



## 中華民國電驛協會會刊

中華民國八十四年五月二十日創刊  
中華民國一〇八年一月一日出版

發行者：陳來進

高等顧問：李河樟 李 群 許萬寶 張重湖  
簡文通 羅隆和 官茂祥 藍宏偉

顧問：唐志明 陳勇蒼 何文瑤

法律顧問：吳仲立 游文華 賴青鵬

編輯委員會：主任委員 黃慶林  
副主任委員 李錦槍

編輯委員：白雲年 吳立成 洪世宇 洪敏捷  
周瑞年 林安志 林延修 李正芳  
李金鐘 范建誼 郭麟瑛 陳來進  
陳炳基 陳益財 許文興 許宸源  
張偉荃 黃英龍 黃惟雄 黃德華  
潘明路 謝建賢 蕭勝任  
(依照姓氏筆劃順序)

廣告組：劉昌維 林之婷

地址：台北市羅斯福路三段 244 巷  
9 弄 1 號 2 樓

E-mail : relayroc@gmail.com

服務電話：(02) 2362-3993

傳 真：(02) 2363-0860

印刷者：文山打字印刷有限公司

地址：台北市杭州南路二段 25 巷 13 號

本刊物為對內刊物、不對外發售

投稿文章、刊物不代表本會立場

※版權所有※

◎本刊物圖文非經同意不得轉載◎

## 目 錄 索 引

☆26 推動整合變電所設備符合 IEC 61850  
互操作性成效分享 -----黃冠杰

☆34 建構新的輸電網路之地理圖資平台  
與行動裝置整合技術研究  
-----林正義、陳敬文

☆43 大量風機併網對保護電驛的影響  
-----楊盛鐘

☆61 智慧電表搭配時間電價及需量反應  
實現在智慧電網之效益 -----  
-----柯侑寬、黃培華  
蔣肇昇、吳祥瑀、彭憲貴

☆68 變壓器差動電驛湧浪電流識別演算  
法 -----吳立成、劉志文

☆76 談 2018 地方選舉與公投議題  
-----李國楨



☆81	會務報導	<h2>廣告索引</h2>	
☆82	中華民國電驛協會保護電驛專業檢測團體認證規範		
☆84	保護電驛專業檢測團體技術員工作證		
☆85	保護電驛專業檢測團體認證申請表		
☆86	保護電驛專業檢測團體證照		
☆87	中華民國電驛協會第八屆第七次理事暨監事聯席會議紀錄		
☆90	中華民國電驛協會第九屆第一次會員代表大會會議紀錄		
☆93	中華民國電驛協會第九屆第一次理事暨監事聯席會議紀錄		
☆96	中華民國電驛協會第九屆理監事暨理事長當選名單		
☆97	108 年度電驛協會教育訓練計劃		
☆98	中華民國電驛協會沿革		
☆99	中華民國電驛協會個人、團體入會申請書		
☆100	中華民國電驛協會永久團體會員名單		
☆101	中華民國電驛協會團體會員名單		
☆103	中華民國電驛協會永久個人會員名單		
☆104	中華民國電驛協會個人會員名單		
☆108	107 年 7 至 12 月新入會會員名單		
☆109	電驛協會會刊目錄總表		
			封面
		封底	中華民國電驛協會
		封面裡	艾波比(股)公司
		封底裡	全城電業顧問有限公司
		1	盈昇有限公司
		2	健格科技(股)公司
		3	祥正電機(股)公司
		4	勇帥電氣技術顧問(股)公司
		5	亞力電機(股)公司
		6	震江機電技術顧問(股)公司
		7	維立電機(股)公司
		8	飛領/飛羚電機(股)公司
		9	中友機電顧問(股)公司
		10	計量企業有限公司
		11	育貿(股)公司
		12	華城電機(股)公司
		13	大電力試驗中心
		14	攝陽企業(股)公司
		15	預保科技(股)公司
		16	春源機電技術顧問有限公司

# 推動整合變電所設備符合 IEC 61850 互操作性成效分享

台電供電處 黃冠杰

## 摘要

依據我國行政院於 2012 年核定之「智慧電網總體規劃方案」，以推動智慧電表為基礎建設、規劃智慧電網及智慧電力服務為重點，打造高品質、高效率 and 環境友善的智慧電力網<sup>[1]</sup>。因應未來大量再生能源併入系統運轉，提升再生能源併網穩定能力、電網可靠性及系統韌性為當前之重要課題，其中變電所智慧化扮演資訊整合及溝通協調的重要角色。

變電所智慧化技術利用網路通訊科技進行資訊整合，結合變電設備智慧狀態監測、診斷分析等資產管理系統，使變電所設備運轉更具穩定及可靠。然變電所內不同廠牌設備元件之通訊協定如果不一致，將導致系統資訊無法整合，而國際電力自動化標準 IEC 61850 (Communication Networks and Systems for Power Utility Automation) 的制定目的即為統一變電所各設備元件之通訊協定，使不同廠牌設備具有互操作性。

本文內容主要分享本公司推動整合變電所內設備符合 IEC 61850 互操作性之成效，使我國電網與國際接軌，實現 One World, One Technology, One Vision 之願景，方便未來智慧電網的整合。

## 壹、前言

電網輸電工作中變電所係為不可或缺的角色，變電所智慧化是實現智慧電網的重要環節，提升電力品質及提高電力系統可靠與穩定等，均有賴變電所資訊數位化的後續相關運用。變電所自動化演進歷程如圖 1 所示，早期技術監控架構主要依靠

硬線連接而成，於變電所設備現場及控制室建有電驛盤、配電盤(包含變壓器輔助盤、警報盤、控制盤及示波器盤等)及資訊末端設備(Remote Terminal Unit, RTU)等；中期變電所自動化監控架構朝向無盤化，利用智慧電子裝置(Intelligent Electronic Device, IED)提供之保護(Protection)、量測(Metering)、通訊(Communication)及控制(Control)功能，將資訊數位化後傳送至通訊處理單元(Gateway)供所內監控人機介面裝置(Supervisory Control and Data Acquisition – Human Machine Interface, SCADA-HMI)及控制中心進行監控。然因為當時各廠牌 IED 通信協定不一致(有 Modbus、DNP、LON、PROFIBUS 等)，導致資訊不易整合，且既有設備老舊面臨汰換時無法選擇他牌之設備取代，進而衍生汰換成本高等問題。因此，國際電工委員會(International Electrotechnical Commission, IEC) TC 57/WG 10 制定並發佈國際各廠牌設備遵循的電力自動化標準-IEC 61850，期藉由此標準達成各廠牌設備互操作性(Interoperability)之目標，以解決傳統變電所自動化面臨之困境。

目前本公司變電所約有 93% 係採早期 RTU 架構，另約有 7% 之 Local SCADA 架構變電所。依據本公司智慧電網專案小組會議決議：未來新設或改建之變電所均須納入 IEC 61850 相關規範，為考量一致性，由供電處作最後規範審核。本文目的主要分享本公司推動變電所導入 IEC 61850 監控架構之規劃及成效，目前供電處已於 107 年 1 月 15 日正式發布「IEC 61850 變電所/開關場設備規範」，並制定

各項 IEC 61850 實體驗證基本要點及負責主辦實體驗證，以驗證各廠牌設備是否具有互操作性，以利公司未來發展 IEC 61850

智慧化變電所，建構高互操作性之智慧電網。

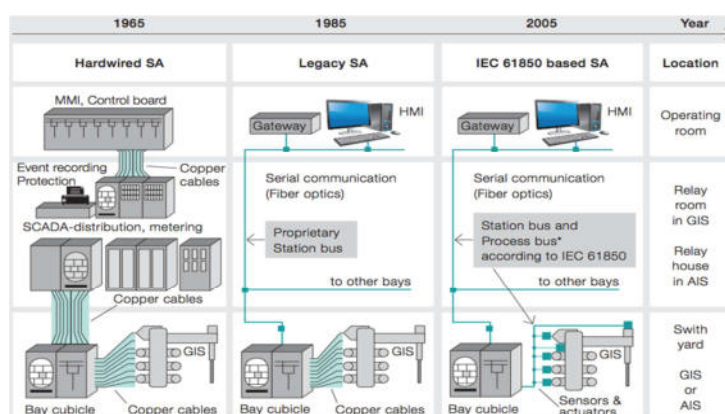


圖 1 變電所自動化演進歷程

## 貳、IEC 61850 標準介紹

IEC 61850 係國際遵循之電力自動化標準，於 2004 年正式發布第一版，其第一版標準全名為「Communication Networks and Systems in Substations」，應用範疇僅限於變電所內之電力及通訊網路，在第一版標準運行幾年後，標準於 2011 年納入變電所間、變電所對控制中心及各式再生能源併網等面向之通訊網路，發佈了目前最新之第二版標準，全名為「Communication Networks and Systems for Power Utility Automation」，其應用範疇如圖 2 所示，內容定義整個電力系統監控所須之資料模型(Data Model)並運用兩項資通領域重要技

術：物件導向、乙太網路(Ethernet)通訊技術，並期達到以下三項目標<sup>[2]</sup>：

- 一、互操作性(Interoperability)：二個以上同廠型或不同廠型之設備可完成信息交換並共同完成變電所運轉及保護要求的能力。
- 二、自由配置(Free Configuration)：容許各用戶依自己的需求要求設備的功能，亦可自由設計變電所網路拓樸架構(PRP 或 HSR 或 Coupling)。
- 三、長期穩定(Long-term Stability)：應用層面與其通訊層面的定義是分開的。未來出現新的通訊科技時，更換新的通信設備及通信協定即可續用。

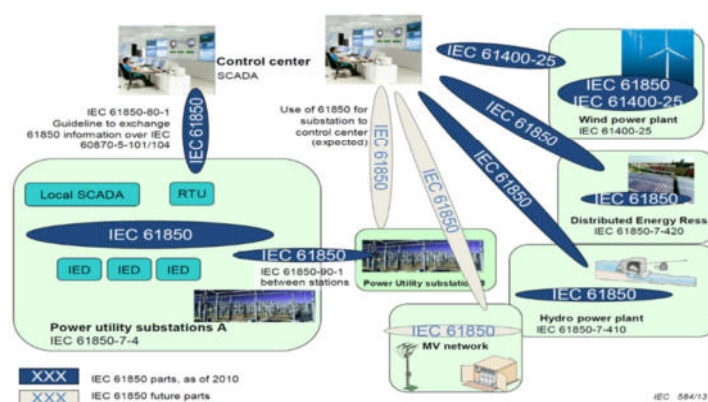


圖 2 IEC 61850 標準第二版應用範疇<sup>[2]</sup>

標準內容亦提及常有使用者誤解互操作性之定義，認為符合 IEC 61850 之設備就具有不更改系統中其他設備設定的情形下，可直接以 A 廠牌設備取代 B 廠牌設備的「互交換性(Interchangeability)」能力，內容強調 IEC 61850 標準之宗旨著重在設備符合 IEC 61850 標準即可於同一平台上進行資訊交換，互交換性相關應用已超出 IEC 61850 標準的範疇。

IEC 61850 標準主要內容可分為十大部分，如表 1 所示，另外 IEC 61850 標準亦提出一系列之技術報告，如變電所間 IEC 61850 之通訊使用案例 (IEC 61850-90-1 Use of IEC 61850 for the

communication between substations)、變電所對控制中心及變電所間通訊需求(IEC 61850-90-2 Using IEC 61850 for communication between substations and control centres)、利用 IEC 61850 進行變電設備狀態監測診斷與分析(IEC 61850-90-3 Using IEC 61850 for condition monitoring diagnosis and analysis)、通訊網路規劃指南(IEC 61850-90-4 Network engineering guidelines)及利用 IEC 61850 建構同步相量量測(PMU)相關規劃(IEC 61850-90-5 Use of IEC 61850 to transmit synchrophasor information according to IEEE C37.118)等，皆可作為規劃時之參考。

表 1 IEC 61850 標準主要內容各章節一覽表

IEC 61850 標準章節	各章節名稱
IEC 61850-1	Introduction and Overview(引言與概述)
IEC 61850-2	Glossary(術語)
IEC 61850-3	General Requirements(一般要求)
IEC 61850-4	System and Project Management(系統和專案項目管理)
IEC 61850-5	Communication Requirements for Functions and Device Models(功能和裝置模型的通信需求)
IEC 61850-6	Configuration Language for Communication in Electrical Substations Related to IEDs (變電所內與 IED 有關的通信配置語言)
IEC 61850-7-1	Principles and Models(原理與模型)
IEC 61850-7-2	Abstract Communication Service Interface, ACSI(抽象通信服務介面)
IEC 61850-7-3	Common Data Classes(通用數據類)
IEC 61850-7-4	Compatible Logical Node Classes and Data Classes(相容邏輯節點類和數據類)
IEC 61850-7-410	Hydroelectric power plants - Communication for monitoring and control (水力發電廠監控通信要求)
IEC 61850-7-420	Distributed energy resources logical nodes(分散式電源邏輯節點定義)
IEC 61850-7-510	Hydroelectric power plants - Modelling concepts and guidelines(水力發電廠塑模概念及指南)
IEC 61850-8-1	Mappings to MMS(ISO/IEC 9506-1 and ISO/IEC 9506-2) (特定通信服務映射(SCSM)- 映射到製造報文規範)
IEC 61850-9-1	Sampled Values Over Serial Unidirectional Multidrop Point to Point Link (關於單向多路點對點串行通信鏈路的取樣值)
IEC 61850-9-2	Sampled Values Over ISO/IEC 8802-3(關於 ISO/IEC8802-3 的取樣值)
IEC 61850-10	Conformance Testing(符合性測試)

## 參、台電公司 IEC 61850 變電所規劃

### 一、IEC 61850 標準變電所自動化範例

IEC 61850-5 內容說明 IEC 61850 變電所自動化架構可分為處理層 (Process Level)、間隔層 (Bay Level) 及站控層 (Station Level)，如圖 3 所示<sup>[3]</sup>。

(一) 處理層 (Process Level)：包含自動化系統及電力設備，如比流器、比壓器及合併單元 (Merging Unit) 等。

(二) 間隔層 (Bay Level)：包含保護、監視及控制設備，如保護電驛、控制單元 (Bay Control Unit) 等。

(三) 站控層 (Station Level)：包含變電所內監控人機介面、通訊處理單元等設備。

圖 3 中號碼 IF1~IF11 之含意如下：

IF1：站控層與間隔層間保護資訊交換。

IF2：變電所間保護資訊交換，如 87L。

IF3：間隔層內設備資訊交換。

IF4：處理層與間隔層間類比資訊交換，如

CT、PT 之採樣值。

IF5：處理層與間隔層間控制指令傳遞。

IF6：站控層與間隔層間控制指令傳遞。

IF7：遠端規劃設定資訊交換。

IF8：跨檔位快速點對點資訊交換，如互鎖。

IF9：站控層內設備資訊交換。

IF10：控制中心對變電所之控制指令傳遞。

IF11：變電所間非保護功能資訊交換。

### 二、本公司 IEC 61850 變電所自動化架構

參考各國 IEC 61850 變電所之建置經驗，加上各 IED 廠家有關於樣值 (Sample Value) 相關規範的採用 (IEC 61850-9-2 或 IEC 61850-9-2 LE) 尚未一致，且各廠牌合併單元的互通性仍待驗證，故本公司 IEC 61850 變電所建置架構將採二層一網設計，如圖 4 所示，以下將針對圖內各設備進行簡單說明：

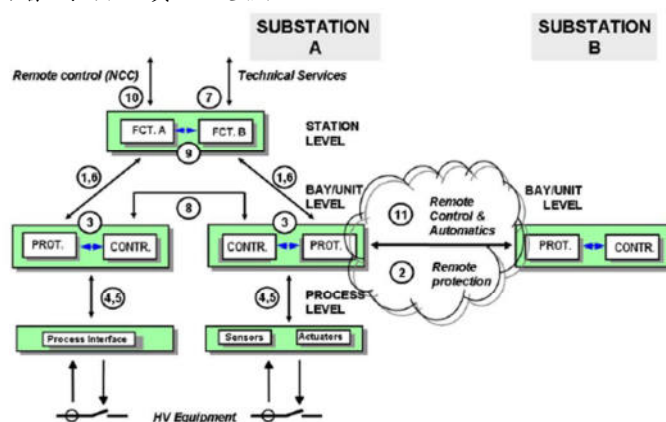


圖 3 IEC 61850 標準變電所自動化監控架構<sup>[3]</sup>

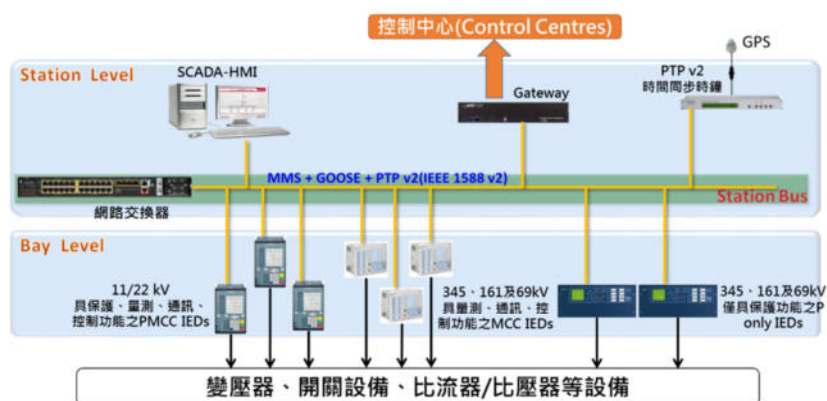


圖 4 台電公司 IEC 61850 變電所監控架構規劃

- (一) 智慧電子裝置(IED):除傳統保護功能(Protection)外,另提供量測(Metering)、通訊(Communication)、控制(Control)等功能,依用途及使用之電壓等級不同可分為以下三種:
1. 11/22 kV 之 PMCC IEDs:啟用之功能包含保護、量測、控制及通訊,傳統變電所擁有此項設備,相關規格及各功能細節須符合「智慧型電子裝置規範(IED4)」要求。
  2. 69 kV 以上之 MCC IEDs:啟用之功能包含量測、控制及通訊,傳統 RTU 變電所無此項設備,於 IEC 61850 變電所中作為 Bay Control Unit。
  3. 69 kV 以上之 Protection only IEDs:為輸電等級保護專用 IEDs,具有變壓器差流保護(87T)、輸電線差流保護(87L)等功能,傳統變電所具有此項設備,負責執行輸電網路保護策略工作。
- (二) 監控人機介面(SCADA-HMI):供維護人員於變電所控制室內監視並控制所有變電設備之裝置。
- (三) 通訊處理單元(Gateway):目前本公司各級控制中心 SCADA 系統主要為 DNP3.0 協定,透過此項設備將變電所運轉資訊上傳至控制中心監控並進行通信協定轉換(IEC 61850 to DNP3.0),對所內為 Client 的角色,與各 IED 進行資訊交換;對控制中心為 Server 的角色,負責將變電所資訊傳至控制中心。
- (四) PTP v2 時間同步時鐘:此項設備可接收 GPS 訊號並作為所內各自動化設備時間同步源,支援 IEEE Std. C37.238 Power Profile 協定,提供高精度之參考時間,時間誤差可於 1 $\mu$ s 以內。
- (五) 網路交換器(Ethernet Switch):構成 IEC 61850 Station Bus 之設備,為變電所自動化資訊交換平台,須具有傳輸間隔層與站控層間資料的能力,包含 SCADA-HMI 與 IED 間之 Client/Server 主從式通信訊息、IED 間之即時通信 GOOSE 訊息及時間同步訊息 PTP v2 等,且可供設定 IEC 61850 各類型訊息封包優先處理順序,並支援 Multicast Filtering 以進行 GOOSE 發佈與訂閱的控管,降低頻寬使用量。
- 為提高變電所自動化的可靠性,所內各自動化設備均為複式架構,且網路備援機制選用無通訊斷線恢復時間(Communication Recovery Time)之平行備援機制(Parallel Redundancy Protocol, PRP),網路架構示意圖如圖 5 所示,設備支援 PRP 可將一筆資料複製為二份分別傳送至二個獨立的局域網(LAN A、LAN B),接收者透過兩條獨立路徑接收來自 LAN A 與 LAN B 的資料訊框(Frame),成功接收第一份訊息後,第二份訊息於到達時即進行丟棄。網路交換機皆內建有 Red Box(或稱 Redundancy Box),因此不具備 PRP 功能之設備,可透過連接至支援 PRP 功能之網路交換機,將欲傳送之訊息複製成二份,以達到無通訊斷線恢復時間的需求。



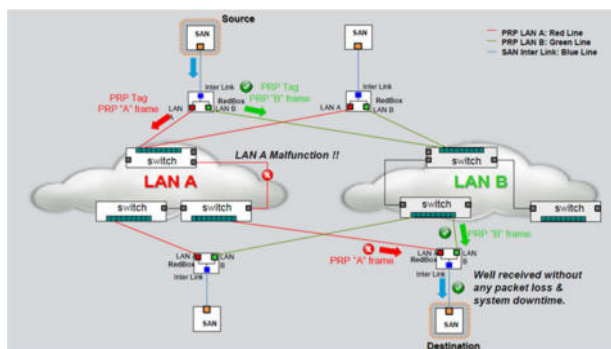


圖 5 PRP 網路架構示意圖

### 三、設備符合 IEC 61850 Ed.2 相關證明文件

本公司「IEC 61850 變電所/開關場設備規範」中要求設備廠商須提供 UCAIug 授權國際第三方實驗室(如 DNV.GL、台灣電檢中心 ETC 等)核發通過符合性測試(Conformance Testing)之「IEC 61850 Certificate Level A」文件，並須出具提送測試實驗室時所附之 MICS(Model Implementation Conformance Statement)、PICS(Protocol Implementation Conformance Statement)及 TICS(TISSUES Implementation Conformance Statement)等認證文件，以供確認各自動化設備是否符合 IEC 61850 Ed.2。

然而，參考 EPRI 的報告<sup>[4]</sup>，內容分享各國電力公司於實作 IEC 61850 變電所時所學習的經驗，其中最重要的經驗即建議各電力公司在實現 IEC 61850 變電所前，須先列出需求總則(Profile)以要求廠商提供相應之資料模性及功能，因為 IEC 61850 標準為實現自由配置之目標，允許使用者視需求設計自己的系統，標準內容將近 90% 之功能皆為自選性(Optional)，而符合性測試僅針對標準中要求之必要內容(Mandatory)及廠商自行申請之項目進行測試，因此前述所有文件僅能提供符合 IEC 61850 標準之基本保障，並無法保證其與不同廠牌之自動化工設備具有互操作性，故本公司規劃辦理各自動化設備之

「IED 互操作性實體驗證」及「SCADA 系統整合實體驗證」，以測試各廠牌設備是否滿足本公司變電所自動化工控所需功能並具有互操作性。

### 四、IEC 61850 相關實體驗證

本公司 IEC 61850 實體驗證共分為二種：「IED 互操作性實體驗證」及「SCADA 系統整合實體驗證」，前者主要針對各廠牌之 IED 及其規劃工具(IED Configuration Tool, ICT)進行互通性的測試；後者針對各廠牌之 SCADA-HMI 圖控軟體及系統組態工具(System Configuration Tool, SCT)的整合能力進行測試，測試架構圖如圖 6，各測試項目統整如下說明：

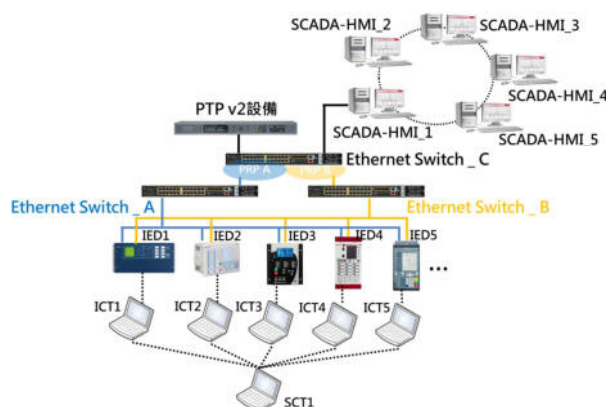


圖 6 IEC 61850 實體驗證測試架構圖

(一) SCADA-HMI 驗證項目：測試各廠牌 SCADA-HMI 圖控軟體是否支援系統組態工具匯出之系統組態描述文件(System Configuration Description, SCD)進行相關規劃，並於規劃完成後檢查對各廠牌 IED 的監控能力，尤其控制過程需遵守先選擇後操作(Select before Operate with Enhanced Security)之流程。

(二) IED 驗證項目：

1. 首先針對各廠牌 IED 是否符合「IEC 61850 變電所/開關場設備



規範」內容要求進行檢查，包含是否具有支援 PRP 之雙網路埠口及 IEEE Std. C37.238 Power Profile 同步校時等功能。

2. 接著檢查各廠牌 IED 之資料模型是否滿足本公司變電所自動化監控之需求，以表 2 類比量監控點為例，即確認各廠牌 IED 擁有 IEC 61850 標準之邏輯節點、數據物件及數據屬性。
3. 最後檢查各廠牌 IED 互通性之部分，包含對 SCADA-HMI 的 Client/Server MMS 訊息及對其他廠牌 IED 的 GOOSE 訊息發布與訂閱，以確認不同廠牌 IED 間可完成資訊交換及共同完成運轉及保護要求的能力

(三) ICT、SCT 驗證項目：雖然各廠牌規劃工具所匯出之 IED 能力描述文件 (IED Capability Description, ICD)、IED 組態描述文件 (Configured IED Description, CID) 及系統組態描述文件均為遵循 IEC 61850-6 使用 XML 語法之系統組態語言 (System

Configuration Language) 文件，惟之間仍擁有部分差異，故須測試各廠牌規劃工具間是否可依照 IEC 61850-6 建議流程進行規劃，且各廠牌 ICT 須可支援匯入各廠牌 SCT 所規劃出之文件 (SCD)，以完成 IED 規劃且功能正確。

辦理 IEC 61850 實體驗證成效如下：

1. 使廠商正視互操作性之困難點，並積極配合本公司需求改善。
2. 發現問題點後修正本公司相關規範，以提高設備的投資效益。
3. 提升本公司各單位驗證小組成員對 IEC 61850 互操作性的認知。
4. 未來進行系統整合時，不需汰換原有變電所內已通過驗證之 IED，以提高設備的投資效益，有利未來建構高互操作性之智慧型電網。
5. 未來可結合變電設備資產管理系統，結合物聯網大數據預測分析技術，提供高可靠性之電網。

表 2 類比量監控點對應 IEC 61850 資料模型表<sup>[5][6]</sup>

項次	說明	IEC 61850 邏輯節點 (Logical Node)	IEC 61850 數據物件 (Data Object)	通用數據類 (Common Data Class)	IEC 61850 數據屬性 (Data Attribute)
1	P(有效功率)	MMXU	TotW	MV	mag.f
2	Q(無效功率)	MMXU	TotVAr	MV	mag.f
3	I <sub>R</sub> (R 相電流)	MMXU	A. phsA	WYE.CMV	cVal.mag.f
4	I <sub>S</sub> (S 相電流)	MMXU	A. phsB	WYE.CMV	cVal.mag.f
5	I <sub>T</sub> (T 相電流)	MMXU	A. phsC	WYE.CMV	cVal.mag.f
6	I <sub>N</sub> (零向電流)	MMXU	A. neut	WYE.CMV	cVal.mag.f
7	相電壓	MMXU	PhV. phsA PhV. phsB PhV. phsC	WYE.CMV	cVal.mag.f
8	線電壓	MMXU	PPV. phsAB PPV. phsBC PPV. phsCA	DEL.CMV	cVal.mag.f
9	頻率	MMXU	Hz	MV	mag.f
10	瓦時	MMTR	SupWh DmdWh	BCR	actVal
11	乏時	MMTR	SupVArh DmdVArh	BCR	actVal

## 肆、結語

未來面臨大量再生能源併網，積極推動智慧電網提升再生能源併網穩定能力、電網可靠性及系統韌性為各國發展的趨勢，智慧電網標準藍圖中，更是將 IEC 61850、IEC 61970 及 IEC 61968 等標準列為智慧電網之核心標準。IEC 61850 標準導入物聯網概念，強調設備間的資訊互通性，藉由 IEC 61850 智慧

裝置(IED)或符合 IEC 61850 之智慧感測器收集變電所現場之即時巨量資訊，進行即時的設備狀態監測及大數據預測分析，導入先期預知維護概念(Condition Base Maintenance, CBM)，減少變電設備事故發生次數、節省維護人力及設備維護成本。

另外，符合 IEC 61850 之不同廠牌設備，受惠於互操作性更可進行水平快速點對點通信，改善傳統變電所設備水平溝通能力不足之問題，提高電網保護穩定性，提升電網運轉操作安全、韌性及可靠度，IEC 61850 智慧變電所的導入勢在必行，實現 one world, one technology, one vision 之願景

## 伍、參考文獻

- [1] 行政院經濟部能源局，「智慧電網總體規劃方案核定本」，2012 年 9 月 3 日。
- [2] IEC 61850-1, “Communication networks and systems for power utility automation – Part 1 : Introduction and overview,” 2013.
- [3] IEC 61850-5, “Communication networks and systems for power utility automation – Part 5 : Communication requirements for functions and device models,” 2013.
- [4] D. Von Dollen, “Implementing the IEC 61850 Substation Automation Standard, ” Electric Power Research Institute technical update report, USA, August 2015.
- [5] IEC 61850-7-4, “Communication networks and systems for power utility automation – Part 7-4 : Basic communication structure – Compatible logical node classes and data object classes,” 2010.
- [6] IEC 61850-7-3, “Communication networks and systems for power utility automation – Part 7-3 : Basic communication structure – Common data classes,” 2010.

# 建構新的輸電網路之地理圖資平台與行動裝置整合技術研究

台電南區施工處 林正義、陳敬文

## 一、前言

本文於智慧電網架構上，透過資訊與通訊技術整合開發適用於輸電網路擴增規劃之地理資訊系統應用程式，可協助提升台灣電力公司(以下稱電力公司)新建及汰換變電所及鐵塔設計效率，同時輔以 Google 地圖(Google Maps)為背景，呈現地理空間畫面，進而可建置行動裝置應用程式，俾以智慧型行動載具，有效查詢各變電所、輸電線鐵塔、管路人孔位置與相關圖資，兼以自動導航至變電所及鐵塔位置，有效達成即時監控設備及施工觀測，應有助於智慧變電所及輸電系統地理空間查詢及即時監控變電所及輸電設備施行參考。

面臨備轉容量愈見重要，能源需求可靠度愈為要求之今日，輸電網路之擴建規劃的妥適度已成為國內重要研究課題，目前電力公司除了原有第七輸變電計畫，將陸續啟動再生能源加強電力網、變電所整所改建計畫、區域電網及輸電網設備汰換工程等專案計畫，但因眾多數量之輸電設備均以點狀分佈各地，查詢頗為不易，因此若能融入現有資通科技輔助，並且整合研發適用於輸電工程規劃程式系統，預將兼具電力實際應用價值，故本文即致力於開發快速查詢智慧變電所與輸電系統間之地理資訊及行動裝置程式，並且導入 Google Maps 之行動應用程式(Mobile Application, APP)，用以協助查詢變電所及鐵塔地理位置，同時納入變電所及輸電線設計圖面，並整合 Google Maps 即時導航與查詢相關圖資，期望本文之研究成果能於智慧電網建構下，創新打造具有輸電規劃及地理空間整合之可攜式行動裝置系統平台，強化電力網與資通訊網路之跨領域整合，進而協助提升國內供電可靠度及擴增電網佈設之彈性強健度。

## 二、研究方法

本文規劃設計流程前，首先必須瞭解 Google Maps 應用程式介面，研擬 Eclipse 軟體開發[1-2]行動載具程式介面連結之可行性，因而可透過行動載具即時查詢各項輸電設備地理位置及相關資訊，然後可進行內部網路架構應用程式撰寫，輔以虛擬私人網路(Virtual Private Network, VPN)應用程式，並根據邏輯條件進程式設計開發應用程式之各項功能[3-4]，整體架構圖，詳如圖 1 所示。

### (一) Google Maps API 平台

本應用程式透過 Google Maps API 進行平台建構，開發者可以透過 API 提供之多種及多樣性開發工具[5-6]，完成客製化功能，本文目前參考部分包含地理環境、等高線設置圖、距離規劃及衛星圖像，此外亦可於網際網路瀏覽器及行動裝置上進行開發，以增加電力工程人員之使用便利性。

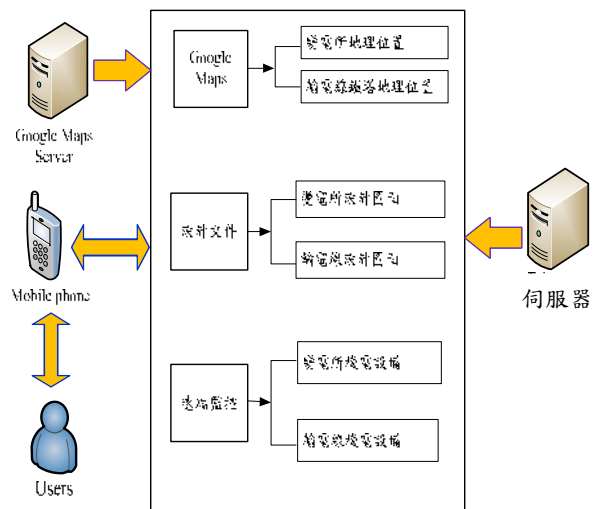


圖 1 應用程式架構圖

## (二) 應用程式介面

使用 Google Maps API 應用程式都需要申請一組金鑰才能使用，每個 API 都是唯一，但可搭配數個服務或網站使用，或是登入 Google Developers Console 網站再依網步驟取得 API 金鑰後，進行開發。

## (三) 經緯度資料設置

配合 Google Maps API 讀取經度及緯度之格式後，需加上 "new google.maps.LatLng"，且緯度資料放在前面，經度資料放在後面，詳如圖 2 所示，由圖 2 可知程式進行讀取經緯度並連結 Google Maps，以更新地圖定位。

```
center: new google.maps.LatLng(-34.397, 150.644)
center: {lat: -34.397, lng: 150.644}
center: {lng: 150.644, lat: -34.397}
```

圖 2 地圖中心經緯度指定方式

## (四) DirectionsService

DirectionsService 是 Google Maps API 中提供路徑規劃的一種功能，可用於調整參數，如下所示：

1. 設置起點位置(Origin)。
2. 設置終點位置(Destination)。
3. 設置交通方式(TravelMode)：有開車、大眾交通工具(公車)、步行及腳踏車。
4. 判斷是否經高速公路(avoidHighways)：選擇是否行經高速公路，可依需求設置布林值。
5. 判斷是否收費站(avoidTolls)：選擇是否行經收費站，可依需求設置布林值。
6. 選擇最佳化路徑(optimizeWaypoints)：選擇是否自動優化最佳路徑。
7. 顯示地圖畫面(MapTypeId)：顯示地圖畫面 ROADMAP、預設道路畫面(2D 地圖模式)SATELLITE、顯示衛星空拍影像 HYBRID、顯示衛星空拍影像和一般 2D 地圖的混合畫面 TERRAIN 及根據地形資訊顯示地圖。

## (五) DirectionsRenderer

利用 DirectionsRenderer 服務來輸出路徑規劃後成果，指令為

## Directions-Display.setMap

，指令範例及輸出成果詳如圖 3 所示，於圖 3 中，由目前定位之位置，載入地圖並規劃路徑。

```
function initMap() {
  var directionsService = new google.maps.DirectionsService;
  var directionsDisplay = new google.maps.DirectionsRenderer;
  var map = new google.maps.Map(document.getElementById('map'), {
    zoom: 7,
    center: {lat: 41.85, lng: -87.65}
  });
  directionsDisplay.setMap(map);
}
```

圖 3 DirectionsRenderer 指令範例

## (六) Google.Maps.策略選項指令

Google.Maps.策略選項指令提供多種參數，供更改圖層上線條樣式，包含粗細、顏色深淺、拖曳及增加資訊等，讓使用者能夠更自由的設定喜好參數，詳細參數，詳圖 4 所示[7]。

Properties	
clickable	Type: boolean Indicates whether this Polyline handles mouse events. Defaults to true.
draggable	Type: boolean If set to true, the user can drag this shape over the map. The geodesic property defines the mode of dragging. Defaults to false.
editable	Type: boolean If set to true, the user can edit this shape by dragging the control points shown at the vertices and on each segment. Defaults to false.
geodesic	Type: boolean When true, edges of the polygon are interpreted as geodesic and will follow the curvature of the Earth. When false, edges of the polygon are rendered as straight lines in screen space. Note that the shape of a geodesic polygon may appear to change when dragged, as the dimensions are maintained relative to the surface of the earth. Defaults to false.
icons	Type: Array<IconSequence> The icons to be rendered along the polyline.
map	Type: Map Map on which to display Polyline.
path	Type: MVCArray<LatLng> Array<LatLng LatLngLiteral> The ordered sequence of coordinates of the Polyline. This path may be specified using either a simple array of LatLngs, or an MVCArray of LatLngs. Note that if you pass a simple array, it will be converted to an MVCArray. Inserting or removing LatLngs in the MVCArray will automatically update the polyline on the map.

圖 4 Google.Maps.策略選項指令

## (七) DistanceMatrixService

利用 Google Maps API 的 DistanceMatrix-Service(距離矩陣服務)功能，可以得到兩點位間之最短行車時間，再透過迴圈的觀念，得以計算多點之間來回時間，其程式碼詳圖 4 所示，於圖 4 中，首先先選取兩點之間位置，並取得經緯度，然後依據選點位置計算最短行車時間，再推展至多點來回時間計算。

```

var origin1 = new google.maps.LatLng(24.05,
120.845);
var origin2 = new
google.maps.LatLng(24.8,120.425);
var destinationA = new #1 鐵塔(24.3,120.865);
var destinationB = new #2 鐵塔(24.31,120.867);
var service = new
google.maps.DistanceMatrixService();
service.getDistanceMatrix(
{
  origins: [origin1, origin2],
  destinations: [destinationA, destinationB],
  travelMode: 'DRIVING',
  transitOptions: TransitOptions,
  drivingOptions: DrivingOptions,
  unitSystem: UnitSystem,
  avoidHighways: Boolean,
  avoidTolls: Boolean,
}, callback);
function callback(response, status) {
  // See Parsing the Results for
  // the basics of a callback function.
}

```

圖 5 DistanceMatrixService 程式碼

由圖 5 所示，其 DistanceMatrix 參數欄位設定如下列所示：

1. 來源包含一或多個地址字串 google.maps.LatLng 物件或 google.maps.Place 物件的陣列，用來計算距離與時間。
2. 目的地可以包含一或多個地址字串、物件或 google.maps.Place 物件的陣列，用來計算距離與時間。
3. 可使用模組指定計算路線規劃時要使用的運輸方式。
4. 適用於 travel-Mode 為 TRANSIT 之要求的選項。
5. 顯示距離時要使用的單位系統。可接受的值包括 google.maps.UnitSystem.METRIC(預設)及 google.maps.UnitSystem.IMPERIAL
6. 起點與目的地之間的路線將會以優先避開高速公路為前提計算。
7. 兩點之間的路線規劃將會以優先使用不需收費的路線為前提計算。

### 三、模式建構流程

本研究利用 Google Static Map API 根據透過標準 HTTP 要求傳送的網址參數建

立所規劃的地圖，並傳回至行動裝置顯示，及使用 JavaScript 語法[8]，開發搜尋變電所及鐵塔之位置，並顯示該輸電設備之住址、維護電話及裝置容量等資訊，其流程說明詳圖 6 所示。

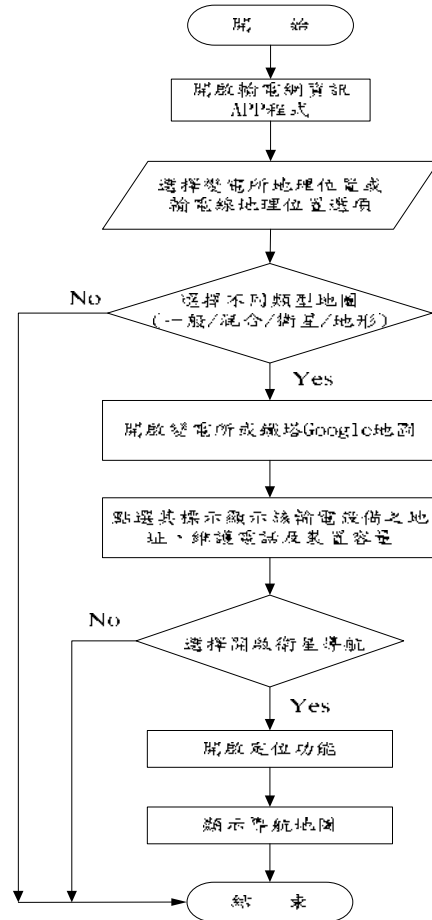


圖 6 動作流程圖

#### (一) 檢核點位置計算

將變電所及鐵塔之檢核點位之經、緯度及該輸電設備之住址、維護電話及裝置容量等資料整理後，由 Google Maps API 之呼叫 DistanceMatrixService 計算出各點位之間相互來回到達時間，並將變電所及鐵塔組成分項矩陣，待後續步驟使用。

#### (二) Google Maps API 計算

將分項矩陣之經緯度資料代入 Google Maps API，產生標示所在地之地圖，選擇不同顯示地圖(一般地圖/混合地圖/衛星地圖/地形地圖/導航)，可最短搜尋最佳導航行經路徑，產生最終查詢結果。



### (三) 連接設計文件管理平台

本研究利用 VPN 應用程式安裝用戶端程式連接設計文件管理平台，該用戶端程式為免費 APP 程式(詳圖 7)，VPN 為虛擬專用網路 SSL VPN 連接服務，係提供使用者於網外透過本項服務取得該用戶端 IP 位址，可連線使用本用戶雲端服務，俾利於持續進行工作。將建置 APP 選項來開通 VPN 通訊網路，俾利連接至設計文件伺服器內，為了管控內部單位查詢人數，必須建置申請帳號及密碼。

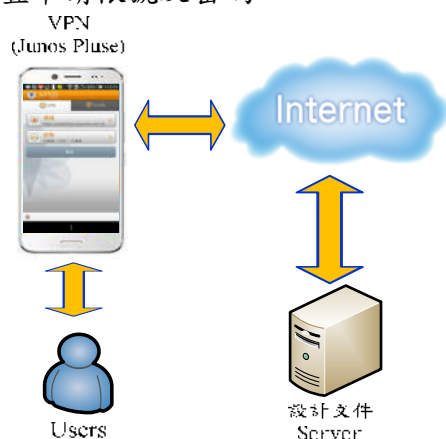


圖 7 用戶端程式連線畫面

### (四) 即時遠端監控設計

本研究主要利用 XML 文件透過 HTTP 協定進行遠端程序呼叫(Remote Procedure Call, RPC)。依電力公司新/擴建變電所及輸電線工程項目規劃監控變電所及鐵塔各項電力設施，並自訂電力設備清單(變壓器、氣體絕緣開關設備、所內變壓器、電容器組、控制室等)，提供使用者查詢相關輸電設備之項目，即可顯示運轉或安裝影像，達到即時回報功能。

## 四、傳統規劃模式之改良

傳統搜尋模式係由人工上網查詢，本研究提出創新方法，改善傳統模式，以下列舉其創新之處[9]。

### (一) 最佳化目標設定

本研究考量目前電子地圖中，服務系統以 Google Maps 較優，不但有搜尋引擎最佳化，而且融入路線搜尋，讓行動裝置

可以即時顯示最短時間及路徑，故以結合 Google Maps 為開發搜尋變電所及鐵塔最佳化，目的最快搜尋到各項地理位置資訊及找出最短路徑之解。

### (二) 搜尋方式考量

本研究考慮使用一般電腦或行動裝置來應用 Google Maps 搜尋變電所或鐵塔之間地理位置，並顯示該地圖，以及可提供隨意切換搜尋各項輸電設備，最終考量便利性及即時性，其搜尋方式以開發行動裝置 APP 程式為主。

### (三) 搜尋時間考量

考量搜尋時間牽涉電腦的 CPU 計算效率，一般而言電腦執行效率比行動裝置高，為了提高搜尋效率，必須簡化程式碼運算複雜性，讓行動裝置運算效率提升。

### (四) 引用 Google Maps API

結合 Google Maps API 之經緯度資料，顯示變電所或鐵塔地理位置，讓其標示圖案呈現，輸入各變電所及鐵塔之經緯度座標值，再利用 HTTP 通訊協定 GET 方式將資料傳至 Google Maps 之 Web Service 端計算起點與終點之間的路徑，顯示變電所或鐵塔標示於地圖上位置，以根據傳回的資訊是搜尋地點與目的地之間由 Google Maps API 之 JSON (Java-Script Object Notation) 或 XML 語法計算出建議路線來估計最佳距離，並依使用者選擇交通工具(公車/汽車/腳踏車/步行)計算時間，以及考量目前和過去路況來預測行進時間多寡，詳圖 8 所示。

### (五) 採用 AJAX 技術

非同步 JavaScript 及 XML 技術 (Asynchronous JavaScript+XML, AJAX) 地圖應用程式大多以 AJAX 技術進行開發，其資料的傳遞概念有別於傳統的 Web 資料一來往的同步通訊，





圖 8 Google Directions API 路徑規劃圖

AJAX 為互動式應用模式，資料傳輸時使用者無須等待，仍可繼續執行其他工作，AJAX 透過非同步的 JavaScript 與 XML 技術，將客戶端需求利用 JavaScript 之 XMLHttpRequest 物件與 Web 伺服器進行非同步資料交換，而後端回應的資訊也透過 JavaScript 整合 DOM (Document Object Model) 進行資料更新與互動，在客戶端與伺服器之間常以 XML 技術來呈現訊息，並使用 CSS (Cascading Style Sheet) 與 HTML 技術來呈現訊息。Google Maps 就採用 AJAX 技術在使用進行地圖瀏覽操作時，如圖 9 可知，以非同步的傳輸進行回應使用者的需求，讓使用者減少等待資訊時間。

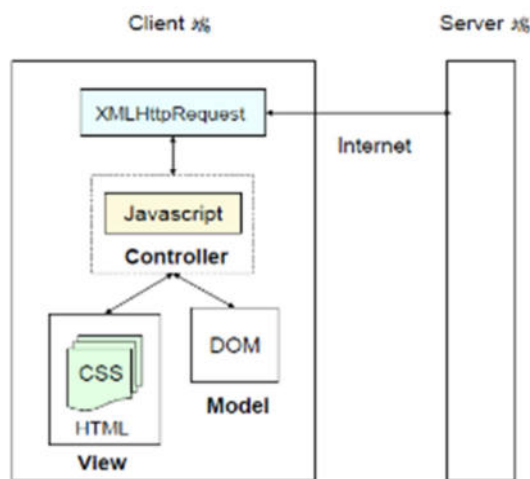


圖 9 AJAX 運作流程圖

### 五、系統實作與說明

為了提升變電所及輸電線新建、汰換工程之設計效率，開發以 Google Maps 為背景的輸電網地理圖資系統平台，設計行動應用程式 (Mobile Application, APP)，內建各項變電所及輸電線鐵塔座標與 Google Maps 整合後，結合不同地圖類型，

開啟頁面進行導航，藉由智慧型行動裝置查詢各變電所及輸電鐵塔、人孔位置等相關資訊。本平台整合 Google Maps、鐵塔及人孔衛星定位、設計圖面查詢及現場監控系統，其系統架構圖詳圖 10 所示。



圖 10 輸電網地理圖資系統架構圖

#### (一) 應用程式操作架構

本套 APP 應用程式操作頁面主要有變電所地理位置系統、輸電線路地理位置系統、開啟 VPN、變電所與輸電線圖面查詢及現場即時監控系統等五選項規畫設計而成，期使能展現獨特、便利、人性化及智慧科技等多項功能，本應用程式操作詳圖 11 所示。



圖 11 應用程式操作系統圖

### (二) 使用不同類型地圖

每種類型的地圖都有其各自的優點，故針對不同的需求而使用不同類型的地圖。本應用程式透過 Google Maps 地圖，提供一般、混合、衛星及地形等四種不同類型的地圖與應用程式整合，如圖 12 所示。



圖 12 四種不同類型地圖示意圖

### (三) 變電所地理位置系統應用

由於變電所及輸電線鐵塔分散各地，尤其輸電鐵塔位於山區偏遠地帶，設計人員不易搜尋。爰藉由建立變電所及鐵塔之經緯度座標資料庫，透過本系統初步規劃分成四個架構選項(超高壓變電所、一次變電所、一次配電變電所及二次變電所)，使用下拉式選單功能，呈現各級變電所之 Google Maps 位置，並規劃點選某個變電所時，該程式能夠抓取該變電所相關資訊(包含電力公司各區變電所經緯度、地址、電話、維護單位、連絡市話及微波、裝置容量及檔位配置)，詳圖 13 所示。



呈現超高壓  
變電所清單

圖 13 變電所地理位置系統示意圖

### (四) 輸電線路地理位置系統應用

將電力公司高雄轄區 53 座及台南轄區 115 座之鐵塔建置鐵塔地理座標及相關資訊於 APP 應用程式，包含各座鐵塔經緯度、鐵塔型

式及架線區間基本資料、基礎型式及地權使用權限，可透過頁面點選所須查詢鐵塔位置及相關資訊，詳圖 14 所示。



圖 14 鐵塔地理位置系統查詢示意圖

### (五) 導航功能

此系統還包含衛星導航之功能，讓使用者藉由智慧型行動裝置載具隨時定位前往目的地之路線圖，準確勘查工程地點(變電所或鐵塔、人孔)，大幅提升查詢網際地圖之速度及便利性。

再透過 Eclipse 軟體匯入所建置資料庫於開發應用程式內，並結合導航程式功能，透過智慧型行動裝置載具引導快速到達目的地，詳圖 15 所示。



圖 15 應用程式導航動作示意圖

### (六) 結合設計圖資文件

隨著輸變電設備設計圖資快速累積增加，圖面保存不易且查找困難，實有設計文件平台

，將各輸變電線路圖資彙整於資料庫之需要，爰促使思考如何善用網路科技及雲端技術，將設計圖資平台結合行動應用程式，使於現場可透過智慧型行動載具取得設計圖資，以達到快速、有效率查詢之目的。

該查詢平台經由網際網路連接電力公司網站之設計文件管理平台，由於網外連線至電力公司內，需經由 VPN 應用程式用戶端程式打開連接通道，為了管控查詢人數，使用者必須向該資訊部門申請帳號及密碼。

該圖面查詢平台建置於行動裝置 APP 程式內，快速搜尋已加入系統變電所及輸電線相關圖面，點選查詢圖面即可開啟該圖面，詳圖 16 所示。



圖 16 連結設計文件平台示意圖

### (七) 遠端監控系統平台

由於影像技術不斷地進步，發展出所謂的閉路電視監視系統，於現場工地安裝使用，除了作為區域防護、提高勞工安全及防止工地偷竊之應用，還可以透過現場監控系統傳回即時影像，其流程詳圖 17 所示。該系統已規劃將興建變電所及鐵塔工程項目，及配合管控變電所各項電力設施，規劃電力設備清單(變壓器、氣體絕緣開關設備、所內變壓器、電容器組、控制室等)，讓使用者點選該設施之項目，即可顯示安裝影像，達到即時回報施工進度，

避免工程進度延宕，詳圖 18 所示。

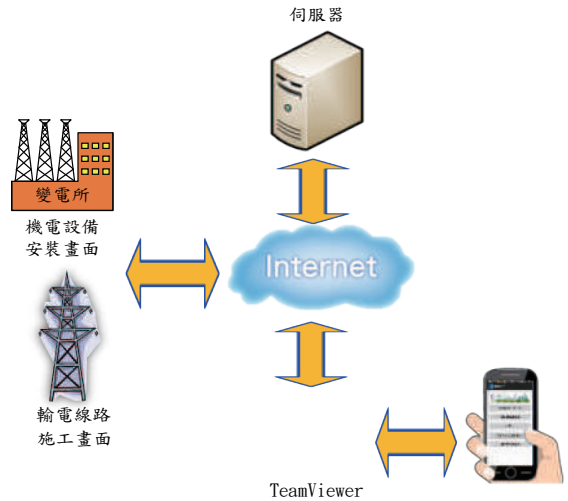


圖 17 遠端監控系統流程示意圖



圖 18 遠端傳回現場即時監控影像圖

## 六、建置資通安全機制

為符合台電公司資通安全之法規，將制定『輸電網路地理圖資監控 APP 系統』操作程序書供設計者或使用者參辦，為避免本公司資訊洩漏，事先依程序書步驟來申請設計者或使用者帳號，經本單位(南區施工處)管理員經審核通過後將申請人資料登錄資料庫才能使用本系統，由於本 APP 系統目前放置於台電南區施工處變電一組網站，使用者向本單位申請後，給予一組帳號及密碼，讓使用者連上本單位網



站，經驗證後才能進入變電一組網站後，點選『輸電網地理圖資監控 APP 系統』及『VPN 虛擬網路 APP 程式』，分別顯示 QR Cord，屆時利用手機掃描 QR Cord，該系統自動安裝於手機內，惟本系統也設置管理員定期更新程式碼外，管控本系統變電所及鐵塔之經緯度資料庫。本系統除了提供輸工單位設計者查詢之功能，也可分享給維護單位使用，惟使用者依照本單位所建置管控機制流程辦理，詳圖 19 所示。



圖 19 本系統資通安全管控流程圖

## 七、應用軟體介紹

### (一) Android 系統說明

智慧型行動載具常用之作業系統 Android

，分為上、下兩層，上層採用 Java 撰寫應用程式，下層採用 C 語言撰寫系統程式；上層的應用層又分為應用架構 (Application Framework) 與應用程式 (Applications)，而下層的系統層則分為系統函式庫 (Libraries) 與 Linux 作業系統，整合形成詳圖 20 所示的四層式架構。程式編寫開發流程，首先利用 Java 編寫程式碼，透過編譯、轉換、壓縮封裝等程序後產生 \*.apk 執行檔，將其執行檔安裝於行動裝置內部，即可提供給使用者操作。

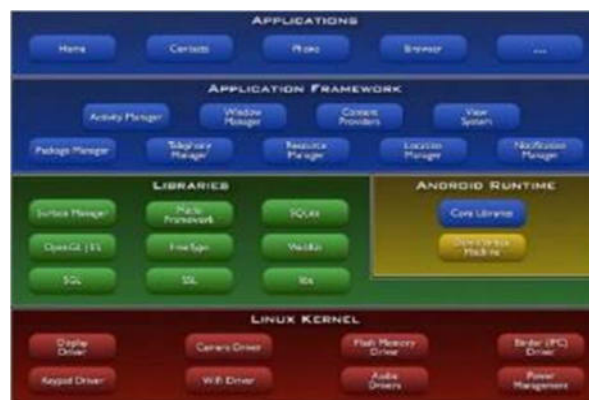


圖 20 Android 系統架構圖

### (二) Eclipse 開發平台

Eclipse 之所以廣受歡迎的主要理由，是由於整合度高，它備有建立、編寫、執行、除錯 Java 程式碼且相關基礎、進階功能，能讓使用者順利進行。另外由於開放原始碼授權發布，即使用於商業用途、各種外掛程式皆為免付費，可從 Eclipse 的官方網站 ([http://www.Eclipse.org/](http://www.eclipse.org/)) 下載相關套件軟體安裝。

### (三) Eclipse 作業視窗

下載安裝完成後，啟動 Eclipse 後就會進入工作平台視窗，Eclipse 工作平台詳圖 21 所示，首先載入基本圖型介面，各功能及工具列說明介紹如下：

1. 功能表
2. 工具列
3. Package Explorer 視圖
4. Editor 視圖
5. 捷徑工具列 (Shortcut Toolbar)
6. Outline 視圖
7. Tasks 視圖和 Console 視圖

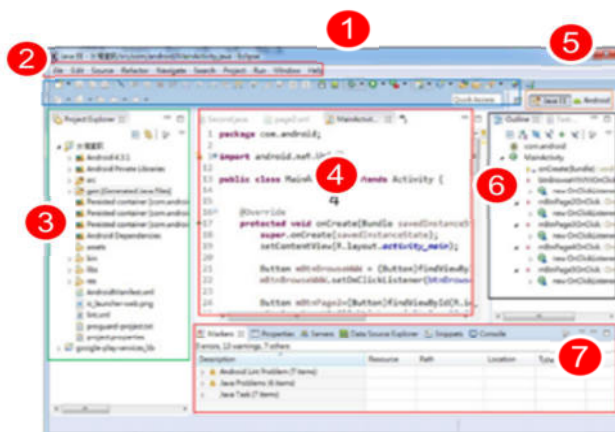


圖 21 Eclipse 工作平台畫面

## 八、結論及未來展望

### (一) 結論

本研究將原本傳統人工搜尋方式，開發輸電網地理圖資監控 APP 程式，藉由行動裝置結合 Google Maps，形成人機介面操作平台，達到自動搜尋各級變電所及輸電線鐵塔相關地理座標、資訊及圖面等功能，大幅縮短搜尋時間，提升設計效率與品質。另外為了改善工程管理面問題，因此建置變電所與輸電線相關電力設備施工狀態之現場監控平台，俾利管控工程施工及設備安裝之進度。

藉由本開發之 APP 應用程式，且應用於其他電力公司，利用資通訊功能運用實際輸電系統設備，讓原本分散的資料整合數據化資訊，並轉換成智慧型行動載具查詢工具，以減輕搜尋輸電設備地理圖資時間，並作為設計者的最佳助手。另外結合設計文件圖資及即時監控功能，不管何處透過手機或平板電腦就可以隨時隨地查詢到變電所、輸電線的地理空間及相關圖資，輕鬆掌握現場電力設施及施工安裝狀態，達到最佳監控作業。

### (二) 未來展望

1. 本系統架構可彈性地擴充規模，未來將持續增加其他變電所及線路鐵塔地理座標，另外，亦可結合其他監控系統，符合未來工作之需求，提高本平台運用效能。
2. 利用智慧型行動載具結合四軸飛行器，可加入航道規劃自動導航功能，於設定地點後即可自動導航執行空拍功能，於空拍影像部分，可加入遠端無線傳輸功能，自動將影像回傳至後端，以供使用者觀看之需。
3. 推廣使用，提供設計者撰寫及操作 APP 應用程式，視個人所負責的工程需求，建置各項輸變電設備座標。

## 九、參考文獻

- [1] S. Holzner 著，陳建勳譯，「Eclipse 整合開發工具」，美商歐萊禮股份有限公司台灣分公司，2004 年 4 月。
- [2] 孫宏明，「Android 程式設計入門、應用到精通—3rd edition」，碁峯資訊股份有限公司，2014 年。
- [3] H. Zhang, M. Li, Z. Chen, Z. Bao, Q. Huang, and D. Cai, "Land use information release system based on Google Maps API and XML" p1-4, 2010.
- [4] Y. Cao, Z. Zhao, X. Huaiyu, Y. ZhenXing, J. Peng, and D. Wei, "An instant messaging system based on Google Map", 2010 2nd International Conference on Advanced Computer Control, p21-24, 2010.
- [5] R. Amal W.、黃詩涵譯，「Google 地圖與 Android 應用程式開發」，博碩文化股份有限公司，2016 年 6 月。
- [6] 馬謙、飛思科技產品研發中心監製，Google 地圖核心開發揭密，初版，台北市松崗電腦圖書資料股份有限公司，2011 年 3 月，第 4-4-4-165 頁。
- [7] 謝孟勳，「結合 Google Maps API 與進化演算法於道路平整檢驗之路徑規劃」，國立中興大學土木工程研究所碩士論文，民國 105 年。
- [8] 洪維恩，「Java 2 教學手冊」，博碩文化股份有限公司，2003 年 11 月。
- [9] 胡智翔，「整合 Google Maps 與工作流程之旅遊安全通報系統」，國立臺灣師範大學資訊工程研究所碩士論文，民國 99 年。

# 大量風機併網對保護電驛的影響

台電台北供電區營運處 楊盛鐘

## 壹、前言

台灣目前正全力推展風力發電等再生能源，預計2030年風力機組總裝置容量達4200MW占全台再生能源33%以上，台灣地區屬海島型獨立電力系統，依風場規模大小及台電公司再生能源併聯技術要點規定，併入於161kV、69kV輸電線路及23.9kV配電線路匯入變電所二次側匯流排運轉。大型風力發電機由風葉輪、變速箱、發電機、偏移裝置、控制系統、塔架等組成採水平軸型式，風葉輪的作用是将風能轉換為機械能，由於大型風機的風輪轉動很慢，透過傳動系統經由加速齒輪箱來增速後將動力傳導給發電機發電。根據Betz定律風力發電機能夠提取風的最大功率約59.6%，大多數風機只能提取40%甚至更低，因此所有風力發電機的輸出功率是隨著風力大小而變動。由於採用非同步發電機風電系統在向電網注入有功功率的同時需要從電網吸收大量的無功功率，為了補償風電場的無功功率每部風力發電機都配備有並聯電容器，由於電容器的無功補償量與併入點電壓的平方成正比，當系統電壓偏低時並聯電容器的無功補償量迅速下降，造成風電場對電網的無功需求驟增，導致系統電壓進一步惡化嚴重時會造成系統電壓崩潰。風電場併入電網的聯外線其電力潮流是雙向的，風力發電機組在有風期間都和電網互聯，當風速在風機起動速度附近變化時，為防止風電機組頻繁投切造成設備損毀，特許風電機組短暫電動機運轉這時就會改變聯外線的電力潮流方向，保護電驛應注意這種特殊運轉模式。另外併網運轉的非

同步發力發電機因沒有獨立的勵磁設備，在電網發生短路故障時由於發電機端電壓降低，非同步發電機只能提供短暫的衝擊短路電流。由於目前風機出口電壓大都是690V換算到35kV側或更高電壓等級時，從35kV側的等值電路來看，風力發電機及連接的低壓電纜，相當於一個很大的限流電抗器使得故障時短路電流變得很小，風電併入電網處的保護電驛在整定計算時需要考量此特點，風電場保護電驛如何根據有限的故障電流來辨別故障，並讓保護電驛能夠快速準確的動作及時將故障隔離對保護電驛是一大考驗。

## 貳、目前使用中風力發電機組類型

目前廣泛使用的風力發電機組可分為兩類：定速定頻機組與變速定頻機組，定速定頻機組採用鼠籠式非同步發電機將風輪吸收到的機械能轉換為電能，發電機的定子繞組直接與電網連接，由於非同步發電機的轉速變化範圍僅1%故稱這類風力發電機組為定速定頻機組。變速定頻機組又分為雙饋式機組與直驅式機組兩類，其中雙饋式機組採用雙饋式感應發電機其定子繞組直接與電網連接而轉子繞組透過變頻器與電網連接，當風速變化造成發電機轉速變化時，利用控制轉子電流頻率的方式來保持定子電流頻率不變達到變速定頻，其轉速可在額定轉速的60%~110%之間變化。直驅式機組採用永磁同步發電機其定子繞組經由變頻器併入電網，由於風輪與直驅式同步風力發電機直接連接沒有增速齒輪箱故稱為直驅式機組，以下就鼠籠式非同步風力發電機、雙饋式非同步風



力發電機與直驅式同步風力發電機分別說明如后：

### 一. 鼠籠式非同步風力發電機(SCIG)

本機型屬定速定頻機組由鼠籠式感應發電機 (Squirrel Cage Induction Generator)、緩衝啟動器(soft-starter)及電容器等組成後與電網直接連接，在啟動初期感應發電機轉換成電動機的運轉模式來產生與風速轉矩相同方向的電磁轉矩，在穩態時轉速會大於同步轉速且電磁轉矩為負，相當於鼠籠式感應機在發電機模式運轉。由於鼠籠式感應發電機啟動時需要大量無功功率來建立發電機定子端的感應電壓，因此需要在發電機定子端外接電容器來補償無功功率，當併接電容器所提供無功補償無法滿足風機運轉需求，需再向系統吸取無功功率造成系統電壓閃爍與無功負擔。由於鼠籠式感應發電機其機械結構簡單、效率高、維修成本低、耐用且穩定因此被廣泛使用，其主要缺點為轉子速度會影響有功功率與無功功率的輸出，為了增加有功功率的輸出會消耗更多的無功功率導致功率因數降低，因風速大小隨機變化故本類型風力發電機通常無法在額定風速下運轉，相較於其它風力發電機組本型風機風能使用效率低發電量也比較低，鼠籠式非同步風力發電機架構如下圖 1 所示。

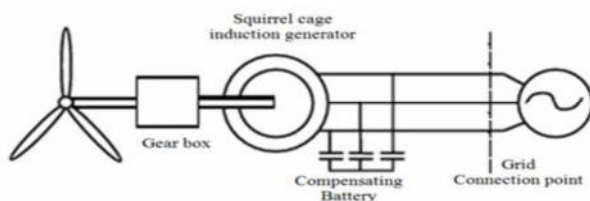


圖1 鼠籠式非同步風力發電機架構<sup>(2)</sup>

### 二. 雙饋式非同步風力發電機(DFIG)

本機型屬變速定頻機組雙饋感應發電機(Doubly Fed Induction Generator)為

繞線轉子感應發電機，目前兆瓦級風力發電機一般採用雙饋式非同步發電機，由於風機能夠變速運轉風能使用效率高連帶發電量也較大，發電機也有較平穩的電功率輸出，此型風機定子直接與電網連接，轉子經由變流器與電網連接與一般的感應發電機不同，除了定子可以提供有功功率外轉子也可以經由變流器向電網提供有功功率故稱為雙饋式風力發電機。定子繞組連接到轉子繞組與背靠背(AC-AC)變流器連接電網直接供電給定子，轉子電壓則來自變頻器(inverter)，變頻器分為轉子側變頻器與電網側變頻器彼此由直流電互相銜接，此設備的功用是利用轉子側變頻器控制發電機有功功率與無功功率，而電網側變頻器用來控制直流電壓並確保在高功率因數時正常運轉，讓定子側持續向電網輸出功率。轉子側功率轉換取決於運轉狀態，當轉差率為負時(超同步轉速運轉)向電網輸送功率，當轉差率為正時(低於同步轉速運轉)從電網吸收功率。雙饋式感應發電機可運轉於次同步模式、同步模式及超同步模式，當風速較低時轉子轉速無法高於定子的旋轉磁場轉速，此時雙饋式感應風機為次同步模式運轉，由定子側向系統輸出電力，同時透過變流器向轉子輸出電力，使發電機可以維持穩定輸出；當轉子轉速等於定子旋轉磁場轉速，此時雙饋式感應風機為同步運轉模式，發電機由定子側輸出全部功率轉子側只負責激磁部分；當風速較高時轉子轉速高於定子的旋轉磁場轉速，此時雙饋式感應風機為超同步運轉模式，由定子側向系統輸出電力，轉子側將所發電力部分作為激磁，其餘電力經由轉子側變流器輸送到系統，轉子側經由變流器向電網提供的有功功率約發電機總容量的 30%，發電機不需仰賴無功補償設備就可以從領先 0.95PF 到落後 0.95PF 範

圍內調整，具有調節無功功率輸出能力，雙饋式非同步風力發電機架構如下圖 2 所示。

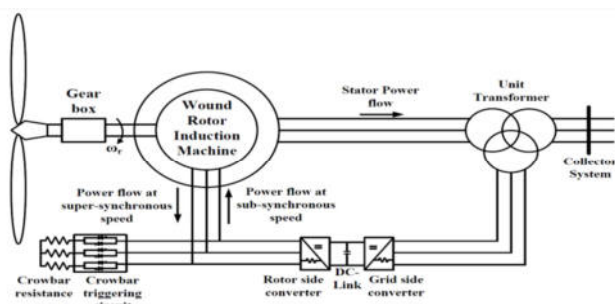


圖2 雙饋式非同步風力發電機架構<sup>(2)</sup>

### 三. 直驅式永磁同步風力發電機(PMSG)

直驅式永磁同步發電機(Permanent Magnet Synchronous Generator)屬變速定頻機組，無齒輪箱直接將葉片與發電機轉子連接，可以大幅提升風電機組的可利用率及可靠性，是目前風力發電業中使用較多的機型，其轉速可以在較大範圍內調整同時可以降低無功功率的損耗，由於直驅式永磁同步發電機可以利用永久磁鐵來激磁不需外加激磁電源，故又稱為永磁同步發電機。直驅式永磁同步發電機轉子直徑大且極數多，可以在風速 $2\text{m/s}\sim 3\text{m/s}$ 的低風速下運轉發電，一般運轉時轉速約 $20\sim 30\text{rpm}$ 與電網端的 $3600\text{rpm}$ 相差甚遠，因此需要利用變頻器經AC-DC-AC變換後，將風電機組輸出的電壓與頻率提升到與系統相同的電壓與頻率後再併入電網。由於直驅式永磁同步風力發電機為凸極式並以低速旋轉可以省略齒輪箱，因齒輪箱是風力發電系統中最脆弱的部位，省掉齒輪箱是本機型的優點，因本機型需要電力電子變頻器故其造價比其它類型的風力機組昂貴，由於電力電子變頻器可以控制，提供或吸收無功功率到電網進而可以調整風電機組的電壓，相較於其他機型本機型需要注意諧波問題，直驅式永磁同步風力發電機架構如下圖3所示。

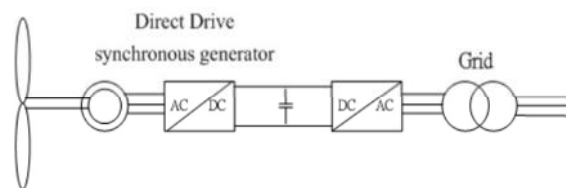


圖3 直驅式永磁同步風力發電機架構<sup>(2)</sup>

### 參、風力發電機組的故障特徵

風力發電系統因結構的特殊性故障時的特徵與控制方式息息相關，導致故障時會出現與傳統電網不同態樣的故障特徵，目前風電機組在系統發生故障後必須具備低電壓持續運轉能力，所以低電壓穿越成為風機控制系統的首要目標，雖然不同的風電機組有不同的控制系統及控制方式，主要都是經由調控系統的整流器來達到控制目標，因此各類型風機在故障時具有相似的故障特徵。雙饋式風電機組和直驅式風電機組的差異在發出的電不僅經由整流器併入電網更透過異步電機輸送電力，不論是雙饋式風機或是直驅式風機在故障期間為了保護整流器設備，提供短路電流的能力有限而出現弱饋特徵如圖4(a)所示；因為風機發電後需要經過整流器才能匯入電網因此整流器開關動作頻繁，導致電網電壓中含有大量的高次諧波如圖4(b)所示；雙饋式風機因非同步電機的構造在某些故障類型時會有電流頻率偏移現象如圖4(c)所示；由於低電壓穿越的故障暫態控制使得風電機組等效系統阻抗隨著控制方式而改變，造成正序系統阻抗 $Z1$ 與負序系統阻抗 $Z2$ 差距很大如圖4(d)所示。風電場的變壓器一般採用D/yn接線，高壓側即系統側採用三角型接線低壓側即風電場側採用Y接直接接地或經消弧線圈接地，當系統側發生不對稱故障時零序網絡只有風電場變壓器高壓側等值零序阻抗，系統序網結構有風電場側正序與負序阻抗遠大於零



序阻抗的特徵。另外以某風電場發生A相接地故障時故障電流與故障電壓波形如圖5所示來看，故障電壓波形變化類似於目前系統接地故障情況A相電壓驟降且出現零序電壓 $V_0$ ，至於故障電流波形變化與目前系統接地故障出現零序電流 $I_0$ 類似外，其它三相電流包括健全的B、C兩相電流都有變大情形這與目前系統故障情況差別很大。

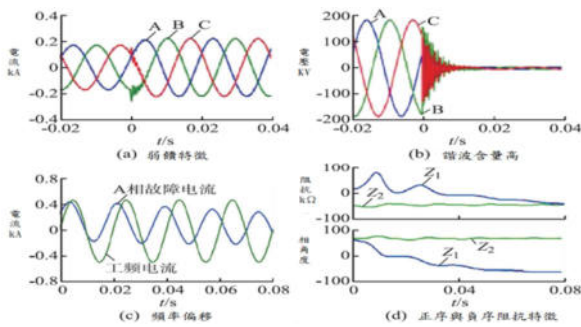


圖4 風力發電機組故障特徵<sup>(4)</sup>

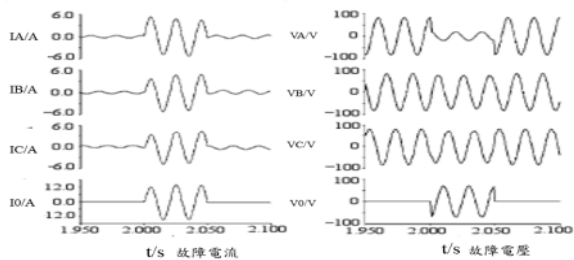


圖5 風電場A相接地故障電流電壓波形圖<sup>(6)</sup>

目前主流的風力發電機可分為定速定頻與變速定頻兩類，其中定速定頻代表機型是鼠籠式感應風力發電機，而變速定頻代表機型是雙饋式感應風力發電機和直驅式永磁風力發電機，以下就此三種風機在風機容量1.5MW風機端電壓為690V經過變壓器升壓到35kV後，經10km的35kV集電線路後送入風電場升壓站升壓到110kV後，經由110kV的風電場聯外線併入電網其系統結構如圖6所示，在風電機組輸出功率均達到額定值且風速均為12m/s時，4秒時在集電線路A點發生單相與三相短路故障，故障持續0.1秒其故障電流特徵分別說明如下：

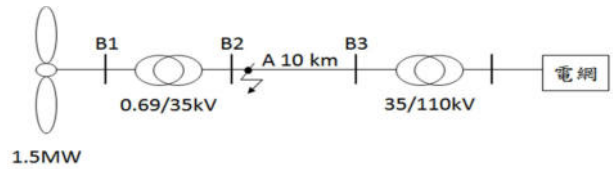


圖6 風電場系統結構圖

### 一、鼠籠式非同步風電機組故障特徵

鼠籠式非同步風力發電機組在正常運轉時，機組的轉速只能維持在同步轉速附近屬定速定頻發電系統，鼠籠式非同步風力發電機定子可以直接併入電網，發出有功功率過程中會向電網吸收無功功率來勵磁，鼠籠式非同步發電機組因無專屬的勵磁系統，所以當電網出現短路故障後系統不再提供勵磁電源給風電機組，短路電流立刻衰減最後降至零無法持續提供短路電流給電網。故障時鼠籠式非同步發電機向電網注入可觀的故障電流，隨著故障時間的持續該故障電流逐漸衰減，衰減時間與故障類型有關，對稱的三相短路故障衰減速度最快，不對稱故障時非故障相的短路電流緩慢增加到穩定值，而故障相的短路電流驟升後逐漸衰減。由於不對稱故障時轉子電磁功率變小電磁轉距隨著變小，因機械變化比電磁變化慢造成轉子產生不平衡功率而導致轉子加速轉差率 $S$ 增加，使得發電機的正序與負序阻抗發生變化，隨著轉差率變大正序阻抗迅速降低，當 $S$ 增加到一定值後正序阻抗保持不變，至於負序阻抗在故障期間雖然轉差率增加但負序阻抗維持不變，而零序阻抗因鼠籠式非同步風力發電機三相繞組接成 $\Delta$ 接或不接地 $Y$ 接，因此接地故障時在定子繞組沒有流過零序電流故零序阻抗視為無限大。

#### (一)對稱故障

當鼠籠式風力發電機出口在 $t=2$ 秒時發生三相短路故障風機端三相電壓驟降，由於鼠籠式發電機沒有獨立的勵磁繞組，

在故障瞬間定子繞組會產生很大的短路電流然後迅速衰減，如果故障一直未清除短路電流將逐漸衰減為零，短路電流衰減的速度比同步發電機組快。三相短路故障後定子電流由衰減的直流分量與交流分量組成，直流分量的衰減速度取決於定子側視在阻抗，交流分量的衰減速度取決於轉子側視在阻抗，在故障發生後1~2週波內鼠籠式風機短路電流迅速遽增然後衰減，這種特徵可能對瞬時過電流電驛或快速動作電驛的正確動作造成影響，鼠籠式風力發電機的三相短路故障電流波形如下圖7所示。(1.25MW/690V)

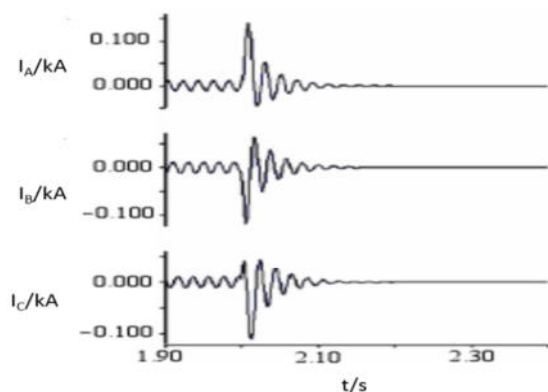


圖7 鼠籠式非同步風電機組三相短路故障電流波形<sup>(6)</sup>

## (二)不對稱故障

當鼠籠式風力發電機出口在 $t=2$ 秒時發生A相接地的不稱故障，風機會維持一定的短路電壓和短路電流與三相短路故障時短路電流逐步衰減為零不同，故障相在事故瞬間會提供較大的短路電流然後衰減，非故障相電流會逐漸變大，故障相與非故障相都有定量的短路電流，故障發生後由於故障相短路電流瞬間變大，可能造成瞬時過電流保護不正確動作，非故障相電流會因故障後正序阻抗變小而導致在故障後電流逐漸變大最後趨於穩定，該穩定電流仍然比正常額定電流大，造成故障相與兩健全相都會提供短路電流，甚至非故障相

所提供的短路電流可能大於故障相的短路電流，這可能導致健全相的過電流保護電驛不正確動作，鼠籠式風力發電機的A相短路故障電流波形如下圖8所示

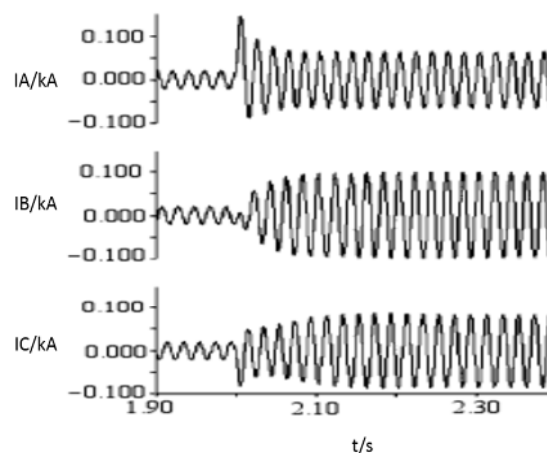


圖8 鼠籠式非同步風電機組A相短路故障電流波形<sup>(6)</sup>

## 二. 雙饋式非同步風力發電機組故障特徵

雙饋式風力發電機組實際上是繞線式的感應發電機，其定子直接與電網連接，轉子側是三相對稱的繞組利用變流器與電網連接給轉子側提供交流勵磁電源，雙饋式風力發電機組因轉子側變流器的作用，故障切除後能夠持續向系統提供短路電流。雙饋式風力發電機組在發生短路故障時轉子會出現過流現象，目前在轉子側加裝Crowbar保護來達到低電壓穿越要求，當轉子檢測到電流過大立即投入Crowbar電路，將轉子繞組短路避免轉子過電流，當風電場發生短路故障後雙饋式風力發電機組所提供的短路電流有異步電機和同步電機的雙重特徵與傳統同步發電機組所提供的短路電流特徵不同，由雙饋式風力發電機組所組成的風電場其故障特徵受Crowbar電路及故障時機端殘留電壓影響，故障電流在2~3週波內會快速衰減到趨近於零。

## (一)對稱故障

當雙饋式風力發電機組出口發生三相短路故障5ms後投入Crowbar電路，風力發電機端的故障電流由穩態交流分量、衰減直流分量與衰減交流分量組成，當風機端電壓驟降幅度較大時，故障初期的短路電流主要是衰減交流分量而頻率由當時轉速決定，風機端電流頻率約為 $0.8 \times 60 = 48\text{Hz}$ ，故障後投入Crowbar電路的雙饋式風電機組故障特徵與鼠籠式感應風電機組故障特徵相似，即在故障瞬間短路電流很大在故障後數週波內迅速衰減降低，最後會提供一個持續的短路電流其值小於穩定運轉時的額定電流，這種特性對瞬時過電流保護造成影響，對反時性延時過電流保護影響不大。

### (二)不對稱故障

當雙饋式風力發電機組出口發生單相接地不對稱故障 5ms 後投入 Crowbar 電路，其故障相短路電流在故障瞬間變大然後逐漸衰減並維持在一穩定值，非故障相也會維持一穩定短路電流其數值可能會比故障相電流還大，由於故障瞬間風機也會提供助增的短路電流造成瞬時過電流電驛可能無法正確動作，對於非故障相電流變化與鼠籠式風機類似都會提供一穩定的短路電流，該數值比正常額定電流還大，可能對定時性的瞬時過電流電驛造成影響，雙饋式非同步風力發電機組三相及單相故障電流波形如下圖 9 所示。

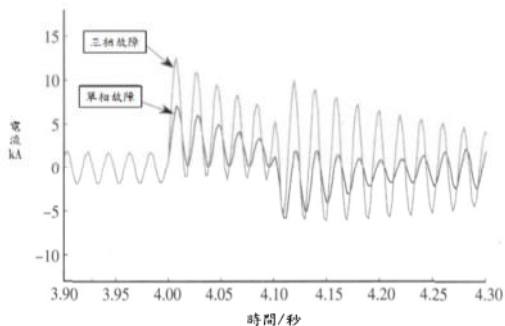


圖9 雙饋式非同步風電機組三相及單相故障電流波形<sup>(6)</sup>

### 三. 直驅式永磁同步風電機組故障特徵

直驅式永磁同步風力發電機的轉子為永久磁體無需外部提供勵磁電源，屬變速定頻發電系統經由功率變流器併入電網，當風機檢測到外部故障後進入低電壓穿越狀態，受到直驅式永磁風機控制器的限流作用影響，出口故障時風機提供的短路電流變大但幅度不大，一般不會超過額定電流的1.5倍對電網的過電流電驛影響不大，就直驅式永磁風電機組所提供的短路電流衰減特性而言基本上不會提供短路電流，因故障時的短路電流與故障前的電流大小幾乎相同，直驅式永磁風電機組雖然是同步發電機但是經過變流器併入電網，使得故障特徵與變流器的控制特性息息相關，又因低電壓穿越等特殊要求增加許多電子控制電路，使得故障期間電磁暫態過程變得非常複雜，直驅式永磁同步風電機組三相及單相故障電流波形如下圖10所示。

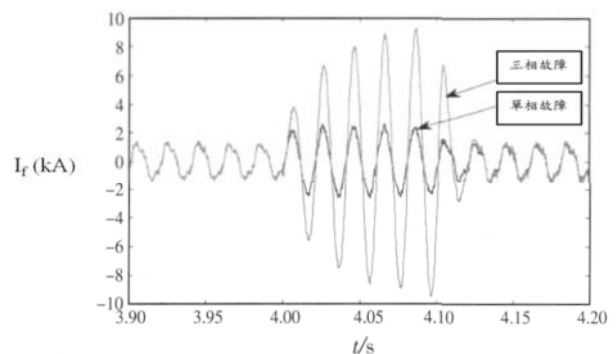


圖10 直驅式永磁同步風電機組三相及單相故障電流波形<sup>(6)</sup>

由圖9、10中可以發現：當發生單相接地故障時直驅式永磁同步風電機組和雙饋式風電機組都會持續的提供短路電流，但直驅式永磁同步風電機組的短路電流幾乎保持固定短路電流是額定電流的1.3~1.4倍，雙饋式風電機組的短路電流呈現衰減現象，最大短路電流是額定電流的3.7倍。當發生三相短路故障時直驅式永磁同步風電機的暫態最大短路電流達到額定電



流的4倍，故障期間可以提供穩定的短路電流，雙饋式風電機組的暫態最大短路電流達到額定電流的7倍，但是故障電流呈現衰減特性在故障結束時電流出現較大的變動。在單相與三相短路時直驅式永磁風電機組都會持續提供穩定的短路電流，雙饋式風電機組則會持續提供衰減的短路電流，因為直驅式永磁風電機組利用永久磁鐵勵磁，在故障發生後能夠持續向發電機提供勵磁電流，所以故障期間短路電流是持續的在故障隔離後電流恢復正常。雙饋式風電機組在故障開始時電流瞬間達到最大，隨著發電機的端電壓降低發電機失去勵磁，轉子過電流保護Crowbar投入將轉子及變流器短路，導致轉子電阻增加風機出口的短路電流急遽變小呈現衰減特性。故障時直驅式永磁風電機組能夠持續提供穩定的短路電流並向電網提供無功功率，直驅式永磁風電機組比雙饋式風電機組有更好的低電壓穿越能力，雙饋式風電機組在故障時能夠持續提供短路電流其電流呈現衰減特性。不同風電機組提供的短路電流大小不同對保護電的影響也不同，在保護電驛運用或標置計算時應考慮各機組短路電流特性的差異。

#### 四、風電機組提供短路電流特性總結

(一) 短路故障發生後非同步風電機組能夠提供很大的瞬間短路電流，但也很快衰減無法持續提供短路電流，且風電機組所提供的短路電流較同步發電機小。

(二) 在三種風機中鼠籠式風電機組提供的短路電流較大在事故後50ms可以衰減50%，雙饋式風電機組在故障瞬間所提供的短路電流較鼠籠式風電機組大，但衰減速度非常快，在事故後50ms可衰減到剩3%，直驅式永磁風電機組的短路電流最小，且衰減速度最快在事故後50ms可衰減到零基本上可視為不提供短路電流。

(三) 風速變化對風電場提供短路電流的能力有影響，微風和振風能夠影響風力發電機有功功率輸出也會增大短路電流，風速越快提供的短路電流越大。

(四) 風電場升壓變壓器大都採用Yn/ $\Delta$ 接線，因為要接地使得電網的零序阻抗產生變化，風電場併入電網後會影響零序電流保護的靈敏性，當風電場處於零發電狀態時零序電流保護的靈敏性不受影響，當風電場處於滿載發電時零序電流保護的靈敏性會明顯下降。

#### 肆、對保護電驛的影響

對單台風電機組而言故障時短路電流不大對系統或保護電驛幾乎沒有影響，但當風電場規模達到一定水準後其所提供的短路電流就會對系統造成衝擊對保護電驛造成一定的影響，不同類型風電機組因機組構造與機組控制方式不同，導致故障電流對保護電驛的影響也不相同。鼠籠式與投入Crowbar後雙饋式風電機組在發生出口故障時風機端提供的短路電流波形相似，可能對瞬時過電流電驛及延時過電流電驛造成影響，直驅式永磁風電機組由於機組的限流作用，短路電流匯入電網後不會對保護電驛造成影響。當風電併入電網的位置在故障點上游，風電容量的增加可能導致故障相鄰線路的瞬時過電流保護越區跳脫，當風電併入電網位置在故障點下游，可能導致故障線路的過電流保護拒動。為了防止電網電流保護電驛的不正確動作，限制風電併入點最大短路容量比在10%以下是必要的措施。總之風電系統由於控制方式的影響造成弱故障特性，系統阻抗不穩定且正序與負序阻抗不相等及諧波和頻率偏移等故障特徵，與傳統同步發電機的故障特徵完全不同，這將使得某些保護電驛的性能受到影響而造成保護電驛



的誤動作或拒絕動作讓事故擴大。由於風電場沒有持續向故障點提供短路電流的能力，如果未針對此弱饋特性安裝適當的保護電驛將會造成保護上的盲點。鼠籠式感應風電機組的三相短路電流，會因機組本身沒有獨立的勵磁設備在故障期間電壓降幅較大時，故障電流會突然變大隨後迅速衰減為零，應用在鼠籠式風電機組的快速保護電驛如瞬時過電流電驛，若有注意故障後0.3秒的電流量與波形變化特徵原則上不受影響，至於延時保護電驛如反時性過電流電驛在故障0.5秒後故障電流已經衰減為零，已經無法確保電驛動作的正確性。至於雙饋式風電機組影響快速動作電驛的主要原因是故障發生後數ms內Crowbar電路投入瞬間會造成故障電流驟變，對延時性保護電驛的影響主要是Crowbar電路投入後雙饋式發電特性轉變成鼠籠式發電特性。有關直驅式永磁風電機組故障後進入低電壓穿越約需5~40ms，如果控制低電壓穿越的時間較短會影響到快速動作的保護電驛，而延時性保護電驛會受到低電壓穿越控制方式的影響，以下就風電系統大量併網後過電流電驛、復閉電驛、測距電驛、差動電驛之影響分別說明如下：

### 一、對過電流電驛的影響

台灣的配電網是輻射狀的單電源結構，饋線的保護比較簡單一般採用反時性過電流保護，架空饋線故障大都屬暫時性，故採用三相復閉兩次方式來增進供電可靠性。風電併入配電網後原供電結構發生變化，在短路故障時系統電源和風電電源可能同時向故障點提供短路電流，造成故障點的短路電流有助增或外吸作用，導致流過保護電驛的短路電流可能增加或減少，造成過電流電驛無法正確動作。目前配電網常用的電流保護一般採用三段式電

流保護，由瞬時過電流保護、定時性過電流保護和反時性延時過電流保護組成，其中瞬時過電流保護動作值須高於下一段線路出口短路電流無法保護線路全長，反時性延時過電流保護雖然可以保護本段線路全長但故障隔離時間較長。當風電併入位置在故障點上游，風電短路電流助增作用可能導致故障線路相鄰正常線路的瞬時過電流保護越區跳脫，併入位置在故障點下游時，風電短路電流外吸作用導致故障線路定時性過電流保護拒動，其誤動或拒動範圍與可靠係數、線路長度、風機併入容量有密切關係。風電併入容量越大風電電源的助增或外吸作用越明顯，當風電併入達到一定容量後保護電驛將會發生誤動作或拒動。風電併入電網的末端會改變配電網電力潮流單向流動的特徵，使電力潮流的流向與分配改變，這些改變超出既有配電網的原先規劃。配電網都是單一流向的輻射狀網絡，保護電驛也是依單一輻射狀架構規劃及設定，當風機併網後單一潮流變成雙端或多端潮流，配電網中的電力潮流分布與流向及故障時短路電流的大小和流向都發生變化，帶給保護電驛的標置計算增加很多困擾，以下利用圖11就風力發電機組併入電網位置對保護電驛的影響分別說明。

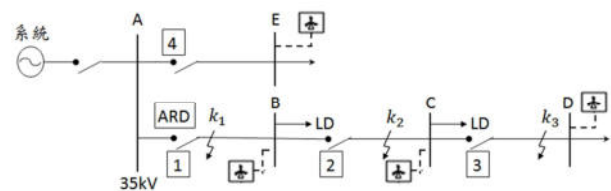


圖11 風電場系統圖

#### (一)風電場併入D匯流排

匯流排D未併入風機前在K1發生故障電驛3無短路電流流過，當風電場併入D匯流排同樣在K1故障，電驛3有反向電流流過，隨著風機容量的增加流過電驛3的

反向短路電流也變大，當流過電驛 3 的短路電流大於既有的設定值將會造成電驛 3 誤動作，由於越靠近線路末端電驛設定值越靈敏，相對的風電場提供的反向短路電流反而越大，保護電驛誤動作的機率也越高，越靠近風電場的線路發生故障受風電場的影響越大，饋線下游的保護電驛更容易受到影響而誤動作。

## (二)風電場併入E匯流排

匯流排 E 未併入風機前在 K1 發生故障電驛 4 無短路電流流過，當風電場併入 E 匯流排同樣在 K1 故障，電驛 4 會流過風電場提供的反向短路電流，隨著風機容量增加流過電驛 4 的反向短路電流變大，若流過短路電流大於電驛 4 的瞬時保護設定值，很容易造成電驛 4 的誤動作，對線路 AB 而言由於風電場的併入，使得電驛 1 流過的故障電流變大，當線路 AB 末端發生故障時電驛 2 的瞬時電流保護可能誤動作使停電範圍擴大。

## (三)風電場併入C匯流排

匯流排 C 未併入風機前電驛 3 的瞬時過電流保護動作值必須高於下一段線路出口三相短路時的最大短路電流，隨著風電場容量增加故障電流變大，可能造成電驛 3 的保護範圍擴大到下一段線路導致下一段正常線路停電。相同容量風電場分別接在匯流排 B 與匯流排 C 電驛 3 流過的短路電流不同，風電場併入匯流排 C 產生的短路電流明顯大於併入匯流排 B，證明離風電場越近流過保護電驛的短路電流越大受影響也越大，風電機組併入同一匯流排當風電機組容量越大，提供的短路電流越大保護電驛越容易發生誤動作。

## (四)改善對策

### 1. 增加方向性元件

風電場相鄰線路發生故障，風電場向上游電驛提供反向短路電流可能引起保護電驛誤動作越靠近風電場影響越大，為防止誤動作可以加裝方向性元件。風電併入配電網末端故障時上游的所有電驛都會流過反向的短路電流，當風電場容量增加流過的短路電流變大容易使電驛誤動作，只要滿足  $I_{DG} < I_{K.min}$  則不需裝設方向性元件， $I_{DG}$  為風電場提供的反向短路電流  $I_{K.min}$  為靠近系統側線路三相短路時的短路電流，根據風電場併入位置與容量大小，有選擇性的加裝方向性元件電驛將給保護電驛設定工作帶來很大的方便，也不會對既有的瞬時過電流保護電驛造成影響。

### 2. 調整電驛設定值

當配電線下游發生故障時，風電場上游電驛因風機併入導致整體阻抗變大使得流過的短路電流變小，可能造成上游電驛在當下游後備保護的功能時會拒動，風電場併網對下游的電驛會產生短路電流助增作用使得短路電流變大，影響下游電驛的靈敏性及保護範圍會擴大，可能延伸到下一段線路使保護失去選擇性，必需對既有的瞬時過電流設定值修正。非同步風力發電機提供的短路電流隨著時間衰減，可能在故障發生後 0.5 秒內衰減為零，一般過流電驛在故障發生後 0.5 秒才會動作，因此過流保護的設定值不需調整，雙饋式風力發電機故障電流瞬間變大然後迅速衰減，若故障一直未隔離則雙饋式風機可以提供定量的持續短路電流；直驅式風力發電機的短路電流瞬間變大很快穩定在一固定值，直驅式或雙饋式機組的風電場併入饋線末端在饋線故障時，若風電場容量夠大提供的反向短路電流會造成上游線路的瞬時過電流保護誤動作。

### 3. 限制風機的短路電流

當風電併入容量與併入點短路容量比大於 11.72% 時，風電併入可能導致配電線路過電流保護異常動作，為了防止配電網過電流保護的不正確動作，必須限制風電併入點最大短路容量比在 10% 以下。

風電併入配電網成為多電源系統除了改變上游電力潮流流向，系統保護電驛需裝設方向性元件，還會對下游保護電驛產生電流助增的影響，保護範圍可能擴大致使保護失去選擇性，隨著電網注入功率的增加，風電場附近局部電網的電壓會超出安全範圍嚴重時可能導致電壓崩潰。風電併入電網改變配電網電力潮流單向流動的特徵，使電力潮流的流向與分配改變，這些改變超出既設配電網的預期，將增加運轉與維護上的困擾，如何達到不影響既有保護電驛並保持保護電驛原有的協調性都是必須面對的新課題。

#### 二、對測距電驛的影響

由於風電場的弱饋特徵附加阻抗大幅削減風電場側距離保護忍受過渡電阻能力，增加測距電驛動作的不確定性，測量阻抗可能在距離電驛動作圓邊界附近反復動作，影響測距電驛的動作判斷或是延長動作時間。風電場弱饋特性放大過渡電阻附加阻抗值，保護電驛在標置計算時應考慮阻抗特性忍受過渡電阻能力，兩相接地故障時測量阻抗受短路電流故障特性的影響較小而受弱饋性的影響較大。保護電驛規劃時要考慮保護範圍外非金屬性故障時電驛越區動作的可能性，金屬性三相短路故障因弱饋性的影響測量阻抗的波動時間可能拉長，非金屬性三相短路故障因弱饋性的影響即使接地阻抗很小，測量阻抗將嚴重偏向風電場側甚至可能落到保護背後，導致無法根據測量阻抗值進行故障定位，同時接地測距電驛將受到暫態超越和穩態超越

大量風機併網對保護電驛的影響

的影響可能使保護失去選擇性和可靠性。風電場的電流頻率取決於風機轉速可能不是額定頻率，電壓取自電網為額定頻率，因此風電場聯外線電驛的電壓與電流頻率不同，以傅立葉相量算法的距離元件受到嚴重的影響測距電驛無法正確動作。測距電驛分為測距式和補償式，測距式距離保護利用計算故障點到保護安裝處的距離來判斷區內或區外故障，又分為相量距離元件與時域距離元件，補償式距離保護利用比較電氣量的大小或相位關係來組成保護，有基頻變化量距離元件與比相式距離元件分別說明如下：

#### (一) 相量距離元件

相量距離元件是在故障時經由故障電壓與故障電流求得保護安裝處到故障點的阻抗大小，進而判定故障距離其測距基本公式為： $Z_f = V_f / I_f$  經由判斷  $Z_f$  值落在  $Z_{set}$  的內、外位置就可以判斷區內或區外故障，傳統 E/M 型相量距離元件與保護安裝處背後電源的故障特徵無關因此不受風電併入的影響。目前數位式測距電驛一般利用傅立葉算法，由於傅立葉算法只能濾除基頻（額定頻率）整數倍的諧波，當信號頻率在基頻附近偏移時，傅立葉算法無法準確取得基頻相量大小與相位，因風電提供短路電流中含有大量諧波成份會發生偏移，此時電流的相量取得受限於傅立葉算法而有較大偏差，當保護安裝處偵測到的電壓與電流頻率不同時，利用傅立葉相量計算的距離元件將產生很大誤差，影響相量距離保護的性能甚至造成誤動作。

#### (二) 時域距離元件

時域距離元件是利用線路 RL 時域模型的解微分算法，與故障時電壓與電流頻率無關只與被保護線路的特性相關，故不受風電電源頻率不穩定與高諧波的影響，時

域距離元件仍具有良好的保護性能，可以克服傅立葉濾波相量距離保護算法的盲點，因此測量結果穩定電驛能夠正確動作，風機短路電流的頻率在35~65Hz之間變化剛好在解微分算法的適用頻寬內，因此解微分算法在風電暫態電壓與暫態電流下仍然可以正確計算，相較於傅立葉濾波相量算法，時域距離元件的測距電驛更適合於風電場聯外線的距離保護。

### (三)基頻變化量距離元件

利用比較補償電壓 $\Delta V_{op}$ 和故障前正常電壓 $V_n$ 的大小可以判斷區內或區外故障，由於故障前故障點的電壓與線路額定電壓 $V_n$ 相同，因風電系統的等值阻抗遠大於線路阻抗與傳統系統阻抗，即風電系統的等值阻抗為風電系統正序與負序阻抗並聯後的兩倍，基頻變化量距離元件的保護範圍會隨著風機阻抗 $Z_W$ 的變化而變化，當 $Z_W$ 很大時保護範圍會縮小，造成保護區間內部故障時基頻變化量距離元件會拒動，風電系統的弱饋特性使其背側系統阻抗值遠大於傳統系統，因此風電併入系統基頻變化量距離保護的實際保護範圍會縮小，即使是近距離故障因基頻變化量距離元件的動作特性受影響可能造成保護電驛拒絕動作。

### (四)比相式距離元件

比相式距離元件採用補償電壓 $V_{op}$ 與保護安裝處電壓 $V_w$ 的相位比較來判斷區內或區外故障，其動作判據為： $90^\circ \leq \text{Arg}V_{op}/V_w \leq 270^\circ$ 與基頻變化量距離元件相同，比相式距離元件不受背後系統的影響即不受風電併入的影響，風電系統的頻率偏移和高諧波的特性會影響比相式距離元件的動作特性，風電系統的弱饋性和系統阻抗不穩定性及高諧波和頻率偏移特性，使得基頻變化量距離保護不適合風電系

統。

### (五)雙饋式風機與直驅式風機對測距電驛的影響

雙饋式風機聯外線發生故障時，雙饋風電機組Crowbar電路投入造成聯外線風電側電氣量信號頻率發生偏移，使得頻率變化量距離元件與比相式距離元件的相量測量發生誤差可能造成保護拒動。風電系統的弱饋性造成系統阻抗較大，使得基頻變化量距離元件保護範圍大幅縮短，線路故障時基頻變化量距離元件可能拒動。直驅式風電機組沒有頻率偏移現象，故基頻變化量距離元件和比相式距離元件及時域距離元件，在風電場聯外線內部故障時都可以正確動作，風電系統內的距離保護應採用時域距離元件的測距電驛。

### (六)風電場T接併網對測距電驛的影響

隨著系統中風電比例的增加風電對保護的影響越來越顯著，部分地區的風電場受附近電網架構及變電站數量等因素影響採用T接方式併網，風電併網影響系統距離保護測量阻抗及電驛動作特性，當故障在風電場T接點前方會嚴重影響電驛的測量阻抗造成測距電驛拒動或誤動作，故障在風電場T接點後方距離T接點越遠測距電驛受到的影響越大，可能造成本段測距電驛拒動，風電場運轉機組數量的變化也會影響本段測距電驛和下段測距電驛的動作特性，隨著運轉機組數量的增加本段測距電驛可能會拒動而下段測距電驛可能會誤動，過渡電阻的增加可能造成測距電驛拒動。測距電驛標置計算時需考量故障點位置、風電場運轉方式及過渡電阻的影響，針對風電場T接併網對測距電驛造成的衝擊，可以在T接每端配備一套電流差動電驛作為主保護來解決風電場電流助增問題，配備零序過電流電驛來克服過渡電阻的影響，採用自動調整設定值的測距電驛來降低風

電場運轉方式對測量阻抗的影響。

### 三、對差動電驛的影響

目前風電場變壓器使用傳統的電力變壓器保護，其保護方式在高壓與低壓兩側，利用比較同頻率故障前電流與故障後電流的相角關係來區別內部或外部故障。雙饋式風力發電機可 $\pm 30\%$ 變速運轉，正常運轉時定子輸出60Hz交流電，系統故障時具備低電壓穿越能力的雙饋式風力發電機轉子Crowbar電路在3~5ms內投入，定子輸出電流的頻率為故障前轉速頻率約為 $60 \times (1 \pm 30\%)$  Hz，導致變壓器高低壓兩側電流頻率差距很大，既有的差動保護電驛可能無法正確區分內、外部故障，一般雙饋式風電機組採用Crowbar電路來達到故障低電壓穿越，該階段時間短暫波形複雜持續約3~5ms變壓器保護來不及動作。雙饋式風機轉速變化為0.7~1.3PU，在不同的運轉條件下機端輸出故障電流頻率在45~75Hz之間變化，利用60Hz的傅立葉演算法可以準確取得兩側電流相量及穩定的差動電流與抑制電流，數位式電驛通常使用額定頻率的傅立葉演算法，當信號頻率偏移時額定頻率傅立葉演算法因無法準確提得60Hz相量，使得差動保護演算產生很大誤差，當高、低壓兩側頻率偏移時利用相量值的差動保護其動作電流與制動電流的頻率大幅波動與傳統穩定的電流差動有很大差別，依據此動作特性的差動保護無法穩定準確的動作。在兩側頻率偏移時利用額定頻率的傅立葉演算法也無法準確取得差電流中的二次諧波，二次諧波分量被傅立葉演算法放大，導致比率差動保護被抑制元件閉鎖而無法動作。利用採樣值的變壓器差動保護兩側頻率偏移時，採樣值差動保護的動作電流頻率不是額定頻率無法滿足動作條件，利用此動作特性的差動保護電驛無法穩定準確的動作。由於風電短路電流在故障初

期頻率的偏移，使用採樣值的差動保護在某些採樣點無法滿足動作條件故電驛無法快速動作，由於風電電流衰減較快一般約2週波後採樣值差動保護就可以穩定動作。影響風電場變壓器保護的因素有

#### (一)機組類型

交流勵磁雙饋式風電機組可以 $\pm 30\%$ 變速運轉，通常採用Crowbar保護電路來達到低電壓穿越，當Crowbar保護電路投入後，雙饋式風電機組變成一般非同步機，風力機的機端電流為故障前轉速頻率的交流分量，由於定速非同步式風電機組及直驅式永磁風電機組，故障期間電流頻率不會發生偏移，對於可靠性要求較高的變壓器差動保護電驛影響比較小。

#### (二)運轉狀況

對具備低電壓穿越能力的雙饋式風電機組，故障電流頻率主要取決於故障前的轉速，當風速偏離額定風速越多時，風電輸出的電流頻率偏移額定頻率也越多，利用相量值的比率差動元件和二次諧波抑制元件以及利用採樣值的差動保護受影響越明顯，當故障前風機轉速為1PU其輸出電流幾乎為額定頻率類似於傳統差動保護，故變壓器差動電驛可以穩定可靠的動作。

#### (三)故障位置

變壓器內靠近風電場側故障時風電會提供較大的頻率偏移短路電流，對變壓器差動保護的影響較明顯，變壓器內遠離風電場側故障時，因風電提供頻率偏移短路電流較小故對變壓器差動保護的影響較小，至於變壓器外部故障時差動保護電驛可靠的不會誤動作。

#### (四)故障類型

變壓器內三相短路故障風電短路電流較大且頻率偏移明顯，對變壓器差動保護



影響較顯著；變壓器內非對稱故障對變壓器差動保護的影響較三相故障小，當故障有過渡電阻時風電電流頻率偏移較三相故障小，風電電流與系統電流同時減小，差動動作量與抑制量相對應減小，造成差動電驛動作特性可能會變差。

#### (五) 短路容量比

一般風電併入系統短路容量比不得超過10%，當風電併入系統的容量占系統短路容量比越高時，故障時提供短路電流越大，對變壓器差動保護的影響越嚴重。

風電場變壓器主保護採用兩套差動保護，對於變壓器外部相間短路引起的過電流，配置相間後備保護電驛，一般採用過電流保護、欠壓啟動的過電流保護等，自耦變壓器與高、中壓均直接接地的三繞組變壓器，採用比率制動的電流差動保護，在風電場暫態電流作用下靈敏性會降低。採用二次諧波抑制的勵磁湧流閉鎖，在非基頻電流分量作用下會長時間將電流差動保護閉鎖，使得差動保護的動作速度降低，為了確保變壓器差動保護的快速動作，應採用不受非基頻分量影響的其他勵磁湧流判據方式，例如：間斷角鑑別法及時差法等，由於零序電流方向保護不受風電併入的影響，因此可以作為變壓器內部接地故障的後備保護。

#### 四、對線路差電流電驛的影響

風電場聯外線路的電流差動保護需要線路兩端電流信號，其中系統側故障電流為額定頻率，風電場側故障電流頻率隨故障前機組的轉速變化不再保持額定頻率，利用額定頻率的傅立葉演算法無法準確取得風電場側額定頻率的電流，因此差動電流與抑制電流不再是穩定值，由於風電場側短路容量比要求不得超過5%~10%，使得

系統側額定頻率的故障電流遠大於風電場側，因此風機併網對線路電流差動保護的影響大幅降低。

#### 五、對自動復閉電驛的影響

配電網發生的故障80%~90%是暫時性的，使用自動復閉功能將已跳脫的斷路器自動投入對提高系統的供電可靠度有很大的幫助，輻射狀配電網利用自動復閉功能迅速恢復線路暫時性故障，不會對配電系統產生任何衝擊和破壞，當配電網併入風機後在線路發生暫時性故障時，如果線路在跳脫後由風機電源形成電力孤島，維持功率和電壓在額定值附近運轉，風機電源可能在自動復閉時尚未離網將會造成兩項嚴重後果：

##### (一) 故障點電弧重燃

在失去電網電源後故障點可能因風機電源繼續供電而無法滅弧，當進行自動復閉時可能會引起故障電流的驟變，造成故障點電弧重燃導致絕緣擊穿擴大事故。

##### (二) 自動復閉失敗或非同步自動復閉

由於失去電網電源使得孤島運轉的風電場電源無法與配電網保持同步，在配電網電源側因事故跳脫後電源側電源消失，造成故障發生後電力孤島與電網無法保持同步兩者間的相角差在0度~360度之間變動，在此情況下施行自動復閉會引起衝擊電流破壞設備，線路保護電驛可能會誤動作，自動復閉失去迅速恢復饋線暫時性故障的功能，下圖12是兩系統間在第2.0秒時非同步自動復閉所產生衝擊電流波形。



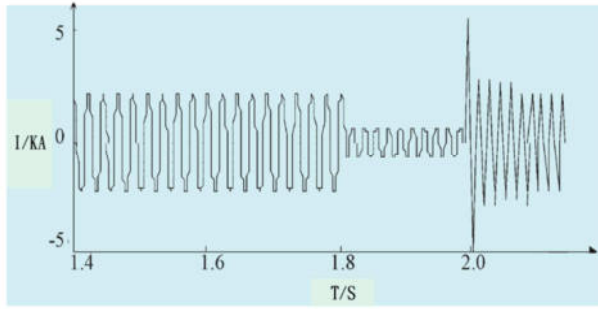


圖 12 兩系統間非同步復閉產生的衝擊電流波形<sup>(6)</sup>

對於雙電源高壓輸電線路自動復閉方式原則上大電源端選用：檢驗線路無電壓而匯流排有電壓的試送端方式；小電源端選用：線路電壓與匯流排電壓同步檢定的並聯端方式。當風電場聯外線發生故障時線路兩端保護電驛動作跳開斷路器後，大電源端復閉電驛檢測到線路無電壓而匯流排有電壓，滿足檢驗線路無電壓的條件後復閉電驛自動投入先前已跳脫的斷路器，若為暫時性故障則線路試送電加壓成功，當小電源側復閉電驛在檢測到線路電壓與本身匯流排電壓後進行同步檢定，在條件滿足後自動投入先前已跳脫的斷路器，先前因線路事故跳脫的聯外線自動恢復送電。當風電場聯外線發生暫時性故障時，系統側自動復閉採用：檢驗線路無電壓而匯流排有電壓的試送端方式通常可以復閉成功，而風電場側自動復閉若採用線路電壓與匯流排電壓同步檢定的並聯端方式通常無法復閉成功。當風電場無低壓穿越能力時風電機組的欠壓保護和轉速保護設定值非常靈敏，低於 $0.9V_e$  ( $V_e$  額定電壓)時欠壓保護動作瞬間跳機，此時風電場側匯流排電壓為零無法進行兩端電壓的同步檢定故復閉無法成功，除非發生高阻抗接地故障風電場的機端電壓降幅未達 $0.9V_e$  以下，否則在故障被隔離前風電機組欠壓保護動作將風機跳機致風電場側匯流排電壓降為零。

對於具備低壓穿越能力的風電場，如果風電場唯一對外聯絡線發生故障，線路雙方斷路器跳脫約 $1.0$  秒後才會啟動自動復閉將雙方已跳脫斷路器自動投入，這段時間內因風電場仍併網運轉將變成孤島運轉。從故障發生到風電場側自動復閉動作前，不論風電場是否具備低電壓穿越能力風電機組欠壓保護都會動作跳機，由於風電場失去背後電源造成無法滿足線路電壓與匯流排電壓同步檢定功能導致自動復閉無法成功。改善措施：將風電場側自動復閉檢驗兩側電壓同步方式，改為檢驗匯流排無電壓線路有電壓方式來增加復閉成功率，當聯外線發生故障兩側斷路器跳脫後，系統側復閉電驛利用檢驗線路無電壓而匯流排有電壓方式先自動投入系統側斷路器對風電場側加壓，風電場側復閉電驛檢測到線路已送電且背後匯流排無電壓，符合匯流排無電壓線路有電壓的條件自動投入風電場側斷路器，聯外線自動恢復供電運轉模式。至於風電場與系統有兩回聯外線路時風電場側自動復閉方式可由檢驗兩端電壓同步方式改為，檢驗兩端電壓同步轉檢驗匯流排無電壓線路有電壓方式來增加復閉成功率，當兩回聯外線其中一回線發生故障兩側斷路器跳脫後，如果另一回線運轉中風電場側背後匯流排有電壓，可以利用檢驗兩端電壓同步方式自動復閉風電場側斷路器，如果另一回線停電維修可以利用檢驗匯流排無電壓線路有電壓方式自動復閉風電場側斷路器，利用檢驗兩端電壓同步轉檢驗匯流排無電壓線路有電壓方式，可以確保兩回聯外線在不同運轉模式下都可以復閉成功。當發生孤島運轉時風電場匯流排仍有背後電壓，風電場側自動復閉利用檢驗匯流排無電壓線路有電壓方式因條件不符自動復閉電驛不會動作，不會對風電場側斷路器造成非同步自動投入的衝

擊。一般檢驗匯流排無電壓的標準為匯流排電壓低於  $0.3V_e$ ，風電場低電壓穿越曲線最低值為  $0.2V_e$ ，可以把自動復閉檢驗匯流排無電壓的標準降為  $0.2V_e$ ，以確保風電場在孤島運轉時不會對風電機組造成非同步復閉的衝擊。單電源供電系統一般採用三相一次復閉方式，由於只有單側電源故不需進行兩端電壓的同步檢定，但是具備低電壓穿越能力的風電機組併入電網後，系統變成雙端供電在自動復閉時就必需檢驗兩端電壓同步才能復閉。由於故障時自動復閉前加速與自動復閉後加速的復閉時間與次序不同受到的影響也不相同，就這兩種復閉方式受到的影響分別說明如下：

#### (一)對復閉前加速跳脫的影響

復閉前加速跳脫是指線路發生故障時不考慮選擇性的原則，由離電源側最近的電驛瞬時動作跳開斷路器，再施行自動復閉若斷路器投入成功證明故障屬暫時性故障，電網經短暫停電後自動恢復供電，若屬永久性故障則斷路器自動投入後又跳開，相關保護電驛依選擇性原則配合上下游時間協調，由離故障點最近的電驛動作隔離事故，一般復閉前加速跳脫由幾段輻射狀線路配合使用，而自動復閉設備只安裝在靠近電源的線路上，確保在暫時性故障時快速隔離故障並馬上對用戶恢復供電。在採用復閉前加速時若併入的風電場具備低電壓穿越能力自動復閉時會造成一些影響，以下圖 13 系統故障時對復閉前加速的影響簡單說明。

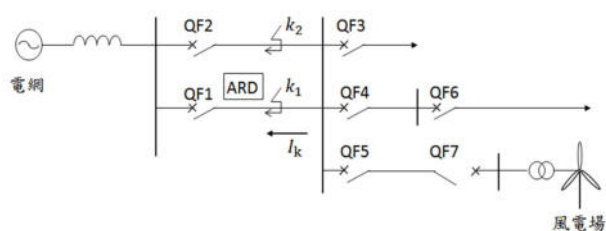


圖 13 復閉前加速的系統圖

圖 13 中 QF1、QF2、QF3、QF4、QF5、QF6、QF7 代表斷路器並配備保護電驛 ARD 為自動復閉裝置，當線路 K1 故障時離電源最近的保護電驛 1 動作並跳脫 QF1，在自動復閉前風電場必須與電網斷開，否則即使是暫時性故障也無法復閉，因為風電場併網運轉中將不斷向故障點流入短路電流導致電弧無法熄滅。另外當 QF2 啟斷線路維修期間，在 QF1 斷路器跳脫後風電場與電網解聯無法同步並聯運轉，如果非同步投入 QF1 會造成很大衝擊電流也會造成風電機組的損傷。相鄰線路 k2 故障時風電場會向故障點提供反向短路電流，若風電場容量大且保護 1 不具備方向性元件可能會導致保護 1 的誤動作，因此必需對保護 1 設定值重新設定，只有在保護 1 不誤動作情況下風電場持續向非故障饋線供電，風電機組才能夠施行低電壓穿越運轉對電網的供電才有幫助。當風電場併入前在 K1 故障保護 1 偵測到系統流過的短路電流迅速跳脫 QF1 然後迅速自動投入 QF1，當風電場併入後在 K1 故障保護 1 偵測到的短路電流變小，降低保護 1 動作的靈敏性還可能導致保護 1 拒絕動作。

#### (二)對復閉後加速跳脫的影響

復閉後加速跳脫是指當線路發生故障時相關保護電驛依選擇性原則配合上下游時間協調，由離故障點最近的電驛動作隔離事故然後進行復閉，永久性故障時斷路器投入後利用電驛內部快速動作元件跳脫斷路器隔離故障。當相鄰線路 K2 故障時依照復閉後加速跳脫原則，斷路器 QF2 的動作時間可能比正常線路 QF1 的時間長，正常線路斷路器 QF1 的電驛可能在風電場提供的反向電流作用下誤動作使正常線路的 QF1 跳脫而停電。在上游 K1 故障時風電場提供的短路電流經過 QF5 電驛，當電流達到 QF5 電驛設定值時會造成誤動作。在電

網故障期間風電機組的低電壓穿越運轉仍可以持續向電網供電，使用復閉後加速跳脫必須確保在相鄰線路K2故障時QF1的電驛不會誤動作跳脫，才能夠達到風電場低電壓穿越運轉的要求。

## 伍、風電場內變壓器及聯外線保護電驛配置檢討

風電場的弱電源特性使得69kV以上聯外線發生接地故障時，利用電流變化特徵的選相元件受到嚴重影響，由雙饋式風機組成的風電場聯外線路故障時，風電場側短路電流的頻率隨著故障前風電機組運轉狀況變化無法保持額定頻率，而風電場側匯流排電壓由系統提供故可以保持額定頻率，風電場側保護電驛取得的電壓與電流頻率無法保持同步，使得依據電壓與電流運算結果而動作的距離元件與方向性元件無法正確動作，利用雙端電壓與電流量的載波方向閉鎖與載波允許越區跳脫保護方式，因受到風電場側距離元件與方向性元件無法正確動作的影響而喪失保護功能，可能造成線路內部故障拒動及外部系統側故障的誤動作，至於相式電流差動保護與零序電流差動保護，在風電場暫態電流作用下可以正確動作但是靈敏性會降低。

### (一)聯外線保護電驛配置方式

11. 22kV饋線因反向短路電流應使用具方向性的過電流電驛，69kV風電場聯外線路的主保護電驛配置一套分相式電流差動保護電驛，161kV風電場聯外線路的主保護電驛配置兩套分相式電流差動保護電驛，電流差動保護在風電場暫態電流作用下仍然可以正確動作但靈敏性會降低，利用相量演算法的三區間相間與接地距離電驛無法適用於大規模風電併網情形。雙饋式風電機組故障暫態電流經過一段時間衰減後風機不再向電網提供額定頻率的短路電流，

對於無延時的測距第一區間電驛會因短路電流中含有大量的諧波分量而導致電驛不正確動作，對於帶延時動作的測距第Ⅱ區間和第Ⅲ區間電驛，由於故障電壓與故障電流中的諧波分量經過一段時間後幾乎衰減為零因此可以正確動作。在實務上應閉鎖第一區間測距電驛或是增加0.15秒的延時避免誤動作。聯外線路的主保護採用分相電流差動保護，後備保護採用三區間測距方式，測距第一區間應採用解微分演算法的時域距離元件數位式電驛達到快速動作要求，或將利用相量故障分量的測距第一區間保護延時0.15秒，測距第Ⅱ、Ⅲ區間電驛作為相間及接地故障的後備保護，零序過電流保護不受風電併入的影響，可以作為高阻抗接地故障的後備保護，利用電流突變量的選相元件正確率低，可以採用利用電壓突變量的選相元件確保弱電源側的選相正確性。

### (二)變壓器保護電驛配置方式

變壓器主保護採用比率制動特性的電流差動保護，在風電場暫態電流作用下雖然可以正確動作但靈敏性降低，採用二次諧波抑制的勵磁湧流閉鎖判斷，在電流內含有大量諧波時會將電流差動保護閉鎖，使得差動保護電驛的動作速度降低，為了確保變壓器差動保護電驛能夠快速動作，對於勵磁湧流的判斷應該採用不受非正常頻率分量影響的方法，例如間斷角鑑別法與時差法等，後備保護電驛可以配置過電流電驛、欠壓啟動過電流電驛，風電併入系統後並未改變零序網路結構，故方向性零序過電流電驛不受風電併入的影響，可以作為接地故障的後備保護。

## 陸、結論

零序方向性元件可以正確動作，利用雙端電流量的分風電場容量較小併入系統短路容量限制在 5%~10%故障電流呈現弱饋特徵，當風電場聯外線發生接地故障風電場側的正負序等值阻抗大於系統側的等值阻抗，風電場側的零序等值阻抗小於正負序阻抗，發生接地故障時風電場側主要為零序電流而正負序電流很小，使得三相電流大小與相位相近。利用序電流大小及相電流差突變量的傳統選相元件動作正確性受到嚴重影響。目前配電網沒有考慮在孤島模式下運轉，由於併網和孤島模式運轉的短路電流相差很大，採用過電流保護無法確保在這兩種情況下過電流電驛的選擇性、速度性、靈敏性和可靠性，如果發生非計畫性的孤島運轉將帶來風險必需避免。風電機組併網後風電的弱饋特性導致利用電流驟增的過電流保護受到影響，風電的諧波特徵和雙饋風機的頻率偏移特徵，使得在計算額定頻率的電流與電壓時精確度受影響導致電驛無法正確動作，由於風電背後系統阻抗不穩定，且正序與負序阻抗不相等，因此風電場聯外線的測距保護電驛會受影響。如果保護電驛動作時間小於 5 週波必須考慮風電場短路電流對保護電驛的影響，保護電驛的配置和設定必須考慮雙電源，必要時還需加裝方向性元件防止反向故障電流造成誤動作，若保護電驛動作時間大於 5 週波因風電場短路電流衰減很快，可以不需考慮風電場短路電流對保護電驛的影響。風電等再生電源的間歇特性對保護電驛所造成的影響有：(一)故障電流大小：分散式風電併入配電網必定會導致當地電網特徵發生局部變化，分散式風電併網後可能導致在已達故障電流極限的配電網超載，使得配電網超過故障

電流極限將造成設備損壞，斷路器遮斷容量不足而炸損等風險，系統中的保護電驛要根據新故障電流重新計算檢討。由於風電系統都配備限流裝置，故障電流只持續很短的時間，在相對較短的時間內要跳脫隔離故障已經超出過電流電驛的能力，因限流裝置使得故障電流變小，利用變化量的保護電驛將無法正確反應故障的實際情況因此不適合使用。對於雙饋式風電機組在 Crowbar 電路投入後，發電機輸出電流的頻率等於轉子頻率不再等於額定頻率，利用額定頻率計算的功率方向性元件將無法正確動作。(二)電力潮流反向：一般配電網設計為幅射狀單向潮流從上游的饋線流到下游的負載，此假設是方向性過電流電驛的標準，當風機併入饋線可能會改變負載電流的流向，當本地生產電力超過本地的負載消耗則過剩電力將使得電力潮流方向改變，如果保護系統在設計時只考慮單端電源沒有考慮到反向電力潮流，則保護電驛在應用上會因無法適應多端電源狀態而有問題。(三)孤島效應：當部分配電系統與電力系統電源隔離但繼續經由風機向與電力系統電源隔離的配電系統供電時就形成孤島，目前配電網沒有設計在孤島模式下運轉，由於併網和孤島運轉的短路電流大小相差很大，採用過電流保護無法確保在這兩種情況下過電流電驛的選擇性、速度性、靈敏度和可靠性，如果發生非計畫性的孤島運轉將帶來風險必需避免。(四)阻抗電驛的距離降低：阻抗電驛的距離是在一定的阻抗區或一定時間內由保護電驛安裝處所測量到的最大故障距離，此最大距離對應於檢測到的最大故障阻抗或最小故障電流，在風電機組併入電網的匯流排下游發生故障時，上游阻抗電驛測量到的阻抗高於實際故障阻抗，相當於增加故障距離有越區跳脫風險，這是由在匯流排上



助增效應而增加的電壓所造成。針對上述問題有自我調整設定值的自適應電驛，自我調整設定值的自適應電驛是一種保護概念，它允許對各種保護功能進行自我調整電驛動作設定值，讓電驛設定值更能夠符合當前運轉中的電力系統需求，以滿足選擇性和靈敏度的高度要求，自適應電驛可以自動調整保護電驛設定值讓電驛設定值更符合當前的系統狀況，自我調整保護有各種類型：例如自我調整距離保護、自我調整電流差動保護和自我調整功率差動保護等。越來越多的分散式風力發電機併入電網，會給現有的電力系統保護電驛帶來困擾，導致保護電驛無法正確動作，自我調整設定值的自適應電驛有助於解決這些問題。

### 參考文獻：

- [ 1 ] Sriram Chandrasekar, 「Short Circuit Modeling of Wind Turbine Generators」, August, 2013
- [ 2 ] Thomas Ackermann, 「Wind Power in Power Systems」, 2005
- [ 3 ] Umair Shahzad, Salman Kahrobaee, Sohrab Asgarpoor, 「Protection of Distributed Generation: Challenges and Solutions」, 2017
- [ 4 ] 王晨清, 宋國兵, 「距離保護在風電接入系統中的適應性分析」, 電力系統自動化, 第22期, 2015
- [ 5 ] 張保會, 郭丹陽 「風電分散式接入配電網對電流保護影響分析」, 電力系統自動化, 第5期, 2013
- [ 6 ] 網路資料 - 百度文庫, (wenku.baidu.com)



# 智慧電表搭配時間電價及需量反應實現在智慧電網之效益

## AMI Implement Time of Use Rate and Demand Response Benefit in Smart Grid

國立臺灣海洋大學 柯侑寬 黃培華  
 國立臺灣海洋大學 蔣肇昇 吳祥瑞  
 元眾機電顧問股份有限公司 彭憲貴

### 摘要

智慧電網是透過資訊、通信與自動化科技，建置具智慧化之發電、輸電、配電及用戶的整合性電力網路，強調自動化、安全及用戶端與供應端密切配合，以提升電力系統運轉效率、供電品質及電網可靠度，並促進再生能源擴大應用與節能減碳。

智慧電網內包含了智慧電表基礎建設(AMI)，可連結用電、發電、儲能系統及再生能源，進行多方間的資料蒐集，達成電網資訊的即時傳輸與顯示，並藉由數據監控分析結果達到能源最適合使用效率及方案。AMI 可提供負載控制通訊功能，快速量測、診斷電力品質及電力狀況，提升供電品質；並透過時間電價及需量反應之搭配，實現尖離峰減少用電，減緩供電之限電可能性發生。同時因應環保問題，新建電廠不易，藉由 AMI 來做電力調節，包含電力夏日尖峰用電及電力事故，以減緩新建電廠的壓力。透過智慧電表即時性獲得用戶的用電資料及事件發送警報並可依用電情況做出節能方案，可提供更多創新服務。

關鍵詞：智慧電網、智慧電表(AMI)、儲能系統、再生能源、時間電價、需量反應

### 壹、前言

智慧電網是國家型能源計畫所要推動在微電網、配電自動化系統、智慧電表(AMI)、智慧家庭及智慧建築及再生能源等方案推動，使其國內電源更佳穩定及增加可靠度，並在電源瓶頸時段中，透過 AMI 搭配時間電價及需量反應作法中來因應供電瓶頸之時間時段及偶發電力事件

之電力調度更加具有彈性化。因應再生能源逐年增加，使其 2025 年達到 20% 電力，國再生能源之推動鐘中目前以風力發電及太陽能發電為主，近來又推動儲能系統作為再生能源之多餘電力儲存使其在適當時間中用戶能透過儲能系統電力讓用戶端能使用並減少市電供電減少電網之供電需求，使其電網之電力更有更多之電力可做調度空間。對於電網之儲能系統中，也能短暫對電網提供電力，因應電網特定時間供電瓶頸之作法。

近年來低壓及高壓用戶也逐漸推動節能方案，除了能節省電費外，也能達到減碳之環保目標，因此智慧電網推動中，AMI 占了重要角色，目前高壓用戶約 2.5 萬戶已全面安裝 AMI，低壓及住宅用戶也正加速逐漸推動安裝 AMI。

本文主要探討 AMI 之作法及功能外，透過時間電價及需量反應，包含需量反應聚合商使其電力公司可具有電力及時資訊及事件反應，並具有電力調度之彈性以因應電力偶發事件或是夏日尖峰用電問題。建置 AMI 中，透過電表資料中心收集用戶用電及警報事件，將資料傳送到電表資訊管理系統(MDMS)使其電力公司能掌握用戶端及時用電資訊。AMI 並具有雙向傳輸功能，用戶端也可取得用戶用電資料，透過智慧家庭能源管理系統(HEMS)使其家庭清楚用電情況，因此，在 AMI 推動下使其智慧電網更加具有效益。

### 貳、AMI 導入效益及主要系統

AMI 主要優點在於促成節能減碳、推動需量反應與時間電價、促進需求面管理、改善供電品質以及提升經濟效率，因此在電力調度、電力能源及電網管理、用戶三方面各能提供多方面的效益。

智慧 AMI 系統主要由以下設施所組成：

1. 智慧電表
2. 通訊系統與設備
3. 電表資訊管理系統 ( Meter Database Management System-MDMS )

AMI 系統應用於用戶端可分為兩種，一種微低壓用戶，如圖 1 所示，另一種為高壓用戶，如圖 2 所示，家用戶、社區及醫院等均屬於低壓用戶群。

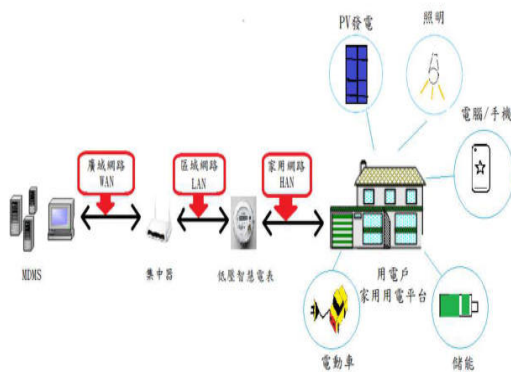


圖 1 AMI 低壓架構圖

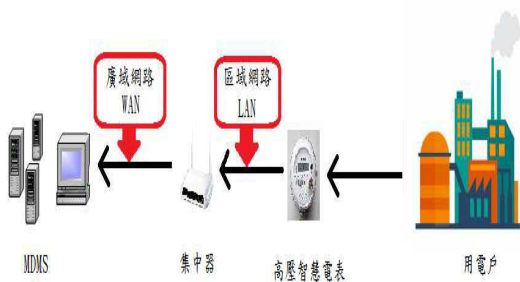


圖 2 AMI 高壓架構圖

### 參、智慧電表介紹

智慧電表為 AMI 中的核心，與傳統電表不同，具有通訊功能，讓用戶與供電方透過資料雙向溝通。智慧電表會主動紀錄用電習慣與用量，並持續監控用電系統，在偵測不正常電壓與電流時進行警報送出及顯示用戶位置或事故區域。而建置 AMI 可改善過去需要透過人力抄表才能達到用電電費計算，所以 AMI 可節省電力公司人力抄表之費用及標單之填寫，而 AMI 建置後並更進一步達到用電及資料即時性，對電網之電力調節作法中，AMI 扮演重要角

色，並可達到節能減碳的效果，實現智慧電網之方針。

智慧電表分為兩種類別：

低壓單相：單相式智慧電表以一般家戶使用為主要應用。

高壓三相：三相式智慧電表則以用電較高的使用戶為主，如：鋼鐵工廠、科學園區等。

台電使用的智慧電表有著不同的規格標準，規格如下表 1[1]:

1. 美國的 ANSI C12
2. IEC 的 IEC 62056

表 1 台電使用智慧電表規格

需求	ANSI C12(低壓電表規格)	IEC 62056(高壓電表規格)
標準通訊介面	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
標準資料模型	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
安全性	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
遠端下載	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
時間電價	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
雙向和淨量功能	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
遠端斷電	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
網路管理	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
多重客戶端	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
供電品質測量	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
篡改和盜竊檢測	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
停電檢測	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
可擴展性	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
自我定位	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

IEC 62056 標準體系目前共包括六部分，如圖 3 所示，如下：

- 第 61 部分：物件標識系統
- 第 62 部分：介面類別
- 第 53 部分：能源計量配套規格 (COSEM)應用層
- 第 46 部分：使用 HDLC (High Level Data Link Control)協定的資料連結層
- 第 42 部分：連線導向的非同步資料交換的實體層服務和過程
- 第 21 部分：直接本地資料交換

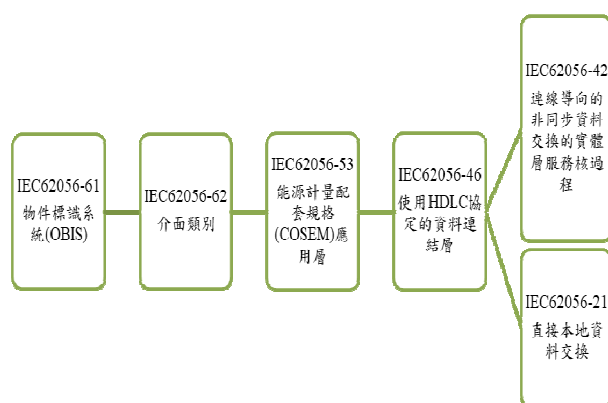


圖 3 IEC62056 標準體系圖

## 肆、通訊系統與設備

可用於 AMI 之通訊技術多元，技術採用需視通訊範圍以及各地區環境差異而不同，可分為三種通訊介面，如圖 4 所示為低壓用戶 AMI 及高壓用戶 AMI 之架構圖。

1. 廣域區域網路(WAN)：採用可長距離通訊的通訊技術，通常會以行動通訊技術為優先，如 GSM、GPRS、4G 等。
2. 區域網路(LAN)：一般會以免付費之有線無線通訊技術為優先考量，如 PLC、RF 等。
3. 家庭區域網路(HAN)：通常以方便性及低成本為考量，目前主要以 ZigBee 或 PLC 通訊技術為優先。

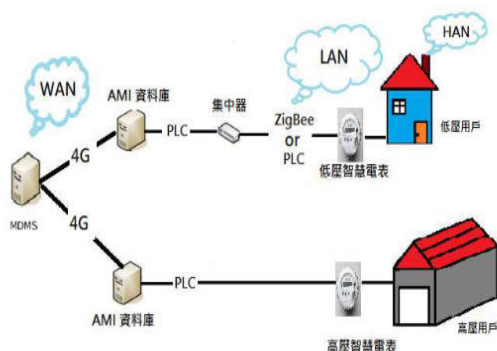


圖 4 通訊系統與設備

## 伍、電表資訊管理系統

電表資訊管理系統(MDMS)主要技術涵量在於軟體之開發。將電表所收集到的資訊透過通訊系統存入 MDMS，同時必須

支持多項後端應用系統，如帳務系統、缺電系統、客服系統等。

AMI 系統下之 MDMS 主要功能簡述如下：

1. 可接受來自不同 AMI 架構、廠商、電表型態之資料，並依據電力公司標準對讀取到的資料進行資料確認。
2. 資料來源判斷與編輯處理。
3. 記錄讀表過程的狀態和事件，以及透過分析與歷史資料比對，找出疑似的竊電行為。
4. 支援用戶資訊系統 (Customer Information System, CIS)、票務系統連接等後端應用系統。

## 陸、需量反應

需量反應是指用戶為反應一些信息，如電力瓶頸或緊急事件時，用戶將負載降載使其電力需求回售給系統，需量反應可用來做電力調節並有較優惠之電價，或當獨立調度機構因緊急情況要求電力用戶卸載或抑低負載時電力用戶以予配合卸載或降低消費，以避免遭遇到實施分區輪流停電發生。

美國能源部的需量反應定義，終端用戶為反應時間變動電價，從正常的用電型態中改變用電量，或是系統供電可靠受到威脅時透過電價誘因使用戶降低電力的使用 [2]。

實施方式：

1. 季節電價
2. 時間電價
3. 減少用電措施
4. 儲冷式空調系統離峰用電措施
5. 空調週期性暫停用電

需量反應控制可分為規劃性及強迫性兩種，規劃性的需量控制是利用各種策略預先將負載曲線平坦化 [3]，方法包括：

1. 負載轉移離峰

由於電力公司時間電價的配合，不但可以降低基本電費的單價，亦可享受到較低浮動電費的單價，促使尖峰負載移至離峰時段使用，以降低需量。

至於未參與時間電價的用戶，也可經由適當規劃，平均分配用電與各個時段避免集中，可顯著地降低需量值。

## 2. 消除尖峰

在尖峰時間停止負載的使用，以降低需量值。

## 3. 負載曲線谷底填充

在負載低時，增加用電量。並可考慮規劃負載曲線谷低時設備運轉的作業流程，包含將電能轉換成其他的能源形式儲存、將其他的能源改為電能、自備發電機減少發電量。

## 4. 能源節約對策

能源節約不但能減少流動電費，搭配高效率智慧設備，亦可減少不必要的需量能源。

強迫性的需量控制是非經常性的超約，迫切性策略的方式依被切除負載的特性及運轉的要求可分為[4]：

1. 直接控制(Direct Control)
2. 優先順序控制(Priority Control)
3. 循環式控制(Rotation Control)
4. 責任週期控制(Duty Cycle Control)

## 柒、時間電價

時間電價係反應不同時間供電成本差異之訂價方式可大致分為住家型用戶、低壓用戶、高壓及特高壓用戶如表 2-表 7[5]。尖峰時間價格高，離峰時間價格低，將正確價格訊息提供給用戶，促使用戶移轉尖峰用電至離峰時間使用，而達成負載管理之效果，方式如下：

1. 依電力系統負載型態劃分尖峰、半尖峰及離峰不同之供電時段。
2. 依據供電成本之差異訂定尖峰、半尖峰及離峰不同之電價，電價價位逐年拉大尖、離峰價差，以確實反應供電成本並鼓勵離峰用電。
3. 時間電價之適用範圍，目前經常契約容量 100kW 以上之用戶一律適用時間電價，其餘用戶則由用戶自由選用。

表 2 住家型二段式時間電價

二段式時間電價					單位：元	
分 類				夏月 (6/1~ 9/30)	非夏月 (夏月以 外時間)	
基本電費	按戶計收			每戶 每月	75	
流動電費	週一 ~ 週五	尖峰時間	07:30-22:30	每度	4.44	4.23
		離峰時間	00:00-07:30 22:30-24:00		1.8	1.73
	每月總度數超過2000度之部分			每度	加0.96	

表 3 住家型三段式時間電價

三段式時間電價						單位：元	
分 類					夏月 (6/1~ 9/30)	非夏月 (夏月以 外時間)	
基本電費	按 戶 計 收				每戶 每月	75	
流動電費	週一 ~ 週五	尖峰 時間	夏月	10:00-12:00 13:00-17:00	每度	6.2	-
		半尖峰 時間	夏月	07:30-10:00 12:00-13:00 17:00-22:30		4.07	-
			非夏月	07:30-22:30		-	3.88
	離峰 時間	00:00-07:30 22:30-24:00		1.8	1.73		
	每月總度數超過2000度之部分				每度	加0.96	

表 4 住家標準型二段式時間電價

標準型二段式時間電價						單位：元	
分 類				夏月 (6月1日)	非夏月 (夏月以 外時間)		
基本 電費	按戶計收		單 相	每戶 每月	129.1		
			三 相		262.5		
	經 常 契 約			每 戶 每 月	236.2	173.2	
	非 夏 月 契 約				-	173.2	
	週 六 半 尖 峰 契 約				47.2	34.6	
離 峰 契 約			47.2		34.6		
流動 電費	週一 至 週五	尖 峰 時 間	07:30-22:30	每 度	3.42	3.33	
		離 峰 時 間	00:00-07:30 22:30-24:00		1.46	1.39	
	週六	半尖峰時間	07:30-22:30		2.14	2.06	
		離 峰 時 間	00:00-07:30 22:30-24:00		1.46	1.39	
	週日及 離峰日	離 峰 時 間	全 日		1.46	1.39	



表 5 低壓用戶二段式時間電價

低壓用戶二段式時間電價				單位：元	
分 類				夏 月 (6月1 日至 9月30 日)	非夏月 (夏月以 外時間)
基本 電費	裝置契約	按 戶 計 收	每戶每月	105	
		裝 置 契 約	每戶每月	137.5	
	需量契約	按 戶 計 收	每戶每月	262.5	
		經 常 契 約		236.2	173.2
		非 夏 月 契 約		—	173.2
週六半尖峰契約	47.2	34.6			
	離 峰 契 約	47.2	34.6		
流動 電費	週一至 週五	尖峰時間	07:30-22:00	3.42	3.33
		離峰時間	00:00-07:30 22:30-24:00	1.46	1.39
	週六	半尖峰時 間	07:30-22:30	2.14	2.06
		離峰時間	00:00-07:30 22:30-24:00	1.46	1.39
	週日及 離峰日	離峰時間	全 日	1.46	1.39

表 6 高壓及特高壓二段式時間電價

高壓及特高壓二段式時間電價				單位：元			
分 類				高壓供電		特高壓供電	
				夏月 (6月1 日至 9月30 日)	非夏月 (夏月以 外時 間)	夏月 (6月1 日至 9月31 日)	非夏月 (夏月以 外時間)
基本 電費	經 常 契 約	每 戶	每 月	223.6	166.9	217.3	160.6
				—	166.9	—	160.6
	週六半尖峰契約	每 戶	每 月	44.7	33.3	43.4	32.1
				44.7	33.3	43.4	32.1
流動 電費	週一至 週五	尖峰時間	07:30-22:30	3.29	3.17	3.26	3.13
			離峰時 間	00:00-07:30 22:30-24:00	1.41	1.31	1.37
	週六	半尖峰 時 間	07:30-22:30	1.97	1.87	1.95	1.82
			離峰時 間	00:00-07:30 22:30-24:00	1.41	1.31	1.37
	週日及 離峰日	離峰時 間	全 日	1.41	1.31	1.37	1.25

表 7 高壓及特高壓三段式時間電價

三段式時間電價				單位：元					
分 類				高壓供電		特高壓供電			
				夏月 (6月1日至 9月30日)	非夏月 (夏月以 外時間)	夏月 (6月1日至 9月30日)	非夏月 (夏月以 外時間)		
基本 電費	經 常 契 約	每 戶	每 月	223.60	166.9	217.3	160.60		
				166.9	166.9	160.6	160.60		
				44.70	33.30	43.40	32.10		
				44.70	33.30	43.40	32.10		
流動 電費 (尖峰時 間固定)	週一至 週五	尖峰時間	夏月	10:00-12:00 13:00-17:00	4.67	—	4.61	—	
			夏月	07:30-10:00 12:00-13:00 17:00-22:30	2.90	—	2.87	—	
		離峰時間	00:00-07:30 22:30-24:00	1.32	1.26	1.29	1.22		
			非夏月	07:30-22:30	—	2.82	—	2.78	
	週六	半尖峰時 間	07:30-22:30	1.78	1.71	1.73	1.65		
			離峰時間	00:00-07:30 22:30-24:00	1.32	1.26	1.29	1.22	
	週日及 離峰日	離峰時間	全 日	1.32	1.26	1.29	1.22		
	流動 電費 (尖峰時 間可變動)	週一至 週五	尖峰時間	夏月 (指定30天)	10:00-12:00 13:00-17:00	7.86	—	7.74	—
				夏月 (指定30天)	07:30-10:00 12:00-13:00 17:00-22:30	2.90	—	2.87	—
			半尖峰時 間	夏月 (指定以外)	07:30-22:30	—	2.82	—	2.78
非夏月				07:30-22:30	—	2.82	—	2.78	
離峰時間		00:00-07:30 22:30-24:00	1.32	1.26	1.29	1.22			
		07:30-22:30	1.78	1.71	1.71	1.65			
週六		離峰時間	00:00-07:30	1.32	1.26	1.29	1.22		
週日及 離峰日		離峰時間	全 日	1.32	1.26	1.29	1.22		

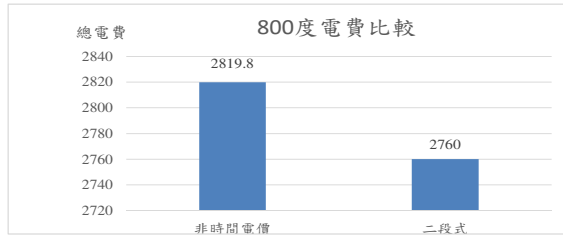
以下表 8 為例，利用 AMI 並搭配時間電價及需量反應進行與非時間電價作比較，將八月份每小時的非時間電價及時間電價用電量，以曲線方式表示，如表 8 所示，則以非時間電價、兩段式分別算出住家型時間電價費用差別，如表 9 所示。以表 9 之八月用電 800 度以不同時間電價所計算出之結果中，以二段式時間電價為較便宜之電價方案。

表 8 住家型用電量曲線



表 9 住家型 8 月份電費差異

八月	非時間電價 二段式	尖峰用電 500	半尖峰 300	離峰用電 800	總用電 800	總電費 2819.8
						2760



AMI 透過實踐電價及需量反應中以住家型為例，為使住家型有店家較便宜之電費，需要配合尖峰用電時間轉移到離峰時間之需量反應，因此，要得到住家用戶及低壓用戶之節電費率之效益，必須也從用電習慣中型改變，使其透過 AMI 配合時間電價及需量反應中能得到節電之效益。

### 捌、需量反應聚合商(Aggregator)

用戶群代表，稱為需量反應聚合商 (Aggregator)，Aggregator 服務模式可以免除用戶與電力公司雙方交涉的困難，促進更多用戶參與抑制尖峰用電或提升能源效率等措施，協助穩定供電可靠度，提供中小型用戶相關的諮詢、技術輔導及建立需量反應調度的平台，例如：一般小家庭可能沒有方法或工具參與需量反應，或沒有需量反應觀念的小店家。

基本調度方式是，台電在一個小時前通知聚合商，聚合商通知有簽合約的用戶開始做需量反應之卸載。一天最多兩次，每次 2~4 小時。一般商家能卸載的空間，應該都在空調跟照明，若是工業用戶，整個工廠系統大概切割成兩個，一個是產線用電，另一是公共設施或辦公用電，如果有緊急狀況無法調度，可由公共設施或辦公用電做少量調度。每位用戶的調度可按照實際運作，在不影響產能和工作的前提下，在許可範圍內調度容量，達成合約內規定容量。

### 玖、AMI 結合太陽能發電應用

太陽能發電搭配儲能系統結合於 AMI 中，由於太陽發電系統的輸出功率會隨日

照強度不同而不斷變化，便使用儲能電池做為儲電及調節之用途，結合於智慧電表基礎建設中，能透過智慧電表即時得知太陽能發電量，以便方便調度使用。

太陽能發電特性，為間歇性及受氣候影響，波動性雖不像風力發電高，但目前傾向 PV 發電回送給電網並儲能，儲能的需求讓僅在日間發電的 PV 將多餘的發電除了送出給用戶外並且可以儲存在儲能系統中，有多餘的電力又可以賣電給電力公司，可以在夜晚或天氣不佳時被使用，因此儲能用途主要在於解決 PV 發電併網的間歇性，而太陽能儲能系統需考量到安全及定置儲能裝置，並且把儲能裝置在室外溫度及電池之壽命影響也考量在內[6]。

Inverter 連接太陽能發電及電網，太陽能產生的直流電源轉換為交流電源並搭配儲能系統透過 AMI 將數據傳給 MDMS 及用戶端太陽能監視系統以應用於電網、住宅及電廠，如圖 5 所示。

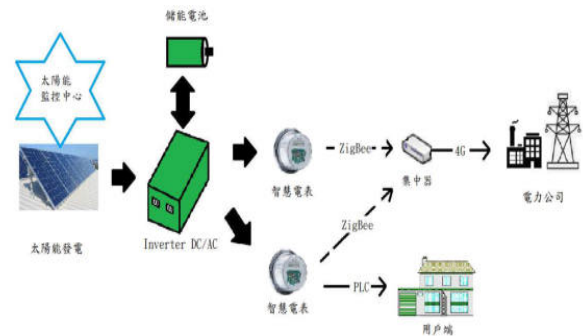


圖 5 太陽能系統之 AMI 流程圖

再生能源正導入儲能系統，也就是儲能電池，以太陽能發電系統中，透過 PV 以 Inverter 供電至負載端外，也可對太陽能除能電池進行充電，並可將多餘之太陽能發電量回饋給電力公司端，此做法中，當夜晚或是下雨天等氣候因素導致太陽能無法發電時，可透過太陽能除能電池放電將電力供應給負載端使用，結省對電力公司供電之需求，進一步可達到再生能源結電及用電效益。如下圖 6 所示，電網之儲能系統或是太陽能之儲能系統等都可透過控制器利用 IEC61850 通訊協定將儲能系統之資料及警報等事件上傳至監控系統端做整合[7]，可也可做為國內使用再生能源

之儲能系統或是電網之儲能系統之結合 IEC61850 通訊協定做系統端整合參考。

以目前 IEC TC57 委員會 IEC61850-7-420 DES(Distributed Energy Resources) 在 2018 年 5 月所發佈之 IEC61850-7-420 Ed2, 當中提到增加國際性之 DER 標準, 包含 IEC61850-90-9: 電力儲能系統(Electrical Storage System) [8]

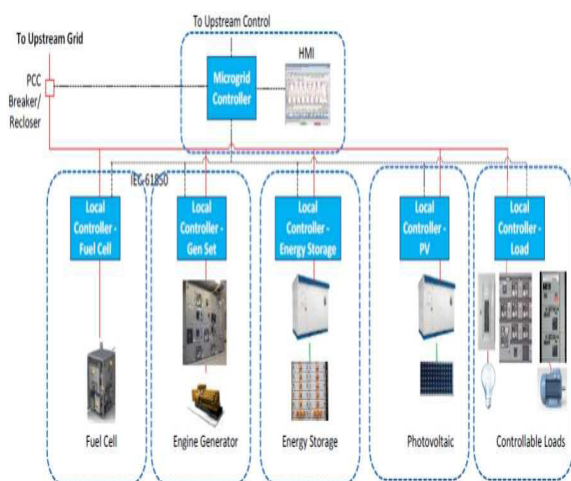


圖 6 儲能系統之 IEC61850 通訊協定整合  
(資料來源:伊頓飛瑞股份有限公司)

儲能系統中設計以功率模塊為儲能之電力能量, 主要多以絕緣柵雙極電晶體 IGBT 為做為電力電子功率元件, 透過儲能系統內部設計之 DC Bus 做為儲能電池及 Inverter 之連接, 而儲能系統之告警及警報事件又比數位式保護電驛之告警及警報事件更多列表, 儲能系統設計上又有考慮到功率模塊之故障瞬間另外功率模塊扛載之能力設計確保輸出又不影響, 引此, 儲能系統如做為電網之儲能系統用途, 可彈性運用儲能系統之時間設定或是特定電力偶發事故可控制透過電池放電提供儲能系統電力給電網, 但其成本費用比綠能都貴了許多, 但電網之電力調度就較為彈性。

## 拾、結論

人們為追求生活環境, 對住家附近的污染十分要求, 而科技發展所依賴之電力用電需求也增加, 但電力公司建電廠不易、電力建設不易發展之情況下, 需求面之智慧電網將扮演更為重要的角色。智慧電網是電力、電信、資訊及網際網路四種產業的匯流, 屬於跨領域的技術, 智慧電表基礎建設(AMI)是智慧電網之基礎建設, 扮演重要角色。

智慧電表基礎建設, 可由智慧電表即時了解用戶本身用電狀況, 控制自己用電的時段, 搭配需量反應或時間電價, 減少不必要電費支出, 並能有效推動負載管理政策, 仰低尖峰負載, 將尖峰負載轉移至離峰, 舒緩用電量曲線及需量, 並配合再生能源之調度太陽能或是風力的電量, 擴大智慧電表效益, 搭配儲能系統更能鞏固台灣的再生能源應用, 實現節能減碳目標。

## 參考文獻

- [1] 陳翔雄, AMI\AMR 讀表相關標準及示範系統, 2012 年 6 月。
- [2] 綜合研究院, 電業自由化前後需量反應制度之推廣策略, 2006 年。
- [3] 藍明仁、陳昭榮, 需量反應中顧客排程用電最佳化之研究, 國立臺北科技大學碩士學位論文, 2013 年。
- [4] 經濟部能源局, 電能管理需量控制器節能技術手冊, 2016 年。
- [5] 台灣電力公司網站。
- [6] 楊育璋, 再生能源搭配儲能發展, 2016 年 6 月。
- [7] 伊頓飛瑞慕品股份有限公司網站。
- [8] News on IEC 61850 and related Standards, <http://blog.nettedautomation.com>, 2018.

# 變壓器差動電驛湧浪電流識別演算法

IEEE Senior Member 吳立成  
IEEE Fellow 劉志文

## 摘要

本文提出了一種基於基本相量估計誤差的湧浪電流新檢測演算法，即半週期離散傅里葉變換(HDFT)和全週期離散傅里葉變換(DFT)輸出之間的差異，利用大量變壓器差動保護模擬和測試結果表明，本基於二次諧波方案的演算法和傳統差動保護方案相比，新方案可以提供更簡單，更可靠，更準確和更安全的結果。

關鍵詞：湧浪電流、半週期離散傅里葉變換(HDFT)、全週期離散傅里葉變換(DFT)、變壓器差動保護

## 一、簡介

三相變壓器是用於大容量電力輸送之重要且昂貴的元件；因此，如何保護它們免受損壞是電力系統中之重要工作。一般來說，變壓器差動保護適用於 10MVA 以上變壓器容量的主保護，而對於主保護低於 10MVA 的變壓器則採用過流保護，因其理論簡單和保護結果最好；然而，在清除外部故障後，變壓器將在空載加壓和電壓恢復的狀況下產生大的湧浪電流，此湧浪電流具有大而且持久的直流分量及有豐富的偶次諧波，此這種現象經常導致變壓器差動保護誤跳。

為避免由於湧浪電流引起的變壓器差動保護誤跳，文獻中提出了許多方法[1]-[17]。以下將簡要介紹它們。在文獻[2]中，使用二次諧波加直流分量用於識別湧浪電流，五次諧波用於閉鎖。在文獻[4]中，應用識別湧浪電流的基波分量（60Hz）和二次諧波分量（120Hz）的相位角。在文獻[5]和[6]中，提出一種磁通增量方法來檢測故障，並提出了一些測試結果。文獻[7]使用功率差分方法來識別

變壓器的故障或非故障情況，該方法利用變壓器的箱體壓力和保護電驛的採樣率來提高方法的靈敏度和速度。文獻[8]討論變壓器保護等效瞬時電感（EII）的計算變化，以區分湧浪電流或故障電流，EII 算法優於瞬時磁化電感（IMI），很難估計精確 IMI，因為這取決於變壓器磁芯中的精確磁通鏈。另有許多參考文獻[9]-[13]，用小波來識別湧浪電流與變壓器故障，小波方法具有以下優點：瞬態分析的最佳性能，可調節的時間和頻率，可調節的帶寬和抗信號干擾。波形相關分析方法（WCS）應用於文獻[14]，該方法已在動態模擬測試中，獲得令人滿意之測試結果。在文獻[15]之對稱分量變換方法，該方法可以在 10ms 至 20ms 之間檢測變壓器的各種內部故障。還可以在其開始後的大約一個週期中識別湧入電流條件。文獻[17]中，利用每個半週期在兩個不同頻率條件下，兩個參考波形與實際波形比較。

本文提出了一種新的簡單方案，可以識別各種條件下的湧浪電流和內部故障電流，所提出的方法基於基本相量估計的誤差，其是半週期離散傅立葉變換（HCDFT）和全週期離散傅立葉變換（FCDFDT）的輸出之間的誤差。

## 二、湧浪電流新檢測演算法

所提出的差動保護演算法如圖 1 所示。其由故障檢測器單元，湧浪檢測器單元，巴特沃斯濾波器(Butterworth filter)，Mimic 濾波器和邏輯閘組成。故障檢測器單元是傳統的百分比差動電流保護單元，考慮了 CT 飽和和匝數比不匹配。湧浪檢測器單元用於識別差動電流是否為湧浪電流。Butterworth 濾波器用於濾除由於故障引起的高頻分量。此外，當電力變壓器發生故障時，電壓和電流信號嚴重失真，這



些信號可能包含衰減的直流分量，次頻率，高頻振盪量等，使用具有適當截止頻率的低通巴特沃斯濾波器可以消除高頻分量，但巴特沃斯濾波器無法去除衰減的直流分量，並抑制低頻分量，故通常使用 Mimic 濾波器來去除衰減的 DC 分量，Mimic 濾波器可用數位方法實現。

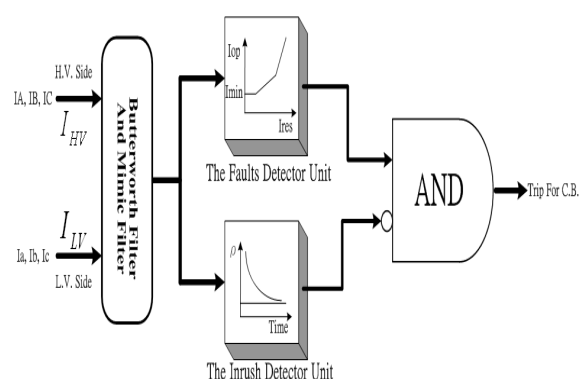


圖 1 新湧浪電流檢測演算法之變壓器差動保護架構

湧浪電流檢測器單元的原理如下，由 HCDFT 和 FCDFT 算法組成的湧浪電流檢測器單元，估算 HCDFT 和 FCDFT 之間的基本相量估算誤差，所有 DFT 算法都基於移動視窗演算法[5]，如果發生內部故障，可以加快跳脫時間，HCDFT 的算法如式 (1) 所述：

$$X_{HCDFT}^r = \frac{4}{N} \sum_{k=0}^{\frac{N}{2}-1} x_{r+k} e^{-j2\pi k/N} \quad (1)$$

其中  $x_k$  是信號第  $k$  個取樣值， $N$  是每個週期的取樣數，同理，FCDFT 可以表示為方程式 (2)。

$$X_{FCDFT}^r = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x_{r+k} e^{-j2\pi k/N} \quad (2)$$

一般來說，故障電流的主要成分是頻率 60Hz 正弦波，根據 HCDFT 和 FCDFT 的頻率響應，如圖 2 所示，我們可以看出當電流信號具有偶次諧波和 DC 分量時，HCDFT 和 FCDFT 之間具有差異極大的基本

相量估算誤差，是由於 Mimic 濾波器可以去除直流分量，並且湧浪電流含有大量諧波，因此當變壓器處於典型的正常工作狀態時，HCDFT 和 FCDFT 之間的基本相量估計誤差很小，如圖 3 所示。但當存在典型的湧浪電流時，如圖 4 所示，HCDFT 和 FCDFT 之間的基本相量估計誤差將更大，基於此觀察，我們可以定義一方程式(3)來識別變壓器的電流波形是否為湧浪電流。

$$\rho(r) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \left( \frac{|X_{HCDFT}^r| - |X_{FCDFT}^r|}{|X_{FCDFT}^r|} \right)^2} \quad (3)$$

對於圖 3 中的典型情況（故障或正常電流條件）和圖 4 之湧浪電流條件，計算結果如圖 5 所示。從圖 5 中可以看出，新湧浪電流檢測演算法，可以很容易和快速檢測是否存在湧浪電流，對大型三相變壓器進行大量模擬和假設分析後，得其門檻值  $\tau$  設定為 5%，用於檢測湧浪電流。

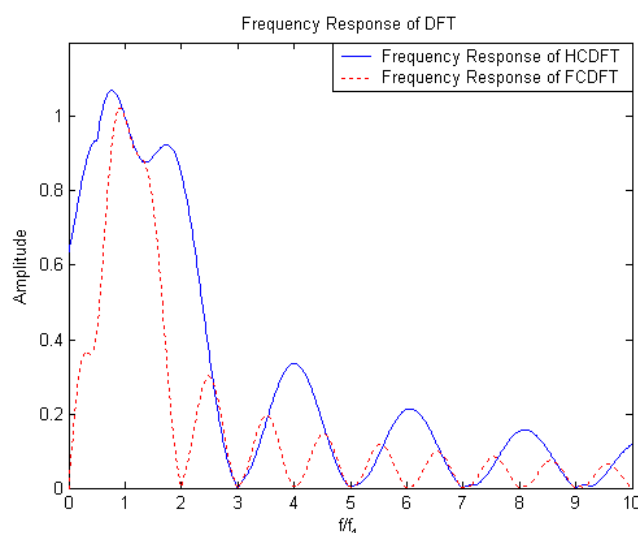


圖 2 DFT 濾波器的頻率響應圖

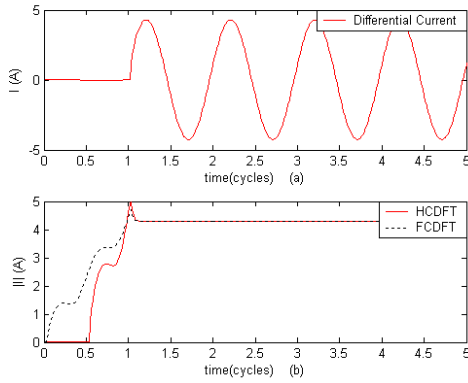


圖 3 故障或正常電流條件下 HCDFT 和 FCDFD 之基本相量估算：  
(a) 電流波形 (b) 相量估算值

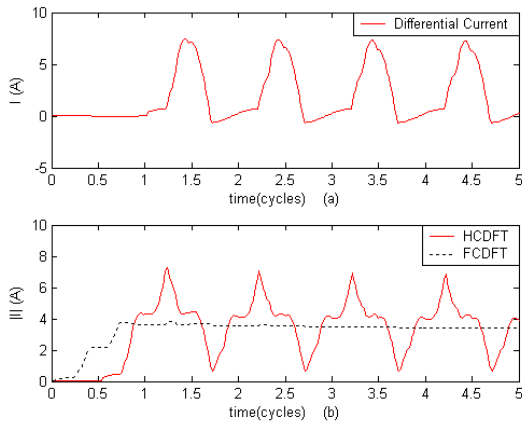


圖 4 浪湧電流條件下使用 HCDFT 和 FCDFD 進行基本相量估計：  
(a) 電流波形 (b) 相量估算值

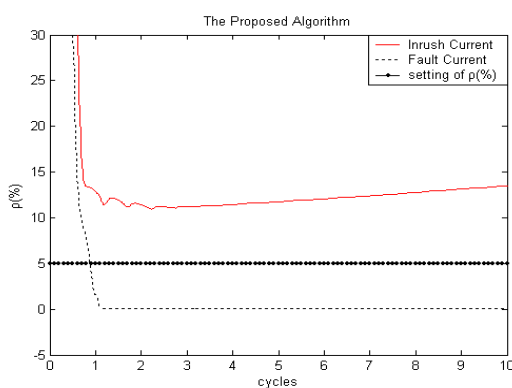


圖 5 新湧浪電流檢測演算法進行圖 3 和圖 4 之基本相量估算誤差

### 三、新湧浪電流檢測演算法效能評估

為了證明所提出的保護方案的性能，如圖 6 所示，我們建立一測試平台，對提

出之新湧浪電流檢測演算法方案做效能評估，其模擬參數及變壓器操作條件如下：

測試案例 1：無負載操作的湧電浪流

測試案例 2：帶負載操作的浪湧電流

測試案例 3：在加壓 5 週波湧浪電流後出現三相內部故障

測試案例 4：ABCG 的外部故障

測試案例 5：正常滿載

表 1 顯示係測試平台的模擬參數 [19]，將用來對新湧浪電流檢測演算法的性能與傳統的二次諧波方法進行比較。

表 1 測試模型的參數

Voltage Rating: 161 kV	
System frequency: 60 Hz	
Equivalent Source Impedance:	
$Z_{s1} = 0.238 + j5.72(\Omega)$	$Z_{s0} = 2.738 + j10(\Omega)$
Transformer Specification:	
3 Phase ; 161kV/69kV/11kV	
200MVA/200MVA/66MVA Y/Y/D1	
Based on 161kV	
$Z_y = 0.2203 + j17.2505 (\Omega)$	$Z_s = 0.1296 - j1.287 (\Omega)$
$Z_t = 0.7128 + j26.7275 (\Omega)$	
Base on 11kV { $Z_m = 303.91 - j3844.76 \mu(mho)$	

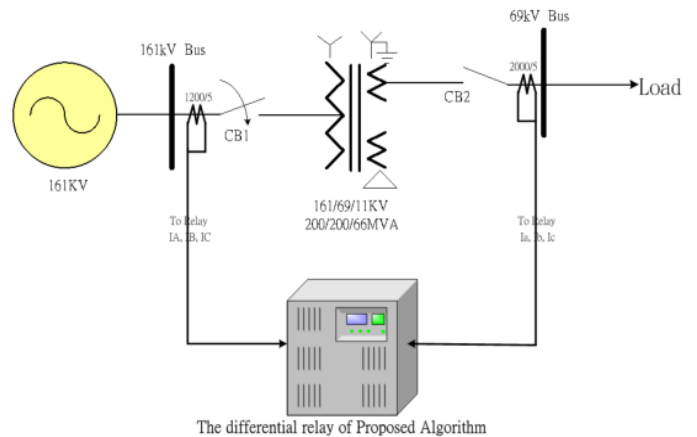


圖 6 模擬與測試系統平台

#### A. 測試案例 1：變壓器無負載操作的湧電浪流

模擬空載和無故障條件下，的三相湧浪電流，結果如圖 7 所示，故障檢測單元跳脫保護區之湧浪電流動作曲線，如圖 7 (a) 所示；從圖 7 (b) 可明顯得知，其 A 相電流之二次諧波百分比小於通用設定

之 15% 設定值，使傳統的二次諧波檢測方法將誤動作跳脫，而本文所提之新湧浪電流檢測演算法方案 (c) 可正確保護。

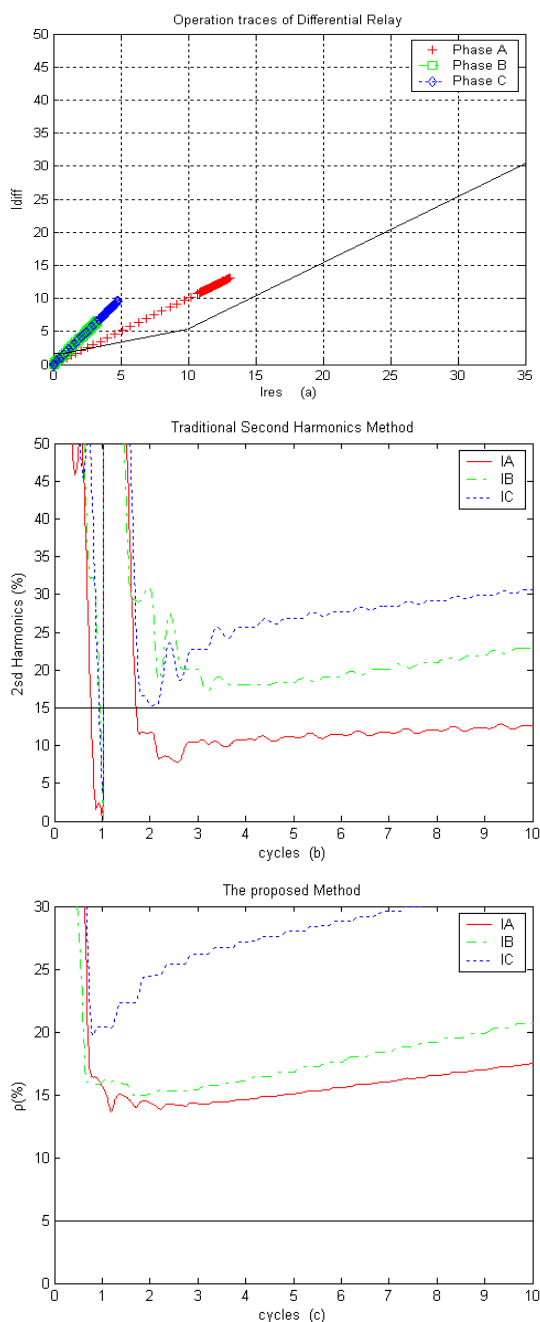
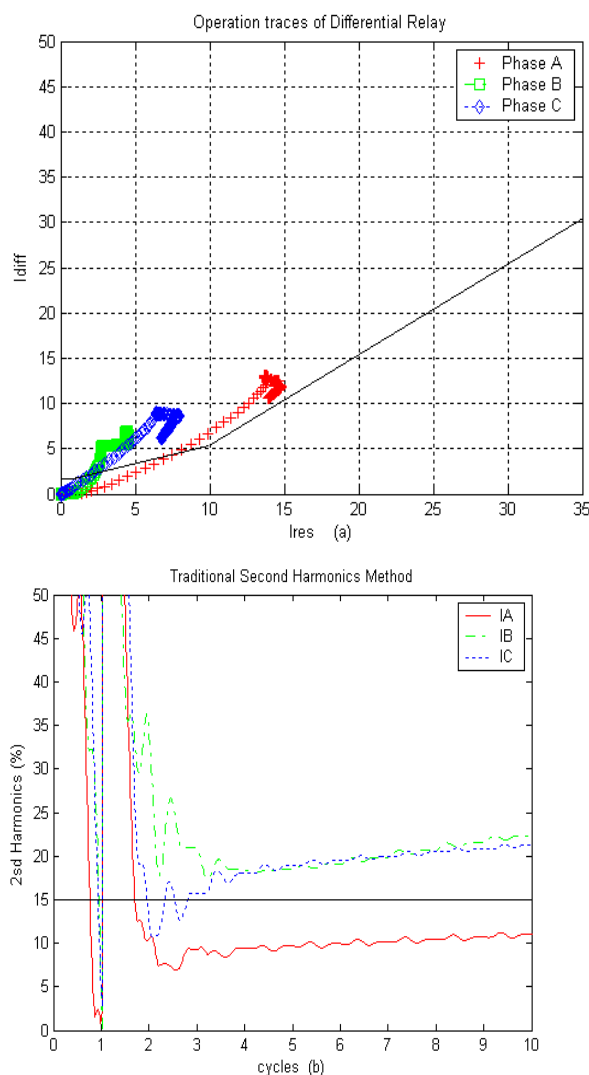


圖 7 測試案例 1 之結果：變壓器無負載操作的湧電浪流

- (a) 差動保護區之湧浪電流動作曲線
- (b) 傳統二次諧波方法的湧浪電流演算法
- (c) 新湧浪電流檢測演算法

## B. 測試案例 2：變壓器帶負載操作的浪湧電流

在變壓器帶負載操作的浪湧電流情況下，我們從圖 8 模擬結果顯示，其湧浪電流的動作曲線落在差動故障檢測單元的跳脫區域圖 8(a)，這測試案例，亦導致使用傳統的二次諧波方法之差動電驛誤跳脫，如圖 8(b)所示。但本文所提之新湧浪電流檢測演算法方案，依然正確判斷不誤跳脫，如圖 8(c)所示。



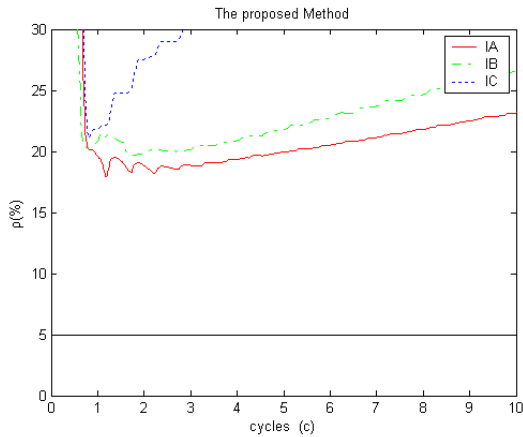


圖 8 測試案例 2 之結果：變壓器帶負載操作的湧浪電流

- (a) 差動保護區之湧浪電流動作曲線
- (b) 傳統二次諧波方法的湧浪電流演算法
- (c) 新湧浪電流檢測演算法

**C. 測試案例 3：變壓器在加壓 5 週波湧浪電流後出現三相內部故障**

我們模擬當變壓器在加壓 5 週波後，變壓器內部發生三相故障，如圖 9 模擬結果顯示，其湧浪電流的動作曲線落在差動故障檢測單元的跳脫區域中，如圖 8(a)所示，同時此測試案例如圖 8(b)及 8(c)所示，可看出本文所提之新湧浪電流檢測演算法方案可比傳統的二次諧波方法，有更快之識別能力。

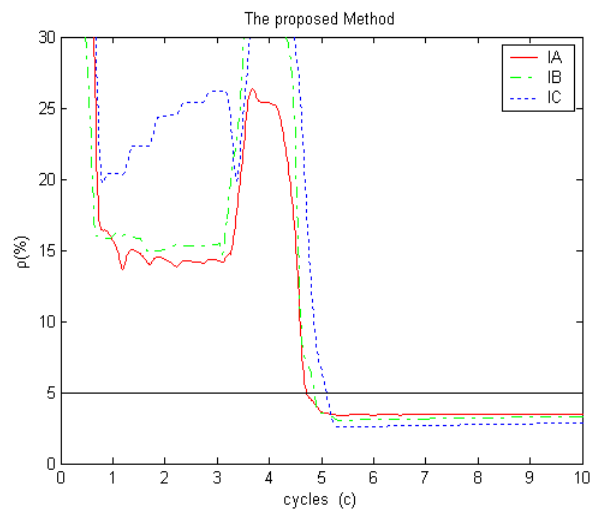
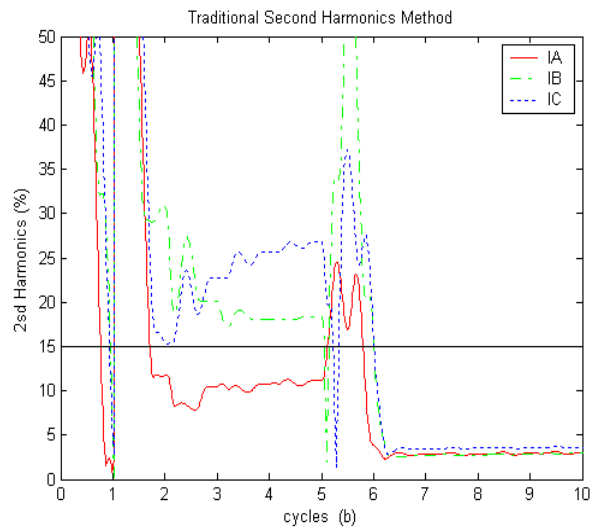
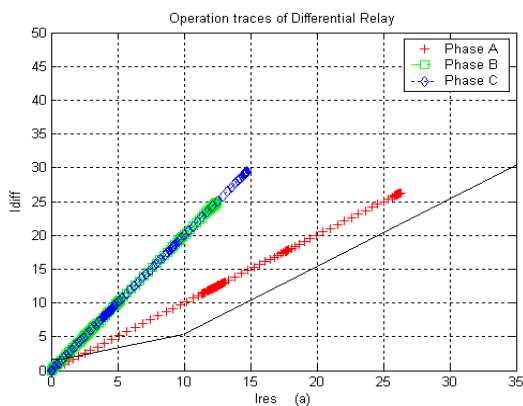


圖 9 測試案例 3 之結果：變壓器在加壓 5 週波後出現三相內部故障

- (a) 差動保護區之湧浪電流動作曲線
- (b) 傳統二次諧波方法的湧浪電流演算法
- (c) 新湧浪電流檢測演算法



**D. 測試案例 4：ABCG 的外部故障**

如圖 10 顯示，變壓器在正常運轉後 3 週波發生三相外部 ABCG 故障，測試結果表明，無論採用何種方法，兩種方法都不會產生誤動作。



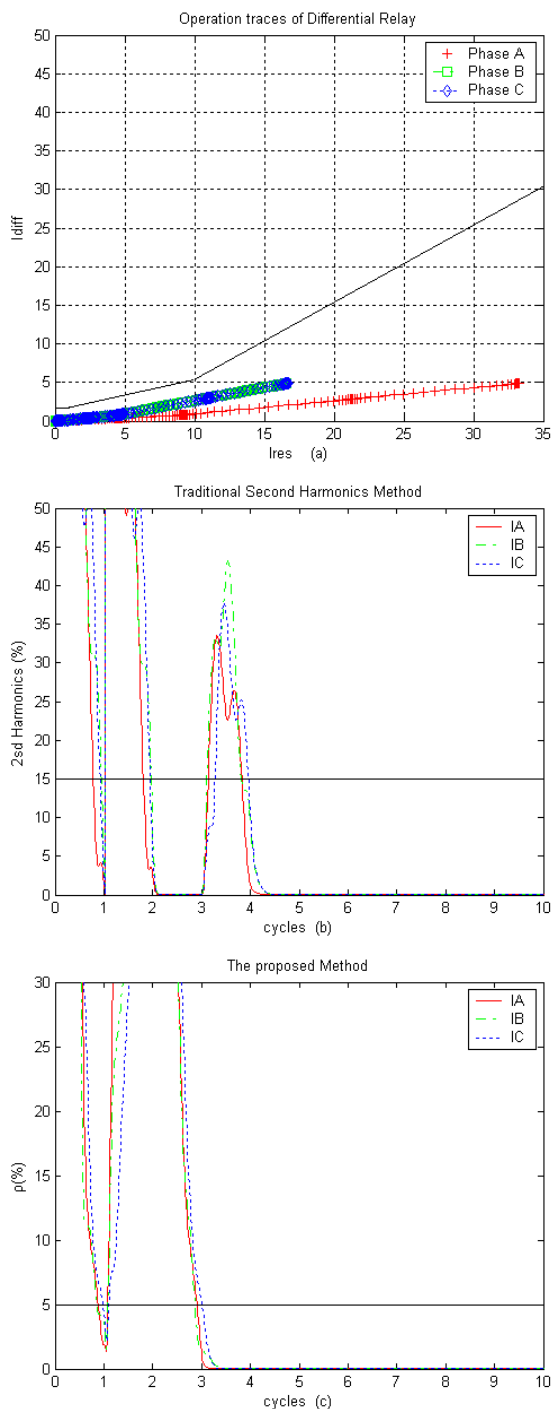


圖 10 測試案例 4 之結果：變壓器在正常運轉後 3 週波發生三相外部 ABCG 故障  
 (a) 差動保護區之電流動作曲線  
 (b) 傳統二次諧波方法的湧浪電流演算法  
 (c) 新湧浪電流檢測演算法

**E. 測試案例 5：正常滿載**

變壓器在正常滿載運轉，從圖 11 中，我們可以發現這兩種方法都可以獲得

正確的結果，但是新湧浪電流檢測演算法方法比二次諧波法具有更快的識別速度。

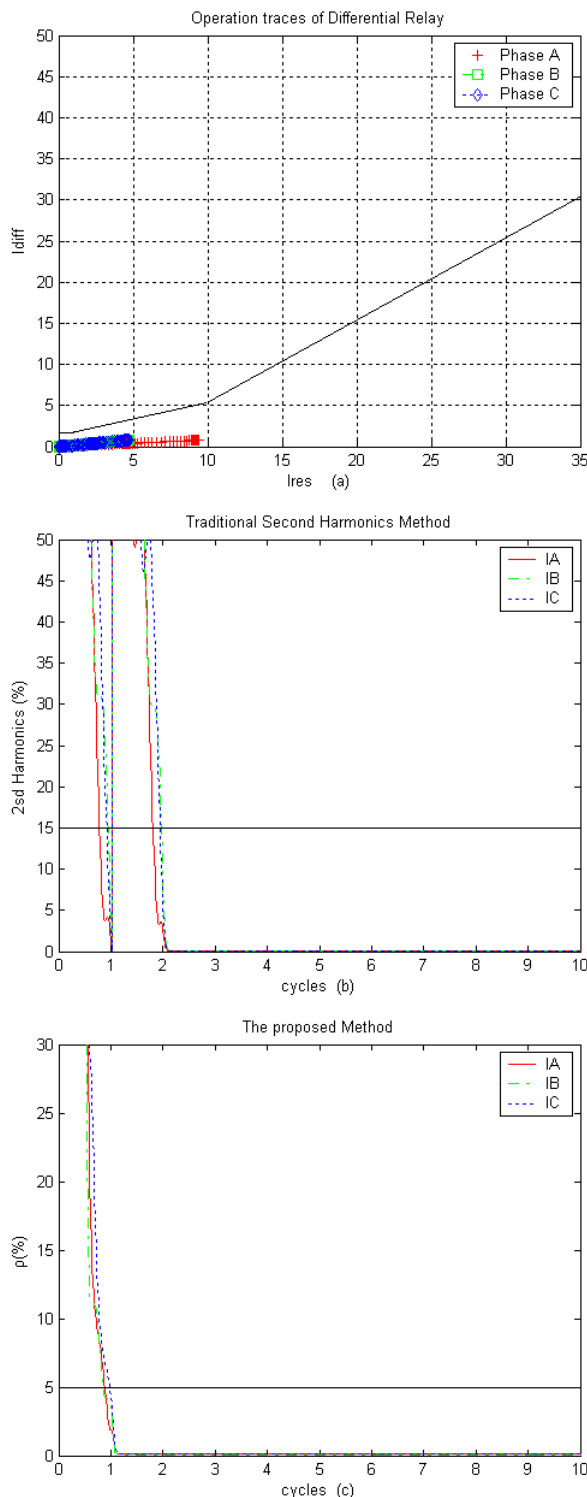


圖 11 測試案例 6 之結果：正常滿載  
 (a) 差動保護區之電流動作曲線  
 (b) 傳統二次諧波方法的湧浪電流演算法  
 (c) 新湧浪電流檢測演算法

#### 四、結論

本文提出一種區分電力變壓器勵磁湧流與故障電流之有效方案，所提出之方案基於基本相量估算誤差，採用半週期離散傅里葉變換（HCDF）和全週期離散傅里葉變換（FCDF）輸出之間的誤差。從測試案例中可以看出，該方案能夠在各種條件下正確實現變壓器的保護功能，且此新方案可同樣採傳統二次諧波方法之相同硬體輕鬆實現，它在電力變壓器各種湧浪電流和故障電流下，提供更簡單，更可靠，更準確和更安全的結果及方案。

#### 五、REFERENCES

- [1] Guzman, A, Zocholl, S, Benmouyal, G and Altuve, H.J, "A current-based solution for transformer differential protection. I: Problem Statement", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 16, No.4, pp.485-491, October 2001
- [2] Guzman, A, Zocholl, S, Benmouyal, G and Altuve, H.J, "A current-based solution for transformer differential protection. II: Relay description and evaluation", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 17, No.4, pp.886-893, October 2002
- [3] J. S. Thorp and A. G. Phadke, "A Microprocessor Based Three-phase Transformer Differential Relay", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-101, pp.426-432, Feb. 1982
- [4] A. Kulidjian, B. Kasztenny and B. Campbell, "New Magnetizing Inrush Restraining Algorithm for Power Transformer Protection", IEE Developments in Power system Protection, Conference Publication No.479, pp.181-184, 2001
- [5] A. G. Phadke and J. S. Thorp, "Computer Relaying for Power Systems", Research Studies Press LTD., 1988
- [6] Y.C. Kang, B.E. Lee, S.H. Kang and P.A. Crossley, "Transformer Protection Based on The Increment of Flux Linkages", IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., Vol. 151, No.4, pp.548-554, July 2004
- [7] Kuniaki Yabe, "Power Differential Method for Discrimination between Fault and Magnetizing Inrush Current in Transformers", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 12, No.3, pp.1109-1115, July 1997
- [8] Ge Baoming, A. T. de Almeida, Zheng Qionglin and Wang Xiangheng, "An Equivalent Instantaneous Inductance-based Technique for Discrimination between Inrush Current and Internal Faults in Power Transformers", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 20, No.4, pp.2473-2482, October 2005
- [9] Moisés Gómez-Morante and Denise W. Nicoletti, "A Wavelet-based Differential Transformer Protection", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 14, No.4, pp.1351-1358, October 1999
- [10] Omar A. S. Youssef, "A Wavelet-based Technique for Discrimination between Faults and Magnetizing Inrush Currents in Transformers", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 18, No.1, pp.170-176, January 2003
- [11] M. M. Eissa, "A Novel Digital Directional Transformer Protection Technique Based on Wavelet Packet", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 20, No.3, pp.1830-1836, July 2005
- [12] S.A. Saleh and M.A. Rahman, "Real-Time Testing of a WPT-based Protection Algorithm for Three-Phase Power Transformers", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 41, No.4, pp.1125-1132, July/August 2005
- [13] Jawad Faiz and S. Lotfi-Fard, "A Novel Wavelet-based Algorithm for Discrimination of Internal Faults form Magnetizing Inrush Currents in Power Transformers", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 21, No.4, pp.1989-1996, October 2006
- [14] Xiang-Ning Lin, Pei Liu and O.P. Malik, "Studies for Identification of the Inrush

- Based on Improved Correlation Algorithm”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 17, No.4, pp.901-907, October 2002
- [15] Sidhu, T.S., Sachdev, M.S.,” Online identification of magnetizing inrush and internal faults in three-phase transformers”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 7, No.4, pp.1885-1891, July 1992
- [16] Sidhu T.S., Gill H.S., Sachdev, M.S.,”A power transformer protection technique with stability during current transformer saturation and ratio-mismatch conditions“, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 14, No.3, pp.798-804, July 1999
- [17] Benteng He, Xuesong Zhang and Zhiqian Q. Bo., “A New Method to Identify Inrush Current Based on Error Estimation”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 21, No.3, pp.1163-1168, July 2006
- [18] Li-Cheng Wu, Chih-Wen Liu, Ching-Shan Chen,” Modeling and Testing of a Digital Distance Relay Using MATLAB/SIMULINK”, IEEE/PES The 37th North American Power Symposium, pp. 253~259, Oct. 2005
- [19] Li-Cheng Wu, Chih-Wen Liu, Shih-En Chien, Ching-Shan Chen,” The Effect of Inrush Current on Transformer Protection”, IEEE/PES The 38th North American Power Symposium, pp 100~108, Sep. 2006

# 談 2018 地方選舉與公投議題

常務監事 李國楨

## 一、緒論

今(2018)年11月24日國內舉辦九合一地方大選合併10項公投選舉。其中九合一地方選舉，須年滿20歲才擁有投票權；公投方面年滿18歲即有投票權。翌日(11/25)報載選舉揭曉：民進黨從4都9縣市銳減到2都4縣市；國民黨從2都4縣市大幅增為3都12縣市。無黨籍從1都2縣市縮小1都台北市。

所謂九合一地方選舉，係指總共有九種不同地方公職人員，配合一次選舉選出。其中直轄市一般選民只選市長、市議員兩種公職人員，而轄內山地原住民區多增選自治區長、區代表兩種公職人員；省轄縣市選出縣市長、縣市議員、鄉鎮市長、鄉鎮市代表共四種公職人員及上述所有地方村里選出村里長，總計九種公職人員。

中選會統計，九合一選舉人數有19,102,000多人，全國性公投人數則有19,757,000多人，兩者差數粗估單獨公投年輕人數約655,000多人。

按『公投法』規定，投票人數必須超過投票權人數1/4以上，概估約需4,939,267票以上，且有效同意票需超過不同意票，才能過關。

談到本次台北市長開票過程，當天下午4點後，投、開票同時進行，部分未投票選民從手機收訊窺知開票概況，即醞釀棄保操作傳聞不脛而走，如果屬實則有違選舉之公平性。且開票作業長達10小時35分鐘，直到深夜2:35才完成，是有史以來之最。台北市為擁有國際知名度的城市，其選戰風雲動見觀瞻，可能成為全球

媒體關注焦點，尤其開票後段過程遲緩膠著，是否暗藏玄機或故弄玄虛？難免令人疑團莫釋或匪夷所思。

統計票數最後宣布，無黨籍以3254些微差距險勝連任，但也引發最高票落選人不服，執意向法院提起驗票及當選無效訴訟。台北市為首善之都，堪任表率典範，但市長選舉竟發生有爭議瑕疵，確實予人不可思議。

另外令人跌破眼鏡、膾炙人口的是高雄市長選情，高雄市為綠營鐵票區，而與高雄幾無淵源的韓國瑜，5/21被指派參選高雄市長，初期被看好度極低，短期間經由網路傳播人道關懷，聲量創新高後，加上三山造勢成功，民心沸騰，旗海飄揚，最後贏得漂亮勝出。其戲劇性發展過程，宛如經典電影「一個巨星的誕生」，倡議淡化政治，拼新庶民經濟，改善兩岸善意交流，提出「貨出去，人進來，發大財」願景，切中時弊讓基層民眾有感而認同支持。又喊出「寧願乾乾淨淨的輸，也不要骯骯髒髒的贏」，喚起高雄選民高品質的君子風範，導正社會選舉風氣，追求高品味的選舉文化，發揮話語權務實的點撥功能。

反觀高雄市府長期施政，漠視關懷農漁產銷的每況愈下，又不願面對觀光蕭條，改善受波及的慘業景氣低迷，寧願負債3000億元，醉心追求衛營武國家藝術中心、簡便輕軌和捷運建設，終於陷入民心思變的泥淖而難以自拔。讓「韓流」匯集點滴民氣成海嘯，席捲全台民心沸騰，其關鍵在於民意如流水，水能載舟，亦能覆舟。

台大校長當選人管中閔特別在11/22(選前2日)，在臉書發文說，即使投



票尚未開始，但他其實已經看到選舉結果，那就是「人心甦醒，民氣澎湃，以及人民力量浩浩蕩蕩」。並透露選後的考量：「在堅持守護台灣校園民主的這條路上，請與我繼續同行。」

## 二、公投議題論談

今年是『公投法』修正後開始上路施行，可說是公投元年，一開始就有 10 項公投案通過審核。九合一選票再加 10 張公投票，概估總票數高達二億七千萬多張，打破中華民國辦理選舉以來的歷史紀錄，因此有選民提議網路公投是可以思考的方向，如因懼怕 E 化資安問題就不實施，那還有什麼立場自詡為已發展國家呢？

這次十項公投案，由國民黨提出三項，編號分別為 7、8、9。

編號 7 的反空污，是否同意以「平均每年至少降 1%」之方式逐年降低火力發電廠發電量。公投結果同意票超過 795 萬票，不同意票僅超出 210 萬票，依公投法規定『過關』。

編號 8 的是否同意確立「停止新建、擴建任何燃煤發電廠或發電機組(包括深澳電廠擴建)」之能源政策?公投結果同意票逾 759 萬票，不同意票僅 234 萬多票，依公投法規定『過關』。

行政院長賴揆在 10/12 宣布停建深澳電廠，改以中油觀塘興建第三天然氣接收站，仍有餘裕天然氣供應大潭擴建機組，彌補深澳廠停建缺口。

編號 9 的反核食「是否同意政府維持禁止開放日本福島 311 核災地區，包括福島與週遭 4 縣市(茨城、樫木、群馬、千葉)等地區農產品及食品進口」。公投結果同意票逾 779 萬票，不同意票逾 224 萬票，依公投法規定『過關』。卻引起日本外相河野太郎認為公投本問題是違反 WTO 協定，擬

向 WTO 提起訴訟。又在 12/7 再度提起台灣希望加入「跨太平洋夥伴全面進展協定」(CPTTP)，因為反對解禁核食進口，變得無法加入表達遺憾。行政院回應表示：這將是艱鉅的挑戰，請相關部會積極與日方溝通，嚴肅面對，尋求日方的理解與支持。

針對同婚議題，由下一代幸福聯盟提出 3 案，編號分別為 10、11、12。

編號 10 的「是否同意民法婚姻規定應限定一男一女的結合」，公投結果同意票逾 765 萬票，不同意票超出 224 萬票，依公投法規定『過關』。

編號 11 的「是否同意在國民教育階段內(國中及國小)，教育部及各級學校不應對學生實施性別平等教育法施行細則所定之同志教育」。公投結果同意票逾 708 萬票，不同意票超出 341 萬票，依公投法規定『過關』。

編號 12 的「是否同意以民法婚姻規定以外之其他形式來保障同性別二人經營永久共同生活的權益」。公投結果同意票超過 640 萬票，不同意票逾 407 萬票，依公投法規定『過關』。

編號 13 的是前奧運國手紀政提出「以台灣為全名申請參加所有國際運動賽事及 2020 年東京奧運」。公投結果同意票超過 476 萬票，但不同意票逾 577 萬票，依公投法規定『不過關』，但仍引起大陸國台辦關注。

台中市長當選人盧秀燕，12/3 拜會中華奧運，爭取明年東亞青運復辦。中華奧會主席林道鴻允諾，據實轉達給東亞奧委會協會，本次選舉結果顯示，台中人期盼恢復舉辦東亞青運。

婚姻平權公投推動小組提出 2 項議題，編號分別為 14、15。

編號 14 的「是否同意以民法婚姻章保障同性別二人建立婚姻關係」。公投結果

同意票逾 338 萬票，不同意票逾 694 萬票，依公投法規定『不過關』。

編號 15 的『是否同意以「性別平等教育法」明定在國民教育各階段內實施性別平等教育，且內容應涵蓋情感教育、性教育、同志教育等課程』。公投結果同意票逾 350 萬票，不同意票逾 680 萬票，依公投法規定『不過關』。

另黃士修提出以核養綠公投案，編號 16『是否同意廢除電業法 95 條第 1 項「核能發電設備應於中華民國 114 年以前，全部停止運轉」之條文』。公投結果同意票逾 589 萬票，不同意票才超出 401 萬票，依公投法規定『過關』。蔡政府事後卻硬拗非核家園目標不變，但順應民意不限 2025 年達成。

### 三、民心趨向眾望所歸

蔡政府原定調本次選舉是改革與反改革的對決，兩年半來所施行一系列改革中，以清理歷史不當黨產、促進轉型正義為最受矚目，凍結救國團、婦聯會、中影等社團、公司財產。民意輿論清楚看出以改革為名，竭盡洪荒之力瓦解國民黨，可謂機關算盡權謀長期執政。但民主政治是主權在民，並非政黨所能操控，如果選民不能認同或支持時，則政權岌岌可危，隨時翻轉政黨就輪替。本次選舉結果揭曉，民進黨崩盤，民意翻江倒海迅速反撲，為政者豈可恣意濫權而不深切反省。

另蔡總統一上任，即強調不再依賴大陸市場，並大張旗鼓設立台農發公司積極拓展農漁產品，外銷到其他國外市場。兩年多來自誇已經成功賣到中東杜拜、帛琉、美國、新加坡等地，但查閱實際出口數量及金額卻相當有限，相較於國內生產總數量，讓農漁民根本無感。台農發公司在海外上述地區舉辦展售會，大多以優惠價格

或免費試吃方式，來吸引人潮，實績成果當然畫地自限，不言可喻。

今年許多颱風成形，但都繞過台灣分別向日本或菲律賓、港澳襲擊，因此國內蔬果生產在無風災破壞下，農產品大量豐收，相對暴露台農發公司無力協助拓展外銷市場來調節供需，導致生產過剩價格低落，農民心裡淌血，對政府由失望到絕望，積怨日深。

無獨有偶的是今年 823 南部豪大雨成災，高雄市是重災區之一，卻爆出路面五千多個「天坑」，許多汽、機車天雨路滑，不慎陷入坑洞人仰馬翻。此次豪大雨驗證出，高雄興建 15 座滯洪池只是治標不治本，讓人懷疑政府長年治水，大筆經費成效有限，淹水地區民眾更是怨聲載道，忿忿不平。

談到韓國瑜之所以能夠形成「韓流」海嘯，一方面取決於其個人性格的魅力，另一方面在於主要政見言簡意賅、切中時弊。當其服務於北農總經理時，其經營能力和氣魄，對員工激勵除發放大筆獎金外，鼓舞閱讀進修，提升士氣與職場文化。但反遭農委會徇私拔除，繼任者不聞不問蔬菜賤價拍賣，使菜農收入短少落淚哽咽，盤商受益，惱怒各地農會串連翻盤。

當 823 水患豪雨成災時，韓國瑜也撩起褲管勸災慰問災民；憐憫農漁產品滯銷，削價賠本無奈出貨；鼓舞北漂年輕人返鄉探親，迴應故鄉親情呼喚。人道關懷在網路聲量凝聚人氣，呼喚萬民造勢，旗海飄揚，澎湃洶湧。

經常憑藉「一瓶礦泉水和一碗滷肉飯」，放低身段與基層民眾無所不談，深入探索販夫走卒顛波困頓主因，體悟出唯有突破兩岸善意交流，創造「農漁直銷市場，陸客觀光消費」財富湧進港都，其悲天憫人智仁勇道義，贏得在地民氣相挺，可謂

是「究天人之際，通古今之變，成一家之言」。

當選情緊繃發展，三山(鳳山、旗山、岡山)造勢高潮迭起，迫使蔡政府全力回防負隅對抗，造成峰迴路轉，呈現五五波對峙，不到最後關頭，不知鹿死誰手。此時韓國瑜是「以一人之力救全黨」，對手則是「傾全黨之力救一人」，選民則是決定最後勝負的終結者。自古得民心者得天下，果然蔡政府挫敗，國民黨政治板塊崛起，應歸功於「韓流」外溢擴散，不愧是「時勢造英雄、英雄創時代」的風雲人物。

#### 四、以核養綠公投之後續效應

目前公投案有三種類型，包括立法創制、法律複決和重大政策。公投法第三十條規定，如果是法律、自治條例複決案，原法律、自治條例自公投通過公告之日第三天起失其效力。

本次十項公投議題，只有以核養綠屬於法律複決案，行政院 12/6 公告廢除電業法 95 條第 1 項條文，卻又硬拗非核家園目標不變，只是延後。引起黃士修擬提出 2020 年「現有核能機組延役和核四商轉」的公投議題。

公投通過編號 7 即每年至少降低 1% 燃煤發電量，迫使火力發電量年年緊縮。有立委順應民意提出『減碳無煤家園推動法』，冀望 2030 年淘汰燃煤發電。經濟部則聲稱若 2030 年無煤立法通過，那 2016 年才陸續商轉的林口電廠將認列損失 587 億元，大林電廠將損失 441 億元。立委應請經濟部說明，非核家園導致核四廠損失 3000 億元，怎會在意廢止燃煤廠損失 1000 億元？經濟部進一步辯解日、韓在 2030 仍繼續用燃煤發電，但是針對日、韓仍在 2030 年依賴核電又為何心虛，避而不談呢？

經濟部又深具信心強調到 2025 年可

達成 20GW 光電設置目標，卻不知太陽光電要看日照時數和季節。夕陽西下到旭日東昇時段，光電完全停歇。風電亦須要看風能狀況是否適足以推動葉片發電？這些看天吃飯，無法以人為方式調控發電量，如何滿足「穩定且可靠的」供電品質？顯然經濟部不了解：綠能裝置容量大小與發電量多寡是兩碼子事，裝置容量再大仍然須看當下情況而定，並不能保證達到預定發電量目標，所以會發生缺電危機，並非偶然，而是必然。

行政院透過發言人表示「以核養綠」公投效力，不包括強制要求政府將核一、二、三電廠延役，或讓核四商轉。輿論界普遍都認為公投其實是幫政府的能源政策解套，政府理應順勢重新評估能源政策，至少應停止將核燃料運到國外，甚至規畫核四解封存與進行燃料裝填，以及評估現有核電廠執照更新的可能性。

賴院長在 11/27 回應立委質詢時，表示尊重『以核養綠』公投結果，若以空污作為標準的前提下，最好的能源就是核電。原能會也說核電廠的本來期限是四十年，經過延役甚至最長可達八十年。但賴揆卻表示，公投「無涉核四」，顯然政府心態依然戀棧非核家園，核電政策尚未成功，仍須努力。

核電擁有諸多優點：佔地小、成本低、穩定可靠適宜做基載運轉，是再生能源所不能取代的。無空污維護全民健康，零排碳有效降低氣候變遷帶來的災害損失。12/3 聯合國氣候峰會要求各國政府落實全球均溫升幅控制在 1.5°C 以內，政府應積極合作推動減碳，重新研擬更務實的能源政策。

## 五、結語

鴻海董事長郭台銘在選舉當天，投完選票後受訪時表示，今年光是公投議題就有10個，坦言「感覺就是政府不想做決定，然後全部推給公投。」公投不能濫用，全世界都謹慎使用公投，太多議題反而失焦，如果每次選舉都搞幾個公投，導致民眾麻痺，隨意亂選，到時候公投的慎重、可信度都降低了。聽完郭董語重心長的感嘆，全民亦感同身受，無關宏旨或非關至要的公投議題應審慎排除。

本次九合一併入公投選舉，理應設計選舉與公投分隔兩室舉辦，使選舉與公投隊伍分散，兩路進行有如並聯電路，兩組電流通行分工合作。但中選會卻安排同一室舉辦，有如串聯電路，單組選舉活動進度緩慢，隊伍大排長龍等候2、3小時，對高齡或身障者不耐久站，中途離席棄投，民怨四起。隔日中選會主委陳英鈺坦承選務亂象，提出請辭獲准。檢討本次選舉確有疏失，但把主要原因歸咎於選務人員經驗不足、現場因應和處理行為有瑕疵，顯然避重就輕、推諉塞責。

行政院賴清德院長在11/29聽取中選會有關本次選舉併公投的選務工作檢討報告後表示，未來選舉合併公投舉辦勢將成為常態，請中選會重新檢討整體選務作業，並評估未來公投採「電子投票」的可行性。

評論台灣解嚴逾30年來，多次政黨輪替已成常態，但民進黨仍然咬定悲情事件，用現代律法討歷史公道，無視於30年來的選舉已多次選票勒索，此次高雄選情韓國瑜疾呼「高雄人已不欠民進黨了」，舊債追討終於破功。

今(2018)年地方選舉，是蔡政府執政兩年半來的期中考，顯然不及格。回顧選

舉結果仍是政黨政治持續演進，政策方針應以謀求人民安身立命為本，進而發展社會繁榮安定。所以淡化政治，拼經濟改善低收入是當務之急。

縱觀本次選舉平安和諧落幕，帶給全民成熟與明理的抉擇。雖仍有公投併大選投票所設計不良，選務不公等爭議外，到最後都還能維持君子風度，不使奧步或口出惡言，難能可貴，尚屬最能彰顯民主價值的一次大選。

呼籲政黨優質競爭與合作，化解藍綠更超越藍綠，胸懷包容與愛的雅量，促進多元族群融和，共同創造美好未來。就像韓國瑜強調的「我心中沒有圍牆，全部都是道路；我沒有敵人，整個高雄面向國際都是好朋友。」推倒心中高牆，唯有心中沒有仇敵，才能撫平社會傷痕，也才能實踐愛和包容的理念。以氣度和胸襟轉化競爭為合作，追求民主化過程中最引人為傲的和平真諦。