

出國報告(出國類別：考察及洽公)

赴馬來西亞電力公司洽商未來合作 事宜

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：鍾炳利 總經理

蒲冠志 綜研所副所長

吳立成 綜研所高壓室主任

張翔琳 綜研所研發室企劃控制專員

派赴國家/地區：馬來西亞

出國期間：108年4月1日至108年4月3日

報告日期：108年5月29日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：

赴馬來西亞電力公司洽商未來合作事宜

頁數 29 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司人事處/陳德隆/ 2366-7865

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

鍾炳利/台灣電力公司/總經理/ 2366-6222

蒲冠志/台灣電力公司/綜合研究所/副所長/ 2360-1004

吳立成/台灣電力公司/綜合研究所/高壓室主任/ 8078-2221

張翔琳/台灣電力公司/綜合研究所/研發室企劃控制專員/ 2360-1183

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 開會 6 其他

出國期間：108 年 4 月 1-3 日

派赴國家/地區：馬來西亞/吉隆坡

報告日期：108 年 5 月 29 日

關鍵詞：智慧電網、儲能、再生能源、電業改革、電業發展趨勢、馬來西亞國家能源公司(Tenaga Nasional Berhad, TNB)

內容摘要：(二百至三百字)

本公司 107 年 9 月曾受邀參加馬來西亞 TNB 公司舉辦之 2018 AESIEAP CEPSI 大會，會中與 TNB 前任 President/ CEO Datuk Seri Ir. Azman Mohd 討論未來電業發展方向及永續經營等議題，為推動電業改革發展，將再次前往馬來西亞吉隆坡 TNB 總部討論再生能源併網、電業發展趨勢等議題，並探討未來可能合作項目，作為本公司因應組織變革與能源轉型相關規劃之參考。

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

目錄

| | |
|------------------------|----|
| 壹、出國任務與行程..... | 1 |
| 貳、馬來西亞 TNB 公司交流會議..... | 1 |
| 一、電業發展趨勢..... | 2 |
| 二、再生能源對電力系統之衝擊..... | 12 |
| 參、心得與建議..... | 25 |
| 肆、會議照片..... | 27 |

壹、出國任務與行程

本公司 107 年 9 月曾受邀參加馬來西亞 TNB 公司舉辦之 2018 AESIEAP CEPSI 大會，會中與 TNB 前任 President/ CEO Datuk Seri Ir. Azman Mohd 討論未來電業發展方向及永續經營等議題，為推動電業改革發展，將再次前往馬來西亞吉隆坡 TNB 總部討論再生能源併網、電業發展趨勢等議題，並探討未來可能合作項目，作為本公司因應組織變革與能源轉型相關規劃之參考。

出國行程如下：

| 日期 | 活動內容 |
|------------|-----------------|
| 4 月 1 日(一) | 台北→馬來西亞吉隆坡(往程) |
| 4 月 2 日(二) | 馬來西亞 TNB 公司交流會議 |
| 4 月 3 日(三) | 馬來西亞吉隆坡→台北(返程) |

貳、馬來西亞 TNB 公司交流會議

一、電業發展趨勢

1. 馬來西亞電力背景介紹

馬來西亞 1949 年成立中央電力委員會(CEB)，1965 年更名為國家電力委員會(NEB)，1990 年 TNB 正式成立並引進 IPP，1998 年 TNB 接管沙巴電力公司(SESB)，能源委員會(EC)於 2001 年成立，2008 年實行電網業者營運分離，並於 2009 年提出國家綠色科技政策，2011 年再制訂再生能源法案與永續能源發展法案。

馬來西亞共有三大電力公司：

- TNB 國家能源公司：主要供電區域為馬來半島。
- 沙巴電力公司(SESB)：TNB 持股 83%，主要供電區域為沙巴
- SESCO 電力公司：主要供電區域為砂勞越。

2. 馬來西亞國家能源公司介紹

馬來西亞國家能源公司(Tenaga Nasional Berhad, TNB)為馬來西亞最大的發電及配電公司，也是亞洲三大電力業者之一。其發電網路跨越馬來半島，延伸至泰國北部及新加坡南部。其子公司的業務更是拓展到變壓器、高壓開關設備、電纜、建築、土木工程...等等。

- 員工:27,995
- SAIDI: 18.05 (分鐘)
- 顧客: 939 萬(馬來西亞半島，沙巴和納閩島)
- 輸電、配電變電所: 439 +78,981
- 輸電、配電線路:22,840km+632,929km
- TNB 裝置容量(2017 年)

| 項目 | 裝置容量 (MW) | % |
|------|-----------|-------|
| 水力 | 2,651.75 | 18.97 |
| 燃油 | 198.3 | 1.42 |
| 燃煤 | 5,422.47 | 38.8 |
| 燃氣 | 5,466.21 | 39.11 |
| 再生能源 | 237.36 | 1.7 |
| 總計 | 13,976 | 100.0 |

憑藉近 70 年的歷史，TNB 已成為馬來西亞最大的電力公司，並在馬來西亞半島、沙巴和納閩島開展電力相關業務，成為亞洲最大的電力公司之一。近年來，TNB 還通過發展再生能源、落實環境保護以及其他措施等開始實施永續經營政策，為所有利害關係人增添利益。

3. TNB 未來經營策略

TNB 的願景是成為全球能源及相關企業的領先企業，致力於發展該公司卓越的產品及服務。為此，TNB 設定了四項重點目標：

(1) 未來電源

TNB 著重於進軍國際市場，努力在傳統和再生資產收購間取得平衡，並透過下列方式達成目標：

- 將 TNB 發展為東協再生能源的領導者

- 在保護 TNB 國內發電市佔率的同時，亦確保 TNB 發電機組運轉性能維持最高水平
- 在特定市場建立 TNB 的國際能力

(2) 未來電網

鑒於電網運營與技術進步同步發展，TNB 加強電網數位化和自動化，以提高其性能和可靠性。TNB 透過下列方式達成目標：

- 發展 TNB 電網成為最智慧、自動化和數位化的電網
- 確保 TNB 的電網效率最高且最為可靠
- 透過增加電網創新，轉變客戶體驗和產品

(3) 客戶服務

TNB 採價值中心方式理解客戶需求，此舉將使 TNB 在用電之外，進一步提供客戶超乎電力範圍之服務，並透過下列方式達成目標：

- 更好地理解客戶的價值和需求，強化現有客戶的體驗旅程
- 提高客服團隊的效率
- 拓展零售業務，為客戶提供相關的能源服務和產品

(4) 未來監管機制

隨著能源產業持續快速發展，且當局要確保消費者獲得可負擔且可靠的電力供應，並逐漸轉向再生能源之情形下，整體監管環境亦將改變。TNB 透過下列方式達成目標：

- 與所有產業利益相關者合作，以維持有利的運營環境
- 繼續獲得所需的監管支持，以實現社會對 TNB 與監管機構的期望
- 持續響應國內和國際之電業制度發展

4. 電業發展趨勢

TNB 國際能源產業主要發展方向為綠色能源、數位轉型及節能減碳，目前本公司在供電穩定原則下，積極提升再升能源占比，並配合智慧型電網推廣建置邁向數位轉型，達成節能、減碳及環保之電力系統。

本次與馬來西亞 TNB 公司之交流，就電力能源發展趨勢雙方有詳細深入之探討，目前 TNB 公司實施三項可互補支援政策，達成供電安全、經濟能源及永續發展之願景，其分述如下：

1. 資源多樣化：發電組合具多樣性，有油、燃煤、水力、再生能源及國際互聯電網(目前北部透過 120 km，±300 kV HVDC 與泰國互聯；南部透過兩迴路 230 kV 海底電纜與新加坡互聯)。
2. 成本效益化：符合時代的最佳擴張計畫、最低成本的調度規劃及藉由多樣投資組合管理燃料價格波動。
3. 減碳化：
 - (1) 2030 年的碳排放量降至 2005 的 35%。
 - (2) 2020 年後燃煤為非主要發電，並於 2030 年達成再生能源達 30%(含水力發電)。
 - (3) 2025 年 20%再生能源(含水力發電)、降低燃煤依賴及非核電。

在全球化的影響下，傳統電力業將面臨重大變革，從以往之集中式發電模式，走向分散式發電，此一改變，直接影響電力系統負載潮流自以往之單向模式(電力公司到用戶)轉為雙向模式；因此，電業經營必須從獨占電業走向自由化的電力市場，並以數位化之智慧型電網朝向未來透明電網，再不斷進化以因應用電供需之變化，整合數位化資訊及時融入到每位國人生活中，如圖 1 所示馬來西亞 TNB 公司分享其傳統與數位化電業之差異，並且在圖 2 雙向通訊系統上數位化應用。

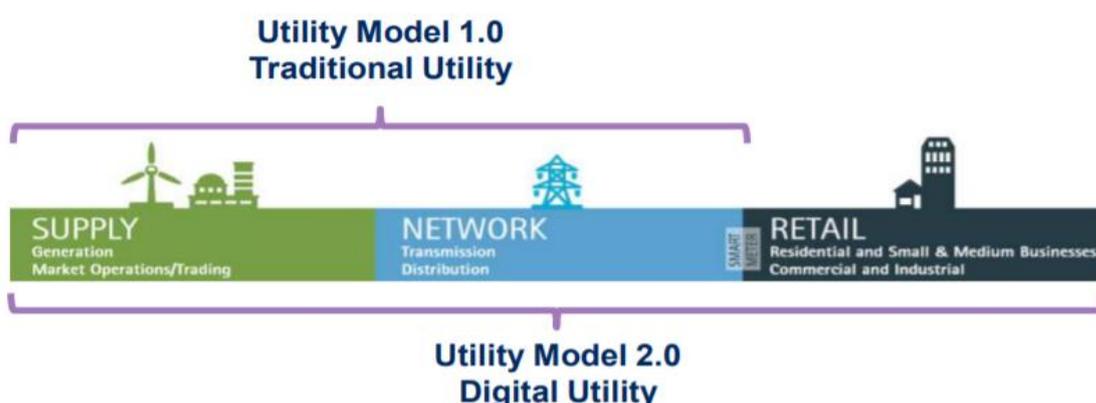


圖 1 傳統與數位化電業的效益差異

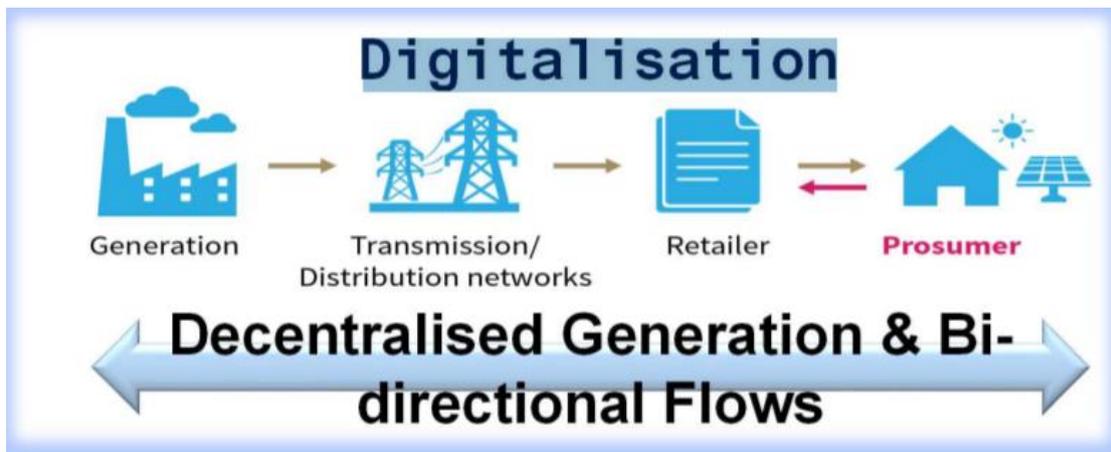


圖 2 雙向溝通通訊示意圖

電力產業在數位時代中，經濟與數位技術深度融合已成為發展的主流模式，傳統能源行業的營運管理正面臨新的考驗，國際能源企業主動適應時代發展需求，積極挖掘和利用巨量資料資源，以資料驅動企業轉型，具體作為以人工智慧(Artificial Intelligence, AI)、大數據(Big Data)及資通信技術(Information and Communication Technology, ICT)等工具，實現智慧電網及能源轉型。

首先人工智慧(Artificial Intelligence; AI)是一個眾人所夢想模擬人類功能之技術，它具多維度、多角度的屬性，隨著人工智慧與傳統行業的融合內化，本公司將可充分利用人工智慧技術，在電力自動化控制中，能有效降低成本，有助於未來智慧電網發展。

人工智慧在電力應用，具有很多優勢，下列四個主要面向為：A.資料的收集與處理都可由人工智慧技術來完成，並且可及時處理與保存相關資料，可大幅提升自動化的實際控制效率。B.可比人員更有效地監視系統，去發現問題並解決問題。C.操控功能較好，可以大幅減輕操作人員的工作，提升效率。D.可大幅提升電力系統實際運轉效率與安全。

目前多種人工智慧工具，包括專家系統、人工神經網路、模糊集和啟發式搜索等等，在電力系統中各個領域的應用方面，如：

1.人工智慧演進行分散式再生能源發電與負載預測：

由於分散式再生能源發電(太陽光電、風力發電)屬於間歇性能源，再加上用戶用電行為之隨機性，使得掌握動態再生能源電網內電力供應與需求相對傳統配電網困難，因此相關預測方法相形之下更顯其重要，例如：類神經網路法

(Neural Network)、線性迴歸(Linear Regression)與內核法(Kernel)等，其中正確分析影響為首要之務，就太陽光電而言，主要影響因子為日照度，但受到溫度、濕度、風速、雲量與降雨量等因子影響，而用戶用電行為也與氣候因素相關，例如台灣每年3月~6月與10月~12月氣候變化差異大。如圖3所示，利用神經網路法(Neural Network)輸入過去歷史資料去預測未來發電量，並採用預測資料結合動態模糊技術，如圖4所示，執行再生能源對系統之衝擊分析，使分析結果更接近系統實際狀態。

Irradiance prediction

- Goal : 3 historical points to predict next one future point
- Training data : 2018/4 to 2018/8
- Test data : 2018/9

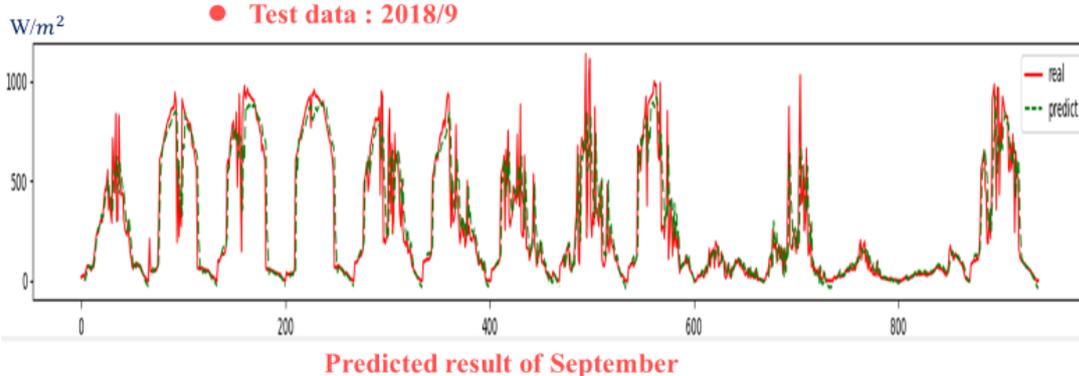


圖 3 太陽能發電之照度預測

Impact analysis of large amounts of DERs in Mid-area of Taiwan

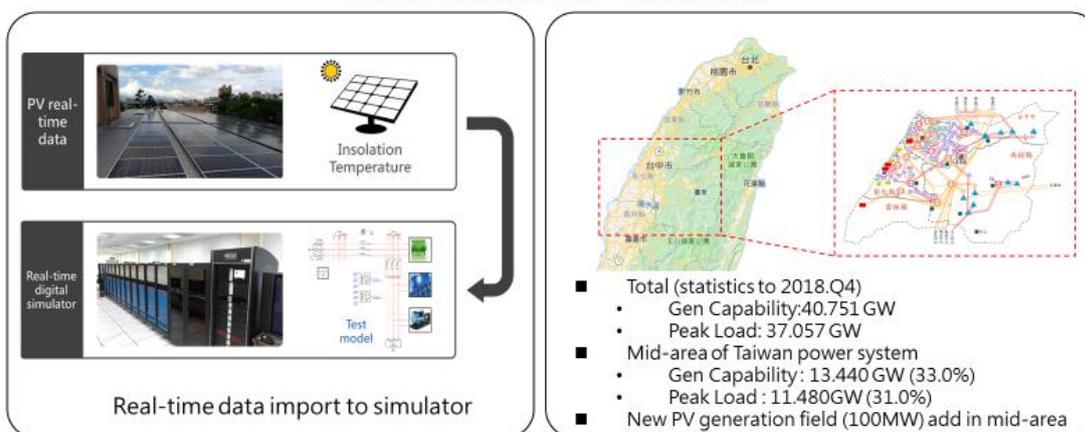


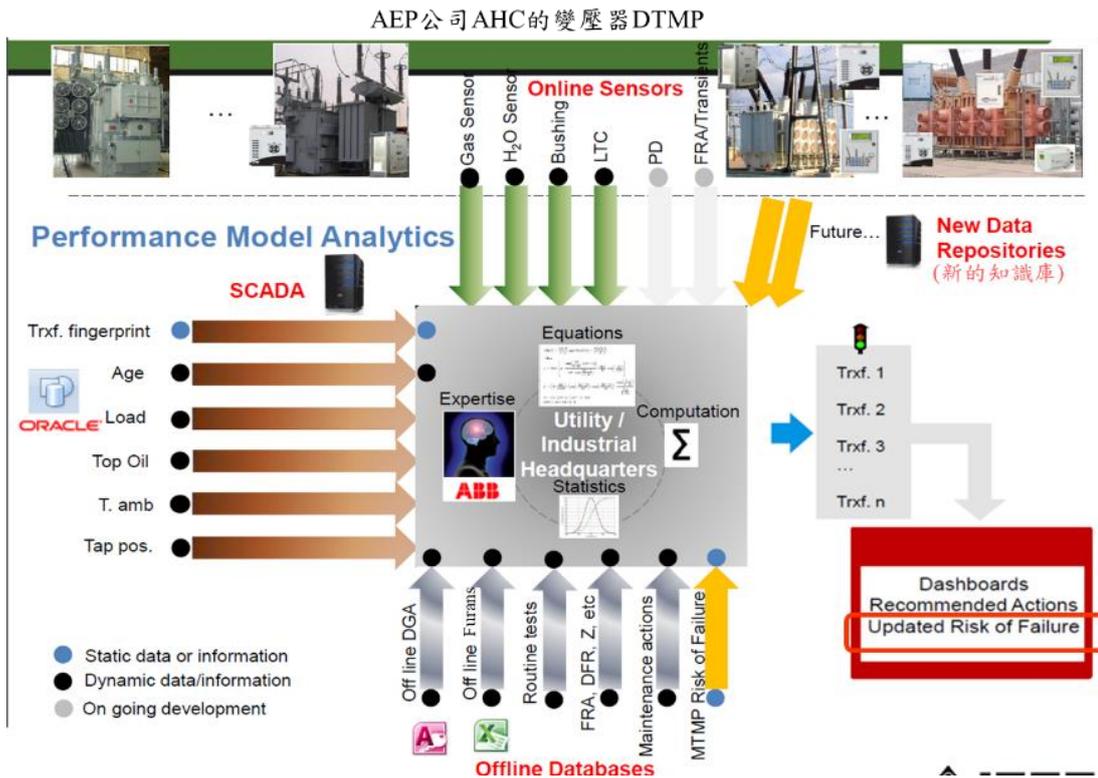
圖 4 太陽能發電照度預測資料與動態模擬系統整合

2. 電力系統的運轉與控制：

電力系統中大量自動控制和手動控制裝置，如電驛、斷路器、隔離開關等，構成整個電力系統複雜的即時控制，保護即時控制有兩種形式，即離散和連續控制。保護電驛是一種普遍的離散控制，分佈於系統各個環節中，對系統狀態(正常或故障)的判斷，即狀態評估是實現保護動作的關鍵。由於人工智慧具有邏輯思維和快速處理能力，它已成為在線狀態評估的重要工具，有效地運用了操作員的經驗知識，與傅立葉變換和卡爾曼濾波技術相比，應用神經網路進行電流電壓波形的特徵參數分析具有更好的即時性。

3. 電力變壓器預知維護保養：

係利用人工智慧的機器學習技術來對於大型變壓器的運轉維護數據進行解析，以數據落點分析與模式辨識等方法，提供潛在故障的早期警示，觸發後續更進一步的檢查，如此能幫助公司由時間型維護(Time Based Maintenance)運轉維護策略，進入預知型維護(Predictive Based Maintenance)，將隨故障事件經驗與實際檢查數據機器學習增加而轉移成條件型維護(Condition Based Maintenance)，達到運轉維護優化。例如變壓器診斷技術之應用，參見圖 5 美國電力(AEP)公司變壓器設備診斷範例畫面，整合 SCADA 與線上分析儀等數據自動定期計算設備故障風險。



4. 電力系統的管理和規劃應用：

在現代電力系統中的數據通過 SCADA 傳給 EMS，控制信號由 EMS 傳給各設備元件，整個過程要做到同步進行，這對 EMS 要求具有大量信號即時處理能力，並且能在正常和事故情況下及時、正確地作出控制決策。監測與診斷是 EMS 的重要功能，人工智慧在狀態監測與故障診斷領域發揮著重要的作用，如目前自動發電控制(AGC)是電力系統運行中的集中化即時控制功能，保持系統出力和系統負載相匹配。

5. 事故分析之應用：

安全評估電力系統中經常可能出現的各種干擾和事故，如設備的損壞、自然現象的影響(雷害及地震等)、人為失誤等，其中很多原因是無法預測和控制的，於此利用人工智慧神經網路作為安全評估工具，於系統的靜態和動態穩定性分析。

另外，當系統全黑恢復後的系統，恢復過程需有次序地協調運作，即在最短時間內將分開的系統重新配置恢復供電，不當的恢復程序可能會引起新的事

故；正確的恢復動作關鍵在於恢復次序的選擇，應用人工智慧協助可以有效地減少再次全黑。

6.負載預測之應用：

負載預測是電力規劃的重要內容和基礎，大自然天氣變化在內的各種因素和實際負載之間存在非常複雜的非線性關係，負載預測具有很大的難度；在傳統統計分析方法之外，目前逐漸採人工智慧的預測技術解決。

7.輸電絕緣礙子洩漏電流之應用：

輸電線路絕緣礙子，常會因環境污損而造成閃絡跳脫，因此我們可利用洩漏電流監測來防治，當絕緣礙子污損達一定程度就清洗，以預防閃絡跳脫；在以往都是採用時間管理模式(Time-Based)，時間到就派員清洗，但這種維護模式不論輸電線路絕緣礙子之污損程度，全部清洗造成資源浪費；因此，如圖 6 所示，我們利用人工智慧預測模式，利用環境氣候之條件結合大數據，去預測何時洩漏電流將達到閃絡，在閃絡之前將礙子清洗乾淨，以達成條件式(Condition-Based)之維護管理。

The predicted result of The Leakage Current

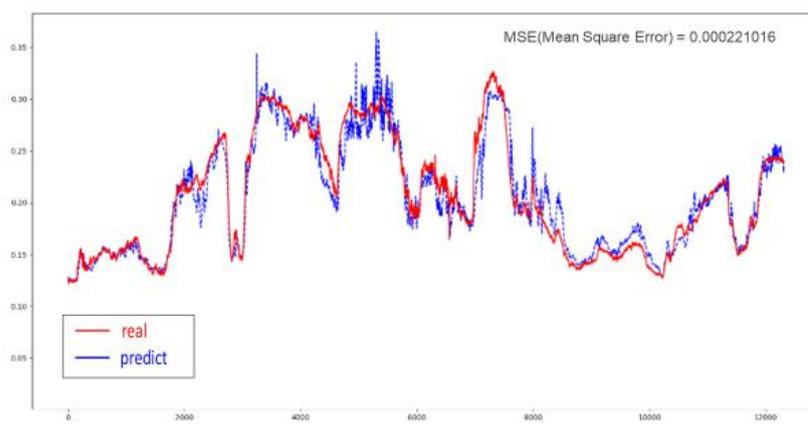


圖 6 利用人工智慧 LSTM 法預測礙子洩漏電流

以往電力產業因資訊封閉及未數位化，致有用之數位化資料量少，現今隨著電力網路資訊化，電力業已積累海量資料，此一海量資料量大、多樣性、速度性且具價值性，因此可利用大數據之特徵，去重新認識電力數據庫，即從數

據中去尋找相關關係，而不是以往單純之因果關係，目前大數據料之相關關係分析法更準確更迅速，而且不易受偏見影響，將為公司帶來顯著的價值及核心競爭力，促進業務管理更精細、更高效率之方向發展。

再者，當今的許多電力公司利用資通信技術(Information and Communication Technology, ICT)手段，解決電力與智慧電網議題，本次會議馬來西亞 TNB 公司亦呈現其公司目前規劃方案，如圖 7 所示，共六大部份包括變電所 (Substation)、設備效能(Asset Performance)、電力自動化(Utility Automation)、雷擊與接地(Lighting & Earthing)、電力系統分析(Power System)及智慧電網(Smart Grid)。

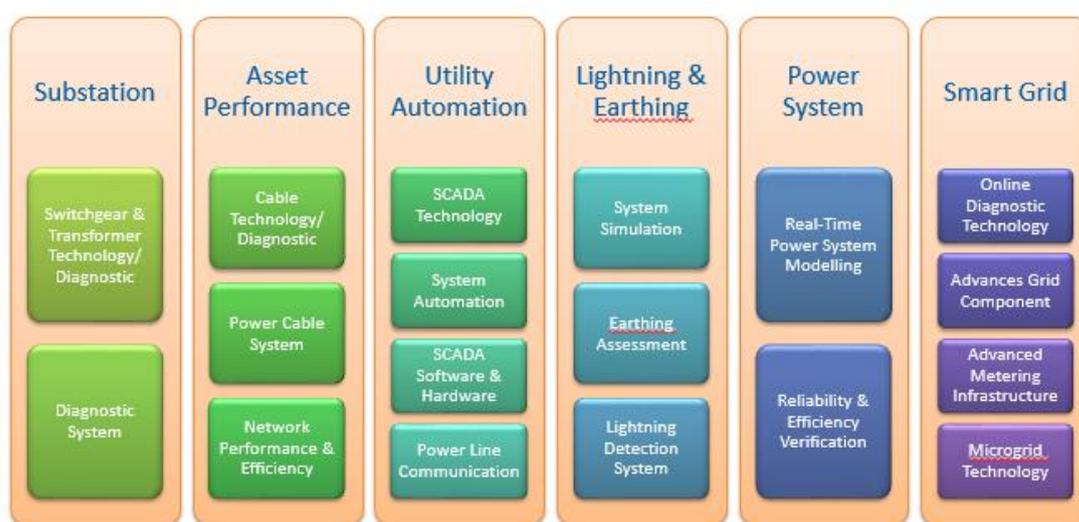


圖 7 馬來西亞 TNB 公司技術發展方案

智慧電網系統(Smart Grid)為近年世界各國電力科技發展重點，智慧電網亦為建立分散式能源(Distributed Energy Resource, DER)的重要技術之一，基智慧電網主要效益歸納為二：第一、由於大量的再生能源併入電網將造成電力系統衝擊問題，影響區域電網供電穩定度，智慧電網具穩定電壓及頻率功能，有效地引入再生能源進入電網，提升區域電網再生能源之使用率；其次，智慧電網具有削峰填谷、尖峰用電調節(Peak Shaving)作用，可降低發電設備裝置容量投資等優點。

另在電力輸送設備與發電設備透過除了振動加速規感知器外再加上先進感知器，透過高速資料擷取的監視與診斷網路(Data Acquisition – M&D Network)產生巨量數據，以人工智慧的模式辨識技術、效率分析模型、熱力學模型，以及先進分析診斷技術，來過濾與抽取出需要的資訊與分析結果，整合與視覺化資訊看板，如圖

8 為 Duke Energy 電力公司的 SmartGen 計畫-智慧連結電廠設備，其中高速資料擷取需要有超高精準(例如原子鐘)的時間同步機制，其產出的數據能提供給高速動態模擬器的起始條件與邊界條件，以近虛擬實境方式解決相關問題，此計畫也包括有 FMEA(Failure Mode and Effect Analysis，失效模式和效果分析)，如圖 9 所示，用來確定潛在失效模式及其原因的分析方法，再加上該設備危害性分析(Critical Effect)，由此可決定出各設備建立感知器、監視、分析與診斷系統的必要性與優先順序，在故障風險與投資之間取得較優的權衡點。

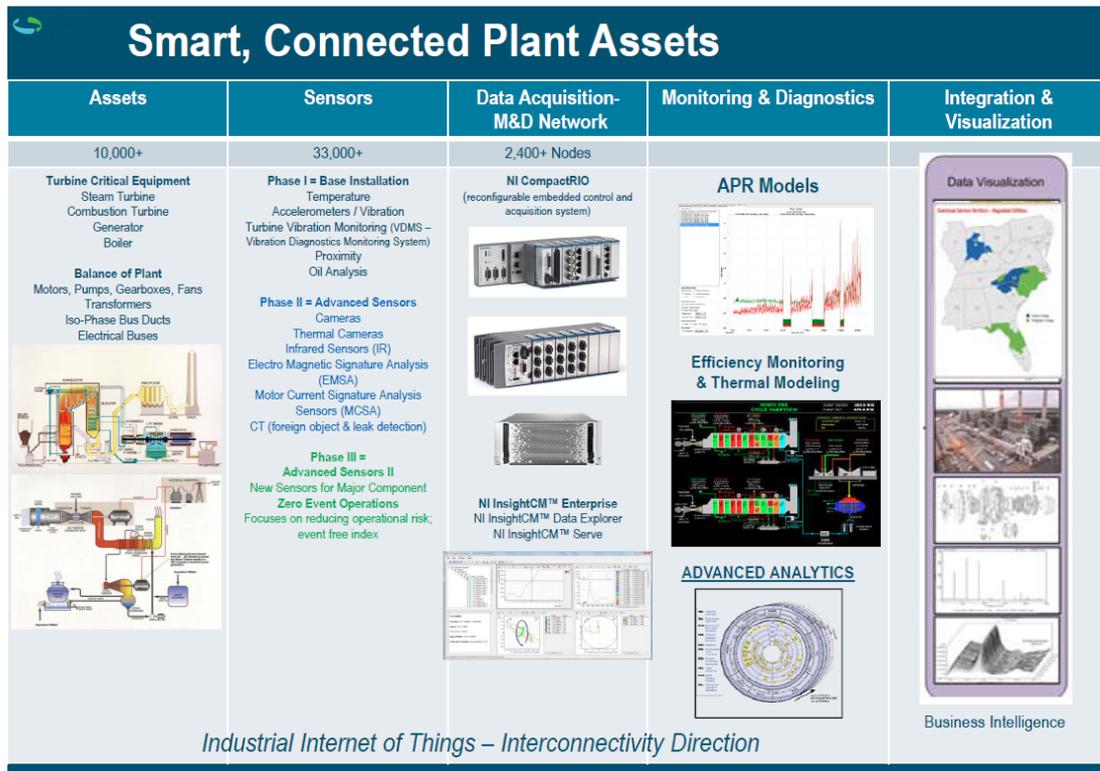


圖 8 Duke Energy 電力公司 SmartGen 計畫
(資料來源: Duke Energy 電力公司 SmartGen 計畫簡報)

Applying FMEA to Equipment Health Visualization



圖 9 FMEA (Failure Mode and Effect Analysis, 失效模式和效果分析) (資料來源: Duke Energy 電力公司 SmartGen 計畫簡報)

二、再生能源對電力系統之衝擊

因應政府能源轉型及 2025 年再生能源 20% 占比政策，本公司已配合規劃裝置大量再生能源發電機組，包含風機和太陽能發電，然而再生能源的不穩定性及區域性，併網後將會對本公司原有之電網造成很大的衝擊，包含負載潮流變化、電壓變動、電力諧波及事故電流等影響。

本次交流雙方對再生能源在電力系統之衝擊議題，有深入溝通及探討，目前馬來西亞 TNB 集團之電力供給來源占比如圖 10，預計在 2025 年再生能源比例達 20% (含水力發電)，2030 年提高至 30% (含水力發電)，其再生能源建置計畫，從 2011 至 2019 年計畫如表 1 所示。

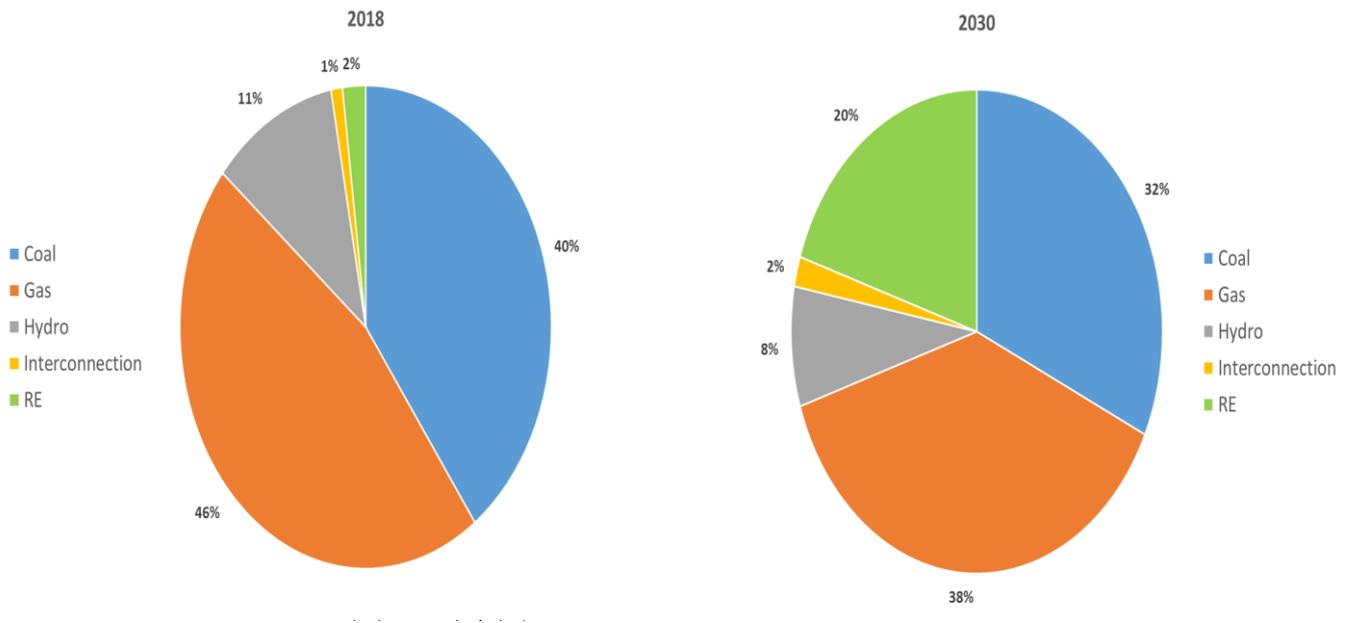


表 1 馬來西亞 TNB 集團 2011 至 2019 年之再生能源建置計畫

| RE Initiatives | Technology |
|---|---|
|  <p>Feed-in Tariff (FiT) - 2011</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Direct connection ✓ Quota allocated based on RE Fund ✓ 1GW has been approved | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Solar, biomass, biogas, small hydro, geothermal ▪ Capacity up to 30MW ▪ REPPA duration 16 - 21 years |
|  <p>Large Scale Solar (LSS) - 2016</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Competitive bidding ✓ Direct Connection ✓ LSS1 (projects in progress): 450MW (2017-18) ✓ LSS2 (project in progress): 460MW (2019-20) ✓ LSS3 - bidding stage (Mar 2019 - Aug 2019) - 500MW (2021) | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Solar 1MW – 50MW ▪ 30MW and above to be connected at transmission system (132kV) ▪ LSS1 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 9 sites (11 & 33kV); ✓ 6 sites (132kV) ▪ LSS2 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 19 sites (11 & 33kV); ✓ 11 sites (132kV) ▪ LSS3 : 1 - 100MW (bidding stage) |
|  <p>Net Energy Metering (NEM) - 2016</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Indirect connection ✓ Quota : 500MW (2016 - 2020) | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Excess energy to be exported and sold to TNB at the prevailing Displaced Cost (starting 2019 export energy based on 1:1) ▪ Applicable to all domestic, commercial and industrial sectors |

在會議中對再生能源於電網的衝擊上，提出幾個挑戰需要處理之再生能源議題，如間歇性、頻率穩定、電壓穩定及無發電量等。間歇性的輸出變化高達 80%。它對系統的安全性構成風險，並且必須實施緩解措施，如安裝適當之儲能設備改善。對太陽能而言，白天太陽輸出高，可降低傳統發電量，但在太陽下山時太陽能輸出急劇下降，傳統發電機需具快速提高發能力，就是所謂的郵鴨子曲線(Duck Curve)。再者，再生能源慣性小，對於系統事故之低頻事件，沒有調節器控制頻率穩定，造成更嚴重之低頻卸載。電壓穩定性在傳統同步機具有自動調節電壓的功

能，但在大量再生能源併網的情況下，電壓調節變成較為困難。目前對再生能源有幾項紓解的方案，正在進行如下：

1. 電網規範(Grid code)：利用電網技術規範，定義其連接到電網之設施必須滿足相關參數(如：LVRT、HVRT 及 PQ Control 等)，以確保電力系統安全及可靠和經濟的正常運行。
2. 國際互聯網(Interconnection)：電源來源多元且不同國家，可有效提升能源效率及電網安全，高電能需求時可國際支援，在低需求期間，可藉由太陽能發電及傳統發電方式搭配維持電網的穩定。
3. 運轉精進(Operation Improvement)：採用先進的預報系統，可以準確預測再生能源的輸出進行調度
4. 多元化再生能源組合(Diversified renewable portfolio)：彌補太陽能只能於白天的發電的限制，增加多樣性的再生能源如小型水力及沼氣等方式。
5. 智慧電網(Smart Grid)：利用高科技技術(AI、IOT、ICT 及 Big Data 等)，導入電網系統以建立資訊透明電網，可有效掌控電網之供需，可強化電網之強韌性，系統進而可增加再生能源占比。

因應大量再生能源併網，將會對公司電網造成很大的衝擊，公司規劃運用即時動態模擬器(Real Time Digital Simulator, RTDS)系統，對未來 20%再生能源與原本電力系統之運轉模式做更貼近實際之分析，以下我們將介紹本模擬器之相關應用、規劃及國外使用狀況。

即時動態模擬(Real-Time Simulation)係為進階型模擬分析技術，拜電腦運算能力進步所賜，其將電力系統分為數個子系統(Subsystem)後交由數個 CPU 平行運算，達成即時模擬要求。所謂「即時」意即真實世界過了一秒鐘，模擬也僅須一秒鐘即運算出結果；不同於傳統非即時模擬程式模擬一秒鐘之系統響應，根據所分析系統規模大小，往往需費時數分鐘至數小時才能運算出結果。利用此即時模擬特點可與真實設備相互連結，了解設備接入系統後所產生反應是否符合所需。

其應用領域廣泛，目前世界各地應用計有資通安全(Cyber Security)、保護系統測試、電力電子設備、高壓直流傳輸(HVDC)、彈性交流輸電系統(FACTS)、功率級硬體閉迴路(Power Hardware in the Loop, PHIL)、再生能源電網應用、控制系統、向量

量測單元(Phasor Measurement Unit, PMU)、IEC 61850 驗證、智慧電網及再生能源...等。本公司為因應相關領域發展，如圖 1 所示未來規劃計有功率級硬體閉迴路、電力系統模擬、分散式能源、控制級硬體閉迴路、智慧電網電力分析及設備驗證平台，及高壓直流輸電研究等六大分組主題；針對這六大重點主題規劃發展，預期可提供未來智慧型電網及大量再生能源占比之解決方案。

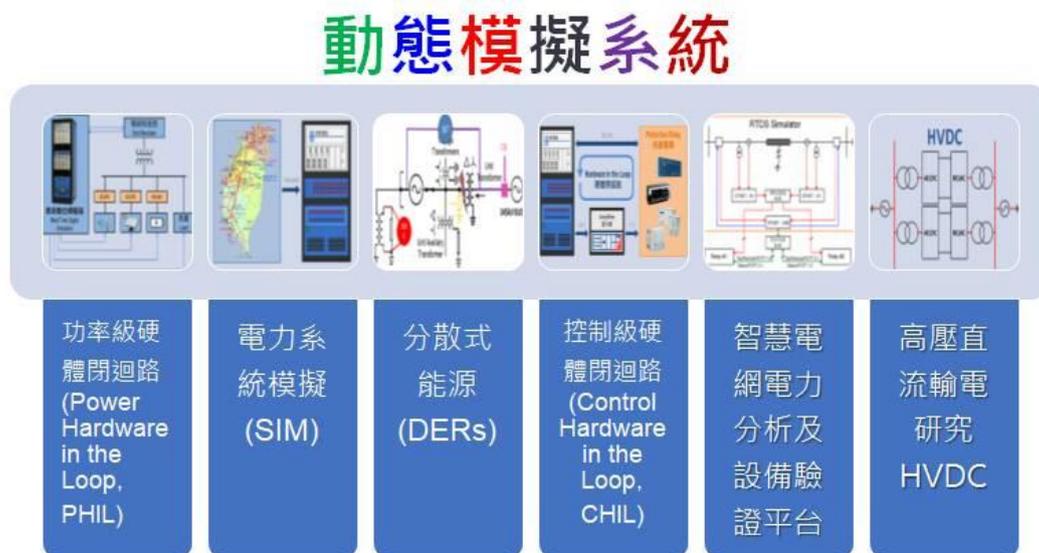


圖 11 台電動態模擬系統應用領域分組

世界各地之保護電驛製造商、電力公司、電力研究機構及學術研究等單位充分應用此技術，在產品開發及研究測試領域上，皆有不錯之成效。著名應用機構列舉計有**中國南方電網**(圖 12)，其應用於電網運轉、HVDC、電力設備試驗；**美國佛羅里達州立大學先進電力系統中心**(圖 13)，主要應用於再生能源功率級閉迴路測試、電力電子設備原型機開發、超導體技術；**澳洲新南威爾斯大學**(圖 14)為全球應用即時動態系統規模最大之大學，主要研究領域於 HVDC、保護系統研究、智慧電網、再生能源、電力電子等；以及**韓國電力研究院**(圖 15)，主要應用領域為 HVDC、保護協調、電網運轉安全...等領域。



圖 12 中國南方電網實驗室
(資料來源: <https://www.wxwenku.com/d/106664164>)



圖 13 佛羅里達州立大學先進電力系統中心
(資料來源: <https://www.caps.fsu.edu/about-caps/tour-the-caps-facilities/>)



圖 14 澳洲新南威爾斯大學
(資料來源: <https://research.unsw.edu.au/projects/real-time-digital-simulation-rt-laboratory-unsw-sydney>)



圖 15 韓國電力研究院

(資料來源: <https://www.rtds.com/wp-content/uploads/2015/12/Large-scale-simulators.pdf>)

以下將針對近年即時模擬技術應用案例進行介紹：

1. 即時動態模擬技術應用於離岸風場之分析

如圖 16 所示建立風力發電機之即時動態模型，針對離岸風場加入系統造成之衝擊影響分析。其中測試風機葉片傾角及風速對出力之影響，並測試故障發生時風機之故障穿越能力(Fault Ride Through, FRT)。利用動態模擬技術可即時反應當離岸風機加入系統時，遭遇自然環境變化如風速、陣風，以及系統發生故障時，風場對系統帶來的影響，並可利用此系統測試控制器、保護電驛，以及變頻器...等設備，提供研究人員及電網運轉人員良好的評估環境，做為預擬因應對策之測試場域，系統示意圖如圖 17 所示。(資料來源：Abdullah Emhemed, “Development of an Aggregated Dynamic Model of a Type 4 Wind Power Generator in Real Time Digital Simulation”, RTDS User Group Meeting 2018, Oct., 2018.)

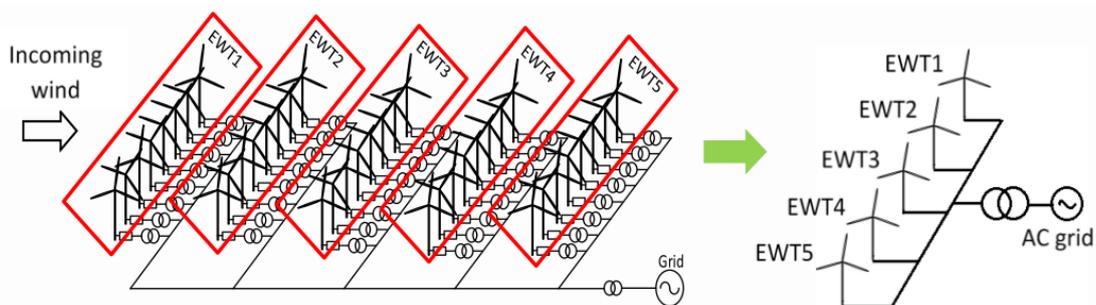


圖 16 離岸風場之集成式等效模型

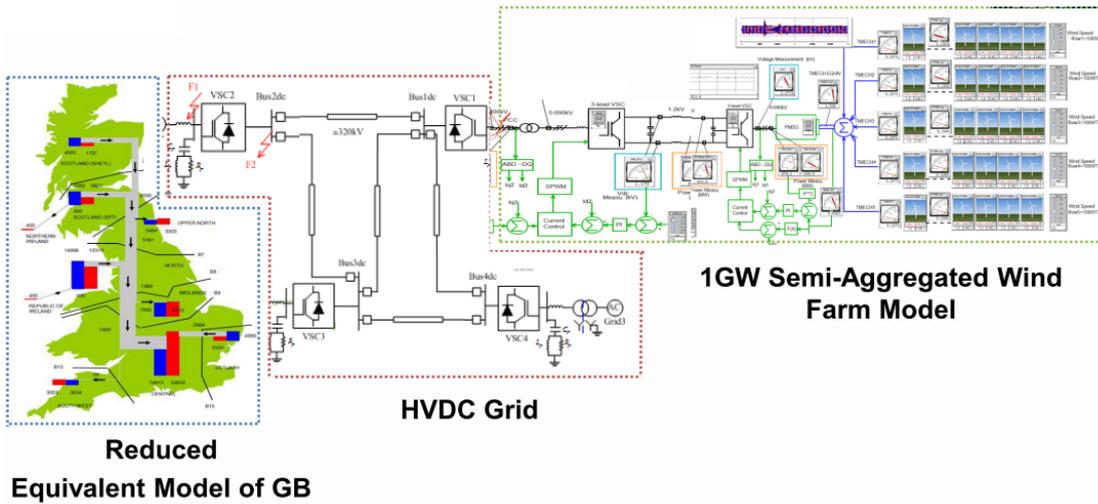


圖 17 離岸風場加入系統示意圖

2. 高壓直流傳輸(High Voltage DC)應用

高壓直流傳輸於世界各地應用範圍有海底電纜連結、非同步電網相互連結(如日本 50/60Hz 轉換、歐洲法國-英國、斯堪地伐尼亞-中歐地區)、離岸風場...等。與交流(AC)傳輸相比最大差異計有傳輸相同容量使用更少電纜、無虛功率產生、無須維持同步頻率、電力潮流可完全掌控...等。然直流遭遇故障時，因其故障電流無零交越點(zero crossing)、高上升率、高穩態電流值等特性，故障電流如圖 18 所示，將使得保護設計需要比傳統交流電網更快速隔離故障。(資料來源：Dirk Van Hertem, “HVDC grid developments Need for new modeling tools and approaches”, RTDS User Group Meeting 2018, Oct., 2018.)

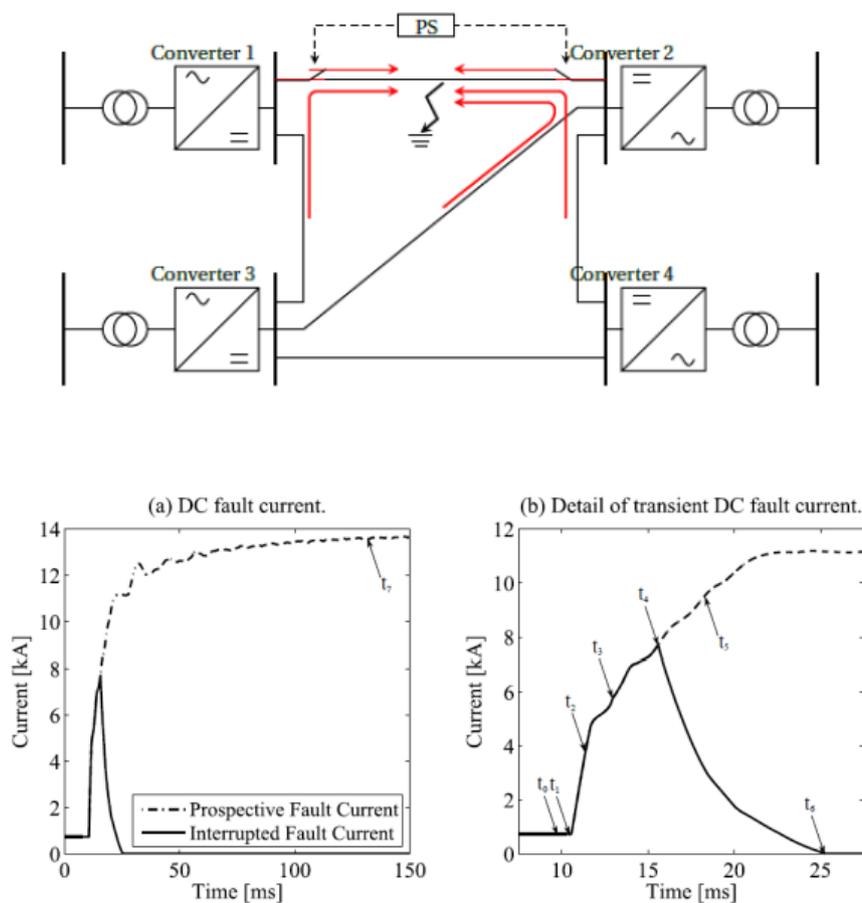


圖 18 DC 電網遭遇故障時之故障電流

隨著電力電子技術進步、再生能源比例逐漸提升，直流傳輸將成為未來電網發展之重要趨勢，當系統存在多個 DC/AC 轉換設備時，其相互作用恐將造成系統不穩定如圖 19 所示。有鑑於此，HVDC 所需之分析工具勢必需要更為即時、快速，始能夠符合系統規劃及保護設計所需，因此，世界各地電力研究機構皆致力於研究更適切之分析工具，以因應未來電網運轉維護所需。

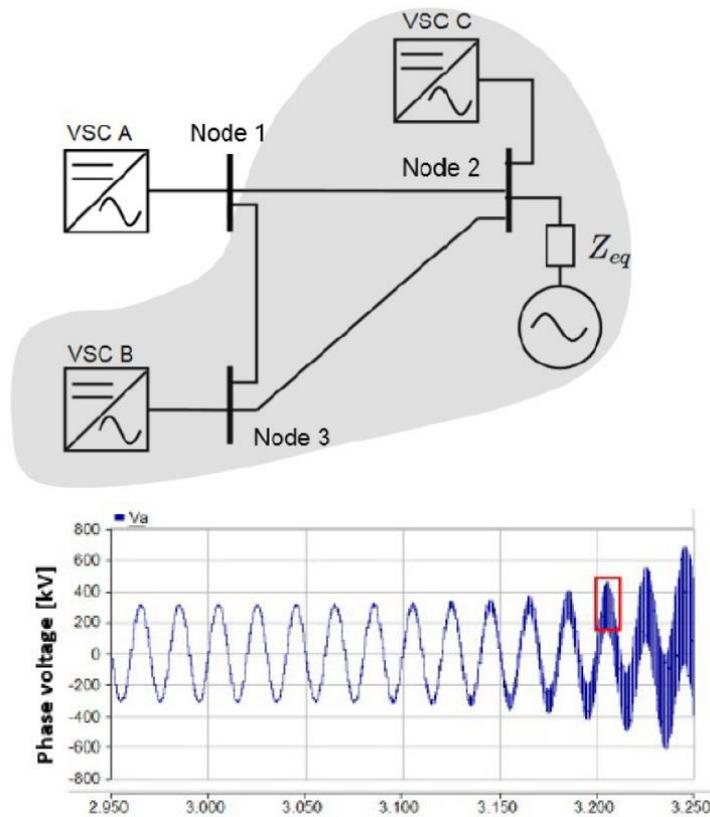


圖 19 多轉換器組成電網造成系統不穩定

3. 功率級硬體閉迴路應用

即時動態模擬系統因其「即時」特性，常被使用於連接實體設備，由圖 10 可見將模擬與設備結合進行「硬體閉迴路(Hardware in the Loop, HIL)」測試。然而 HIL 主要為低電壓設備，如 115V，5~30A 等級之設備應用，當需要測試更大容量之設備時，則需要應用到功率級硬體閉迴路(Power Hardware in the Loop, PHIL)技術。模擬系統與實體設備之間常用介面為功率放大器，而放大器皆有時間延遲(T_d)，故將整體系統連結為閉迴路架構時，其穩定度則為一重要議題，圖 11 可見不同延遲時間對截止頻率(cut-off frequency)產生影響，將主要影響閉迴路回授濾波器(feedback filter)之設計。圖 12 所示為 PHIL 測試架構圖，利用此架構可針對再生能源如風能、太陽能、儲能系統等設備進行測試，模擬在系統遭受故障時，再生能源設備能否維持穩定運作，避免擴大事務範圍，此技術將對電網調度人員及設備維護人員產生助益，可更完備了解設備特性，確保系統穩定運轉。(資料來源：P. Kotsampopoulos, D. Lagos, M.

Maniatopoulos, A. Markou, V. Kleftakis, A. Vassilakis, and N. Hatziaargyriou, "PHIL and CHIL simulation for education, research and testing", RTDS User Group Meeting 2018, Oct., 2018.)

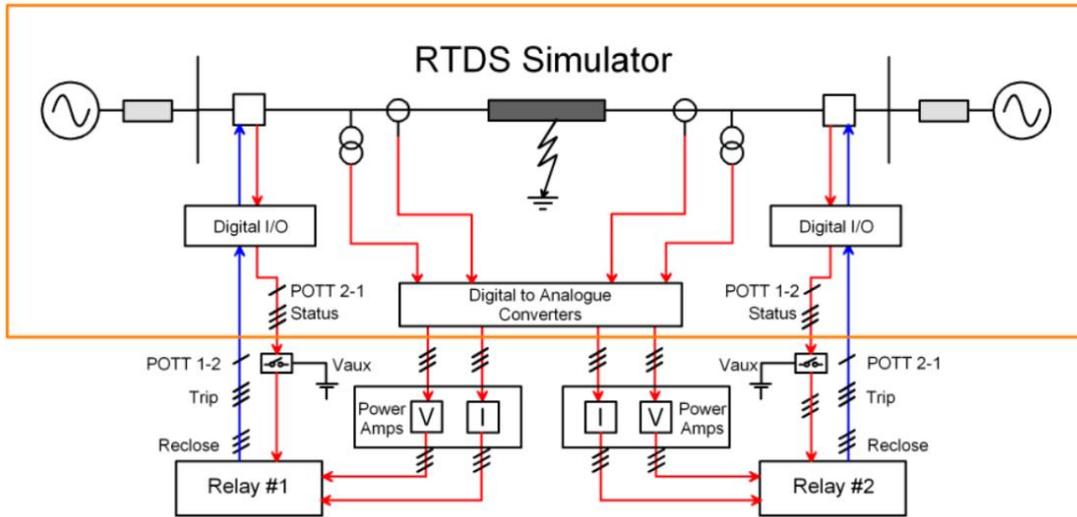


圖 10 硬體閉迴路測試架構圖

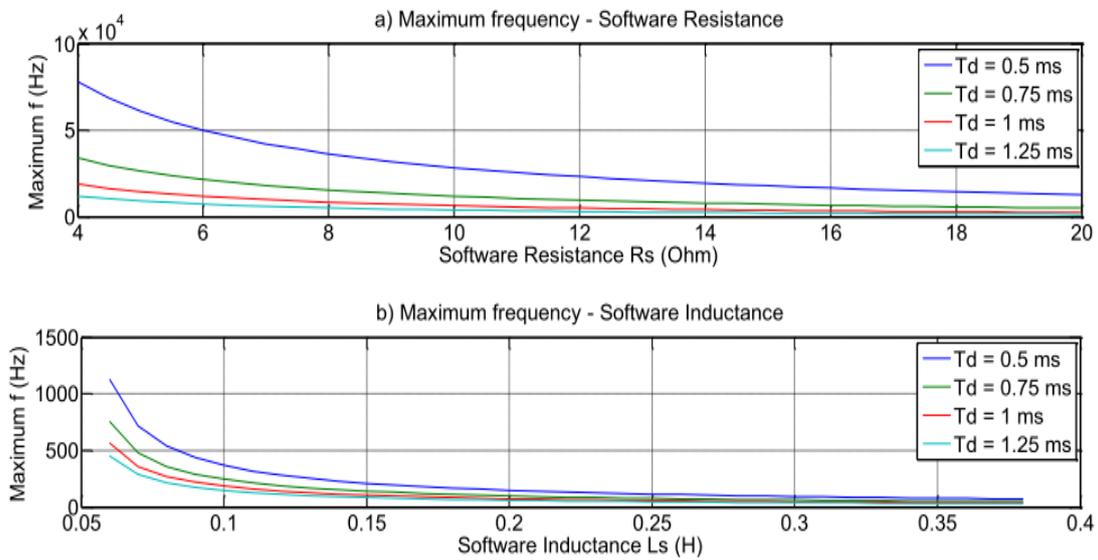


圖 11 不同延遲時間 T_d 比較圖

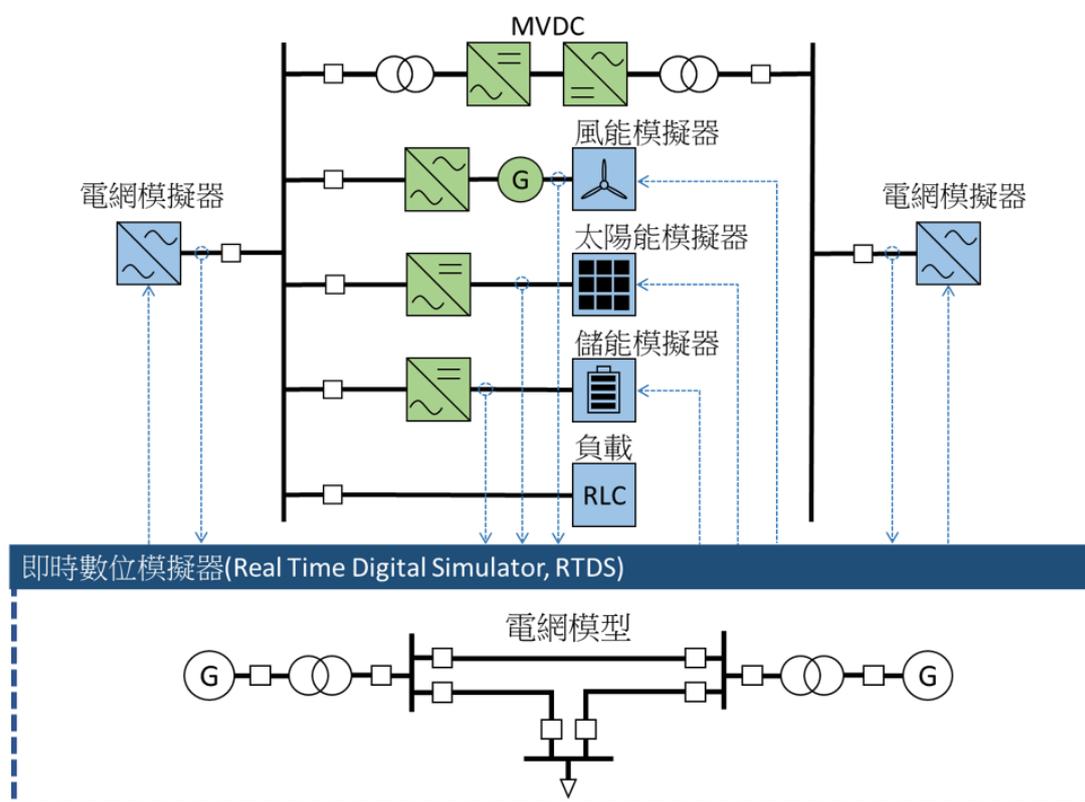


圖 12 功率級硬體閉迴路測試架構圖

4. 太陽能發電對系統衝擊新型分析模式

本新型分析模式，如圖 23 太陽能發電對系統衝擊之新型分析模式架構圖所示，將利用太陽能發電場域建立一套電網模擬分析新概念，太陽能發電量直接受照度及溫度兩參數影響，故常會隨天氣條件劇烈波動，對電網供電電力品質及安全直接衝擊；因此，為更精確之衝擊分析，本公司運用即時動態模擬器 (Real Time Digital Simulator, RTDS)，依系統所架設之太陽能發電場域，透過使用溫度和照度計收集資訊，本應用除運用現場實際感測器數據外，更可利用中央氣象局衛星雲圖並運用長短期記憶網路(Long Short-Term Memory, LSTM)深度學習模型，做為發電量預測之輸入參數，並將預測結果輸入到 RTDS 模型中，模擬未來太陽能發電廠併網時對其鄰近電網之影響，其分別結果與現場實際狀態相貼近。

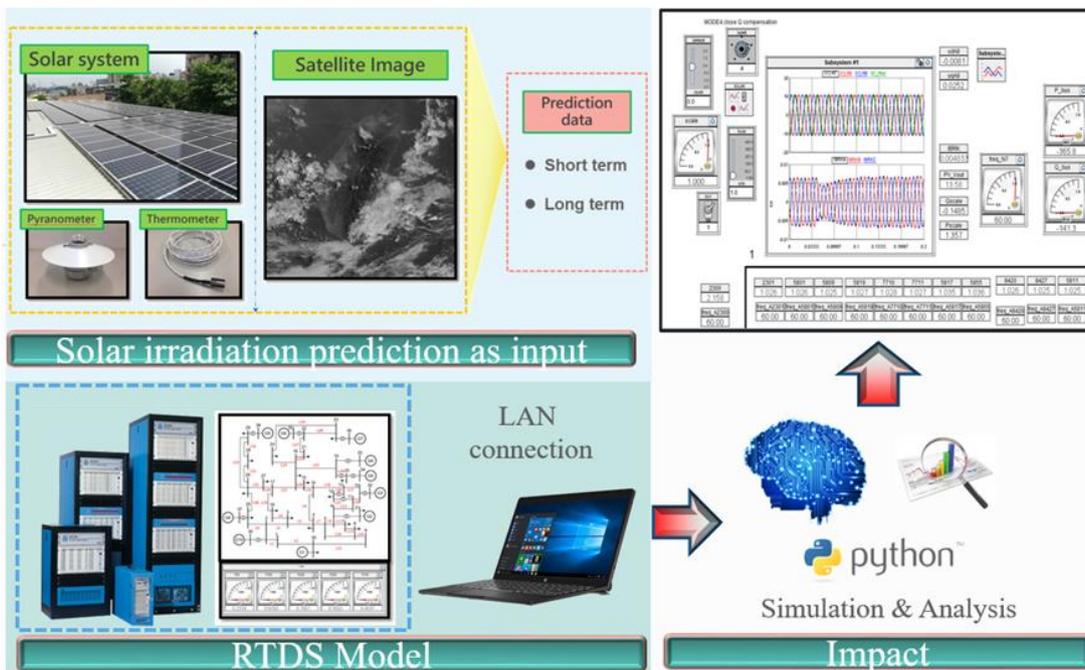


圖 23 太陽能發電對系統衝擊之新型分析模式架構圖

5. 再生能源對系統保護協調分析

由於傳統電網與再生能源之故障電流的特性不同，當系統外部線路發生事故時，變流器(Inverter)的故障電流低，其故障電流受變流器(Inverter)之控制器決定，而不是像傳統電網視事故系統網絡阻抗迴路而定；因此，在未來因應大量再生能源之電力系統，故障的存在不會導致高故障電流，但變流器(Inverter)出口端處的電壓變化通常比傳統電網減少更多，故其保護模式將不再只偵測故障電流變化，而另一個更好的方法是通過監測阻抗變化，來檢測電網中的故障。然而因再生能源是屬分散式能源，其每一案場並不像傳統電網有一定標準，故無法單純使用傳統測距電驛和傳統電網測距保護做協調，所以將採用通訊及方向元件兩者來輔助單純測距電驛之不足，其保護功能將介於輸配電系統保護功能之間如圖 24 所示。

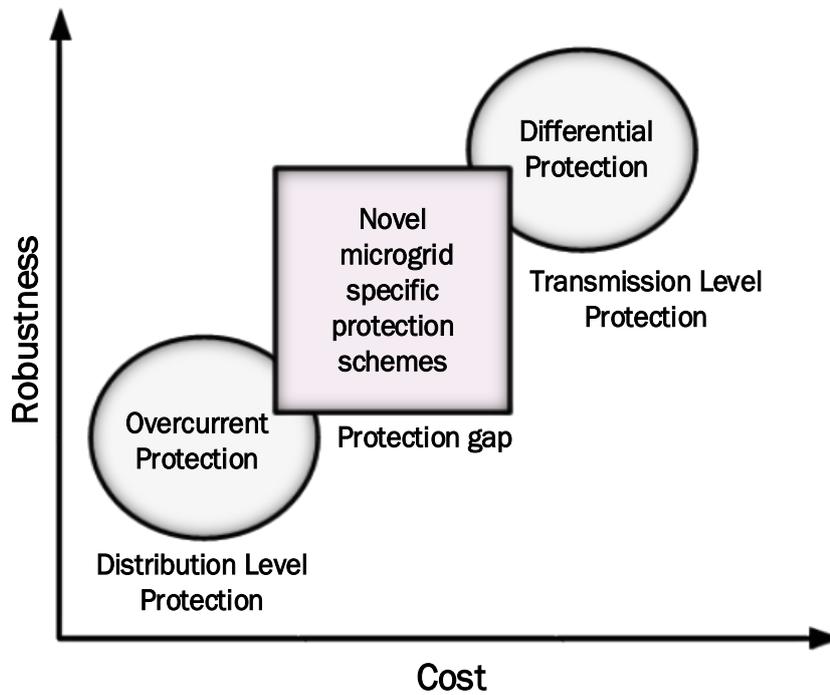


圖 24 再生能源系統保護功能介於輸配電系統保護功能之間

(資料來源：M.Elkhatab et al., Protection of Renewable-dominated Microgrids: Challenges and Potential Solutions, Sandia National Laboratories)

6. 整合通訊介面協定實體介接電網訊號執行動態分析

電網需要專用且性價比高的通訊網路，來協調其在不同運行模式下的控制和保護功能，其通訊網路之關鍵事項包括：

- A. 電網控制級別和功能在時間框架內之資料交互
- B. 多個地點之資料通訊(廣域或遠端通訊)
- C. 內置冗餘用來處理通訊故障和/或設備故障
- D. 不同供應商設備和通訊協定之間的互通性
- E. 資料保護和安全
- F. 靈活、易於安裝和維護

對於可靠、高效之電網通信需求，採用不同資訊和通信技術(ICT)協定設備發展，目前動態模擬器 RTDS 之網路介面卡，已可支援下列電網常用應用之標

準通訊協定：

- A.傳輸控制協議和使用者資料包通訊協定(TCP/UDP)
- B.分散式網路協定(DNP3.0)和 IEC 60870-5-104 協定
- C.IEC 61850 GOOSE 和採樣值 SV 協議
- D.IEEE C37.118 針對電力系統同步相量測量裝置(PMU)的協定
- E.串列通信協定(MODBUS)

本模式未來利用通訊介面協定與實體電網 SCADA 介接訊號，將動態模擬執行以近似虛擬實際電網方式進行分析與評估。

參、心得與建議

1. 馬來西亞國家能源公司(TNB)為 AESIEAP 的前任主辦國(2017-2018)，該公司針對接待國際貴賓有一套非常值得學習的制度，TNB 從各單位中挑選一些英文流利人才，在貴賓訪國期間安排 1~2 位隨行人員全程陪同，包括接送機、交通車輛、翻譯、協助安排會議行程、順道觀光等，無微不至的接待過程，讓與會貴賓感覺十分溫暖，真正是盡足了地主之誼。目前本公司已與日本、法國、美國等簽訂合作交流備忘錄/合約，建議本公司可以針對接待國外貴賓訓練不同語言的專業人才，學習本公司電力相關知識、本國與各國文化之差異、國際禮儀，以應本公司走向國際化之政策，完善的接待各國與會重要貴賓。
2. 人工智慧雖是未來趨勢，但在現實系統達成人工智慧前，必須先有工人智慧，也說是要人力投入，將人的經驗內化成機器可執行方式。目前電力能源轉型正積極展開，人工智慧的大進步正可用來解決能源轉型引出之相關問題及將傳統電網智慧化，並在電網安全與控制、輸變、配、售電、新能源、資訊通訊等領域的應用需求及願景，提出人工智慧應用電網各環節、各領域、各區域需求之目標，未來實現操電腦、不操人之自動運轉人工智慧電力系統。

3. 再生能源要能精準模擬，必須採用電磁暫態模擬 EMT，如採用電機模擬，只能近似模型，無法反應實際。且再生能源皆採用電力電子與系統相連，每一個功率元件之穩定與可靠度，直接影響系統穩定與安全，故未來本公司電力系統分析採用之動態模擬技術，可同時一併考慮保護電驛及再生能源運轉，可更貼近實際系統之運轉狀態。
4. 本公司未來將持續精進，整合 SCADA 運轉資訊與動態模擬器，達成即時虛擬實境之模擬。

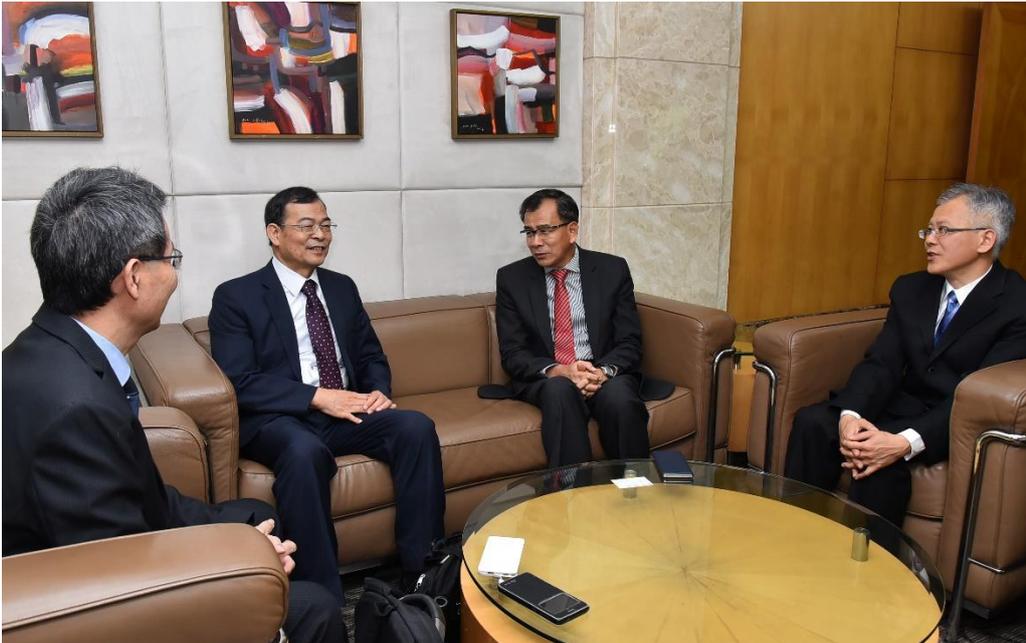
肆、會議照片



馬來西亞 TNB 公司接待本公司團員晚宴



與 TNB 企劃處處長 Datuk Omar 交換紀念品



與 TNB 首席營運官 Datuk Wira Roslan 交換意見



於 TNB 總部召開交流會議



與 TNB 首席營運官 Datuk Wira Roslan 交換紀念品



全體人員合影留念