過本平台進行模擬及情境測試，規劃出合適的邏輯策略。

目前本平台採用 Sampled Values 通訊協定進行電壓電流訊號傳輸，後續若為更貼近現場實際狀況，擬擴增電流或功率放大器，透過硬接線方式傳輸實際電壓電流給 IED，俾使本平台可兼容目前台電兩層一網架構同時兼容三層兩網之通訊環境測試。

二、家庭型微電網與能源管理系統建置分析研究

(負載管理研究室：鄭凱文、張作帆、王星云)

(一) 研究背景與目標：

隨著再生能源占比提昇，面對異質能源的整合與應用，家庭微電網的建置與用戶端電源管理系統的規劃設計扮演重要角色。有鑒於此，本研究已進行家庭微電網與能源管理系統建置分析研究，研究內容除建置能源管理系統外，也將結合創能、儲能、

以及智慧家電建立家庭微電網，並導入自動需量反應 OpenADR 通訊協定以及國內主流 TaiSEIA 通訊協定遠端監控家電設備以實現各項系統功能應用。

本研究選定本公司鳳山宿舍區展示屋以及樹林所區試驗場域完成建置智慧家庭微電網，其中：1. 鳳山宿舍區展示屋以低碳節能為主軸，完成開發智

慧能源管理系統。該平台除可監視智慧電表 AMI 及配電盤各迴路用電外，亦可於平台遠端控制智慧家電，並結合太陽能與儲能，採用最適電力調度邏輯，使其可於太陽能發電充足時取代市電，達到淨零耗能；並於電力離網時自動轉態為孤島模式，由儲能與太陽能接續電力供應，達到智慧電力調度，提供更完善之家庭智慧微電網應用。另外，平台也整合家電語音聲控功能，大大提升智慧家庭便利性；2. 樹林所區試驗場域，除完成建置能源管理系統實現上述功能應用外，也完成開發本所自行研發之自動需量反應 OpenADR 2.0b 嵌入式系統。透過能源管理系統與 OpenADR 模組整合，成功建立用戶端與電業端之通訊路徑，讓用戶可以參與不同低壓用戶需求面管理措施，搭配創儲能設備，提供各項需量反應執行策略，邁向節能與舒適兼具的智慧家庭應用，以利未來低壓需求面管理措施發展。

(二) 研究成果：

本研究完成各項家庭微電網與能源管理系統平台功能(如圖 1 所示)，包含：

1. AMI 即時用電監視：展示屋建置 AMI 智慧電表，透過 Route B 通訊模組，用戶可透過網頁與手機 APP，獲取每分鐘用電資料，進行自主用電管理。
2. 家庭物聯網系統整合：展示屋建置家用太陽能、儲能設備、AMI 智慧電表、以及各項支援 TaiSEIA 101 通訊協定之智慧家電，打造家庭物聯網，進行能源管理(HEMS)策略應用。
3. 電力資訊可視化：展示屋 HEMS 網站可即時呈現 AMI 智慧電表與配電盤各迴路用電資料、太

陽能發電曲線、以及儲能充放電曲線等電力資訊。

4. 低耗能管理(降低電費)策略：為提升能源使用效率，展示屋採用「太陽能為主，儲能為輔」的自動化低耗能管理策略，降低夜尖峰壓力，節省電費支出。
5. 孤島/併網運轉試驗：當市電離網時，展示屋自動啓用孤島運轉機制，優先調度太陽能供電給緊急/重要負載，其次由儲能電池供應。
6. 智慧音箱家電聲控：展示屋建置 Google Nest Mini 2 智慧音箱，與智慧家電整合。用戶可透過語音方式，進行家電啓閉或運轉模式切換等功能設定。
7. 智慧生活情境：透過手機 APP 應用程式，用戶可以實際體驗智慧家庭功能
 - (1) 夏天返家前已自動開啓冷氣與相關智慧家電，享受舒適環境。
 - (2) 自動偵測環境溼度、空氣品質等因素，開啓除濕機與空氣清淨機等家電。
 - (3) 透過電力總覽，查看創儲能及各迴路即時用電。
8. 自動需量反應：採用 OpenADR 2.0b 通訊協定，能源管理系統可供用戶選擇空調控制、儲能供電、空調及儲能共同執行等任一種方案，再透過動態視覺化來即時呈現 ADR 執行的過程，可同步即時計算與更新顯示儲能系統與本次卸載電量等資訊。



資料來源：本研究提供

圖 1 能源管理系統平台

(一) 研究背景：

在電業法改革的浪潮下，我國電業預期劃分為發電業、輸配電業及售電業，同時在第二階段修法後，將朝向開放傳統發電業與一般售電業進入市場自由購電、售電的方式前進，有鑑於此，在政策要求及市場環境的轉變之下，預期公用售電業面臨開放競爭及用戶流失的情境，因此如何安排電力資源的配置組合，以達到完善的購電策略，成為公用售電業的重要發展目標。

待廠網分離之後，無論是長期年度產銷計畫、機組最適發電量預估、中期電力採購，以及短期之日前排程等各項業務，將由公用售電業進行規劃，同時配合交易平台成立後，再生能源將影響其他機組排程設定，因此再生能源的預測也需有精確的評估方式。然而合適策略方向，皆仰賴預測模型結果，其代表當負載預測及再生能源發電預測更具有準確性時，將對於公用售電業之購電及佈署及具有極大的助益。

(二) 研究內容：

於參考國外做法內容及本團隊以往實務經驗之下，本研究規劃供需預測之變數項目及資料取得來源，並提出我國短中長期負載預測及再生能源發電量預測模型之架構設計，包含短期負載預測之類神經網路模型方法、中長期負載預測之統計模型方法、短期太陽能、風力發電量預測之氣象預報與機器學習模型方法、中長期再生能源發電量預測之機器學習方法。

依據所研擬方法進行建模測試，並投入我國電力用電資訊及各項經濟、人口、所得、氣候等相關指標，分別建置我國短、中、長期負載預測及再生能源發電預測模型，接著將預測模型結果置於台電公司 SAS 平台專屬介面，以作為未來公用售電業在購電規劃下的重要參考依據。

(三) 研究成果：

1. 短期負載預測

介接匯入重要變數包含 AMI 負載數據、淨發電量及體感溫度，運用類神經網路模型方法利用 SAS 建模。2021 年 1~6 月五大類別預測 MAPE 約介於 6~12% 之間，加總負載為約介於 7~10% 之間。民生工業、金屬業、其他類別由於短期用電模式相對波動較大，相對較不易捕捉其用電型態。而資訊電子業、石化業用電模式相較其餘類別波形較為平穩，預測會相對較為準確。

2. 中、長期負載預測

依據五大行業類別特性，挑選與投入其關鍵變數例如冷氣度、工業生產指數、經濟成長率等，檢

視五大類別之中、長期 2021 年月負載預測結果 MAPE 皆於合理範圍，中期預測介於 3.22~10.38%、長期預測介於 0.8~9.25%。民生工業之負載型態變化相對平穩，預測誤差相對較小；金屬製造業由於 2021 年為疫情影響特殊年，初步的預測結果經過調整後亦有所改善(降低其 MAPE)。總負載之預測亦有捕捉到負載型態，測誤差相對較小。

3. 短期太陽能發電量預測

短期太陽能的發電預測，除了裝置容量、案場位置外，主導因素為短期氣象因子變化，尤以全天空輻射量為最重要，氣溫則會略微影響太陽能面板的發電效率。本研究太陽能氣象預報資料囊括多個氣象模式資料，包括天氣風險公司高解析度區域模式 WR-WRF 等。模型對短期太陽能有良好的掌握，24 小時內的平均 MAPE 為 3.7%。

4. 中長期太陽能發電量預測

採用歷史的氣象資料結合歷史裝置容量、歷史發電量等資料，以機器學習方式來進行建模。再導入 TMY 氣象資料作為長期氣象資料，並將各縣市裝置容量進行推估後產出預測。建置模型之發電效率趨勢相當接近實際發電效率，僅部分峰值未完全全部捕捉成功，而整體 MAPE 約為 5%，為合理範圍。

5. 短期風力發電量預測

短期發電量由風速、風向、空氣密度等氣象因素主導，並以風速為決定性的影響因子，並仰賴數值氣象模式與機器學習模型的混合使用。本研究使用天氣風險公司運行之 WRF 數值預報模式，建置模型對於短期風力發電預測有良好的掌握能力，在 24 小時前平均 MAPE 為 5.6%，並且能掌握風速較大時發電尖峰值的變化。

6. 中長期風力發電量預測

天氣變數中，風速與發風力發電量相關性最高，而除了風速外，發電量與裝置容量也息息相關，預測每單位裝置容量的發電效率，最後再乘以推估的裝置容量即可得到總發電量。利用各風場過去的單位發電效率，與全台灣風力發電量進行各別的相關分析，以供建置模型時，作為權重分析之參考，中長期風力發電預測 MAPE 皆在合理範圍。

(四) 結論：

透過本研究發現，利用迴歸與時間序列方法能捕捉到月負載季節性型態，預測結果多為合理範圍，以 R 進行預測之功效相對為佳；日負載受天氣及產業特性影響，其中民生工業、金屬製造業之變動大，則較不易捕捉尖峰波動。

再生能源發電量方面，由於太陽能、風力資料

特性，迴歸與機器學習模型對太陽能之發電趨勢、GBM 方法對風力之發電趨勢預測皆為合理範圍；對日內小時發電波動尤其有良好的掌握。

建置預測模型為一項多階段過程，經由研究過程所遇之限制與挑戰，本研究除盡力克服改善亦提

出相關建議，包含嘗試彈性相對高之工具建模(如 R、Python)、精進變數處理方式或資料品質、嘗試不同模型方法以比較成果等，未來如持續精進調整之下將有望再度提升準確度。

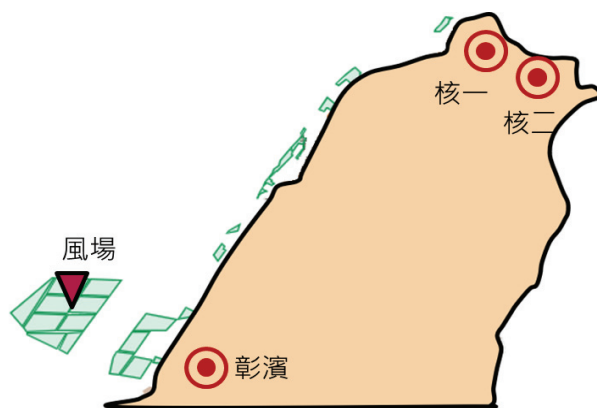
四、高壓直流輸電技術應用於離岸風力系統之動態模擬

(高壓研究室：洪碩甫、林湘芸、梁威志)

(一) 前言：

因應 2050 淨零碳排的政策目標，各國皆想方設法提升再生能源占比，以減少對於化石燃料的依賴。因此，我國亦積極發展再生能源，離岸風力即為目前積極發展的項目之一。台灣的用電負載中心位於北部，但在多數北部電廠除役後，可預期未來將呈現供電吃緊的狀況。因此，本研究主要為將中

部外海之離岸風電藉由高壓直流(High Voltage Direct Current, HVDC)輸送至北部之技術面模擬評估，其各別的地理位置如圖 1 所示，評估的內容包含故障以及阻抗兩種分析方法。故障分析可以得知系統遭受外部影響後的狀態，阻抗分析可以得知外加 HVDC 線路於台灣電網時的穩定程度。



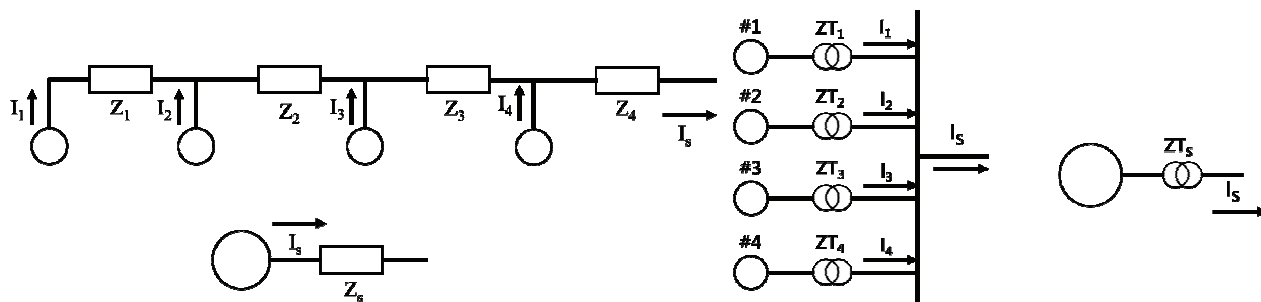
資料來源：本研究

圖 1 離岸風場與北部上岸點地理圖資

(二) 研究方法：

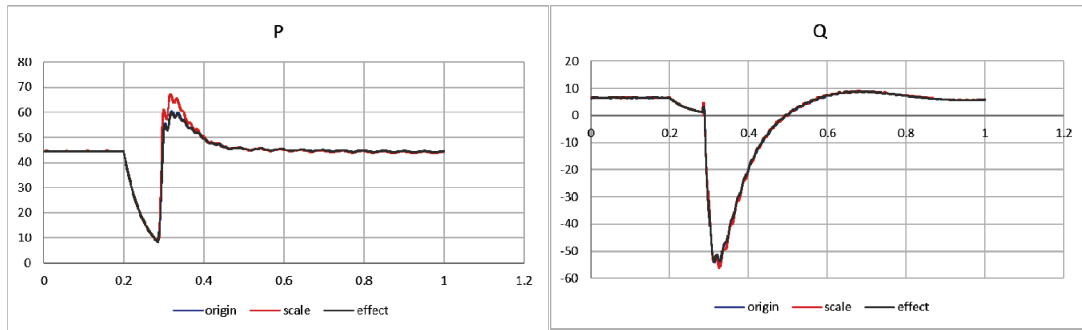
一般而言，為了有效擷取風能，風場多採用矩陣型式排列，當中的風機數量從數座至數百座不等。在模擬的驗證上，大量的風機皆可能嚴重影響模擬效能，並且以本所現有的模擬設備亦不允許建置如此龐大的模型規模。因此，為使模擬能夠進行，風場內的风機需進行相對應的等效作業，其基

礎樣態如圖 2 所示。圖 3 比較三種情境以驗證經過等效之後的可行性，分別為 1.五部風機 2.單機、容量放大、阻抗不變 3.單機、容量放大、阻抗等效。其結果顯示在遭遇三相短路接地故障後，阻抗等效後的結果與五部機組相似，因此可以得知阻抗等效的合理性。



資料來源：本研究

圖 2 大量風機(左)串聯(右)並聯等效方法



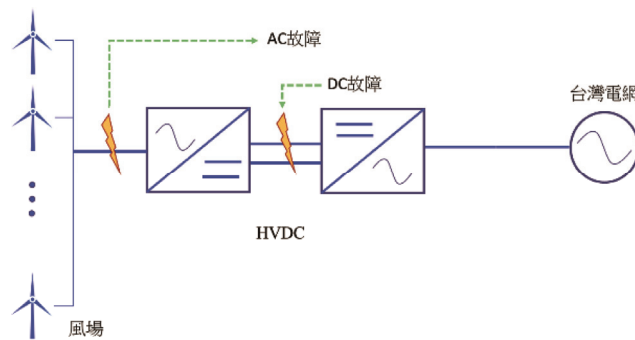
資料來源：本研究

圖 3 實功與虛功的等效比較

將前述經由驗證後的風機等效方式應用於下列的分析。首先是故障分析，線路架構如圖 4 所示，故障位置分別設置於靠近風場的交流側以及中間的直流側，持續時間為 50ms 後跳脫線路。故障前，電網的尖/離峰搭配風場的滿/空載下的北部地區鄰近匯流排之穩態電壓皆未超過 1.05pu，符合運轉

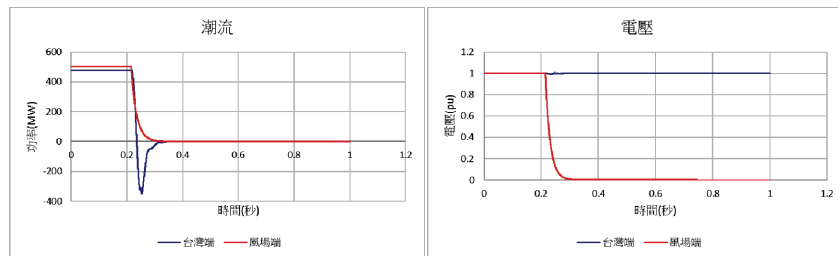
要求。

圖 5 及圖 6 分別展示交流側及直流側故障後的潮流及電壓表現，比較兩者，交流側的故障於發生期間呈現台灣端功率往故障點輸送的狀況，而直流故障無此現象。交流側故障與台灣端相隔 HVDC 線路，因此於電壓表現相對於直流側故障來得平穩。



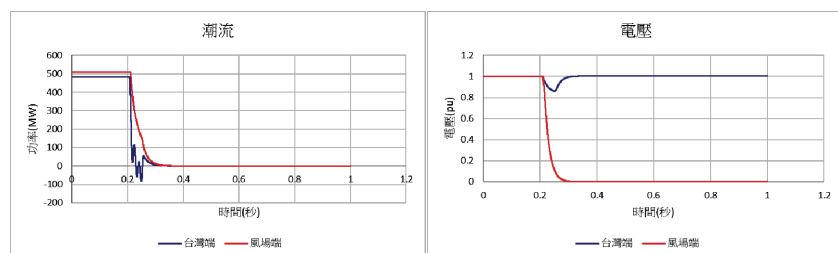
資料來源：本研究

圖 4 故障位置圖



資料來源：本研究

圖 5 交流側故障(左)潮流(右)電壓表現

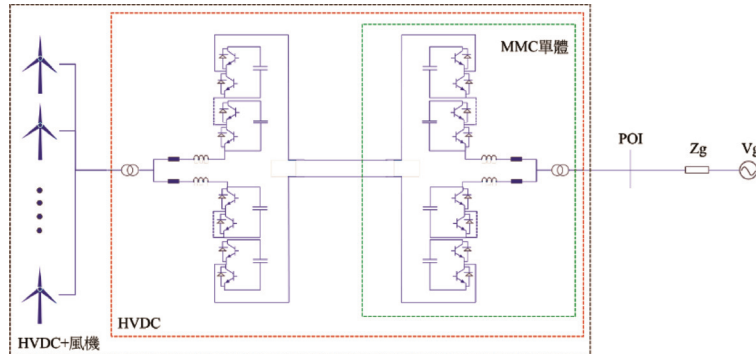


資料來源：本研究

圖 6 直流側故障(左)潮流(右)電壓表現

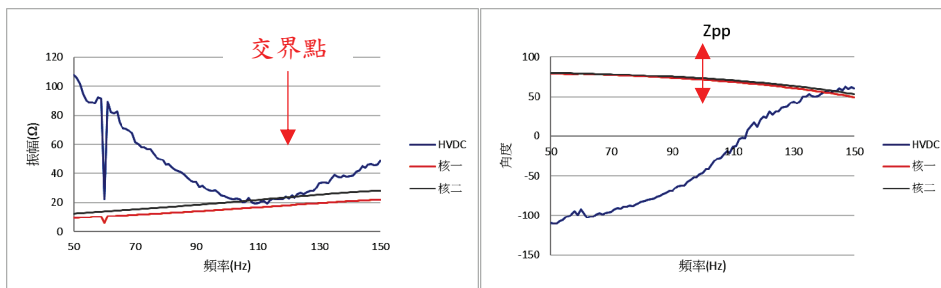
HVDC 與風機皆屬為 Inverter Based Resource(IBR)設備，與同步機不同，是採用電力電子元件所組成的設備，具備有高次項諧波，可能會對於電網的穩定性有所影響。因此，藉助於不同頻率下的阻抗掃描可了解系統外加新設備的影響性。圖 7 為本研究的掃描架構，以測試點 (Point Of Interaction, POI)分別向兩側注入 1~1kHz 的測

試電壓訊號，量測輸出電流，最終即可計算阻抗。利用前述的方法可繪製如圖 8 的阻抗結果，並依據相位裕度(Phase Margin)的原理判斷穩定度，當電網與 HVDC 線路的振幅交界點(如圖 8(左)約位於 108-110Hz)，此時兩者角度差值若小於 180 度(如圖 8 (右)約為 76-78 度)，可視為穩定。



資料來源：本研究

圖 7 HVDC 線路架構與掃描分區



資料來源：本研究

圖 8 電網與 HVDC 線路阻抗掃描(左)振幅(右)角度

(三) 結論：

本文針對利用 HVDC 將離岸風電輸送至北部負載中心進行初步技術面模擬評估，評估項目為故障以及阻抗掃描兩種方式。故障分析的結果顯示，不論上岸點的位置皆能於維持輸電章則所需的穩態電壓。另外，交流側的故障因與台灣本島間隔 HVDC 線路，因此故障的影響小於直流故障，可以視為 HVDC 線路有隔離的功效。阻抗掃描的結果顯示，HVDC 線路與本島電網的角度差值小於 180 度，亦

即相位不會逆轉而轉變為正回授系統，因此可視為外加 HVDC 線路於電網仍可呈現穩定。綜上所述，依據本研究所採用的分析方法得知，利用 HVDC 將離岸風電輸送至北部負載中心就技術面而言應屬可行方案，惟本研究使用通用模型進行模擬分析，未來若有相關建置規劃，應以設備製造商所提供之特定場域(Site-Specific)模型再進行詳細分析，方能確保系統運轉安全無虞。

新技術新設備介紹

超高頻感測器靈敏度測量

(電力設備試驗組：林威廷)

(一) 研究背景：

本試驗目的在測量用於變壓器局部放電監測用 UHF 感測器特性，使變壓器局部放電 UHF 頻段監測結果具有一致性與可靠性，以正確判讀變壓器老化狀況。

(二) 研究內容：

高壓設備局部放電時間約在 Nano Second 等級^[1]，

對應之電磁波頻率約在 UHF 頻段 300 MHz ~3 GHz。以 UHF 感測器接收變壓器局部放電電磁訊號，所接收電磁訊號強弱及頻率與感測器特性有關。其中感測器 S_{11} 越小，代表感測器阻抗匹配良好，可反射較少電磁訊號，但感測器 S_{11} 受周遭環境影響，因此獨立量測感測器 S_{11} 不代表將感測器置於變壓器內之頻率響應。感測器有效天線高度則

為將感測器置於 GTEM Cell 中，以標準天線作為發射源，以感測器做為接收器，依所量測之 S_{21} 換算為天線有效高度， S_{21} 越大代表可反射較少電磁訊號，然此天線高度為特定環境下量測之結果，不代表將感測器置於實際變壓器內之頻率響應。

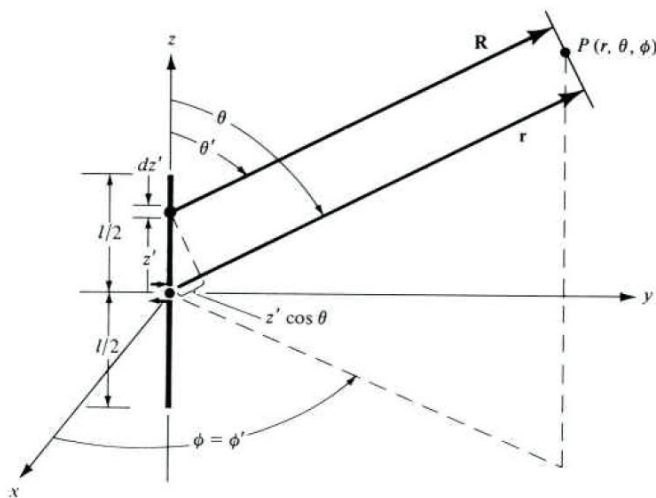
(三) 研究結果：

量測環境檢測：

1. 理想感測器 S_{11} 或 VSWR 量測應在無反射室進行，唯非進行實驗室等級精密量測時，當將感測器置於遠場時(圖 1、圖 2)，可視周遭環境無同

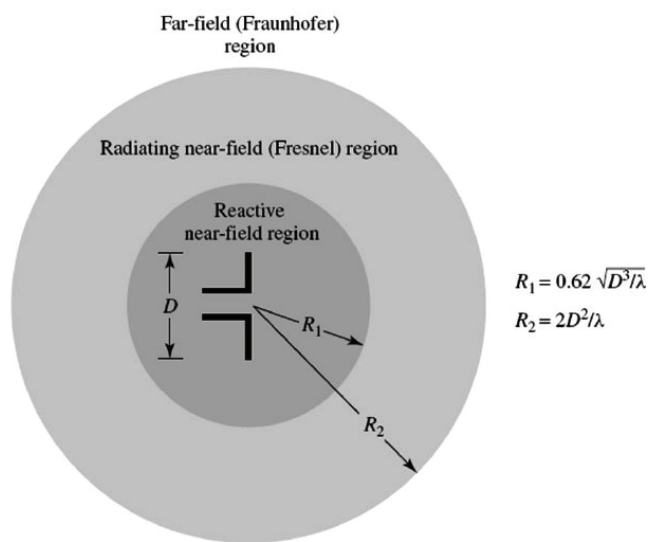
頻段電磁訊號干擾，且環境反射可忽略^[2]，可無須於無反射室進行。可將感測器置在保麗龍鋪成之非金屬製成穩定的治具或工作平台上，利用移動周邊物體(尤以金屬物件為佳)，觀察是否造成量測結果的變化，如果 S_{11} 或 VSWR 無顯著變化，代表外在環境變數對欲量測之 S_{11} 或 VSWR 不會造成干擾，即可進行實際的參數量測。

2. 搭配 GTEM Cell 量測(圖 3)，因 GTEM Cell 為封閉環境不受外界影響，無須進行環境檢測^[3]。



(b) Geometrical arrangement for far-field approximations

Figure 4.5 Finite dipole geometry and far-field approximations.

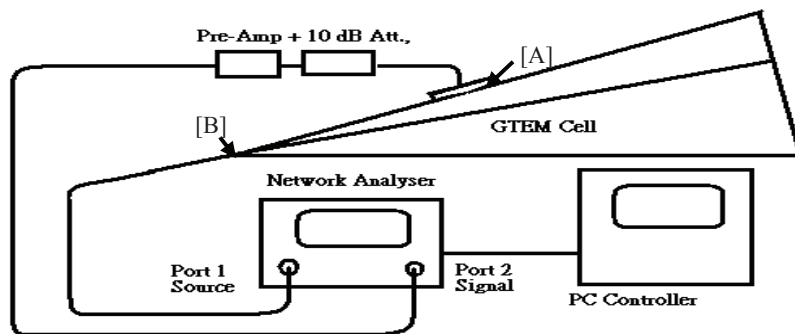


資料來源：[2]

圖 2 場分類

資料來源：[2]

圖 1 遠場示意圖



資料來源：[3]

圖 3 局部放電超高频感測器靈敏度架構示意圖

(四) 參考資料：

[1] Li T, Rong M, Zheng C and Wang X, "Development simulation and experiment study on UHF Partial Discharge Sensor in GIS," IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, no.4, vol. 19, pp. 1421-1430, Aug. 2012.
 [2] Antenna Theory Analysis and Design Fourth

Edition by Constantine A. Balanis. - 4. Linear Wire Antennas
 [3] C.-L. Fan, W. Liang, M.-H. Chung, and M. Judd, "Comparison of UHF partial discharge sensor calibration system," XVII International Symp. on High Voltage Engineering, Hannover, Germany, Aug. 2011, pp. 1-6.