

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
中華民國一〇六年七月一日出版

發行者：官茂祥
 高等顧問：李河樟 李 群 許萬寶 張重湖
 簡文通 羅隆和
 顧問：許邦福 趙基弘 陳勇蒼
 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：陳仁忠 謝璧如
 地址：台北市羅斯福路三段 244 巷
 9 弄 1 號 2 樓
 E-mail : relayaso@ms68.hinet.net
 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

※版權所有※

◎本刊物圖文非經同意不得轉載◎

目錄索引

- ☆24 IEC 61850 電驛試驗 -----吳立成
- ☆34 以虛功補償提升含大型太陽光電之
電力系統之動態特性 -----
許家毓、楊凱勝、黃培華、柯侑寬
- ☆41 Multifrequency admittance-based
earth-fault protection(“MFADPSDE
#67YN”) -----孫振凱
- ☆49 QR CODE 應用於電驛乙太網路系
統研討及淺見 -----陳仁忠
- ☆54 匯流排保護電驛介紹 -----楊盛鐘
- ☆73 三相鼠籠式馬達狀態監測與診斷技
術之應用 ----鄭強、郭政謙、蕭弘清
- ☆81 談年金改革 -----李國楨

☆86	會務報導	
☆86	106 年下半年度教育訓練計劃	
☆87	中華民國電驛協會獎學金辦法	
☆88	中華民國電驛協會獎學金申請表	
☆89	中華民國電驛協會保護電驛專業檢測團體認證規範	
☆91	保護電驛專業檢測團體技術員工作證	
☆92	保護電驛專業檢測團體認證申請表	
☆93	保護電驛專業檢測團體證照	
☆94	中華民國電驛協會第八屆第四次理事暨監事聯席會議記錄	
☆97	中華民國電驛協會第八屆理監事暨理事長當選名單	
☆98	中華民國電驛協會會員捐款	
☆99	中華民國電驛協會第八屆第三次會員代表大會會議記錄	
☆102	中華民國電驛協會第八屆會員代表當選名單	
☆103	第八屆顧問及各委員名單	
☆104	中華民國電驛協會沿革	
☆105	中華民國電驛協會個人、團體入會申請書	
☆106	中華民國電驛協會永久團體會員名單	
☆107	中華民國電驛協會團體會員名單	
☆109	中華民國電驛協會永久個人會員名單	
☆110	中華民國電驛協會個人會員名單	
☆114	106 年 1 至 6 月新入會會員名單	
☆115	電驛協會會刊目錄總表	

廣 告 索 引	
封面	艾波比(股)公司
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	西門子(股)公司
4	勇帥電氣技術顧問(股)公司
5	計量企業有限公司
6	祥正電機(股)公司
7	亞力電機(股)公司
8	飛領電機顧問/飛羚電機工程(股)公司
9	育貿股份有限公司
10	維立電機(股)公司
11	丞宏電力(股)公司
12	台灣震江電力科技(股)公司
13	中友機電顧問(股)公司
14	攝陽企業(股)公司
15	大電力試驗中心
16	春源機電技術顧問有限公司
17	中華民國電機技師公會全國聯合會

IEC 61850 電驛試驗

IEEE Senior Member 吳立成

一. 前言

IEC61850的應用有點類似電信行業的3G應用，是對傳統發變電站自動化系統顛覆式的革新，IEC61850國際標準最主要特徵就是不同廠家之間的产品可以互聯互通，並可大大降低電纜使用量、施工時間、維護時間及人力等優勢。IEC 61850是面向未來的發變電站自動化技術標準，也是全世界關於電力自動化系統完整的通信標準體系，它甚至可能成為電力系統中從調度中心到發電廠、變電站、變電站內、配電自動化及智慧型電網之無縫通信標準。本文將偵對IEC61850電驛，說明如何試驗 IEC61850 中之 GOOSE 及 Sampled Value，並結合即時數位動態模擬系統，完成利用GOOSE信號作為輸電線閉迴路保護電驛復閉功能、閉鎖功能及作保護電驛POTT scheme測試等等應用。這種革命性的新架構將大大地提升，進入電力自動化行業的技術門檻、改善市場競爭環境、創造出新的市場需求，對未來的電力系統充滿了無線的可能。

二. 傳統保護電驛與 IEC61850 電驛測試簡介

在IEC 61850-6-1標準中變電所架構語言 (SCL, Substation Configuration Language)，是使用延展式語言 (XML, eXtensible Markup Language) 為基本架構；這些SCL檔案包括系統規範描述(SSD,

System Specification Description)檔、IED能力描述(ICD, IED Capability Description)檔、變電所架構描述(SCD, Substation Configuration Description)檔及IED架構描述(CID, Configured IED Description)檔。上述檔案架構有相同方法及格式，但依需求有不同的範疇。

IEC 61850標準是唯一的，不是將過去的串列連結碼重編到TCP/IP網路中，它是專門被設計用現代網路來做變電所操作，其重要特徵如：使用虛擬模型、所有資料多有名字、所有標地物名稱多是標準化、裝置是自我描述的、高階服務及標準化架構語言；另其主要好處有：消除採購時之規格相容性問題、降低安裝成本、降低擴充之成本、降低整合成本、降低商轉時之成本及實現新方案之能力。

IEC 61850在變電所保護及控制之試驗，和傳統保護電驛之試驗，有些相同，但也有些不同，在傳統IED電驛試驗必須實體接線(電壓、電流及接點訊號實體相接)，如圖1所示，而完全IEC 61850之IED電驛試驗時，則不用有電壓、電流及接點訊號等實體線與試驗設備相接，完全以軟體方式進行(透過網路線 LAN)，如圖2所示。如以現場盤面實際觀察，如圖3所示，我們發現傳統數位電驛盤與IEC 61850電驛盤之最大差異在於電纜線的減少，這也說明了為何智慧型電網能節能減碳之主因，傳統電驛之交流迴路及直流迴路皆是真實電壓與電流在電纜線上流動，一直在

消耗能量，但IEC 61850電驛盤流迴路及直流迴路皆是光纖之數位通信訊號，消耗能量非常有限；再者，其數位化特性，不需傳統網路，需要量測試驗工具去做維護(示波器、電錶及手工具等等)，我們只要使用平常的筆記型電腦，即可完成所有維護及試驗，如圖4所示，只要使用試驗軟體即可看其即時波形，有任何一光纖斷線，系統馬上告警，不像傳統電纜線，發生誤跳事件，才知電纜線絕緣不良有問題，真正能達成操電腦不操人之智慧型電網；我們也比對傳統IED電驛與IEC61850電驛之過流保護試驗時間比較，其結果如圖5所示。



圖3 傳統數位電驛盤與IEC 61850電驛盤之比較

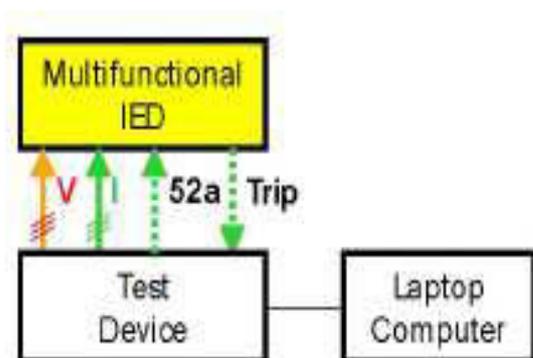


圖1 傳統電驛之功能性試驗



圖4 即時線上波形

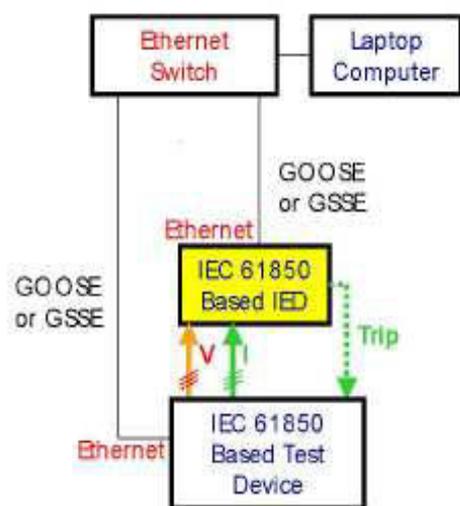
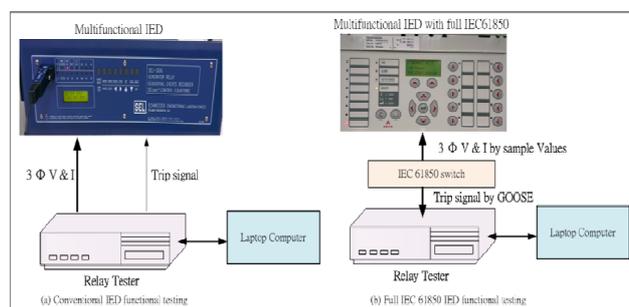


圖2 IEC 61850數位電驛之功能性試驗



Test conditions:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	average time
Hard Wiring	24.8ms	25.3ms	25.3ms	21.9ms	22.9ms	24.4ms	22.3ms	22.2ms	22.6ms	25.4ms	23.71ms
Goose (1RuggedCom switch)	23.0ms	22.1ms	22.8ms	21.3ms	22.2ms	24.7ms	23.2ms	22.9ms	24.4ms	23.4ms	23.00ms
Goose (2RuggedCom switches)	23.2ms	23.1ms	23.4ms	23.2ms	24.1ms	24.0ms	21.2ms	23.1ms	22.9ms	23.3ms	23.15ms
Goose (3RuggedCom switches)	21.7ms	24.4ms	24.4ms	21.5ms	22.7ms	22.7ms	21.9ms	22.6ms	24.1ms	23.8ms	23.34ms
Goose (4RuggedCom switches)	22.4ms	23.6ms	24.3ms	24.0ms	20.9ms	24.0ms	22.1ms	24.3ms	24.4ms	24.2ms	23.42ms

圖5 IED電驛與IEC61850電驛之過流保護試驗時間比較

三. RTDS 在 IEC61850 電驛閉環路測試簡介

RTDS (Real Time Digital Simulators) 即電力系統即時模擬器，是加拿大RTDS公司開發的即時全數位電力系統電磁暫態模擬類比裝置，也是重要的保護電驛裝置的閉環路測試工具，可以實現在即時大電力系統下同時對一個或多個電驛進行閉環路測試。傳統的測試方法是RTDS與電壓/電流放大器結合，進行保護電驛閉環路測試，這種方法在國內外都已被廣泛地應用。

目前，IEC61850在電力系統中應用日趨廣泛，因此RTDS適應技術發展需要，於2006年開發了GTNET網路通訊協定卡，由GTNET卡提供RTDS與智慧型電子設備IED (Intelligent Electrical Device) 的類比量採樣值和數位量通訊，以實現RTDS對IED設備閉環路測試的功能。RTDS的數位量通訊與各IED設備廠家一致，都遵循IEC61850-6協議；類比量採樣值通訊標準遵循IEC61850-9-2LE或IEC61850-9-2協議。

RTDS的遵循IEC61850-9-2LE的SV模型於2006年開發，通道配置為固定的4路電流和4路電壓。此採樣值通訊標準與北美和歐洲的電驛生產廠家均一致，因此RTDS在ABB、SEL、ALSTOM等北美和歐洲電驛的閉環路測試中已廣泛運用；但如遵循IEC61850-9-2協定，可配置為組網方式和點對點方式，通道亦可靈活配置，這與9-2LE協議有一定的差異，如果不熟悉電驛的配置軟體則會有一定的難度，所

以2013年之前RTDS對IEC61850電驛的閉環路測試中，經常採用將RTDS的輸出接至合併單元 (Merging Unit)，再由合併單元用通訊方式輸出至保護裝置。

為了更好地在IEC61850-9-2協定運用RTDS對數位化變電站設備進行閉環路測試，2013年RTDS新開發了針對IEC61850-9-2模型，該模型包含一個SV模型可以輸出24路通道 (包括Timedelay延時通道和電流電壓通道)，所有通道及參數均可靈活配置，完全可以適合電驛的閉環路測試要求，實現了用RTDS系統直接對IEC61850-9-2數位化保護和二次設備的閉環路測試。在2016年更推出GT FPGA-SV模組具有384通道之SV模型，可執行實際模擬整個數位化變電所之動態模擬。

四. 傳統保護電驛閉環路測試使用RTDS之建置

保護電驛是電力系統的醫生，其保護功能之良窳，攸關電力系統之運轉穩定，當系統正常運轉時能可靠不動作，系統發生故障時則能快速找出系統問題，並隔離故障，儘量維持系統之安全運轉。電力系統的飛速發展對保護電驛不斷提出新的要求，電子技術、電腦技術與通信技術的飛速發展又為保護電驛技術的發展注入了新的活力。因此，過去傳統之靜態試驗，已明顯不符目前之實用需求，如保護電驛的測試或故障分析過程中，有時需要考慮一些複雜因素(直流分量、CCVT失真、次同步諧波以及複雜短路故障)對保護的影響，故以保護電驛動態試驗，來彌補

靜態試驗之不足，使電驛之保護功能可發揮至極限。

傳統的保護電驛測試連接如圖6所示，將RTDS與電流/電壓放大器結合，即類比量由RTDS的模擬量輸出板（幅值±10V）至放大器，經放大器放大後輸出至保護裝置；數位量信號包括保護電驛輸出的跳脫和復閉信號以及RTDS輸出的開關狀態信號，由RTDS的數位量輸入輸出介面板和電驛分別完成輸入和輸出介面，圖7是RTDS對傳統保護閉環路測試的原理圖。

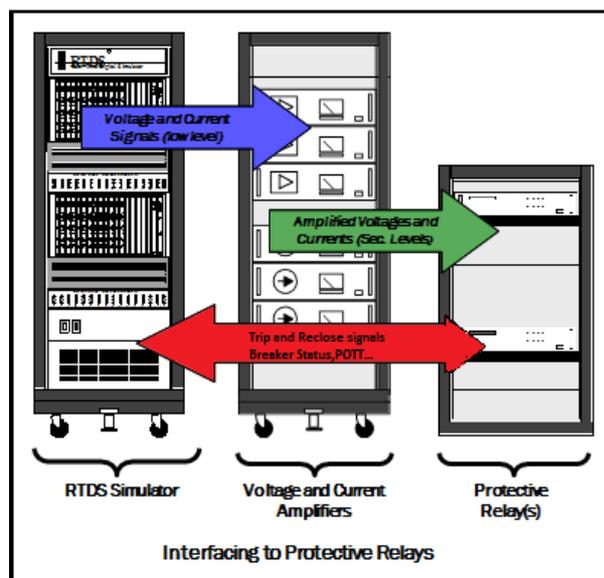


圖6 傳統保護閉環路測試連接圖

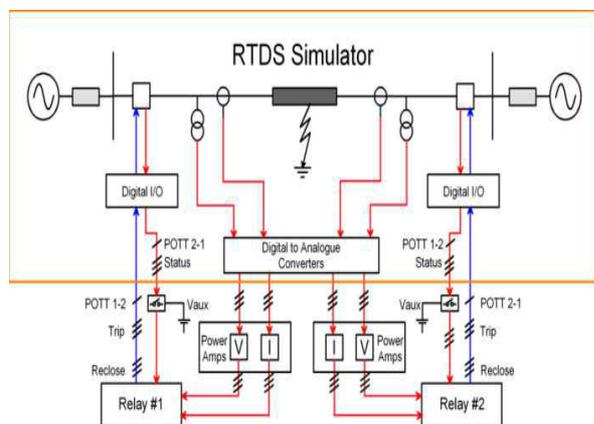


圖7 傳統保護閉環路測試電介面原理圖

五. IEC61850 標準的保護電驛閉環路測試使用 RTDS 之建置

IEC61850系列標準的全稱是變電站通信和網路系統（Communication Networks and Systems in Substations），它規範了資料的命名、資料定義、設備行為、設備的自描述特徵和通用配置語言，能夠實現不同廠家提供的智慧型電子設備IED之間的交互操作和無縫連接。RTDS側與保護IED之間數位量和類比量的通信由GTNET卡完成。

RTDS的GTNET卡（GT Network interface）是網路通訊協定介面卡，用於連接RTDS模擬所需要的多種不同的網路通訊協定；目前GTNET上支援5種協定：

GSE	IEC-61850 GOOSE/GSE
SV	IEC-61850-9-2(sampled values)
DNP3	Distributed Network Protocol
PMU	IEEE C37.118 Datastream Output
PLAYBACK	Playback of Large Data Sets

每塊GTNET卡可裝4種協定，啟動使用其中的一種協定，用於保護電驛閉環路測試的協定是數位量通訊協定GSE和類比量採樣值通訊協定SV。基於IEC61850的保護電驛測試接線如圖8所示，將RTDS的GTNET-GOOSE、GTNET-SV卡與電驛接於互聯的網路。RTDS中的電流電壓的採樣值信號由GTNET-SV通過網路送給電驛；電驛發出的跳脫、復閉信號通過網路由GTNET-GOOSE送至RTDS以控制斷路

器的開或關，RTDS的斷路器狀態信號由GTNET-GOOSE通過網路送給保護電驛，作為保護電驛斷路器位置的指示信號，圖9是RTDS對IED裝置閉環路測試的IEC61850介面原理圖。

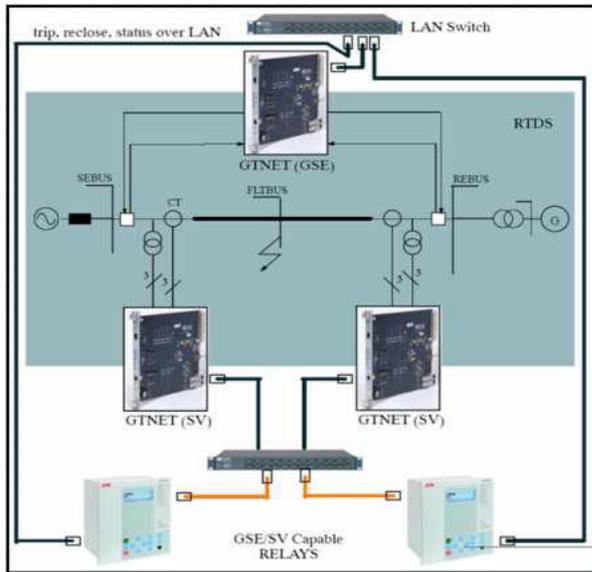


圖8 IEC61850保護設備閉環路測試連接圖

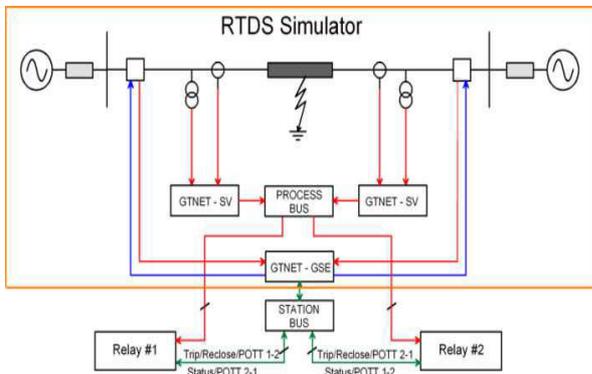


圖9 IEC61850介面原理圖

如圖10所示之GTNET-GSE模組，其係模組利用GTNET硬體提供IEC61850 GOOSE資訊的通訊。目前，在RTDS的模型庫中兩個GOOSE模型，分別為GOOSE-V2和GOOSE-V5。GOOSE-V5是2013年開發的新一代GOOSE模型。

GOOSE-V2 提供了 IEC 61850 GSSE/GOOSE的通訊協定，可以同時發佈4條GOOSE資訊，每條包括16條布林值（Boolean）資訊和2條類比量資訊；V2可以接收來自8個獨立IED的總共64條布林值資訊和8條類比量量資訊。

GOOSE-V5作為新一代模型，功能有了進一步的強化。一個GOOSE-V5 模型可以配置為4個IED，每個IED可以最大發佈64條GOOSE數位量資訊和接收來自16個外部IED的總共64條GOOSE數位量資訊。GOOSE資訊的資料類型可以配置為布林值（Boolean）、雙精度數值（Double Point）、整型數（Integer）或浮點型數（Float）。

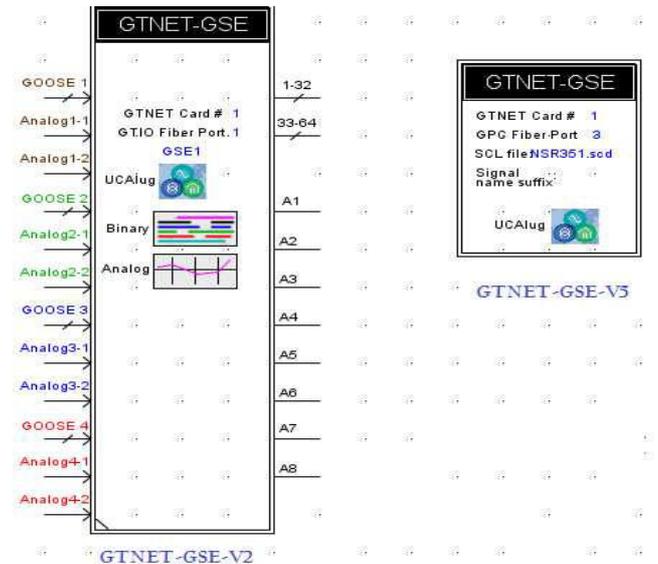


圖10 GTNET-GSE模組

再者GTNET-SV模組，如圖11所示，其利用GTNET硬體提供IEC61850-9-2 採樣值資訊的通訊。目前，在RTDS的模型庫中常用模型為SV-V5，通訊協定可以選配為61850-9-2IE協議或61850-9-2協議。

61850-9-2IE的SV模組可以配置發送1個或2個資料流程，每個資料流程為4個電流和4個電壓，採樣速率為80或256 Samples/Cycle；SV_v5元件也可以被配置為從一個合併單元（電流和電壓）接收採樣週期為80或256 Samples/Cycle的採樣資料。

61850-9-2的SV模組可以配置發送1資料流程，每個資料流程為1-24通道，通道類型可配置為時間延遲（Timedelay）、電流和電壓通道，所有通道的類型皆可靈活配置。採樣速率為80 Samples/Cycle。採樣值發送間隔離散值應小於10us。

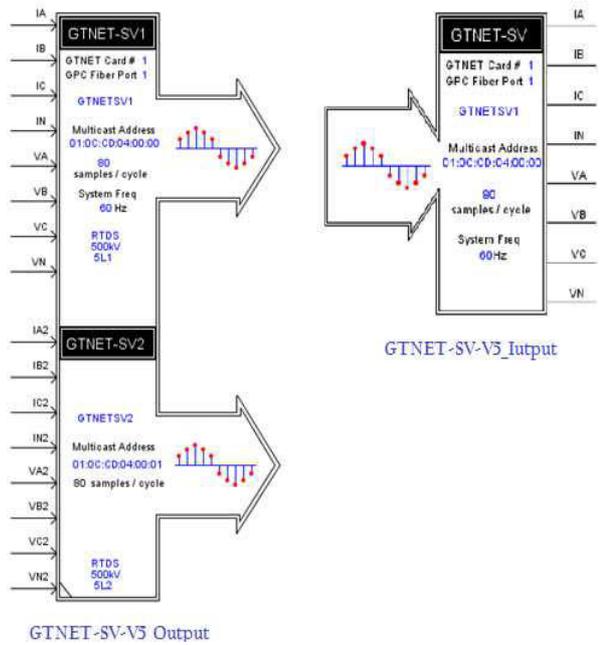


圖 11 GTNET-SV模組

利用圖10及11之GOOSE及SV模組，我們以RTDS建置IEC 61850-9-2數位式電驛的閉環路測試實例，直接對IEC 61850-9-2數位化保護和二次設備的閉環路測試，如圖12為對整體保護閉環路測試系統圖。

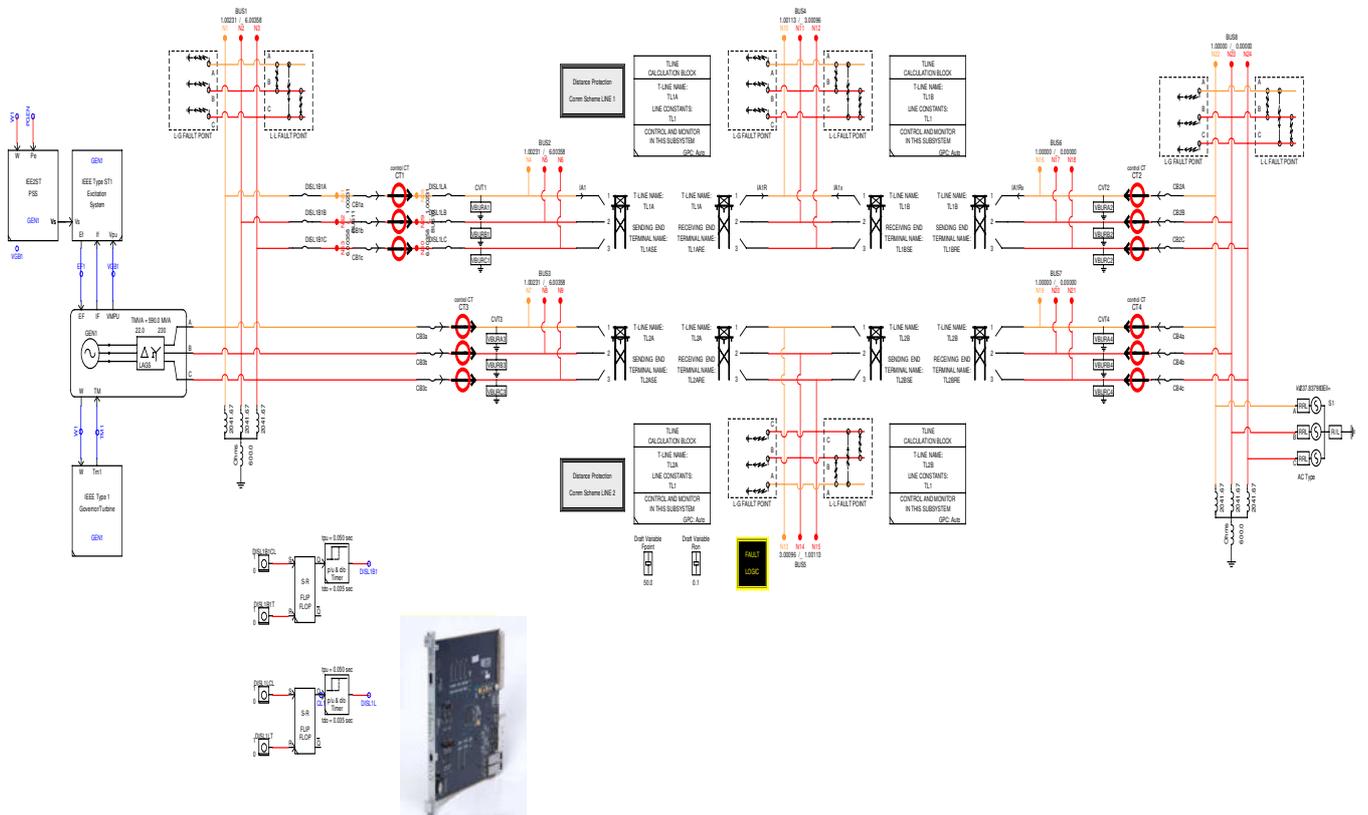


圖 12 保護閉環路測試系統圖

案例建置過程，我們使用RSCAD來產生SCD檔，如圖13所示，其內置的IEC61850系統組態工具，配置產生CID檔和SCD檔，IEC61850-6規定了專門用於變電站配置的語言，即SCL (Substation Configuration Description Language)語言。

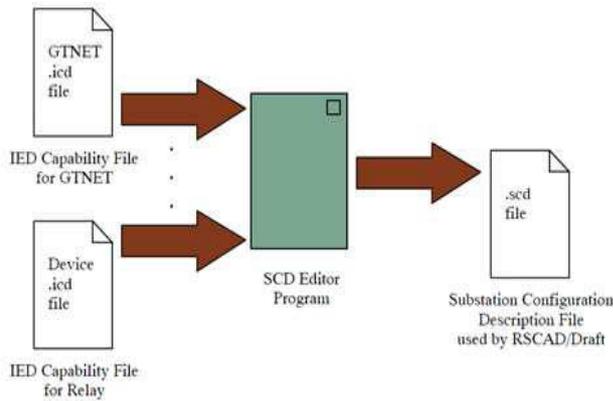


圖13 SCD檔編輯軟體原理圖

本次測試使用GOOSE-V5 模型，用內置IEC61850系統組態工具對GOOSE資訊進行配置（如圖14所示），其說明如下：

配置GTNET-GOOSE發佈的3條資訊，即開關A相、B相、C相的狀態信號（Breaker Status Signal），資料類型為Double。

GO.OUT_GGIO24.DPCSO.STVAL

A相開關狀態

GO.OUT_GGIO26.DPCSO.STVAL :

B相開關狀態

GO.OUT_GGIO28.DPCSO.STVAL :

C相開關狀態

根據數位化變電站系統圖的要求，設置GTNET-GOOSE的MAC位址，APPID，GoID，VLAN-ID等資訊，生成並輸出GSE.ICD文件。

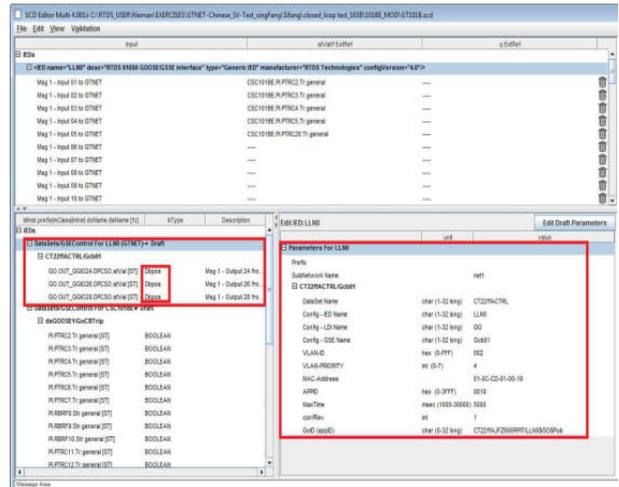


圖14 GTNET-GOOSE-ICD File配置

GTNET-GOOSE SCD 檔配置一般包括以下步驟，其說明如下：

獲得 IEC 61850-9-2 數位電驛檔 CSC101.scd內定義的GOOSE資訊配置，配置資訊如下所示：

CSC101BEPI/PTRC2: TRIP A

CSC101BEPI/PTRC3: TRIP B

CSC101BEPI/PTRC4: TRIP C

CSC101BEPI/PTRC5: TRIP 3 phase

CSC101BEPI/PTRC20: RECLOSE

導入CSC101.icd檔，在RTDS側用內置IEC61850系統組態工具對GTNET-GOOSE資訊進行配置如圖15所示，配置如下，

CSC101BEPI/PTRC2→GTNET_GOOSE_INPUT1

CSC101BEPI/PTRC3→GTNET_GOOSE_INPUT2

CSC101BEPI/PTRC4→GTNET_GOOSE_INPUT3

CSC101BEPI/PTRC5→GTNET_GOOSE_INPUT4

CSC101BEPI/PTRC20→GTNET_GO
OSE_INPUT5

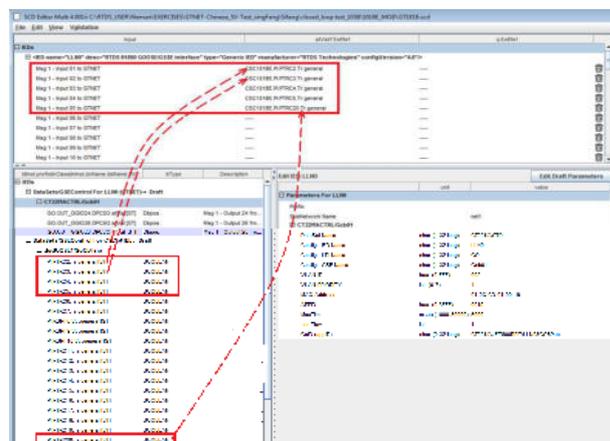


圖 15 GTNET-GOOSE-icd配置

在RTDS-Draft中，如圖16所示，將GTNET的輸入信號配置為開關的跳脫和復閉控制信號。

- IED1BI1 : bit 1 → A相跳脫;
- IED1BI1 : bit 2 → B相跳脫;
- IED1BI1 : bit 3 → C相跳脫;
- IED1BI1 : bit 4 → 三相跳脫;
- IED1BI1 : bit 5 → 復閉。

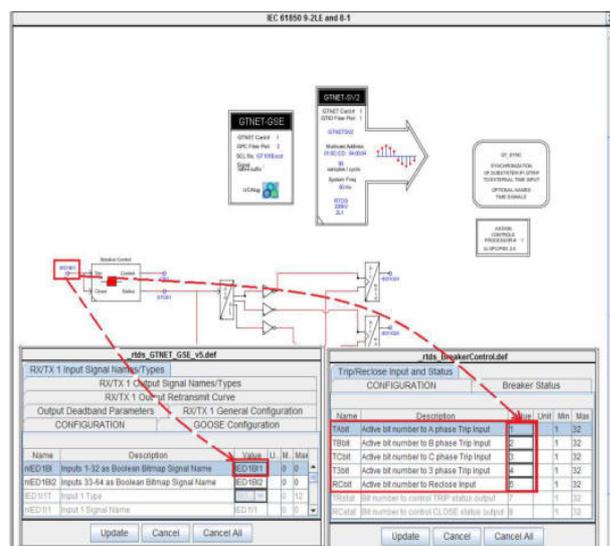


圖 16 GTNET-GOOSE 輸入信號配置

我們在GTNET-GOOSE的閉環路測試包括以下測試項目：

在 CSC101 側 導 入 GTNET-GOOSE-ICD配置生成的GSE.ICD檔，並作以下配置：

CSC101BEPI/PTRC2→GTNET_GOOSE_INPUT1→ CSC101的A相開關狀態

CSC101BEPI/PTRC3→GTNET_GOOSE_INPUT2→ CSC101的B相開關狀態

CSC101BEPI/PTRC4→GTNET_GOOSE_INPUT3→ CSC101的C相開關狀態

在RTDS內執行圖12之保護閉環路測試系統，並做以下測試：

保護跳A相開關脈衝，RTDS的A相開關跳開，保護電驛A相正確；

保護跳B相開關脈衝，RTDS的B相開關跳開，保護電驛A相正確；

保護跳C相開關脈衝，RTDS的C相開關跳開，保護電驛A相正確；

保護跳復閉脈衝，RTDS的開關復閉，保護電驛開關正確。

圖 17 為 Wireshark 捕獲的GTNET-GOOSE資訊以及報文格式：

A 相： 01 (開關開)；

B相： 10 (開關合)；

C 相： 01 (開關開)。

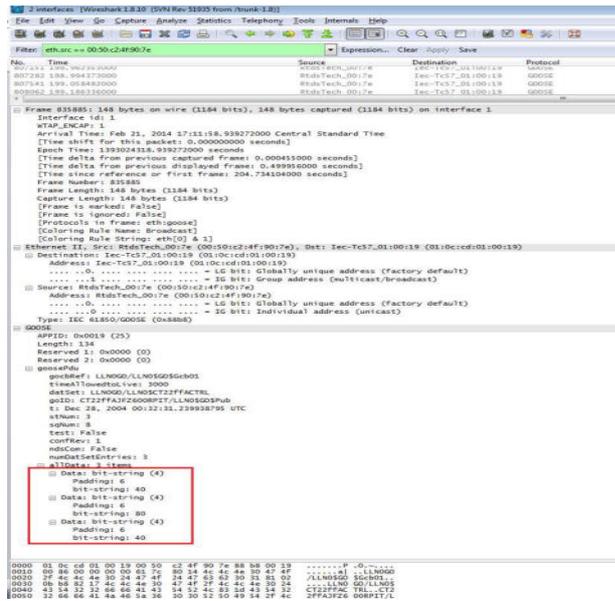


圖17 Wireshark捕獲的GTNET發出的GOOSE資訊及報文格式

再來說明其交流迴路(CT及PT)設定，本次測試使用SV-V5 model如配置圖18所示：

根據數位化變電站系統圖的要求，設置GTNET-SV的MAC位址，APPID，SV-ID，VLAN-ID等資訊。

將在RTDS內將建好的Case成功編譯後，SV模組會自動生成SV.IID，電驛側可進行手動簡單配置或將SV.IID導入配置。

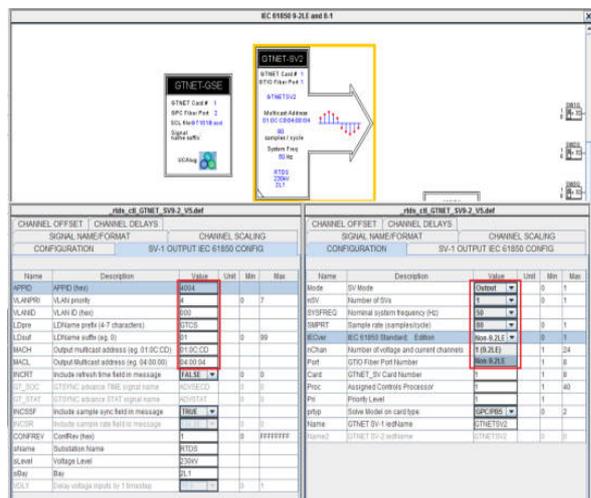


圖18 GTNET-SV配置圖

根據數位化變電站系統圖的要求，設置CSC101的MAC位址，APPID，SV-ID，VLAN-ID,使用的通道及通道數等資訊(如圖19)。

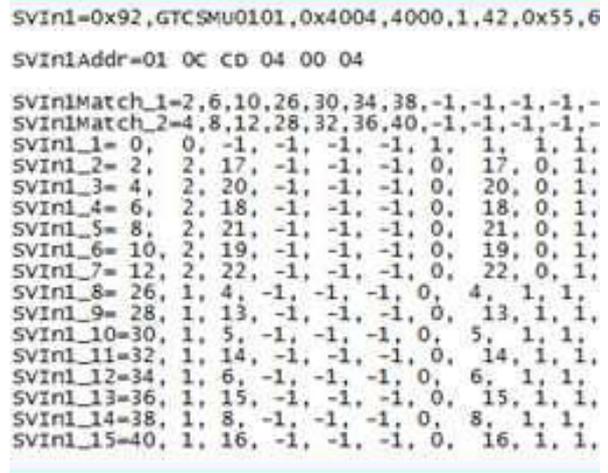


圖19 CSC101配置

GTNET-SV測試，在RTDS內執行建好的CASE，並做以下測試：

保護電驛顯示的三相電流和三相電壓與RTDS中輸出的量完全一致；

改變RTDS中輸出的電流值和電壓值，保護電驛顯示完全正確。

類比A相故障，B相故障，C相故障及相間故障，保護動作行為正確，測距正確。

圖20為RunTime畫面及的GTNET-SV應該發出的開關電流及電壓量；圖21為Wireshark捕獲的GTNET發出SV的資訊以及報文格式；圖22為電驛執行自動試驗時之故障跳脫波形及相關紀錄。

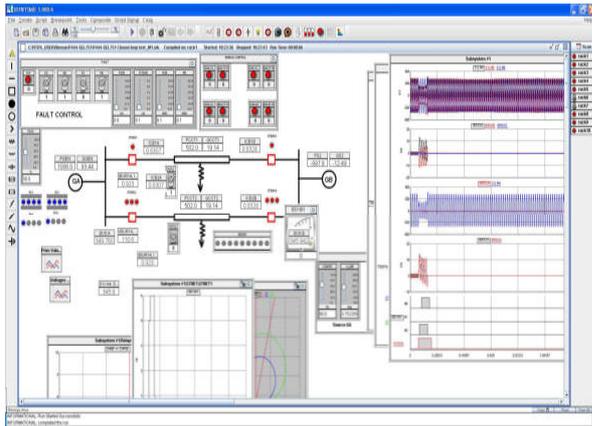


圖20 RunTime

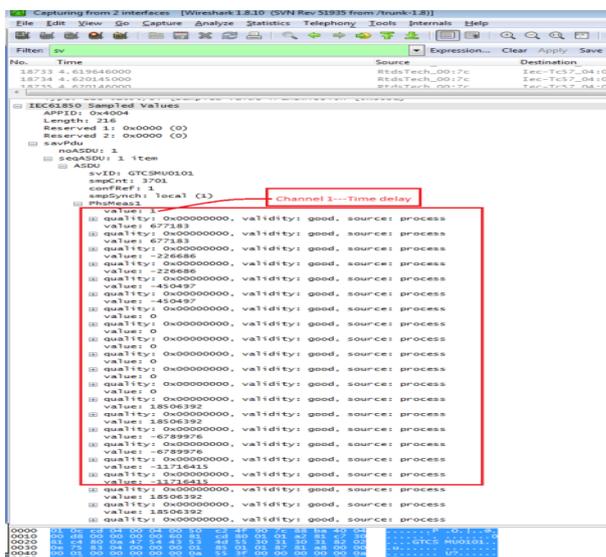


圖21 Wireshark捕獲的GTNET發出SV的資訊

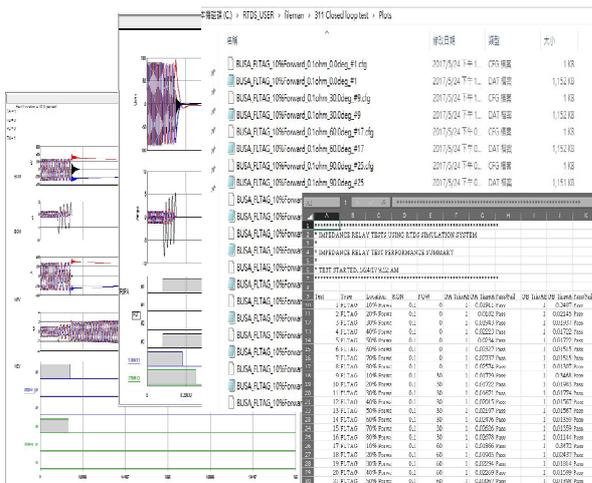


圖22 電驛執行自動試驗時之故障跳脫波形及相關紀錄

六. 結論

電力系統日趨複雜，常須加入新元件與設備，保護電驛之職責，即在保護這些設備與隔離故障，防止事故擴大，也因此本文經實例介紹利用 RTDS GTNET 與 IEC61850 保護電驛配置完成通訊測試的過程，表明 RTDS 不但可用於傳統電驛的閉環路測試，也可以作為對 IEC61850 標準保護電驛的閉環測試。

IEC 61850 標準是唯一的，不是將過去的串列連結碼重編到 TCP/IP 網路中，它是專門被設計用現代網路來做變電所操作，其重要特徵如：使用虛擬模型、所有資料多有名字、所有標地物名稱多是標準化、裝置是自我描述的、高階服務標準化架構語言；可消除採購時之不同廠家規格相容性問題、降低安裝成本、降低擴充之成本、降低整合成本、降低商轉時之成本及實現新保護方案之能力。

七. 參考文獻

- [1] RTDS Technologies Inc., RTDS User's Manual Set, Winnipeg, CA, 2012.
- [2] OMICRON electronics GmbH, OMICRON CMA 156 and CMS156 User's Manual
- [3] IEC 61850 Communication networks and systems in substations –All parts, Reference number IEC 61850-SER.

以虛功補償提升含大型太陽光電之電力系統之動態特性

Improvement of Dynamic Characteristics for Power System with Large Scale Photovoltaic Generation

國立臺灣海洋大學 許家毓、楊凱勝

國立臺灣海洋大學 黃培華、柯佺寬

摘要

近年來由於再生能源快速的成長，太陽能為主要發展的再生能源，對於滿足負載、改善能源短缺與環境保護等議題扮演著重要的角色。而臺灣的優勢地理條件具備太陽能開發與利用之潛能，可使能源應用朝向多元化發展。本文主要目的在於探討太陽光電併入電力系統之動態特性研究。本文以台電公司與民間未來發展之太陽光電為研究對象，研究系統為台灣電力系統，研究當系統發生三相短路故障時，太陽光電之動態特性，並研究太陽光電於照度變動下所引發的電壓變動情形。分析系統的動態特性並進一步探討應用虛功率補償裝置設備於系統動態特性改善相關議題。

關鍵詞：太陽光電、動態特性、電壓變動、照度變動、虛功率補償裝置

壹、前言

隨著國內經濟發展，對於石化能源的需求亦不斷增加，而當石化能源使用的同時，也會排放出大量的溫室氣體，進而導致地球暖化和氣候異常變遷現象越來越明顯[1]。台灣地區因缺乏自產能源，絕大部分的能源需仰賴國外進口，而為了減少對於石化能源的依賴且減少溫室氣體排放量，開發再生能源已成為必要且刻不容緩的事實。目前常見的再生能源有水力發電、風力發電、太陽能發電、地熱發電和潮汐發電等，而台灣地區所處的地理位置和其氣候特性為考量，發展太陽能(Solar Energy)發電較具有效益[2]。

本文主要探討將 514.5MW 之太陽光

電併入電力系統之動態特性研究，研究當系統與太陽光電分別發生三相短路故障時，太陽光電之動態特性，並研究太陽光電於照度變動下所引發的電壓與頻率變動之情形。最後研究太陽光於照度變動應用虛功率補償裝置於系統動態響應改善相關議題藉此提升電網供電品質[3],[4]。

貳、太陽光電發電介紹

一、太陽光電發電原理

太陽能電池是一種利用光能轉換成電能的裝置，又稱光伏電池(Photovoltaic Cell)。而在四價的純矽原子中依需求摻雜入不同的價電子，就會使原本的純矽原子帶有雜質，進而轉變成帶有施體（即提供自由電子的雜質原子）的 N 型半導體(N-type Semiconductor)與帶有受體（即提供電洞的雜質原子）的 P 型半導體(P-type Semiconductor)，將兩半導體結合而中間接面的地方就稱作 P-N 接面(P-N Junction)。而每一個太陽能電池都是一個 P-N 接面的半導體所組成，其工作原理是當太陽光照射到半導體表面時，帶正電之電洞往 P 型區移動，而帶負電之電子往 N 型區移動而產生電力電流，將光轉換成電能輸出。

如圖 1 所示，P 型半導體與 N 型半導體之結合面會形成內部電場，當太陽光照射在太陽能電池時，被光子激發出的電子流入 N 型半導體，而電洞則流入 P 型半導體，當外部有連接負載時，進而產生電流流動。若太陽能電池的輸出位置在開路狀態下，因有載子 (Carrier) 分別流入，使 P 型半導體表面鍍有導電層作為正極，而 N 型半導體表面鍍有導電層作為負極，故而使 P-N 兩端產生電位差，此電位差為太陽光照射時太陽能電池之開路電壓；若輸

出位置在短路狀態下，則會有與入射光強度成正比之短路電流流經[5],[6]。

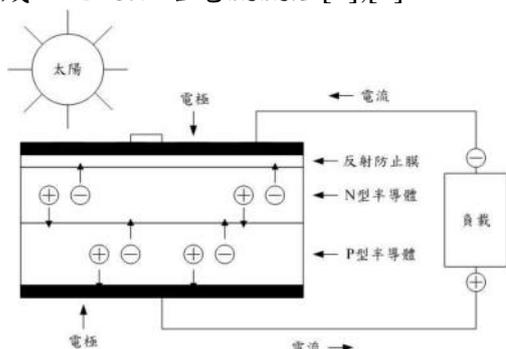


圖 1 太陽能電池發電原理

二、太陽光電發電模組

太陽能電池由許多 P-N 接面 (P-N Junction) 半導體所組成，利用光伏效應，將光能轉換成電能，如圖 2 所示，可以假設太陽能電池產生一獨立電流提供給負載，其中電流源 I_{pv} 用來表示太陽能電池所產之電流， D_i 表示為 P-N 接面二極體， R_s 和 R_{sh} 則是分別代表太陽能電池內部的等效串聯電阻 (R_s) 及並聯電阻 (R_{sh})， I_s 為太陽光電池中之逆向飽和電流。在考慮這些串聯電阻及並聯電阻後，其電流電壓關係以方程式 (1) 表示[7],[8]。

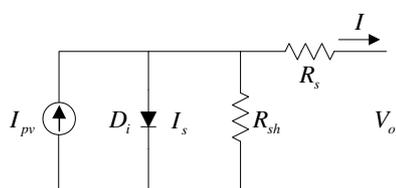


圖 2 太陽能板內部等效電路圖

$$I = I_{pv} - I_s \left[\exp\left(\frac{V_o + R_s I}{\alpha}\right) - 1 \right] - \frac{V_o + R_s I}{R_{sh}} \quad (1)$$

其中

- I ：太陽能板之輸出電流 (A)
- I_{pv} ：太陽能板之內部等效電流源 (A)
- I_s ：二極體之逆向飽和電流 (A)
- α ：二極體之理想因子 (eV)
- V_o ：太陽能板之輸出電壓 (V)

二極體之理想因子 (α) 的公式如方程式 (2) 所示：

$$\alpha = \frac{N_s n_i k T}{q} \quad (2)$$

其中

- N_s ：串聯太陽能電池個數
- n_i ：理想因子
- k ：波茲曼常數 (1.38×10^{-23} J/K)
- T ：太陽能電池之表面溫度 ($^{\circ}\text{C}$)
- q ：載子電荷量 (1.602×10^{-19} 庫倫)

此外，在 (1) 式中， I_s 為太陽光電池中之逆向飽和電流，其數學關係式如下方程式 (3) 所示[9]：

$$I_s = I_{sr} \left[\frac{T}{T_r} \right]^3 \exp \left[\frac{q E_g}{k} \left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (3)$$

其中

- T_r ：太陽能電池工作在標準測試條件下之表面溫度 ($^{\circ}\text{C}$)
- I_{sr} ：太陽能電池在溫度 T_r 時之逆向飽和電流 (A)
- E_g ：半導體材料跨越能隙時所需的能量 (eV)

太陽能電池所產生的電流 I_{pv} ，會隨著太陽的日照量和大氣溫度的變化而改變，如方程式 (4) 所示[10]：

$$I_{pv} = [I_{scr} + K_i (T - T_r)] \times \frac{G}{G_n} \quad (4)$$

其中

- I_{scr} ：太陽能電池工作在標準測試條件下之短路電流值 (A)
- K_i ：太陽能電池短路電流的溫度係數 ($\text{mA}/^{\circ}\text{C}$)
- G ：太陽的日照量 (W/m^2)
- G_n ：參考的日照量 ($1000 \text{W}/\text{m}^2$)

根據上述數學式可以瞭解太陽能板的物理特性，利用 (1) 式可以計算出太陽能電池模組之輸出功率，如下 (5) 式所示：

$$P_{\max} = V_o I = V_o \left\{ I - I_s \left[\exp \left(\frac{q}{kT} \times \frac{V_o + R_s I}{\alpha N_s} \right) \right] - \frac{V_o + R_s I}{R_{sh}} \right\} \quad (5)$$

參、太陽光電控制模型

本文採用電力系統分析軟體 PSS/E 內建之太陽光電模型進行系統模擬，其動態模型由四部分所組成，分別為：照度時間序列 (IRRAD 模組)、輸出 I-V 關係曲線、P-V 曲線 (PANEL 模組) 以及直/交流變流器 (PVEU 模組、PVGU 模組)，動態模組流程圖如圖 3 所示[11]-[13]。

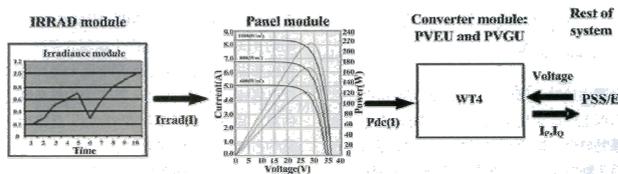


圖 3 太陽光電動態模組流程圖[9]

● 照度時間序列 (IRRAD 模組)：

在電力系統分析軟體 PSS/E 的太陽光電動態模型中，照度時間序列可以讓使用者改變太陽光電的日照輻射 (W/m^2) 的輸出量，並且最多可以定義 10 個時間點的日照輻射 (W/m^2)，而對於每個不同的時間點，日照輻射會以線性連續變化。

● 輸出 I-V 關係曲線、P-V 曲線 (PANEL 模組)：

在電力系統分析軟體 PSS/E 的太陽光電動態模型中，輸出 I-V 關係曲線、P-V 曲線，可以讓使用者控制太陽光電於不同日照輻射、溫度、端電壓的輸出範圍，並且可以控制在不同的日照輻射下太陽光電輸出的直流電源，而對於每個不同的時間點，日照輻射的輸出功率會以線性連續變化。

● 直/交流變流器 (PVEU 模組、PVGU 模組)：

在電力系統分析軟體 PSS/E 的太陽光電動態模型中，直/交流變流器使用的是稍加修改的 WT4 全功率變流器模型，WT4 原為風力發電機組的通用動態模型，用於模擬全功率變流器發電機型式之風力發電

機組。在經過修改後該模型在很大的程度上忽略了直流側的動態，而對於每個不同的時間點，日照輻射的照射量會以線性連續變化。

太陽光電所使用的 WT4 模型包含了 PVGU 模組與 PVEU 模組兩種。PVGU 模組主要的功能為當系統發生變化時，根據不同變化所需要的對應方式進行控制；PVEU 模組主要控制實功電流與虛功電流，而 PVEU 模組的虛功控制共有三種：匯流排電壓控制、功率因數控制、虛功控制。本文所採用的控制模式為功率因數控制模式，並將功率因數設定為 1，也就是在穩態操作下不會輸出虛功率。

肆、虛功率補償裝置

一、靜態虛功率補償器：

靜態虛功率補償器 (Static Var Compensator, SVC) 為一併聯於電力系統的靜態裝置，藉由調整輸出虛功率之方式，進而維持系統電壓穩定，不僅可以有效抑制敏感性負載所引起的電壓變動、閃爍、及高次諧波、提高功率因數、抑制系統振盪與強化系統等用途。若以電壓穩定為目的，建議 SVC 裝置於電壓變動最大負載端之匯流排上[14]。SVC 稱為靜態裝置，因 SVC 不像同步補償器由旋轉體為主要構成元件，SVC 屬於 FACTS 範疇之虛功率補償電源，主要為虛功控制元件所組成。

靜態虛功率補償器藉由在工作範圍內吸收或產生的虛功率，可以維持實際的電壓值。SVC 特性曲線於 y 軸左方為電容性；y 軸右方為電感性。當匯流排電壓小於 V_0 時，SVC 為電容性負載，輸出虛功率使匯流排電壓上升；當匯流排電壓大於 V_0 時，SVC 為電感性負載，吸收虛功率使匯流排電壓下降。

原系統工作點為系統特性曲線與 y 軸之交點，顯示系統匯流排電壓之變動範圍在 V_1 與 V_2 之間。當匯流排加入 SVC 之後，系統特性曲線與 SVC 特性曲線的交點即為新的工作點，交點 B 與 C 即為調整後的新工作點，此時電壓變動範圍在 V_3 與 V_4 之

間，相較於原系統，加入 SVC 後可將電壓控制於更小變動範圍內，匯流排電壓變化之幅度更小，使電力系統能更穩定地運轉，SVC 之特性曲線如圖 4 所示[15]。

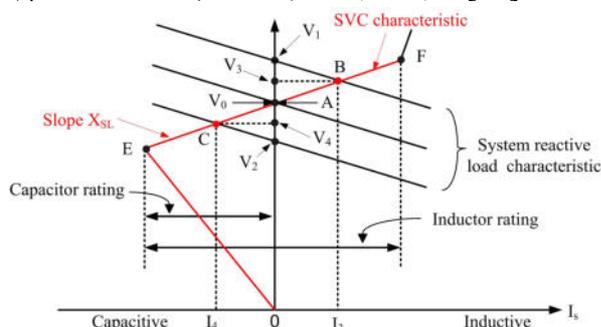


圖 4 靜態虛功率補償器 V-I 特性曲線

本文所採用之 SVC 為電力系統分析軟體 PSS/E 內建之 SVC 模型 CSVGN1[12]，其形式為 TSC-TCR 型之 SVC，模型方塊圖如圖 5 所示。

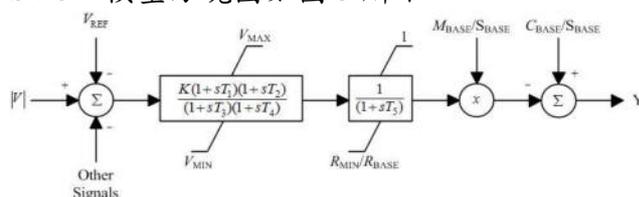


圖 5 靜態虛功率補償器模型方塊圖

二、靜態同步補償器：

靜態同步補償器(Static Synchronous Compensator, STATCOM)為彈性交流輸電系統中一種併聯補償設備，屬於可快速切換且可改變電網參數之設備。除了可直接控制線路電力潮流，同時也可以控制匯流排電壓與穩定電壓變動之問題，

STATCOM 併接在欲補償之地點，透過回授點實際電壓值與 STATCOM 設定之期望電壓值，計算出補償器輸出電壓大小。當補償點電壓與 STATCOM 輸出電壓不一致時，STATCOM 將經由濾波電感濾波並產生補償電流，對補償點注入補償電容性或電感性電流，達到電壓補償效果，其 V-I 特性曲線如圖 6 [16]所示，圖 6 的黑色虛線為 STATCOM 的特性曲線，而紅色的虛線表示 SVC 的特性曲線，由此可知，STATCOM 的 V-I 特性曲線不同於 SVC 之

V-I 特性曲線，STATCOM 的補償效果與範圍較 SVC 多。

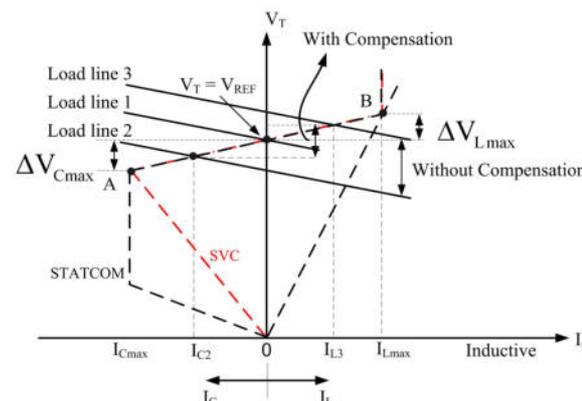


圖 6 靜態同步補償器之 V-I 特性曲線

本文使用之靜態同步虛功率補償器控制模型，採用 PTI 公司所開發之電力系統分析軟體 PSS/E 程式中之 STATCOM 模型 [12]，程式中 STATCOM 模型包含穩態模型與動態模型，其中動態模型之特性為一可連續改變虛功率之補償設備，亦即可包括電感性與電容性之操作，其模型方塊圖如圖 7 所示。

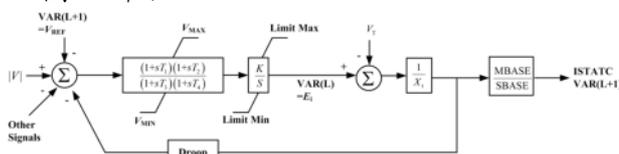


圖 7 靜態同步補償器模型方塊圖

伍、案例分析

本文研究台電尖峰系統，分析太陽光電裝置容量達到 514.5 MW 後對系統之影響。在本文的研究架構中，514.5 MW 的太陽光電皆經由變壓器升壓至 161 kV 後併入 2951 大鵬 H 匯流排，而 6.5 MW 的太陽光電則是經由變壓器升壓至 23.9 kV 後併接於 2259 中火 D 匯流排中。

針對不同型態之補償設備裝設於匯流排(55501)進行分析，主要使用的補償器有靜態虛功率補償器(STATCOM)與靜態同步補償器(SVC)兩種，補償設備裝設容量皆為 100MVA，如圖 8 所示，虛功率補償設備裝設於匯流排 55501。分析大鵬 H(2951)匯流排於 1 秒發生三相短路故障，其故障時間持續 0.0667 秒(約 4 個週

波) 後清除故障, 觀察補償設備併接點電壓、併接太陽光電端電壓, 比較不同型態補償設備加入前、後, 對於系統之改善情形。

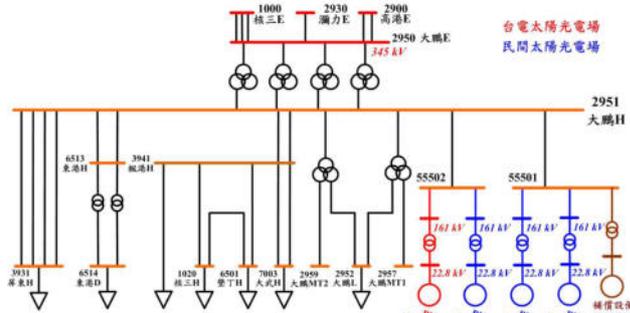


圖 8 大鵬區域太陽光電併接系統單線圖

圖 9 至圖 11 為大鵬 H(2951) 發生三相短路故障時, 裝設不同補償器觀察不同匯流排端電壓之響應。由圖中可觀察, 加入 STATCOM 對於系統匯流排電壓之補償效果優於 SVC, 在大鵬 H(2951) 發生故障時可看出所觀測之所屬匯流排之電壓暫態特性對故障發生時所補償之虛功量中有改善到電壓壓降之振幅使電壓因故障時所影響之壓降深度有改善, 由圖 9 至圖 11 中動態響應分析中可看出, 加入 STATCOM 或是加入 SVC 對故障瞬間所產生電壓壓降有改善。

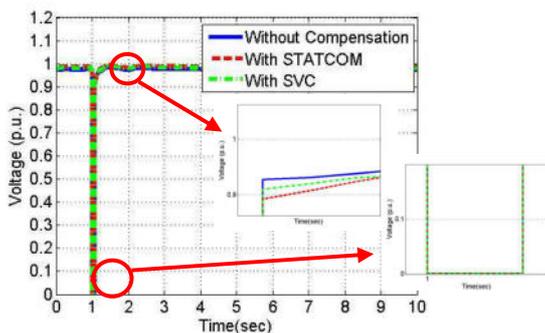


圖 9 三相短路故障時大鵬 H(2951) 電壓響應

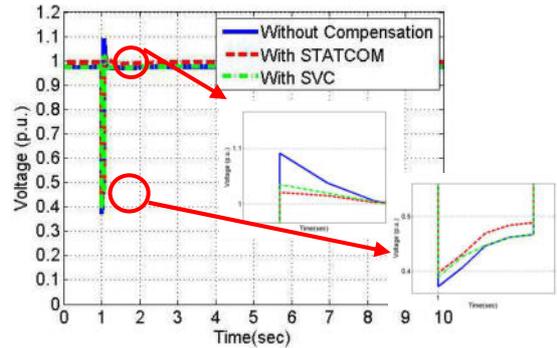


圖 10 三相短路故障時太陽光電之電壓響應

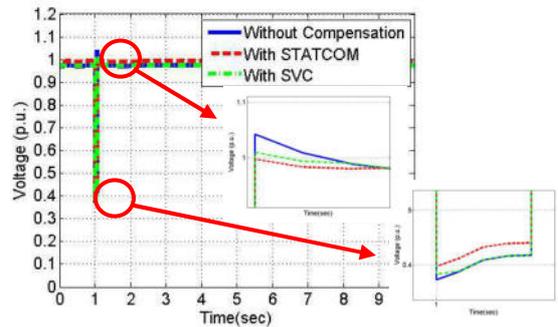


圖 11 大鵬 H 三相短路故障時匯流排 55501 電壓響應

- 比較不同補償器於照度變動時對系統補償效果：

當太陽光電於 10 秒由照度 $1000\text{W}/\text{m}^2$ 下降至 $0\text{W}/\text{m}^2$, 並於 30 秒後照度回復至 $1000\text{W}/\text{m}^2$ 之情境, 比較裝設 STATCOM、SVC 與未裝設補償設備對系統動態特性之影響。觀察圖 12 至圖 16 可發現, 當系統照度發生變化時, STATCOM 與 SVC 改善系統穩態工作點的電壓, 皆將系統電壓降低接近於 1.0p.u. , 而裝設 STATCOM 對於改善太陽光電及鄰近匯流排之虛功率與電壓響應優於 SVC。

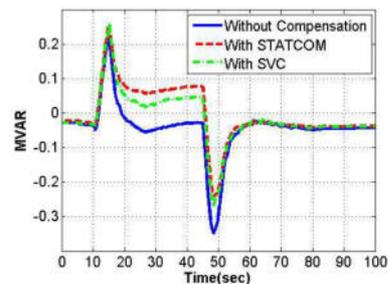


圖 12 太陽光電 (PVG 50001) 照度變動之虛功率

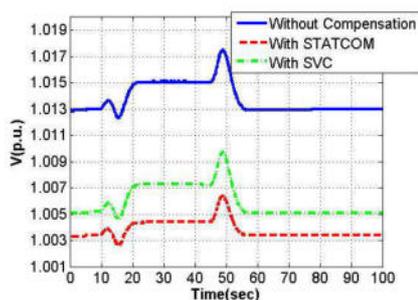


圖 13 太陽光電(PVG 50001)照度變動之電壓

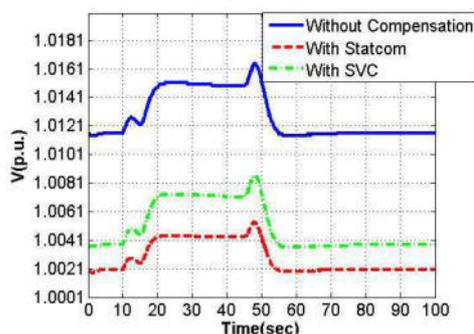


圖 14 匯流排(55501)於照度變動之電壓響應

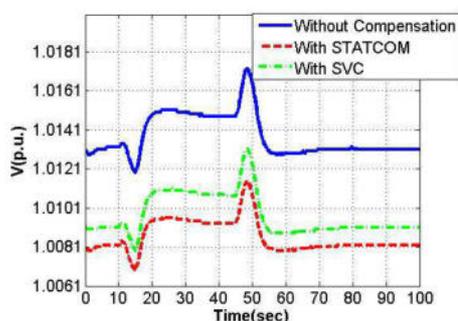


圖 15 匯流排(55502)於照度變動之電壓響應

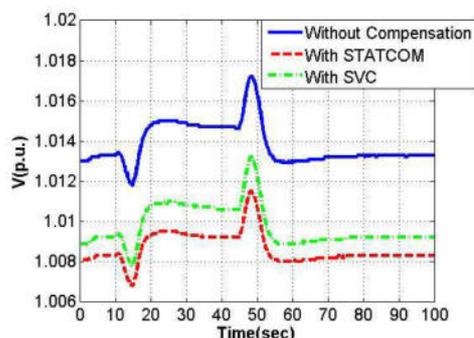


圖 16 大鵬 H(2951)於照度變動之電壓響應

陸、結論

本論文主要目的為探討太陽能發電系統併入電網後分析其動態特性並進行改善策略的探討。研究對象以含太陽能發電系統的臺灣電力系統為研究案例，探討系統發生三相短路故障與太陽光於照度變動應用虛功率補償裝置於系統動態特性之改善。研究結果可知應用虛功率補償設備 STATCOM 與 SVC 於改善系統動態特性之比較，分析系統發生三相短路故障與照度變動時，可得知 STATCOM 的改善效果優於 SVC。

誌謝

本研究承蒙科技部計畫編號 MOST 106-3113-E-194-001 之經費補助，特此感謝。

參考文獻

- [1] R. A. Hinrichs and M. Kleinbach, *Energy: Its Use and the Environment*, Thomson, 2006.
- [2] 經濟部能源局，2014 年能源產業技術白皮書，2014 年。
- [3] 李清吟、徐景河、吳元康、陳昭榮、劉文燦，“大型風場因風速擾動引起之系統衝擊改善”，第 31 屆電力工程研討會論文集，頁 2230-2235，2010 年。
- [4] M. Mirhosseini and V. G. Agelidis, “Performance of large-scale grid-connected photovoltaic system under various fault conditions,” in *Proceedings of the 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion*, Vol. 3, pp. 2815-2820, 2003.
- [5] 沈輝、曾祖勤，*太陽能光電技術*，五南出版股份有限公司，2008 年。

- [6] 李朱育、李敏鴻、李勝偉、柯文政、段生振、陳念波，圖解光電半導體元件，五南出版股份有限公司，2014年。
- [7] 吳財富、張健軒、陳裕愷，太陽能供電與照明系統綜論，全華科技圖書股份有限公司，2003年。
- [8] 蔡進譯，“超高效率太陽電池-從愛因斯坦的光電效應談起”，物理雙月刊，第27卷，第5期，頁701-719，2005年。
- [9] W. De Soto, S. A. Klein, and W. A. Beckman, “Improvement and validation of a model for photovoltaic array performance,” *Solar Energy*, Vol. 80, No. 1, pp. 77-88, 2006.
- [10] J. Crispim, M. Carreira, and R. Castro, “Validation of photovoltaic electrical models against manufacturers data and experimental results,” in *Proceedings of International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives*, pp. 556-561, 2007
- [11] Siemens Power Technology International, *PSS/E Program Application Guide Volume 2*, Version 33.4, 2013.
- [12] Siemens Power Technology International, *PSS/E Model Library*, Version 33.4, 2013.
- [13] B. Tamimi, C. Canizares, and K. Bhattacharya, “System Stability Impact of Large-Scale and Distributed Solar Photovoltaic Generation: The Case of Ontario, Canada,” *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, Vol. 4, No. 3, pp. 680-688, 2013.
- [14] S. Y. Arthit and N. Mithulananthan, “Comparison of shunt capacitor, SVC and STATCOM in static voltage stability margin enhancement,” *Journal of Electrical Engineering Education*, Vol. 41, No. 2, pp. 158-171, 2004.
- [15] J.P. Kundur, *Power System Stability and Control*, McGraw-Hill, 1994.
- [16] 王士瑩，靜態型無效電力補償器(STATCOM)應用實習，台灣電力公司，2008年。

Multifrequency admittance-based earth-fault protection

(“MFADPSDE #67YN”)

ABB Ltd, EPMV DA, Johnny Sun

Summary Description

The earth faults are the most common fault types in MV distribution networks, the demand for the quality and reliability of supply is constantly rising, ABB R&D develop the next-generation earth-fault protection function “MFADPSDE #67YN” to satisfy the requirement, the new function that covers all earth fault protection with high reliability and sensitivity, that is easy to use and very cost efficient, the detailed principle will description in the next section.

Function Description

There are a lot of way to detect the earth-fault, like Fundamental frequency based, Harmonic based and Transient based. MFADPSDE is based on multifrequency neutral admittance measurement, utilizing cumulative phasor summing technique. This concept provides extremely secure, dependable and selective earth-fault protection also in cases where the residual quantities are highly distorted and contain non- fundamental frequency components. The sensitivity that can be achieved is comparable with traditional fundamental frequency based methods such as I_{oCos} / I_{oSin} (DEFxPTOC #67N), Watt / Varmetric (WPWDE #32N) and neutral admittance (EFPADM #21YN), it also can be used as an

alternative solution to transient or intermittent function (INTRPTEF #67NIEF). The operation characteristic is defined by a tilted operation sector, which is universally valid for unearthed and compensated networks.

1. Operation principle

The operation of MFADPSDE can be described using a module diagram. All the modules in the diagram are explained in the following sections.

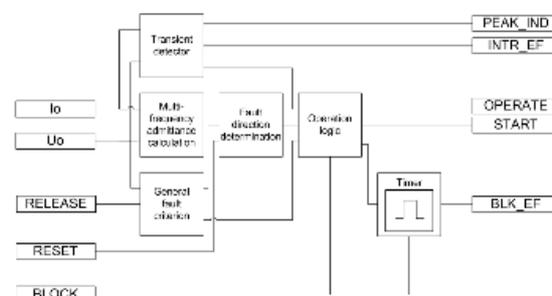


Figure 1 Functional module diagram

1.1 General fault criterion

The General fault criterion (GFC) module monitors the presence of earth fault in the network and it is based on the value of the fundamental frequency zero-sequence voltage defined as the vector sum of fundamental frequency phase voltage phasors divided by three, the formula is as below (equation 1).

$$\overline{U}_0^1 = (\overline{U}_A^1 + \overline{U}_B^1 + \overline{U}_C^1) / 3 \tag{1}$$

When the magnitude of U_0 exceeds setting Voltage start value, an earth fault is detected. The GFC module reports the exceeded value to the Fault direction determination module and Operation logic. The reporting is referenced as General Fault Criterion release.

1.2 Multi-frequency admittance calculation

Multi-frequency admittance calculation module calculates neutral admittances utilising fundamental frequency and the 2nd, 3rd, 5th, 7th and 9th harmonic components of residual current and zero-sequence voltage. The following admittances are calculated, if the magnitude of a particular harmonic in residual current and zero-sequence voltage are measurable by the IED.

Fundamental frequency admittance (conductance and susceptance)

The formula is as below (equation 2).

$$\overline{Y}_0^1 = \frac{3 \cdot \overline{I}_0^1}{-\overline{U}_0^1} = G_o^1 + j \cdot B_o^1 \tag{2}$$

- \overline{Y}_0^1 The fundamental frequency neutral admittance phasor.
- \overline{I}_0^1 The fundamental frequency zero-sequence current phasor $(= (\overline{I}_A^1 + \overline{I}_B^1 + \overline{I}_C^1) / 3)$
- \overline{U}_0^1 The fundamental frequency zero-sequence voltage phasor $(= (\overline{U}_A^1 + \overline{U}_B^1 + \overline{U}_C^1) / 3)$
- G_o^1 The fundamental frequency conductance, $\text{Re}(\overline{Y}_0^1)$
- B_o^1 The fundamental frequency susceptance, $\text{Im}(\overline{Y}_0^1)$

Harmonic susceptance

The formula is as below (equation 3).

$$\text{Im}[\overline{Y}_0^n] = \text{Im}\left[\frac{3 \cdot \overline{I}_0^n}{-\overline{U}_0^n}\right] = j \cdot B_o^n \tag{3}$$

where n = 2, 3, 5, 7 and 9

- \overline{Y}_0^n The nth harmonic frequency neutral admittance phasor.
- \overline{I}_0^n The nth harmonic frequency zero-sequence current phasor.
- \overline{U}_0^n The nth harmonic frequency zero-sequence voltage phasor.
- B_o^n The nth harmonic frequency susceptance, $\text{Im}(\overline{Y}_0^n)$

For fault direction determination, the fundamental frequency admittance and harmonic susceptances are summed together in phasor format. The result is the sum admittance phasor defined as below (equation 4).

$$\overline{Y}_{osum} = \text{Re}[\overline{Y}_0^1] + j \cdot \text{Im}\left[\overline{Y}_0^1 + \sum_{n=2}^9 \overline{Y}_0^n\right] = G_o^1 + j \cdot B_{osum} \tag{4}$$

1.3 Fault direction determination

If an earth fault is detected by the GFC module, the fault direction is evaluated based on the calculated sum admittance

phasor \overline{Y}_{osum} obtained from the Multi-frequency admittance calculation module. To obtain dependable and secure fault direction determination regardless of the fault type (transient, intermittent, restriking, permanent, high or low ohmic), the fault direction is calculated using a special filtering algorithm, Cumulative Phasor Summing (CPS) technique. This filtering method is advantageous during transient, intermittent and restriking earth faults with dominantly non-sinusoidal or transient content. It is equally valid during continuous(stable) earth faults.

The concept of CPS is illustrated in Figure 2.

It is the result of adding values of the measured sum admittance phasors together in phasor format in chronological order during the fault. Using the discrete sum admittance phasors \bar{Y}_{osum} in different time instants (t1...t5), the corresponding accumulated sum admittance phasor \bar{Y}_{osum_CPS} is

calculated (equation 5). This phasor is used as directional phasor in determining the direction of the fault.

$$\begin{aligned} \bar{Y}_{osum_CPS}(t_1) &= \bar{Y}_{osum}(t_1) \\ \bar{Y}_{osum_CPS}(t_2) &= \bar{Y}_{osum}(t_1) + \bar{Y}_{osum}(t_2) \\ \bar{Y}_{osum_CPS}(t_3) &= \bar{Y}_{osum}(t_1) + \bar{Y}_{osum}(t_2) + \bar{Y}_{osum}(t_3) \\ \bar{Y}_{osum_CPS}(t_4) &= \bar{Y}_{osum}(t_1) + \bar{Y}_{osum}(t_2) + \bar{Y}_{osum}(t_3) + \bar{Y}_{osum}(t_4) \\ \bar{Y}_{osum_CPS}(t_5) &= \bar{Y}_{osum}(t_1) + \bar{Y}_{osum}(t_2) + \bar{Y}_{osum}(t_3) + \bar{Y}_{osum}(t_4) + \bar{Y}_{osum}(t_5) \\ &\dots\dots\dots(5) \end{aligned}$$

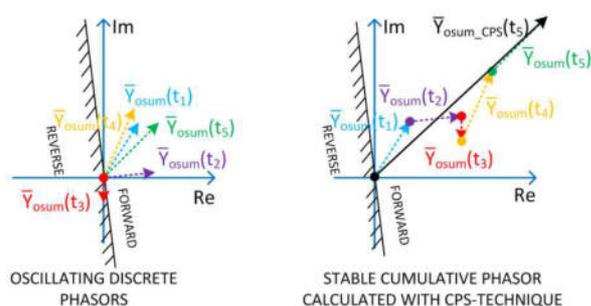


Figure 2 Principle of Cumulative Phasor Summing (CPS)

The CPS technique provides a stable directional phasor quantity despite individual phasors varying in magnitude and phase angle in time due to a non-stable fault type such as restriking or intermittent earth

fault. This is also true for harmonic components included in the sum admittance phasor. Harmonics have typically a highly fluctuating character.

In Figure 3, phasors 1...4 demonstrate the behavior of the directional phasor in different network fault conditions.

- Phasor 1 depicts the direction of accumulated sum admittance phasor in case of earth fault outside the protected feeder (assuming that the admittance of the protected feeder is dominantly capacitive). The result is valid regardless of the fault type (low ohmic, high(er) ohmic, permanent, intermittent or restriking). In

case harmonic components are present in the fault quantities, they would turn the phasor align to the negative $Im(\bar{Y}_o)$ axis.

- Phasor 2 depicts the direction of accumulated sum admittance phasor in case of earth fault inside the protected feeder when the network is unearthed. The result is also valid in compensated networks when there are harmonic components present in the fault quantities (typically low ohmic permanent or intermittent or restriking fault). In this case, the result is valid regardless of network's actual compensation degree. Harmonics would turn the phasor align to the positive $Im(\bar{Y}_o)$ axis.

- Phasors 3 and 4 depict the direction of accumulated sum admittance phasor in case of higher-ohmic earth fault in the protected feeder without harmonics in the fault quantities when the network is compensated. As no harmonic components are present, the phase angle of the accumulated phasor is determined by the compensation degree of the network. With

high degree of overcompensation, the phasor turns towards the negative $\text{Im}(\bar{Y}_o)$ axis (as phasor 4).

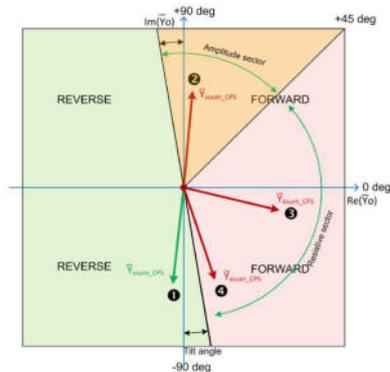


Figure 3 Directional characteristic of MFADPSDE

1.4 Earth-fault protection in compensated networks

• Earth-fault protection measures during healthy state, the residual current and voltage are (typically) very small. (Illustrated in Figure 4)

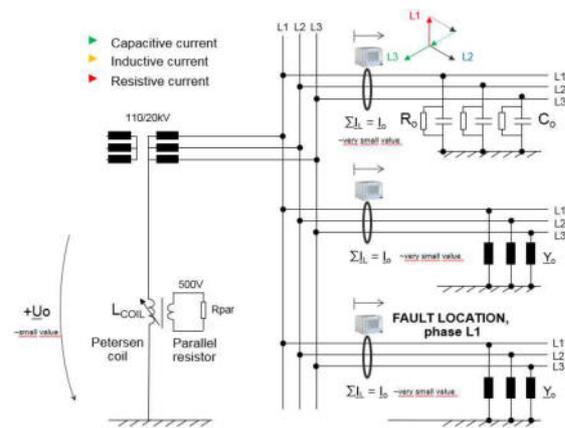


Figure 4 Earth-fault protection measures during healthy state

• Earth-fault protection measures during fault, Residual current I_o measured at the beginning of a healthy feeder equals the earth fault current produced by the phase-to-earth admittances of that feeder,

practical magnitude depends on the cable km in feeder. It is dominantly capacitive and flows from line towards busbar. (Illustrated in Figure 5, Figure 6)

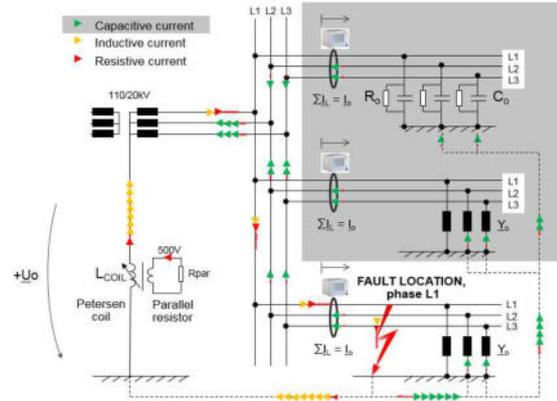


Figure 5 Earth-fault protection measures during fault (HEALTHY FEEDER)

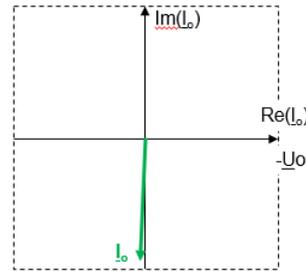


Figure 6 I_o phasor of HEALTHY FEEDER during earth-fault

• Residual current I_o measured at the beginning of a faulty feeder is affected by the inductive current of the coil (ASC) i.e. compensation degree. The inductive current of the coil (ASC) is ONLY seen in the faulty feeder, also the additional resistive current of the parallel resistor is only measured at the faulty feeder.

(Illustrated in Figure 7)

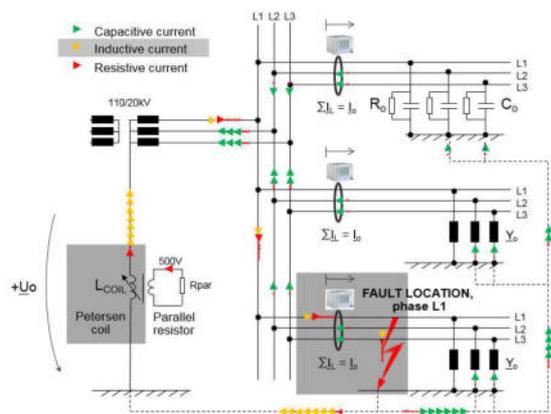


Figure 7 Earth-fault protection measures during fault (FAULT FEEDER)

- Coil is disconnected and the network becomes unearthed network (isolated neutral), the earth-fault current is determined by the total phase-to-earth admittances (capacitances) of the network. In unearthed network residual current I_o measured at the beginning of a faulty feeder is dominantly capacitive.

It is due to phase-to-earth admittances of the “background network”. It flows from busbar towards line.

(Illustrated in Figure 8, Figure 9)

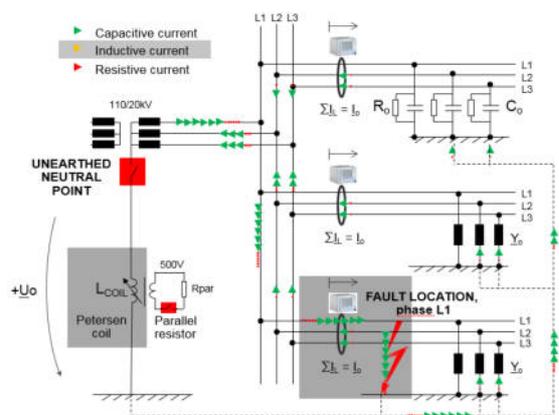


Figure 8 Earth-fault protection measures during fault (Coil is disconnected and the network becomes unearthed network)

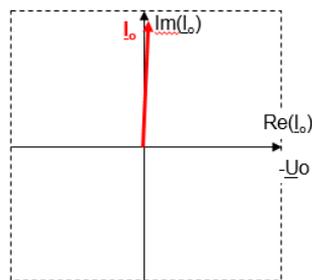


Figure 9 I_o phasor of FAULT FEEDER during earth-fault (Coil is disconnected and the network becomes unearthed network)

- In unearthed network residual currents I_o measured at the beginning of a faulty and healthy feeders are both dominantly capacitive, but their direction is opposite ($\sim 180^\circ$ apart), it is easy to discrimination based on the reactive part of I_o . (Illustrated in Figure 10)

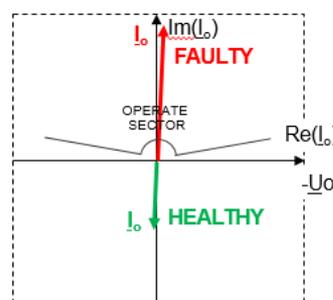


Figure 10 I_o phasor status during earth-fault In unearthed network

- If compensation coils is connected and the coil current is gradually increased, phasor will gradually turns in same direction as in healthy feeder, when it become to overcompensated state: earth-fault current has inductive and resistive component. In compensated network residual currents I_o measured at the beginning of a faulty and healthy feeders are seen similarly, the reactive part. Discrimination must be based

on the resistive part, reliable detection requires typically additional resistive component from parallel resistor.

(Illustrated in Figure 11, Figure 12)

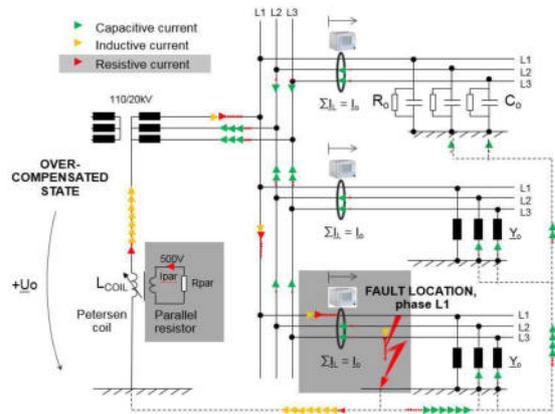


Figure 11 Earth-fault protection measures during fault (compensation coils is connected and become to overcompensated state)

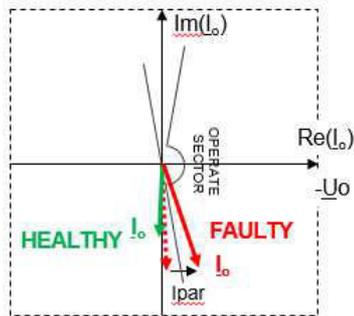


Figure 12 I_0 phasor of Earth-fault protection measures during fault in overcompensated state

2. Transient detector

The Transient detector module is used for detecting transients in the residual current and zero-sequence voltage signals. Whenever transient is detected, this is indicated with the PEAK_IND output. When the number of detected transients equals or exceeds the Peak counter limit setting (without the function being reset, depending

on the drop-off time set with the Reset delay time setting), INTR_EF output is activated. The operation of the transient detector is illustrated in Figure

13.

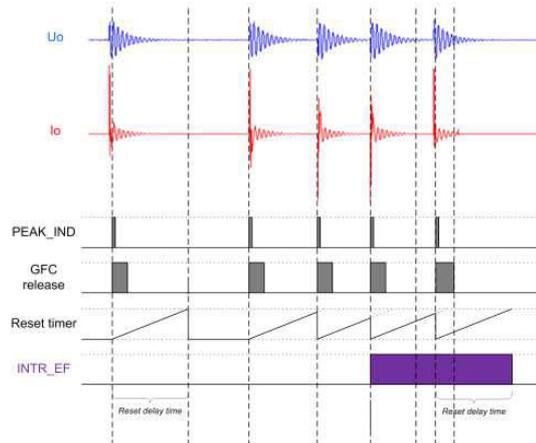


Figure 13 transient by PEAK_IND output and detection of restriking or intermittent earth fault by INTR_EF output (setting Peak counter limit = 3)

2.1 Operation logic

MFADPSDE supports three operation modes selected with setting Operation mode: “General EF”, “Alarming EF” and “Intermittent EF”.

- Operation mode “General EF” is applicable in all kinds of earth faults in unearthed and compensated networks.

In “General EF” mode, the operate timer is started in the following conditions.

(Illustrated in Figure 14)

- Earth-fault is detected by the General Fault Criterion (GFC)
- Fault direction equals *Directional mode* setting
- Estimated stabilized fundamental frequency residual current exceeds the set *Min operate current level*

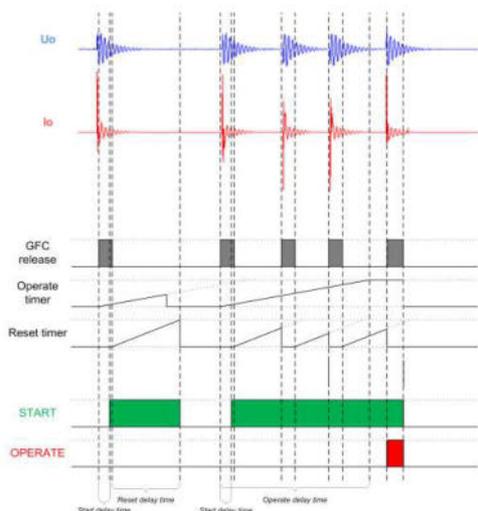


Figure 14 Operation in “General EF” mode

• Operation mode “Alarming EF” is applicable in all kinds of earth faults in unearthed and compensated networks, where fault detection is only alarming.

In “Alarming EF” mode, the operate timer is started during the following conditions.

(Illustrated in Figure 15)

- Earth-fault is detected by the General Fault Criterion (GFC)
- Fault direction equals *Directional mode* setting
- Estimated stabilized fundamental frequency residual current exceeds the set *Min operate current* level

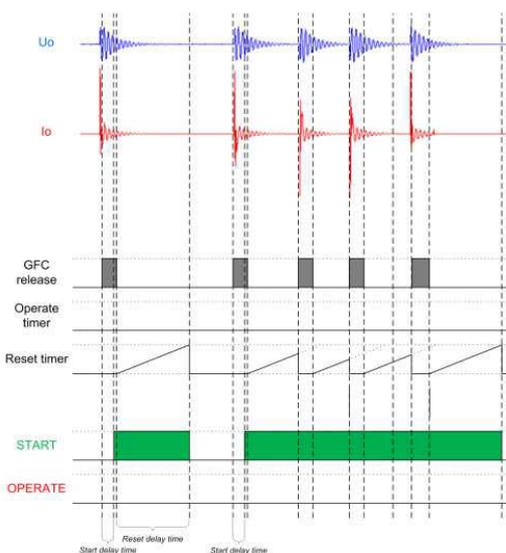


Figure 15 Operation in “Alarming EF” mode

• Operation mode “Intermittent EF” is dedicated for detecting restriking or intermittent earth faults. A required number of intermittent earth fault transients set with the Peak counter limit setting must be detected for operation.

In the “Intermittent EF” mode, the operate timer is started when the following conditions are met.

(Illustrated in Figure 16)

- Transient is detected by the Transient detector (indicated with PEAK_IND output)
- Earth fault is detected by the GFC at time of transient
- Fault direction equals *Directional mode* setting
- Estimated stabilized fundamental frequency residual current exceeds the set *Min operate current* level

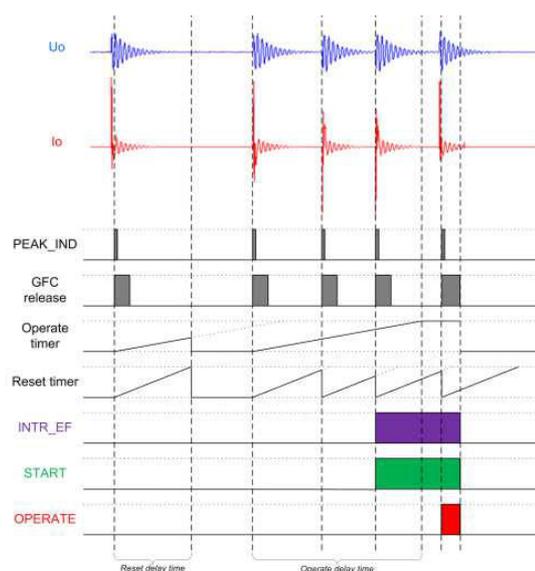


Figure 16 Operation in “Intermittent EF” mode, Peak counter limit = 3

Summary

MFADPSDE provides selective directional earth-fault protection for high-impedance earthed networks, that is, for compensated, unearthed and high resistance earthed systems. It can be applied for the earth-fault protection of overhead lines and underground cables.

The operation of MFADPSDE is based on multi-frequency neutral admittance measurement utilizing cumulative phasor summing technique. This concept provides extremely secure, dependable and selective earth-fault protection also in cases where the residual quantities are highly distorted and contain non-fundamental frequency components. MFADPSDE is well-suited for compensated networks where measurement signals may have such characteristics, for example, during intermittent earth faults.

MFADPSDE is capable of operating with both low ohmic and higher ohmic earth faults, where the sensitivity limit is defined with residual overvoltage condition. This allows earth faults with several kilohms of fault resistance to be detected in a symmetrical system. The sensitivity that can be achieved is comparable with traditional fundamental frequency based methods such as the IoCos/IoSin (DEFxPTOC), Watt/Varmetric (WPWDE) and neutral admittance (EFPADM).

MFADPSDE is capable of detecting faults with dominantly fundamental frequency content as well as transient, intermittent or restriking earth faults. MFADPSDE can be used as an alternative solution to transient or intermittent function INTRPTEF.

MFADPSDE supports Fault direction indication in operate and non-operate direction which may be utilized during fault location process. The inbuilt transient detector can be used to identify restriking or intermittent earth faults, and discriminate them from permanent or continuous earth faults.

The direction of MFADPSDE can be set as forward or reverse. The operation characteristic is defined by a tilted operation sector, which is universally valid both in unearthed and compensated networks. The tilt of the operation sector should be selected based on the measurement errors of the applied residual current and voltage measurement transformers.

The operating time characteristic is according to the definite time (DT).

The function contains a blocking functionality to block function outputs, timers or the function itself.

MFADPSDE supports both tripping and alarming mode of operation. For alarming earth-fault protection application, the function contains a dedicated operation mode.

MFADPSDE provides reliability and sensitivity of protection with a single function. This enables simpler implementation of protection schemes as separate fault type dedicated earth-fault functions and coordination between them are not necessarily required. Other advantages of MFADPSDE includes versatile applicability, good selectivity, good sensitivity and easy setting principles.

One instance (stage) of MFADPSDE function is available.

Reference:

1. ABB Document - 1MRS757644
2. ANSI/IEEE C37.2
3. EARTH FAULT SEMINAR, 2017 by Ari Wahlroos. Senior Principal Engineer, ABB Oy, Finland

QR CODE 應用於電驛乙太網路系統研討及淺見

供電處 陳仁忠

一、何謂 QR CODE? [1]

QR碼(全稱為快速響應矩陣碼;英語:Quick Response Code)是二維條碼的一種,於1994年由日本DENSO WAVE公司發明。QR來自英文Quick Response的縮寫,即快速反應,因為發明者希望QR碼可以讓其內容快速被解碼。QR碼使用四種標準化編碼模式(數字,字母數字,字節(二進制)和漢字)來存儲資料。QR碼最常見於日本,為目前日本最流行的二維空間條碼。QR碼比較普通條碼可以儲存更多資料,也無需要像普通條碼般在掃描時需要直線對準掃描器。因此其應用範圍已經擴展到包括產品跟蹤,物品識別,文件管理,營銷等方面。

QR碼呈正方形,常見的是黑白兩色。在3個角落,印有較小,像「回」字的正方圖案。這3個是幫助解碼軟體定位的圖案,使用者不需要對準,無論以任何角度掃描,資料仍然可以正確被讀取。

日本QR碼的標準JIS X 0510在1999年1月發布,而其對應的ISO國際標準ISO/IEC18004,則在2000年6月獲得批准。根據Denso Wave公司的網站資料,QR碼是屬於開放式的標準,QR碼的規格公開,雖由Denso Wave公司持有的專利權益,但不會被執行。

除了標準的QR碼之外,也存在一種稱為「微型QR碼」的格式,是QR碼標準的縮小版本,主要是為了無法處理較大型掃描的應用而設計。微型QR碼同樣有多種標準,最高可儲存35個字元。

QR碼一共提供40種不同版本儲存密度的結構(圖1),對應指示圖的「版本資訊」,版本1為21x21模組(模組為QR碼中的最小單元),每增加一個版本,長寬各增加4個模組,最大的版本40為177x177模組(表1)。

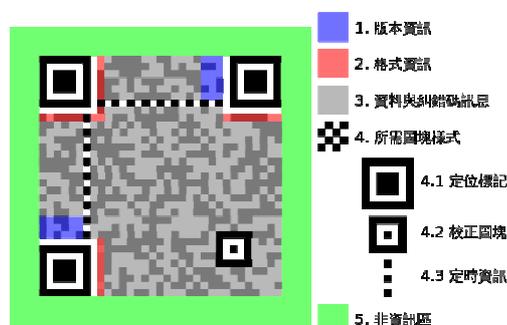


圖 1:QR 碼配置

QR 碼最大資料容量 (對於版本 40)	
數字	最多 7,089 字元
字母	最多 4,296 字元
二進位數 (8 bit)	最多 2,953 位元組
日文漢字/片假名	最多 1,817 字元 (採用 Shift JIS)
中文漢字	最多 984 字元 (採用 UTF-8)
	最多 1,800 字元 (採用 BIG5/GB2312)

表 1:QR 碼最大資料容量 (版本 40)

容錯能力

QR碼有容錯能力,QR碼圖形如果有破損,仍然可以被機器讀取內容,最高可以到7%~30%面積破損仍可被讀取。所以QR碼可以被廣泛使用在運輸外箱上。

相對而言,容錯率愈高,QR碼圖形面積愈大。所以一般折衷使用15%容錯能力(表2)。

錯誤修正容量	
L 等級	7%的字碼可被修正
M 等級	15%的字碼可被修正
Q 等級	25%的字碼可被修正
H 等級	30%的字碼可被修正

表 2:QR 碼 錯誤容錯能力

格式資訊

QR 碼的格式信息記錄了兩種數據：糾錯等級和掩碼的類型(圖 2)。掩碼的作用是為了對數據區域進行掩模以利於掃描器識別，可以避免數據區域出現連續的空白或者連續的黑色區，同時也避免了數據區出現類似定位點樣式的正方形出現。掩模圖案在整個數據區域的網格內不斷重複進行掩模計算(功能圖形不進行掩模)，數據區上對應掩模黑色模塊的單元將會反轉。每個二維碼上會有兩組相同的格式信息出現，並且帶有 BCH(Bose-Ray-Chaudhuri 與 Hocquenghem 的縮寫)糾錯。

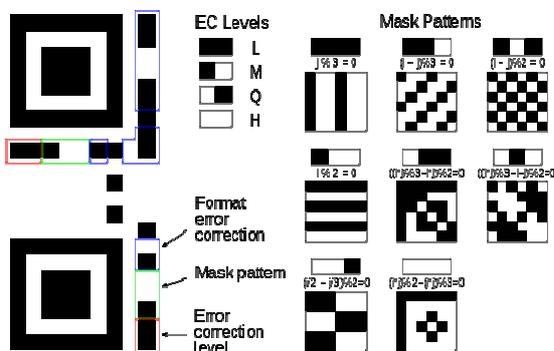


圖 2:QR 碼格式資訊說明

讀取方式

運作原理(圖 3)

圖中文字：手機對準二維碼→拍照→解碼→開啟網頁，利用 30 萬畫素以上的照相手機，搭配手機內的 QR 碼解碼軟體，對著 QR 碼一照，解碼軟體會自動解讀此訊息，顯示於手機螢幕上面，目前也有運用到 Webcam 的鏡頭來解碼。

此外，CodeTwo、QuickMark 會提供 PC 版的 QR 碼解碼軟體，讓沒有照相手機的使用者也能直接透過 PC 版 QR 碼解碼軟體直接截取螢幕上的 QR 碼得到相關資訊，使手機和 PC 使用者都能體驗到 QR 碼帶來的方便性



圖 3:QR 碼讀取方式

應用

QR 碼最早在汽車製造廠為了便於追蹤零件而使用，今日 QR 碼已廣泛使用在各行各業的存貨管理。使用者亦可透過設有 RS-232C 介面的個人電腦及解碼程式，連接掃描器或攝影機取得 QR 碼中的資料，十分適合存貨管理等企業應用。

日本

近年來，日本的行動電話公司開始在有相機的行動電話加入 QR 碼讀取軟體，為 QR 碼帶來更廣泛、更新穎的消費者相關用途。主要能讓使用者減少在手機上輸入文字等資料的麻煩。最早設有 QR 碼閱讀功能的行動電話是「J-PHONE」(今 SoftBank)的「J-SH09」。

使用 QR 碼來儲存商店位址及網址，在日本的雜誌及廣告上越來越流行。而在名片上加入 QR 碼亦逐漸成為趨勢，這讓將對方個人資料輸入手機的工作變得更簡單。除個人聯絡資料外，使用照相手機掃描車站海報、商店型錄等地方上的 QR 條碼之後，就能立即連至條碼所在的产品網頁，並了解訂購與該人物的資訊，或藉由撥打電話號碼來讓使用者取得該商品的優惠。而大型的日本網站如 Yahoo! 等也有應用 QR 碼，為消費者提供網址及優惠等資訊。

在公共事務上，QR 碼也有很多應用機會：例如日本出入境管理已採用列印 QR 碼標籤貼在入境人員護照上，替代以往只是蓋印入境章。在日本許多公共汽車站牌都已增加上 QR 碼，乘客只需用手機閱讀解碼，就可以及時獲得該站牌的路線與班車時刻資訊。

台灣

在台灣，中華電信是最早應用 QR 碼作為介面的電信公司之一。其 emome 636 影城通服務也是一種利用手機直接訂購電影票，並以 MMS 簡訊傳送附有 QR 碼的訂位記錄給訂購者。訂票人只需在開場前至櫃臺出示

手機中的 QR 碼，即可確認訂位記錄。因此又稱作「行動條碼」。

台灣農委會推廣生產履歷的機制，民眾可藉由生鮮產品上面所附有的 QR 碼 E 標誌，用自己的照相手機一照，在藉由手機內建的 QR 碼解碼功能，便能看到生鮮產品的生產資訊。

台灣高鐵在 2010 年 2 月時所推出的高鐵超商取票服務，於付款完成後所取得的高鐵車票在票面上印有 QR 碼，在搭乘高鐵列車時可直接持該車票，將印有 QR 碼的一面朝下對準高鐵各車站驗票閘門的條碼掃描區，利用感應方式即可通過閘門。2011 年 10 月 28 日起，以智慧型手機購票後下載條碼，開啟後即可以手機畫面感應通關，免持紙票使得購票與搭車流程更為流暢。

中國大陸

中華人民共和國鐵道部於 2009 年 12 月 10 日開始改版鐵路車票，新版車票採用 QR 碼作為防偽措施(圖 4)，取代以前的一維條碼。



圖 4：中華人民共和國自 2009 年開始在火車票上使用 QR 碼用於快速識別，現實中掃描的得到的內容仍有加密

浙江省杭州市、四川省成都市及河北省石家莊市等地區的公交業者，在站台和車上，使用 QR 碼提供給市民公交的線路資訊。

2012 年春節期間，中國的一家線上支付平台支付寶實現了透過 QR 碼進行銀行卡轉

帳和送紅包的功能，允許用戶在支付寶平台線上生產、製作「電子紅包」QR 碼，其包含了轉帳金額、收款人和祝福語等訊息，並透過網際網路傳送至收款人，收款人使用相關裝置掃描 QR 碼後，帳款就可以成功地轉入其銀行帳戶中。

2016 年開始，QR 碼被共享單車廣泛使用。用戶只需要用手機掃描共享單車上的 QR 碼即可開鎖使用單車。微信錢包和支付寶的行動應用也可以通過給商戶展示 QR 碼或者掃描商戶的 QR 碼來完成電子錢包支付。接受行動應用 APP 支付的商戶包含沿街售賣的小商販、計程車一類的個體經營者。QR 碼成為推廣中國大陸數字貨幣支付的重要環節之一。

香港

以 QR 碼用作宣傳推廣漸見普及。CSS Mobi 是當中的佼佼者，用戶到網站掃描不同 QR 便可檢視相關優惠或直接下載電子優惠券，即享優惠。

2007 年，香港的行動電話公司也開始開始利用 QR 碼，PCCW mobile 首個一站式手機購票服務 - 「流動戲票」。只須以手機登入購票，便可以收到「流動戲票」MMS 簡訊，內附有 QR 碼，在進電影院前把行動電話放於 QR 碼掃描器上，便可進場。此外，現時香港亦有首本利用 QR 碼的雜誌，名為 CPU。

QR CODE 範例





圖 5:QR 碼範例

二、QR CODE 應用需具備條件?[2]

- (一) 智慧型手機。
- (二) 安裝 QR CODE APP 或軟體。

三、QR CODE 可應用至電驛那些領域?

- (一) 電驛/示波器資料連線。

- (二) 電驛儀器借出管理。
- (三) 電驛說明書查閱。
- (四) 電驛異常歷史資料查詢。
- (五) 電驛標置單查閱(圖 7)。
- (六) 電驛定檢資料查詢。
- (七) 電驛功能啟用查詢。



圖 7:QR 碼電驛標置單範例

四、QR CODE 應用於電驛乙太網路系統說明。

- (一) 實踐小區域無線網路存取，便利於存取電驛資料，電腦在值班桌即可作業。
- (二) 在小區域範圍可多人以手機 QR CODE 即時讀取電驛事件/表計/電驛設定，又不會更改電驛設定值。
- (三) 利用 QR CODE 讀取相關電驛說明書及重要參考文件(如 電驛標置變更通知單)，不用到辦公室下載資料。
- (四) 可以列印電廠及變電所 對應電驛之 QR CODE 對應表，有利於電驛或值班人員以手機讀取電驛動作資料，及時輸入相關資訊。

五、QR CODE 應用於電驛乙太網路系統說明。

- (一) Hfs 免費軟體
(<http://www.rejetto.com/hfs/?f=dl>)
可分享電腦目錄供瀏覽器下載。
- (二) 無線網路分享器。
- (三) 智慧型手機或平板。
- (四) QR CODE 條碼產生器網頁
(<http://qr.calm9.com/tw/>)，可自動產生 QR CODE 條碼。(圖 8)

電驛名稱	機房名稱	IP地址	通訊協定	電驛型號	QR CODE	QR CODE	QR CODE
101KV	大豐香湖機	81310	POP3	215 215 QR200			
101KV	秀朗信南機	81310	POP3	215 215 QR200			
101KV	深美山機	81310		215 87L L80			
101KV	深美南港海機	81340		215 87L L80			
101KV	中正一路	81810		215 87L SSL311L			
101KV	中正二路	81820		215 87L SSL311L			
101KV	深美狀龍機	81300		215 87L QR200			
101KV	深美堤湖機	81340		215 87L QR200			
101KV	麟S 屏	8	87	87 SSL-887B SSL-887B			
88KT	本島機	8030		87L-1 87L-2 SSL311L			
88KT	細坑機	8040		87L-1 87L-2 SSL311L			
88KT	深坑機	8050		87L-1 87L-2 SSL311L			
88KT	六張表機	8060		87L-1 87L-2 SSL311L			
88KT	長壽機	8070		87L-1 87L-2 SSL311L			

圖 6:QR 碼電驛/示波器資料連線範例

六、QR CODE 網路安全預防?

- (一) 可鎖定上網手機 mac address。
- (二) 可調整無線網路發射接收位置或發射功率大小。
- (三) 防火牆建構(以軟體或硬體方式完成)。
- (四) 構建一個封閉網路。

七、QR CODE 變電所電驛索引表(圖 6)

八、結論

QR CODE 應用可以讓使用者不用記憶或謄打一大串字串，利用 QR CODE 圖形再經手機或平板讀取，並解譯出資料或網址資料，由於目前智慧型手機及網路的普及，整個建置成本降低，QR CODE 提供另一個易於讀取資料的方式，只是後端資料的維護及大數據的分析與應用，將是另一發展課題。

九、參考資料

- [1] 維基百科 QR 碼
(<https://zh.wikipedia.org/wiki/QR%E7%A2%BC>)
- [2] Google 搜尋 QR 碼圖片
(https://www.google.com.tw/search?q=qr%E7%A2%BC&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjjppfdq87UAhVIG5QKHaosCDMQ_AUICigB&biw=1526&bih=718&dpr=1.25)

十、翻譯字詞對照

QR Code: Quick Response Code
BCH: Bose–Chaudhuri–Hocquenghem codes



圖 8:QR 碼圖形產生網頁範例

匯流排保護電驛介紹

台北供電區營運處 楊盛鐘

一、前言

匯流排是電力系統中電能的彙集與分配中心，在匯流排上連接著發電廠的發電機和變電所的變壓器、輸電線路、配電線路及電抗器、電容器等相關設備，匯流排的穩定運轉將直接影響發電廠和變電所運轉的可靠性，如果匯流排的故障無法迅速隔離將會造成事故的擴大，破壞系統的穩定性甚至造成系統崩潰對全系統的供電品質和穩定產生重大的影響。因此匯流排接線架構和保護方式的正確選用與落實維護是確保電力系統安全運轉的重要關鍵。匯流排短路時的故障電流非常大，如果利用電源端的後備電驛來切除發生在匯流排的故障由於動作時間較長，使系統電壓長時間降低會影響供電品質，不但無法持續穩定供電甚至造成系統穩定的破壞，因此必須針對匯流排裝設專用的快速保護電驛，用來切除匯流排的故障減少故障電流對設備的損壞，縮短停電時間即時恢復正常供電，匯流排發生故障的原因與工作環境及運轉維護水準有密切的關係，至於匯流排發生故障的原因有下列幾點：

- (一) 絕緣支持礙子、斷路器套管及比流器、比壓器套管的絕緣礙子表面骯髒污穢附著電解質使絕緣能力下降洩漏電流增加，絕緣礙子表面電位分布不均勻在惡劣天候及汙染環境下導致發生閃絡事故。
- (二) 操作不慎，例如：接地線未拆除即投入斷路器，帶電切除隔離開關而產生電弧等。

- (三) 吊車或異物的碰觸及鳥、蛇、猴等動物的靠近等。
- (四) 與匯流排連接的比流器、比壓器因絕緣老化或套管滲漏水氣入侵造成絕緣損壞而炸損。
- (五) 操作時引起斷路器或隔離開關絕緣礙子的損壞。
- (六) GIS 設備損壞或絕緣氣體洩漏等。

匯流排故障中大部分是由絕緣礙子對地放電所引起，匯流排故障在初期大多數是單相接地故障，而隨著短路電弧的移動，使匯流排故障發展為兩相或三相接地故障。匯流排發生短路故障的機率比較低但發生故障後對系統的危害卻非常嚴重，對電力系統的安全運轉造成很大的傷害。匯流排故障對系統的危害有以下幾個面向：擴大事務的範圍、電氣設備遭受破壞、破壞電力系統的正常運轉與穩定運轉等，因此裝設匯流排專用保護電驛，對提高系統的穩定運轉有很大的幫助。匯流排依照構造可以分為：單匯流排、分段單匯流排、主副匯流排、環狀匯流排、雙匯流排(單斷路器)、雙匯流排(雙斷路器)、雙匯流排一個半斷路器等接線方式。早期台電公司在電力系統結構單純時使用單匯流排或分段單匯流排，這種匯流排結構簡單造價低廉但維修不易須全所停電；後來在電力系統結構日益複雜及要求高供電品質的情況下，採用雙匯流排(單斷路器)與雙匯流排(雙斷路器)的架構，此類匯流排結構複雜造價高昂但維修容易只要透過斷路器隔離開關的操作，在不需停電下就可以將單一匯流排停電進行點檢作業；至於電廠或超

高壓變電所內的345kV系統則使用雙匯流排一個半斷路器的接線架構，此類型匯流排結構非常複雜造價昂貴，若採用一發電機一線路或一自耦變壓器一輸電線路的架構，即使匯流排都停電的情況下也不會影響供電這是一個半斷路器匯流排的特色；至於環狀匯流排目前唯一使用在通霄電廠的161kV開關場內，這種匯流排的電驛標置設定非常困難目前已不再使用；至於主副匯流排以前曾經使用在新營一次變電所內但後來在該變電所改為屋內型GIS時已經廢除不再使用而改為雙匯流排單斷路器的架構。

對匯流排保護的基本要求包括可靠性、速動性和選擇性三種，可靠性：當匯流排發生故障時匯流排保護電驛可正確動作當發生匯流排外部故障時匯流排保護電驛可靠不動作。速動性：當匯流排發生故障時匯流排保護電驛可以在最短時間內快速的切除故障。選擇性：指匯流排保護電驛可以正確的區分匯流排內部故障或外部故障並且可以正確的選出故障匯流排。匯流排保護電驛從最簡單的過電流電驛發展到現在，主要經歷了低阻抗匯流排差動保護、高阻抗匯流排差動保護、中阻抗匯流排差動保護、數位式匯流排差動保護，以及現在的分散式匯流排差動保護，以上的匯流排保護都是以差電流保護方式為基礎，並且都是針對匯流排所連接各斷路器的電流值做直接運算來判斷匯流排是否故障。上述不同類型的匯流排保護電驛可以分為：集中式與分散式兩種，傳統集中式匯流排保護由於需要將所有電流都引入匯流排保護電驛內故須要使用大量的電纜，由於現場到控制室的距離遠，使用電纜接線會造成比流器二次側的負擔增加，容易引發比流器的飽和問題，這種集中式保護方式只適用於匯流排掛接斷路器較少的情

況，分散式的匯流排保護主要是把資料採集和資料處理的功能分散到現場各個保護單元內，再利用光纖等通信媒介將現場各個保護單元的取樣值經過A/D轉換後傳送到中央單元進行運算處理判斷是否該動作，由於分散式匯流排保護各個保護單元的資料處理量很大同時還要考慮到各個取樣值的同步及通訊等問題。

二、集中式匯流排保護的概述與分類

依據匯流排差動保護電驛的差電流回路中電阻大小，可以將匯流排差動保護電驛分為：低阻抗匯流排差動保護、高阻抗匯流排差動保護、中阻抗匯流排差動保護等分別說明如下：

(一)低阻抗匯流排差動保護

低阻抗匯流排差動保護是匯流排保護中最早採用的方式，低阻抗匯流排差動保護主要是將保護電驛接成差電流方式，在早期的低阻抗匯流排保護電驛就是用一般的過電流電驛來達成匯流排差動保護的功能，由於接在差電流回路中的過電流電驛其阻抗很小約只有數歐姆，故稱為低阻抗匯流排差動保護又稱為電流型匯流排差動保護，目前台電公司仍然有部分的低阻抗匯流排差動保護電驛在系統中使用如下圖1所示，為由九具IAC過電流電驛所組成的低阻抗匯流排差動保護方式，低阻抗匯流排差動保護最大的優點是：

1. 接線簡單無論匯流排掛接有多少線路或變壓器，其比流器的二次側電流在匯流排保護電驛盤的電流測試PK-II上方並接後再引入電驛內，故只需要四條線即可（R、S、T、N等相）。
2. 由於差流回路中的過電流電驛阻抗很小，因此，連接在匯流排上各支路的比流器二次側負擔很小，當匯流排發生內部故障時因比流器的二次側負擔很

小，故其二次側回路的電壓很低。

其最大的缺點是需要匯流排上所有連接元件的比流器用相同的匝比和相同的磁化特性，否則必須利用輔助比流器來修正，並且無法應付比流器飽和問題。當匯流排的某一線路側出現故障時，匯流排上的電源端提供的故障電流都將流向該線路的故障點，將會造成該線路的比流器飽和，由於低阻抗匯流排差動保護的差電流回路阻抗低，導致差動回路通過很大的不平衡電流，這不平衡電流極有可能造成低阻抗匯流排差動保護電驛的誤動作，特別是在線路側出口短路時出現的直流分量很容易造成比流器鐵心的飽和，為了解決故障電流直流分量對比流器造成飽和的影響，一般做法是將電驛的動作時間加以延長，以避開比流器的飽和時間，通常為8~18周波但普遍延時12周波，雖然利用時間延時解決了外部故障時因比流器飽和產生的差電流可能導致差動電驛誤動作的危機，但是當匯流排故障發生時因時間延時動作將造成設備損壞更嚴重、系統更不穩定的後果。比流器飽和問題是該類型電驛的最大缺點，故不適合用在近發電機的匯流排保護，也應避免使用在故障電流直流偏移時間常數較長的匯流排保護。在匯流排保護的實際應用中，如果匯流排上連接著一些對方沒有電源的線路，當匯流排內部故障時這些線路因無背後電源故不會提供故障電流，因此這些線路的比流器二次側電流可以不必接到匯流排保護的差動回路中，這就形成不完全匯流排差動保護，在無背後電源的供電線路很多時，例如：工廠供電這可以大量的簡化匯流排保護的接線，至於低阻抗匯流排差動保護的動作設定值，一定要大於這些線路的最大負載電流之和防止正常情況下電驛動作，由於電驛的動作門檻提高了卻也使得電驛

的靈敏性降低，這種不完全匯流排差動保護方式台電公司不使用。圖1是目前台電公司使用中的低阻抗匯流排保護電驛外觀，由九具過電流電驛組成差電流保護方式，左邊三具是第一號匯流排的R.S.T三相，右邊三具是第二號匯流排的R.S.T三相，中間三具則是第一號與第二號匯流排保護共用的過電流偵測元件。現場掛接在第一號匯流排斷路器的CT-4與聯絡斷路器的CT-4在電驛盤PK-II上方併接後分別引接到左邊R.S.T三相電驛內，現場掛接在第二號匯流排斷路器的CT-4與聯絡斷路器的CT-1在電驛盤PK-II上方併接後分別引接到右邊R.S.T三相電驛內，而第一號匯流排R.S.T三相過流電驛的出線與第二號匯流排R.S.T三相過流電驛的出線，並接後分別引接到中間R.S.T三相電驛內，中間R.S.T三相電驛的出線並接後接地構成分相式的差動保護。如果斷路器正常掛接根據克希和夫電流定律正常時流入第一、二號匯流排的R.S.T三相電流幾乎為零故電驛不動作，如果一號匯流排R相發生故障則一號匯流排R相電驛與中間過流偵測的R相電驛同時動作，跳脫86B1輔助電驛再透過86B1的a接點分別跳脫掛接在一號匯流排的斷路器與聯絡斷路器隔離故障，同時經由86B1的b接點切斷已跳脫斷路器的投入回路，防止輸電線路自動復閉與其他設備經由遠方遙控投入。至於發生在二號匯流排的故障則二號匯流排與中間過流偵測的故障相電驛會動作，跳脫86B2輔助電驛再透過86B2的a接點分別跳脫掛接二號匯流排的斷路器與聯絡斷路器隔離故障，同時經由86B2的b接點切斷已跳脫斷路器的投入回路。如果是外部故障理論上差電流回路的九具電驛應該都沒有電流，若因故障電流太大造成比流器飽和而有差電流產生可能造成電驛誤

動作，因此在每具過電流電驛設定時間延遲(T.D=1.5)用來防止電驛誤動作，但此時間延遲會造成匯流排內部故障時清除時間拉長的後遺症。目前台電公司使用中的低阻抗型匯流排差動保護電驛有 ABB 公司的 CO-2 及 GE 公司的 IAC51、IFC51 等傳統機電型過電流電驛，另外 SEL 公司的 SEL-487B 及 GE 公司的 B90 等數位式匯流排保護電驛也是屬於低阻抗型匯流排保護電驛的一種。



圖 1 台電公司使用中的低阻抗匯流排差動保護電驛外觀

(二)高阻抗匯流排差動保護

為了改善低阻抗匯流排差動保護電驛對外部故障所造成的比流器飽和而產生的不平衡電流，可能導致匯流排差動電驛誤動作，而有了高阻抗型匯流排差動保護電驛的問世，在低阻抗匯流排差動保護電驛的差電流回路中串接一個數千歐姆的高阻抗電壓元件就構成一個高阻抗匯流排差動保護電驛，又稱為電壓型匯流排差動保護。可以有效的降低外部故障電流導致比流器飽和時流入差動回路的不平衡電流。以目前台電公司仍然使用中的 GE 製 PVD 電磁式高阻抗型電驛如下圖 2 為例：在匯流排外部故障時如果比流器的特性一致，那麼

非故障支路的二次側電流之和與故障支路二次側電流其大小相等、方向相反，這時非故障支路二次側電流都流入故障支路的比流器二次側繞組，流入高阻抗匯流排差動保護電驛的電流為零，可以有效的防止電驛因比流器飽和而造成的誤動作，在匯流排外部故障最嚴重的情況是故障支路的比流器完全飽和，其勵磁阻抗為零一次側電流全部流入勵磁支路，從比流器的二次側看入的阻抗幾乎只有二次側繞組的電阻，因其數值遠小於差動回路的電阻，由於高阻抗匯流排差動保護電驛的內阻很高，使得非故障支路一次側電流仍然都流入故障支路的比流器二次側繞組，而流入匯流排差動保護電驛中的電流仍然很小故差電流元件不會動作，至於電壓元件部分：在外部故障時流過故障元件的二次側電流可以經由其他連接元件的比流器二次側線圈形成通路，而加在電壓元件兩端的電壓是數值不大的不平衡電壓故電壓元件不會動作，當大故障電流造成比流器嚴重飽和時，相當於在差動回路中並接一個阻抗很小的比流器勵磁阻抗反而降低了電壓元件兩端的電壓，更可以避免在外部故障時因比流器飽和所引起的不平衡電流導致保護電驛誤動作的可能性。當匯流排內部故障時所有出口線路的電流(故障電流)都是流入匯流排的，所有出口線路的二次側電流都流向高阻抗匯流排差動電驛的電壓元件，在高阻抗匯流排差動電驛的內部產生高電壓使電壓元件動作跳脫故障匯流排的斷路器，大幅提升電驛的動作靈敏性與動作速度，至於高阻抗匯流排差動保護電驛的主要優點有下列兩點說明如下：

1. 有效的解決了外部故障時因比流器飽和可能造成匯流排差動電驛誤動作的問題。
2. 匯流排差動電驛的動作設定值可以設

得比較低，大幅提升電驛的動作靈敏性與動作速度。

由於高阻抗匯流排差動保護電驛在內部增加了數千歐姆電阻的電壓元件，因此在匯流排內部故障時差動回路的電流將會在該電阻上產生一個很高的電壓，為了防止高電壓對電驛造成傷害必須在電驛內部增加一個過電壓抑制器，因受限於過電壓抑制器的散熱能力必須在電驛內部增加閉鎖元件，防止匯流排差動保護電驛因過熱而燒損。目前台電公司做法是利用高阻抗匯流排差動保護電驛動作後的輔助電驛(86)的 a 接點將該電壓抑制器短路防止過電壓抑制器燒損，當高阻抗匯流排差動保護電驛正常未動作時輔助電驛(86)的 a 接點打開過電壓抑制器恢復正常運作，由於高阻抗匯流排差動保護電驛動作後約有數百伏特的高電壓對設備和人員可能造成潛在危險。因此，除了二次回路的電纜與相關配件要加強絕緣外在從事保護電驛維修工作時要特別注意，另外高阻抗匯流排差動保護電驛所有連接比流器的匝比必須相同。目前台電公司仍然使用中的機電型高阻抗匯流排保護電驛有 GE 公司製 PVD 電驛及 ABB 公司製 KAB 電驛，由於 345kV 匯流排採用雙匯流排一個半斷路器的接線方式故其匯流排保護採用三具高阻抗電驛分相保護，至於 161kV 採雙匯流排單斷路器固定接線方式，其#1.2 匯流排保護電驛採用各三具低阻抗過電流電驛，而#1.2 匯流排共用的偵測元件則採用高阻抗電驛，這種架構既可以節省高阻抗電驛的投資，也可以有效的防止因外部故障比流器飽和導致電驛誤動作的缺失，因此目前台電公司許多配電變電所內的 161kV 匯流排保護採用此種方式。

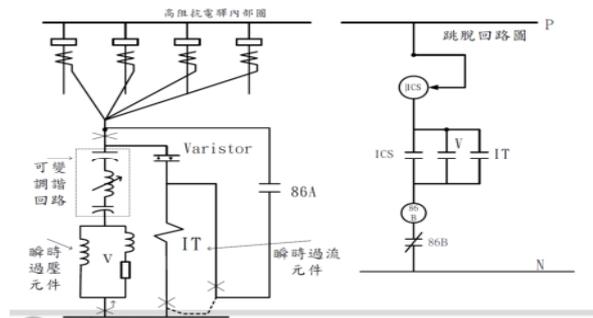


圖 2 高阻抗匯流排差動保護電驛內部接線與跳脫接線圖

(三)中阻抗匯流排差動保護

中阻抗匯流排差動保護電驛就是差電流回路的電阻介於高阻抗型和低阻抗型匯流排差動保護電驛之間，該差動保護回路的總電阻約 200 歐姆左右，它主要是在防止外部故障時因比流器飽和所產生的不平衡電流導致匯流排差動保護電驛誤動作，同時也確保匯流排差動保護電驛動作的選擇性可以正確隔離故障的匯流排，當在匯流排內部發生故障時差動回路的電壓不會超過電驛的允許範圍，因此不須裝設過電壓的保護措施使得在實際運用上獲得大量使用。中阻抗型匯流排差動保護電驛內部增加了制動元件，有了制動元件就可以把差動電驛的內阻降下來避免出現高電壓危害維修人員，由於制動元件可以有效的防止比流器飽和造成差動電驛誤動作的發生，使得這種中阻抗匯流排差動保護電驛獲得廣泛的使用，而中阻抗匯流排差動保護電驛的主要優點有：

1. 利用比率制動特性的原理有效的防止外部故障時比流器飽和所引起的差動保護電驛誤動作，所謂比率制動特性是差動回路的動作電流值隨著制動電流的增加而增加，而其制動電流是利用穿越性電流含故障電流來充當制動電流(又稱抑制電流)。
2. 利用差電流回路和無電源負載支路的比流器時間常數的差異來降低負載支

路比流器飽和所產生差電流的影響，更加速了內部故障時保護電驛的動作速度。中阻抗型匯流排差動保護電驛可以在 1~2ms 啟動，由於在故障電流的前 1/4 周波比流器尚未達到飽和，使得中阻抗型匯流排差動保護電驛可以不受比流器飽和的影響，中阻抗型匯流排差動保護電驛其動作速度約半周波左右，雖然台電公司未使用中阻抗型匯流排保護電驛，但有 ASEA 製 RADSS、ABB 製 REB103 等電驛。以上的三種匯流排差動保護電驛都是分相來進行保護的，並且都是利用所有回路的電流相量和（即差電流）來達到對匯流排的保護功能，同時要求所有回路的比流器須有相同的匝比，如果匝比不同必須增設輔助比流器來達到比流器匝比相同的目標，由於需要將掛接在匯流排上所有設備的電流都引接到匯流排保護電驛，因此造成電驛二次側接線量大增並且需要較多的接點，給運轉和維護人員帶來很大的困擾。

(四)積體電路型匯流排差動保護

該類型的匯流排差動保護電驛主要是在既有的保護基礎上增加了制動元件，利用所有回路電流的相量和作為動作量，所有回路電流的非相量和作為制動量，當二者的比值大於制動係數時保護電驛動作，這就是比率制動匯流排差動保護的運算法則。前面所描述的匯流排差動保護方式可分為低阻抗、高阻抗和中阻抗型的差動保護電驛，由於採用積體電路的設計方式使得保護功能變得多樣化。例如：西門子的 7SS1 系類低阻抗型匯流排差動保護電驛，在採用比例制動特性的同時對於外部故障時採用『1 取 1』的方式，即測量故障後幾個毫秒內的動作量和制動量來判斷故障，對於外部故障時直流分量可能引起差

動保護電驛誤動作的匯流排則採用『2 取 2』的方式，即連續測量兩個半周波內的動作量和制動量來進行判斷，如果在一個周波內連續兩次測量滿足動作條件就可以輸出跳脫指令。積體電路型匯流排差動保護電驛屬於中阻抗型的匯流排保護電驛，其動作速度快、靈敏性高、可靠性高，由於帶有制動特性因此該匯流排差動保護電驛在內部故障時有較高的靈敏性，在外部故障時有較高的可靠性，滿足了超高壓和高壓變電所匯流排保護的需求因而獲得大量的使用。

(五)數位式匯流排差動保護

雖然積體電路型匯流排差動保護電驛有動作速度快、靈敏性高、可靠性高等優點，同時也符合匯流排保護的基本要求，但隨著數位式保護電驛的出現對匯流排保護也提供了良好的應用平臺，就如同利用積體電路型的保護電驛來取代傳統的機電式電驛一樣，隨著半導體技術的發展 CPU 處理速度的大幅提升、採樣頻率的提高、通信技術的提升等條件配合下，孕育出數位式匯流排保護電驛。目前數位式匯流排保護電驛仍以集中式為主，集中式數位匯流排保護電驛需要將各個連接元件的交流、直流回路均引接到控制室的匯流排電驛內，對電流、電壓以及斷路器開關量進行取樣並經 A/D 轉換為數位量，再根據一定的演算法則進行計算、判斷及處理。由於控制室與開關場的距離較遠需要大量電纜使得二次回路變得十分複雜。數位式匯流排保護電驛對與匯流排連接的所有一次設備的電流進行採樣，並經模數轉換後進行數位量處理即(A/D)轉換，和積體電路型匯流排差動保護電驛利用電子元件特性直接進行 A/D 轉換有很大的區別，數位式匯流排差動保護電驛可以利用強大的 CPU 處理功能結合優良的差動保護原理來達到完善的

匯流排差動保護。數位式匯流排差動保護電驛的動作特性採用類似積體電路型匯流排差動保護的比率制動特性，其制動電流是依據 CPU 計算後所獲得，至於制動量的選用有下列幾種方式：

1. 各分路電流的絕對值之和：

此制動量較大可以有效防止外部故障比流器飽和而導致保護電驛的誤動作，但對於內部故障時保護電驛的動作靈敏度較低。

2. 各分路電流的絕對值的算術平均值：

適用於無背後電源支路較多的情況，無背後電源支路不會向故障點提供故障電流使得制動量變小，與第一種情況剛好相反對內部故障電驛的動作靈敏度會有所提升。

3. 各分路電流絕對值的幾何平均值：

與第二種情況類似 ABB 公司的匯流排保護電驛其制動電流就是利用此計算方式。

4. 各分路電流絕對值的最大者：

可以有效改善制動量小的問題同時也具有較高的靈敏性，數位式匯流排差動保護也可以採用更完善的瞬時值演算法的比率差動原理、雙比率差動原理和基頻變化量比率差動原理等。數位式匯流排差動保護電驛為了防止差動保護或斷路器失靈保護的跳脫回路被誤碰或跳脫接點損壞及電流模組故障等原因造成數位式匯流排差動保護電驛誤動作，該電驛還增加了電壓抑制元件，利用 CPU 的計算能力和邏輯處理能力採用欠壓或過壓（低電壓、零序電壓和負序電壓）元件來閉鎖數位式匯流排差動保護電驛，以加強保護電驛動作的可靠性，台電公司目前的數位式匯流排保護也採用欠壓抑制方式，數位式匯流排差動保護電驛的主要特徵有下列幾點：

- a. 沒有共通的差電流回路，不必將各設備的比流器二次側並接後再引接到保護電驛內。
- b. 各支路比流器的匝比可以不同，透過電驛內部軟體參數設定來平衡各設備比流器的匝比值。
- c. 微處理器有很強大的運算能力，使得數位式匯流排差動保護電驛的動作速度大幅的提升。
- d. 由於採樣速度的提升使得在應付比流器的飽和判斷有很大的改善，可以在 1~2ms 內判斷出區外故障，並利用該判據自動調整保護電驛的動作值藉以提高保護電驛的可靠性，在區內故障時保護電驛迅速動作不受比流器飽和的影響，在區外故障比流器飽和時保護電驛能夠可靠不動作。
- e. 增加電壓抑制元件使得保護電驛可以利用低電壓、零序過電壓或負序過電壓來構成雙電壓閉鎖功能，增加保護電驛抗誤動作的能力，但對於 345kV 採用一個半斷路器架構的匯流排因保護電驛大都接用線路比壓器無匯流排比壓器信號，故目前台電公司超高壓變電所的 345kV 匯流排保護電驛並沒有啟用欠壓抑制功能，而 69kV 及 161kV 的匯流排大都採雙匯流排單斷路器的架構其保護電驛都接用匯流排比壓器故有啟用欠壓抑制功能。
- f. 具備比流器二次側開路，比壓器二次側斷線的監視功能，以及直流電源消失監視等功能。
- g. 對於雙匯流排、單匯流排分段運轉的匯流排保護採用大差啟動、小差選擇的跳脫方式。
- h. 透過對各匯流的所有支路電流的動態分析，與對各支路斷路器隔離開關輔助接點的監控，靈活的改變匯流排保護區

間不必做任何的硬體改接，在進行匯流排操作時可以獲得適當的保護。

- i. 完善的後備保護功能例如：匯流排加壓保護、斷路器失靈保護以及各種利用電流的保護功能。
- j. 事件記錄和故障錄波功能，完備的事件記錄和故障錄波對事故的排除和分析提供了大量的資訊。
- k. 自我檢測功能，隨時對電驛進行監控能夠在電驛故障時發出警報並自動閉鎖所有跳脫信號輸出。
- l. GPS 對時和通訊功能，GPS 功能使得所有保護電驛擁有統一的時間基準有助於事故分析。

雖然數位式匯流排保護電驛擁有上述的許多優點，但是其本身的空間和功能的多樣化也受到了部分的限制，以匯流排掛接的斷路器數量而言，SEL-487B 電驛最多為 18 個斷路器，B90 電驛最多為 24 個斷路器，如果變電所內匯流排掛接的斷路器數量超過 24 個就無法使用。由於數位式匯流排差動保護採用分相式保護方式，所有斷路器的電流都必須按相分別直接引入三具(A相、B相、C相)電驛內部，每具電驛之間利用網路線或光纖連接以達到實時監控與量測三相電流值，若三具電驛之間失去同步可能造成三相電流的實時取樣無法同步而造成電驛誤動作，這時電驛屬於重故障會發出警報並將三具電驛自動閉鎖防止誤動作，加上前述的斷路器隔離開關狀態量輸入使得佈設電纜數量暴增，致使數位式匯流排保護電驛的接線相當複雜投資費用也很昂貴。數位式匯流排保護是從傳統的匯流排保護發展出來的，它簡化了二次回路增加了自我檢查功能，對匯流排內部與外部故障時保護電驛動作的判斷更精

準，同時對匯流排外部故障比流器飽和的偵測辨識與閉鎖輔助措施，能夠更有效防止比流器飽和的誤動作，對匯流排日後的運轉有較高的靈活性及擴充性。台電公司基於智慧電網的需求下相關保護電驛開始全面數位化，目前使用中的數位式匯流排保護電驛有兩種型式分別是 SEL 公司的 SEL-487B 電驛與 GE 公司的 B90 電驛，這兩款數位式匯流排保護電驛都採用集中式分相保護方式，引接自現場斷路器 CT-4 的三相電流利用金屬電纜分別接到各自對應的三具電驛，並增加欠壓抑制功能來增加電驛的安全性，防止電驛因內部比流器(CT)/比壓器(VT)模組故障造成誤動作，電驛動作後其跳脫回路經過電驛盤面上的測試開關不再經過 86B1 與 86B2，至於 86B1 與 86B2 的 b 接點則用來切斷已跳脫斷路器的投入回路防止自動復閉或遠端遙控投入，集中式各類型匯流排保護電驛特性比較如表 1，台電公司目前使用中的數位式匯流排保護電驛 SEL-487B 外觀如圖 3 所示。



圖3. 台電公司目前使用中的SEL-487B 電驛外觀

表 1 集中式各類型匯流排保護電驛特性比較一覽表

電驛型式	電驛型號	優點	缺點	動作原理
低阻抗型	CO-2.IAC.IFC	結構簡單 價格便宜 動作後 CT 回路無高電壓	動作速度慢 抗 CT 飽和能力差 CT 匝比、特性需相同	差動原理
中阻抗型	REB-103.RADSS BUS-1000	動作速度很快 抗 CT 飽和能力佳 動作後 CT 回路無高電壓	CT 匝比需相同	差動原理
高阻抗型	KAB.PVD	動作速度快 抗 CT 飽和能力強	CT 匝比需相同 動作後 CT 回路有高電壓	差動原理
積體電路型	7SS160	動作速度快 抗 CT 飽和能力強	CT 匝比需相同	比率制動
數位式	B90.SEL-487B	動作速度快 靈活性高、可靠性高 抗 CT 飽和能力強 CT 匝比可以不同	維修困難 接線複雜 需要比壓器信號 須使用大量的電纜	比率制動

三、分散式匯流排保護的概述與分類

傳統的匯流排差動保護或多或少有一個固定的保護區間屬固定掛接方式，現場每個設備的一次側電流經過比流器轉換後彙集成為單一電流進入匯流排保護電驛，如果斷路器掛接改變到不同的匯流排則其控制回路及比流器、比壓器回路並須配合改接才能夠有選擇性的正確動作，當匯流排上掛接斷路器較多時因控制室到開關場距離遠需要大量電纜，二次回路接線非常複雜給維護人員帶來很多困擾。至於現代分散式數位匯流排差動保護方式，不再依

靠電纜將現場比流器、比壓器的數值及斷路器和隔離開關的狀態訊息送到控制室的匯流排電驛內，而是經由安裝在現場的外部單元透過通信設備把比流器、比壓器的數值及斷路器和隔離開關的狀態的取樣值，在經過 A/D 轉換後傳送到控制室的中央單元執行保護運算。分散式匯流排保護電驛根據變電所的拓樸結構和斷路器及隔離開關的狀態，就能夠很容易的改變匯流排電驛的保護區間在應用上非常方便，如果斷路器掛接改變到不同的匯流排透過斷路器及隔離開關的狀態判斷便能夠靈活的改變保護區間，不需要做硬體接線的改接

工作可以省掉維護人員很多工作。傳統的匯流排保護其所有的比流器匝比必須相同，如果匝比不同必須利用輔助比流器調整成相同的匝比後再進入匯流排保護電驛，讓差電流回路的電流降為零，但分散式的匯流排保護能夠容忍保護電驛內有不同的比流器匝比，差異部份只須透過電驛內部參數設定來修正。分散式匯流排差動保護提供比傳統匯流排差動保護更多功能，這些功能被分配在中央單元與外部單元之間，下列是這二個專屬裝置的功能介紹⁽⁴⁾：

(一)中央單元(Central Unit)的主要功能：

變電所拓樸結構的確定、電流的彙集、匯流排差動保護的演算、決定斷路器失靈保護的跳脫。

(二)外部單元(Peripheral Units)的主要功能：

電流信號處理、斷路器狀態監視、隔離開關狀態監視、斷路器的投、切控制、斷路器失靈的偵測、比流器飽和偵測、獨立的過電流偵測。

中央單元與外部單元之間利用光纖連接以確保通信不受電磁干擾，分散式數位匯流排差動保護在應用上最重要的一環是外部單元數據採集的不同步，為了確保所有外部單元的取樣是同步的，中央單元會在光纖上傳送一個同步帖，當各個外部單元收到這個由中央單元所發送的不同步帖時就開始電流信號的傳送，中央單元也同時開

始接收來自各個外部單元所送來的電流信號，所有來自各個外部單元的電流量和電流角度的取樣資料被傳送到中央單元，如果故障發生在保護區內中央單元會將電流加總起來以便計算差電流並且做出動作決定，外部單元執行比流器飽和的偵測和計算對外部事故所引起的比流器飽和可能導致電驛誤動作可以有效的監控。分散式數位匯流排差動保護是將掛接在匯流排上各回路的比流器、比壓器的數值與斷路器及隔離開關的狀態透過安裝在現場的外部單元經A/D轉換後利用光纖將轉換後的訊號傳送到位於控制室的中央單元，中央單元在收到現場各外部單元送達資訊後會對資訊進行綜合判斷，在判斷結果為匯流排故障時，中央單元就會對各個外部單元下達跳脫指令由外部單元來執行跳脫斷路器的任務，分散式保護的最大優點是外部單元被安裝在開關場的斷路器箱體內或附近，可以節省大量電纜減少比流器二次回路的負擔降低比流器飽和的可能性，利用專屬的中央單元與外部單元兩個特殊裝置再搭配以通訊設備為基礎的分散式匯流排差動保護系統如下圖4所示。分散式匯流排保護採用具有比例制動特性的分相式電流差動方式，所謂比例制動特性是指當制動量(抑制量)增加時動作量也隨著增加，電流差動的計算由中央單元負責，當中央單元判斷匯流排發生故障後向外部單元發出跳脫指令在外部單元收到中央單元所送達的

跳脫指令時會先經過本身的過電流偵測，當兩者條件同時成立後才由外部單元執行跳脫斷路器的任務，以避免因中央單元的誤判而導致整個匯流排停電的事件發生。

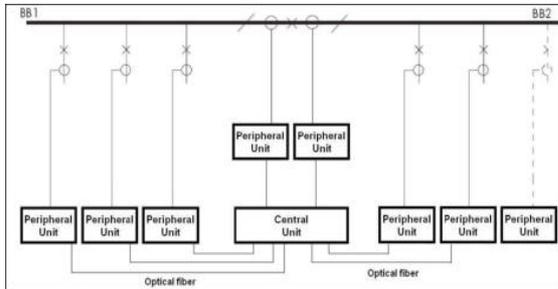


圖4. 分散式匯流排差動保護系統
(參考文獻4)

近年來隨著變電所自動化技術的發展對保護裝置下放的要求越來越迫切，希望提高設備利用率減少工程的投資成本提高匯流排保護的可靠性，更可以有效解決因變電所內設備太多超出數位式匯流排電驛最大使用極限的困擾，另外從變電所的擴充性來看變電所的最終規模不可能一次完成，同時匯流排的接線形式也可能發生變化例如，匯流排的接線從雙匯流排變成分段雙匯流排，這種需求對運轉中的變電所來說是非常麻煩的事，而分散式匯流排保護剛好能夠解決上述的困擾因而逐漸被使用。在通信技術高速發展的基礎上為了有效解決前述匯流排保護的種種問題而有分散式匯流排保護的提出，分散式匯流排差動保護沒有差電流回路，其動作量和制動量是透過對數位量計算取得的，借由通訊網路可以很容易實現分散佈置的要求，隨著通訊技術的發展和光纖在變電所的大量使用，使得通訊速率與通訊品質大幅提升，確保資料傳輸的即時性與正確性。顧名思義，分散式匯流排保護就是將傳統一套匯流排保護裝置的功能分散安裝到各個開關間隔內的外部單元由多具外部單元共同完成保護功能，由各個分散安裝在斷路器附近的外部單元對各個開關間隔內的所

有數位量和類比量進行採集、運算，保護、測量、控制、資料通訊等都由安裝在各個開關間隔內的外部單元來完成，利用通訊設備在外部單元間進行資料與訊息交換，根據匯流排故障情況下的特徵量進行連續判斷達到匯流排的分散式保護，這就是在保護電驛下放到各個間隔回路後所提出的新型分散式匯流排保護系統。另一種分散式數位式匯流排保護系統是將傳統的集中式匯流排保護分散成若干個與被保護匯流排的回路數相同的匯流排保護單元，分散安裝在各個回路的保護單元利用光纖連接起來，每個保護單元只輸入本回路的電流量並將其轉換成數位量後，透過光纖傳送給其它所有回路的保護單元，各保護單元根據本回路的電流量和從光纖上獲得的其它所有回路的電流量進行匯流排差動保護的計算，如果計算結果證明是匯流排內部故障則只跳開本回路的斷路器將故障的匯流排隔離，在匯流排區外故障時各保護單元都計算為外部故障所以都不會動作。這種用光纖搭配的分散式匯流排保護系統，比傳統的集中式匯流排保護系統有較高的可靠性，因為如果一個保護單元受到干擾或計算錯誤而誤動時只會跳脫本回路的斷路器，不會造成匯流排上所有斷路器全部被切除的惡夢，這對於具樞紐位置的超高壓匯流排來說是非常重要的，分散式的匯流排保護系統與集中式的匯流排差動保護有很大的區別，而且分散式的匯流排保護方式愈來愈普遍，傳統集中式的匯流排保護方式已經被以通訊為基礎的分散式匯流排保護系統所取代在國外已經有許多的運用實例。本文中分散式匯流排保護的外部單元(Peripheral Units)與就地控制單元(Bay Unit)或合併單元(Merging Unit)指的是相同的設備，只是有些廠商使用的名稱不同但其功用實際上是相同的，集中式與

分散式數位匯流排保護電驛特性比較一覽表如表 2 所示⁽³⁾。

分散式匯流排保護系統的優點有下列幾點：

1. 數據就地採集與處理不需要將比流器二次側電流利用電纜引接到電驛，可以節省大量的電纜降低投資成本，因電流回路只到就地控制單元(BU)距離短，可以有效降低分佈電容與電磁干擾的影響。
2. 就地控制單元(BU)只對本身的數據進行採集，不再與其他就地控制單元(BU)有任何的電氣連接，可以降低比流器二次側的負擔，提高電流的準確性與降低

比流器飽和的問題，更沒有比流器匝比必須相同的限制。

3. 各就地控制單元(BU)之間沒有任何電氣的連接可以有效降低比流器二次側開路的風險。
4. 可以降低誤操作誤碰觸導致電驛誤動作的風險。
5. 分散式佈置可以增加就地控制單元(BU)數字量的採集，有利於匯流排運轉方式的自動辨別。
5. 容易與線路或變壓器的主保護電驛搭配組成後備保護達到相互備援保護的功能。

表 2 集中式與分散式數位匯流排保護電驛特性比較一覽表

特 性	集中式數位匯流排保護電驛	分散式數位匯流排保護電驛
動作原理	屬低阻抗電驛採比率制動原理	屬低阻抗電驛採比率制動原理
系統複雜度	匯流排保護系統與變電所規模無關無法滿足大規模變電所的需求最多為 24 個拱位(Bay)	匯流排保護系統與變電所規模有關匯流排連接數量等於 MU 數量能夠滿足大規模變電所的需求
對抗比流器飽和和能力	比流器二次側電纜很長雖然匯流排電驛阻抗很低但是比流器二次側負擔仍然很大抗比流器飽和能力較差	比流器二次側電纜很短加上匯流排電驛本身阻抗很小因此比流器二次側負擔很小有助於提升抗比流器飽和能力
對通信的依賴程度	匯流排保護電驛動作的即時數據傳輸量很少且傳輸的信息與保護動作判斷無關，對通信的依賴程度低	CU 與 MU 之間經由光纖連接進行數據交換 MU 的採樣數據與 CU 的跳脫指令傳輸都採用即時性通信，對通信的依賴程度很高
數據的同步採樣	利用電纜線實體連結方式屬內部同步沒有通信延遲問題	每個 MU 之間的數據採集同步比較困難若無法同步將影響 CU 的計算與判斷
動作時間	小於 10ms	15 ms~40 ms
影響可靠性的因素	二次系統相關設備對匯流排保護可靠性影響較大	CU、MU 以及通信網路對匯流排保護可靠性影響較大
系統擴展性	系統擴展困難靈活性較差	系統擴展性高非常靈活能夠適應變電所各種運轉方式的要求。
電壓閉鎖	容易達到	各 MU 信號集中由 CU 運算處理造成 CU 負荷較重可靠性可能降低
使用環境	保護裝置安置在控制室內其溫度、溼度控制與抗電磁干擾能力較佳	MU 安置在開關場其溫度、溼度控制與抗電磁干擾能力較差

根據各設備單元在網路中的作用可以將分散式數位匯流排保護分為有主站與無主站的分散式數位匯流排保護，有主站的分散式數位匯流排保護採用具有比率制動特性的分相式電流差動原理，而無主站的分散式數位匯流排保護採用方向判別與具有比率制動特性的分相式電流差動原理兩種，分散式數位匯流排保護的就地控制單元(Bay Unit 或 Merging Unit)分散安裝在各斷路器內或附近距離比流器、比壓器很近，可以直接接收比流器、比壓器的信號以及斷路器和隔離開關的信號，並進行就地處理將處理後的信號透過網路或光纖，將需要共享的信息放在網路上供匯流排保護使用，有主站與無主站的分散式數位匯流排保護系統其優、缺點如表 3 所示。

(一)無主站的分散式數位匯流排保護系統：

各個就地控制單元(BU)之間透過環形通信網路連接，接收其他所有就地控制單元(BU)所傳送過來的信息，並向其他各就地控制單元傳送本身所採集到的信息，各就地控制單元利用這些信息獨立完成匯流排保護功能。其具體作法是將傳統的集中式匯流排保護分散成若干個與被保護匯流排的回路數相同的匯流排保護單元，分別安裝在各個回路的保護單元利用光纖相互連結，各個保護單元只輸入本回路的電流量及開關狀態並將其轉換成數位量後，透過光纖傳送給其它所有回路的保護單元，各保護單元根據本回路的電流量和從光纖上獲得的其它所有回路的電流量，進行匯流排差動保護的計算，如果計算結果證明是匯流排內部故障則只跳開本回路的斷路器將故障的匯流排隔離，在匯流排區外故障時各保護單元都計算為外部故障故都不會動作。這種利用光纖的無主站分散式匯流排保護系統，比傳統的集中式匯流排保護系統有較高的可靠性，因為如果一個保護單元受到干擾或計算錯誤而誤動作時只會誤跳本回路的斷路器，不會造成匯流排上所有斷路器全部被切除的惡夢，無主站分散式匯流排保護系統對不同的保護

單元數據採樣同步及實時數據的傳輸速度要求非常高。

(二)有主站的分散式數位匯流排保護系統：

各就地控制單元(BU)只與中央處理單元(CU)通信聯繫，向主站中央處理單元傳送本身所採集的信號同時接收來自主站的信息與跳脫指令，匯流排的保護功能由中央處理單元與就地控制單元共同組成。其具體作法是安裝在現場的各個就地控制單元將本身所採集的比流器、比壓器的數值與斷路器及隔離開關的狀態經過 A/D 轉換後利用光纖將轉換後的信號傳送到位於控制室的中央處理單元，中央處理單元在收到現場各就地控制單元送達信號後，會對信號進行綜合判斷當判斷結果是匯流排故障時中央處理單元就會對各個就地控制單元下達跳脫指令，由各個就地控制單元先經過本身的過電流偵測後確認兩者條件均成立才執行跳脫斷路器的任務，可以防止主站誤判造成誤動作，至於有主站的分散式數位匯流排保護系統如圖 5 所示。

無論是有主站的分散式數位匯流排保護系統或是無主站的分散式數位匯流排保護系統，都必須確保電流的採樣與數據傳輸的同步，才能夠讓差電流的計算得到正確的結果這是分散式匯流排保護的重點，由於通信流量增加使得對通信網路的要求更高，導致通信網路結構愈來愈複雜其複雜程度可能超過電驛本身因而降低匯流排保護的可靠性，但隨著光纖的使用這些問題獲得有效解決，因為光纖可以提供快速且大容量的數據傳輸以及傳輸過程中的抗干擾能力。有主站的分散式數位匯流排保護系統其所有就地控制單元經由相同的傳輸通道，將所採集的信號經 A/D 轉換後的數據傳送到中央處理單元，對數據的同步要求較低。至於無主站的分散式數位匯流排保護系統，必須透過高採樣頻率與快速的通信方式來解決同步問題，使得無主站的分散式數位匯流排保護系統對通信網路的要求非常高，因此在實際應用上有主站的分散式數位匯流排保護系統占多數。目

前台電公司尚未引進分散式匯流排保護系統，但是因為部分變電所的開關設備量超過 24 個檔位已經超出數位式匯流排保護電驛的使用極限，雖然採用同一匯流排上相同性質的設備其 CT-4 三相電流並接後再接入電驛的權宜措施，但非長久之計因而有考慮要引入分散式匯流排保護系統，在國外使用中的分散式數位匯流排保護有 ABB 的 REB500、西門子 7SS52、AREVA 的 MICON P740 等，其中 MICON P740 的產品較為成熟。

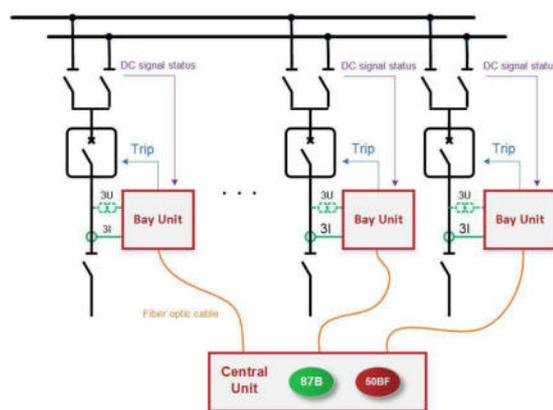


圖 5 有主站的分散式數位匯流排保護系統
(參考文獻 6)

表 3 有主站與無主站的分散式數位匯流排保護系統優缺點比較一覽表

分散式數位匯流排保護的分類	優點	缺點
有主站分散式數位匯流排保護	<ol style="list-style-type: none"> 1. 通信方式比較簡單同步要求低 2. 各BU只單獨與主站數據傳輸 3. 數據傳輸量少時間延遲較短 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 匯流排保護由主站運算完成 2. 主站保護裝置若誤判將造成全匯流排停電的重大事件
無主站分散式數位匯流排保護	<ol style="list-style-type: none"> 1. 每個BU可以單獨完成保護功能 2. 只跳脫與個別BU相連的斷路器 3. 不會造成全匯流排停電的事故 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 通信方式比較複雜 2. 數據採集與傳輸同步要求較高 3. 數據傳輸量大時間延遲較長

四、以 IEC 61850 為基礎的匯流排差動保護

基於 IEC-61850 的數位化變電所體系結構中引入過程層(Process Level)的觀念，要求不再依靠大量電纜來傳輸過程層參數而是透過交換式乙太網的過程層通信網路來傳輸，電流採樣值以及一次設備的狀態資訊和一次設備的控制資訊等，為分散式匯流排保護在中央單元和外部單元間實施電流相量測量並提供差動保護功能，分散式匯流排保護對間隔層具有分散處理能力，可以克服傳統集中式匯流排保護的缺點，因而成為今後匯流排保護的主流，但分散式匯流排保護也具有間隔多，資料即時性要求高，資料通信量大等技術難題。在 IEC 61850 的解決方案中，以前差動保護系統的外部單元已經被合併單元所取代，合併單元的主要工作是將一個非傳統或傳統的比流器、比壓器的類比信號轉

換成數位信號，並透過光纖將取樣值發送到中央單元執行差電流計算，當保護區間內發生故障時做出動作決定並透過合併單元來執行跳脫任務，以抽樣類比值(SAV)為基礎的匯流排差流保護如圖 6 所示(參考文獻 4)。合併單元和保護、控制、監視或紀錄設備之間的互通性以透過文件等方式來確保，在保護應用上合併單元每週波發送 80 個樣本，即每個乙太網幀(Ethernet frame)有 MAC(Media Access Control)發射端數據包括一套單一的電壓和電流樣本，取樣值的資料交換是根據發行者與預約者(publisher/subscriber)的機制，在傳送端發行者利用地方緩衝器編寫數值，在接收端預約者從地方緩衝器研讀此數值。計時標記被加入數值中，因此預約者能夠檢查數值的即時性，並且利用它們來排列下一步要處理的樣本，通訊系統將負責更新預約者的地方緩衝器，在發行者端使用採樣值控制(SVC)來控制通信程式。從比流器和

比壓器來的電流和電壓被提供做為在變電所 LAN 取樣數值使用，在此情況下網路成為提供比壓器邏輯結點和不同邏輯結點之間的介面，此介面被用來塑造 IED 功能元件的資料匯流排。PDIF 代表在中央單元邏輯結點的匯流排差流元件，差電流的計算是根據從系統裡使用單一合併單元所收到有相同時間標記的樣本取樣值，取樣的數值傳輸要特別注意時間限制，可以利用一套組織和時間控制的方式來提供取樣值的最佳相序和時間樣本。分散式匯流排差動保護的數據收集，其合併單元由中央單元來同步，在此情況下單一合併單元的時間同步必須小於 1 微秒，同步設備(或同步裝置)被用來確保信號波形紀錄系統符合時間同步的要求，它透過 RS485 網路傳送每秒 1 脈衝(1PPS)的信號到系統裡所有的介面設備，在此架構下時間同步的準確性達到低於 1 微秒，每個合併單元被連接到乙太網路的開關上，而中央單元接收從系統內各合併單元乙太網路開關上的所有訊息(參考文獻 4)。

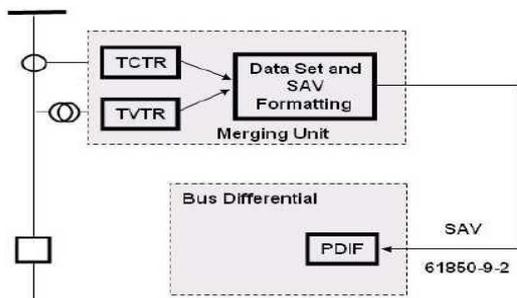


圖 6 以抽樣類比值(SAV)為基礎的匯流排差流保護

所謂數位化變電所是將變電所內的所有資訊採集、傳輸、處理、輸出過程由過去的類比信號轉換成數位信號，並搭配相互適用的通信網路系統，數位化變電所自動化系統的結構在物理上可分為兩類，即智慧化的一次設備和網路化的二次設備，由於一次設備和二次設備之間因智慧化和網路化而緊密結合，在結構上可分為三個層次並根據 IEC61850 通信協定將這三個層次由下而上分別訂為：過程層、間隔層、站控層等三層結構如下圖 7 所示，各層次之間和本層內部都採用高速網路進行通信，

分別將三層次說明如下⁽²⁾：

(一)過程層(Process Level)：傳統比流器與比壓器、光比流器與比壓器、合併單元、智能開關、斷路器等相關設備均安置在本層內，過程層位於最下層它是變電所智慧化的關鍵，包括採樣數位化與 GOOSE 通信網，也是變電所內一次設備和二次設備的連結介面，數位化變電所的過程層主要由高壓一次智慧設備所組成，其功能主要有下列幾點：

1. 電力系統運轉過程中的即時電氣量檢測，與傳統的功能一樣是電壓、電流、相位以及諧波分量的檢測，間隔層才根據這些電氣量運算求得無功、有功、頻率等值。與傳統檢測電氣量方式不同的是，傳統電磁式比流器和比壓器被電子式比壓器與光電式比流器所取代，傳統類比量被直接採集數位量所取代，提高檢測的精確度對增進電力系統的穩定運轉有很大的幫助。
2. 對運轉中設備狀態參數進行精確的線上檢測與統計，在變電所內需要進行線上狀態參數檢測的設備有變壓器、斷路器、隔離開關、匯流排、電容器、電抗器與直流電源系統等，其檢測的主要項目有溫度、密度、壓力、機械特性、絕緣特性以及其他設備工作狀態的相關數據。
3. 操作控制的執行與驅動，包括對電容器和電抗器的投切控制、對斷路器與隔離開關的投切控制、對變壓器進行分接頭調節控制、以及對直流電源進行充放電操作控制。

過程層的控制執行與驅動都是被動的它接收來自上層的控制指令而動作，例如：接到間隔層保護裝置的跳脫指令、斷路器與隔離開關的遙控投切指令、電壓無功控制的投切命令等，過程層對控制命令的執行具有智慧性，它不僅能對即將進行

的動作進行精準控制，使斷路器的主接點能夠在零電壓時投入在零電流時斷開，還能夠在執行這些控制命令前準確判斷命令的真實性與合理性，以確保電力系統的安全與穩定。

(二)間隔層(Bay Level):間隔層位於中間層是保護與控制的地方，傳輸的數據有二進制和模擬輸入與輸出信號組成，其設備以每個間隔單元為基礎進行配置，由若干個二次子系統組成，在站控層及站控層網路失效的情況下，仍然能夠獨立完成間隔層設備的就地監控功能，由每個間隔的控制、保護與監視單元組成。間隔層的主要功能是彙集本間隔層即時數據採集、統計運算及控制命令的發出，實施對一次設備保護控制功能和本間隔的操作閉鎖功能，以及間隔之間的閉鎖功能，操作同步及其他控制功能，具有承上啟下的通信功能，及同時快速完成與過程層及站控層之間的網路通信功能，此層次主要包括故障波形紀錄系統、保護測量、控制、測量等功能。傳統變電所の間隔層設備利用電纜輸入電壓、電流信號直接進行採樣和資料分析這種方式的採樣延時比較穩定，而間隔層設備以通信方式取得採樣值，由於網路傳輸延時導致時序特性不一致，間隔層得到的每個通道採樣資料時序上會出現較大誤差，由於資料連結傳輸延時的不確定性將導致接收的採樣數據無法同步，這對於採樣同步要求較高的變壓器保護和匯流排差動保護有可能會造成誤動作。站控層和間隔層之間透過乙太網路相連結，間隔層和站控層之間以 IEC61850-8-1 方式交換信息，間隔層的測控設備之間經由 GOOSE 協定進行點對點的即時資訊交換，達到間隔單元的防止誤動作閉鎖功能。過程層設備主要包括合併單元和智慧操作箱，合併單元將收到的電子式或傳統的比流器與比

壓器信號透過光纖或乙太網路按照 IEC61850-9-2 通信協定標準送到間隔層的保護和測控設備，至於智慧操作箱透過 GOOSE 協定與間隔層設備互相交換上傳開關資訊，並接收來自間隔層設備的控制命令對一次開關進行投、切的動作。

(三)站控層(Station Level):監控主機、工程師站、電腦、人機介面、開道器等皆集中在此層，站控層位於最上層，站控層與間隔層之間利用乙太網路或光纖傳輸各種資料，其主要任務是透過高速網路彙總全站的即時數據資料，不斷更新即時數據庫接收登錄歷史數據庫以確保歷史數據庫的有效性，按既定規約將有關數據資料送往調度或控制中心，並接收調度或控制中心有關控制命令並轉發給間隔層與過程層去執行，具有線上可程式設計的全站操作閉鎖控制功能，具有站內當地監控，人機聯繫功能，如顯示、操作、列印、警報、圖像、聲音等多媒體功能，同時能對間隔層、過程層中各個設備進行線上維護、線上監控、線上修改參數，同時還具備對變電所故障進行自動分析的功能。

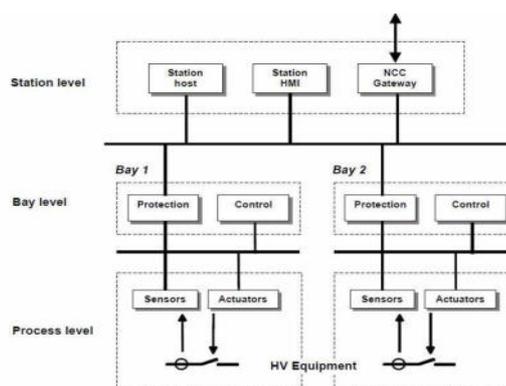


圖 7 IEC 61850 變電所自動化架構圖
(參考文獻 2)

合併單元 MU (Merging Unit) 首次在 IEC60044-8 標準中提出，標準中對數位輸出規定的典型做法是將 7 個電流和 5 個電壓的二次變換器組成一個合併單元如圖 8 所示，透過乙太網路資訊幀發送給二次保護系統及監控設備。在站控匯流排(Station

Bus)的資料傳輸主要使用 IEC61850-8-1 標準，不同的間隔之間可使用 GOOSE(Generic Object Oriented Substation Events)進行溝通並達成 BU 間互鎖功能，相較於傳統變電所的互鎖功能需要採用大量硬體接線，而 GOOSE 只需要網路線即可達成不需額外的輸入與輸出接點，合併單元接收本端的電壓、電流信號後，透過 IEC61850-9-2 標準(間隔層和處理層之間採樣值的通信)在程控匯流排(Process Bus)上與各廠牌的 IED 相互連線溝通，程控匯流排會用到 GOOSE、Sample Value 兩種通信模式。GOOSE 主要用來傳遞指令或開關狀態，Sample Value 則用來傳遞實際的電壓、電流類比值。合併單元的組成包括 7 路測量與保護的電流信號、5 路電壓信號、二進位開關狀態、電源資訊等，把合併單元當成是一個 12 路電流、電壓信號為其相應的邏輯節點，其主要功能是對同步採集的三相電流與三相電壓信號彙總並按一定的格式輸出給二次保護設備，合併單元可分為二種類型：一種僅能與電子式比流器、比壓器連接，另一種則可與傳統的比流器、比壓器連接後者又稱為 SAMU(Stand-alone Merging Unit)，其在 IEC61850-9-2 的輸出動態形式尚未定義，SAMU 的規範在 IEC61869 標準中有另外訂定。

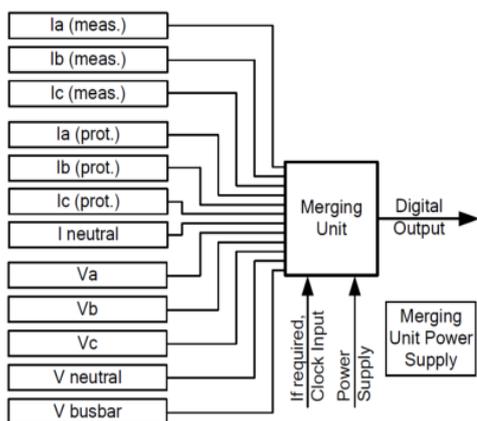


圖 8 合併單元(MU)的構造(參考文獻 6)

合併單元作為電子式比流器與比壓器、智慧化一次設備、傳統比流器與比壓器與智慧化二次保護、測量監控和計量設備的介面，其主要功能是接收一次設備的

信號，並對採樣的資料進行彙總，根據二次接入設備的要求輸出相同或不同的數值和開關信號，同時可接收二次設備的命令信號，合併單元接入的信號包括有：電子式比流器與比壓器二次側輸出的數字採樣值、智慧化一次設備的開關信號、傳統比流器與比壓器的類比信號等。當變電所內未全部配置電子式比流器與比壓器時，可在合併單元同時接入數位信號和類比信號，在同步後輸出至匯流排保護電驛，也可將所有的傳統比流器與比壓器的模擬量接入合併單元，由合併單元輸出數位信號給匯流排保護裝置，合併單元的功能一般有下列三項分別說明如下⁽⁶⁾：

(一)數據接收和處理功能模組：

此模組同時接收多路的電子比流器(ECT)與電子比壓器(EPT)的輸出信號，並透過合併單元此介面傳輸到數據處理中心 CPU，而 CPU 再根據數字信號的處理原則先入先出(FIFO)方式來完成信號的處理。

(二)同步功能模組：

此功能是用來同步與合併單元相連的 12 路一次側 A/D 轉換電路，使各路的 A/D 同一時間取樣電流值與電壓值，並同時接收全變電所內統一的秒脈衝基準，用來達成全變電所合併單元之間的同步。在正確識別外部的精確時鐘訊號(一般採用 GPS)後，合併單元給各路 A/D 轉換器發送同步轉換訊號。

(三)乙太網發送模組：

各路數據接收完成後將它們按 IEC61850-9-2 標準規定的乙太網框架格式進行資訊封裝並透過乙太網路即時送出給二次保護及監控設備，採樣值包括保護值和測量值 IEC61850 規定兩者的採樣頻率不同，在發送時兩者是互斥的如果兩種資料同時發送時，為了保證保護值的時間時延最小必需優先發送保護值。合併單元由數據介面、CPU、乙太網路控制器組成，合併單元主要的功能有兩相分別是：資料的同步採集和透過乙太網路發送資料。

一般匯流排利用傳統的匯流排電流差動保護方式，它們需要從每個連接到匯流

排設備取得電流信號，這對集中式或分散式的母線差動保護的中央單元是須要的，如果比流器匝比不同則傳統低阻抗匯流排差動保護方式變得更複雜，如果匯流排的架構改變則匯流排差動保護系統的硬體接線配置也必須配合改變。由於高成本和維護的需求增加，在許多情況下變電所或次級傳輸匯流排未裝設匯流排差動保護電驛，導致匯流排故障時由電源端的後衛電驛來清除進而延長故障清除時間，由於電壓驟降的時間拉長引申成為電力品質的嚴重問題。利用 IEC61850 過程匯流排的配置可以降低成本，因為它移除對外部元件的需求並利用合併單元來取代外部單元。如果變電所不適合用過程匯流排，而且必須快速排除匯流排的故障，則仍然需要使用低阻抗的匯流排差動保護。根據 IEC 61850 匯流排保護的替代方案，變電所使用站匯流排(Station bus)是採用方向性比較匯流排保護方式，利用在 IEC 61850 定義分散應用的觀念，結合並根據電流和電壓重疊的成份，使用快速的方向偵測演算法計算連接到變電所內的多個保護裝置，應用高速對等的“GOOSE”通信技術提供分散式匯流排保護一個絕佳的解決方式。利用保護裝置故障方向偵測結合方向性元件的判斷來辨別匯流排是否故障，以圖 9b 為例：當故障發生在 D1 時，D1 保護裝置將看到一個向前的故障且方向元件不動作，其他三個輸電線或變壓器的保護裝置看到一個反向的故障且方向元件動作，將分別送出一個“GOOSE”的信號顯示對此故障的偵測結果，在此情況下一個保護裝置將偵測到一個向前方向的故障及三個方向性元件動作信號，上述信號輸入中央單元執行方向比較，對匯流排保護而言這是一個外部故障匯流排保護電驛不會動作。如果故障發生在匯流排上，則四個保護裝置將看到反向(背後)故障或是沒有故障(如果連接到弱電源)而且四個方向性元件均動作，沒有任何一個保護裝置會看到向前的故障，經中央單元執行方向比較判定為匯流排內部故障匯流排保護電驛會動作如圖 9a 所示(規定電流流入匯流排為正且方

向性元件動作)。中央單元必須編輯、審定“GOOSE”信號，從連接到匯流排保護所有以高速定向偵測元件的保護設備，在此情況下分散式匯流排保護功能利用標準的控制器，監測、控制來自各個電驛的“GOOSE”信號，包括系統的分散式匯流排保護功能。如果至少有一個電驛指出一個反向故障，並且所有剩餘訊息指出反向或無故障情形且沒有偵測到向前故障，則匯流排保護功能辨認出匯流排內部故障，並且送出一個通信訊息去跳脫所有連接在匯流排上的斷路器，為了確保所有電驛有足夠的時間去偵測故障和確定故障方向需要短時間的延遲，快速定向偵測演算法和性能優越的“GOOSE”是快速和可靠的定向比較匯流排保護方式的先決條件。每個 Bay 的保護裝置進行本回路的電流方向判斷並透過通信網路將本回路的電流方向訊息和斷路器及隔離開關等運轉狀態送到中央處理單元進行綜合判斷是否為匯流排故障，當匯流排內部故障時所有 Bay 的電流方向均為正，經過中央處理單元的運算判斷後發出跳脫命令而匯流排外部故障時至少有一個 Bay 的電流方向為負此時中央處理單元運算後閉鎖輸出跳脫命令。

負序阻抗方向元件：由於方向性元件必須利用電壓信號當比壓器二次回路斷線或是發生在出口的三相短路故障時將導致匯流排電壓降至零此兩種情況將造成方向元件無法正確動作，為了改善此缺失而有負序阻抗方向元件的使用，利用負序電壓極化方向元件並輔以零序電流和零序電壓極化元件來組成方向判斷，採用負序電壓極化方式對於比壓器二次側無論是星型接線或是三角型接線均適用以達到對所有各種對稱性故障的方向判斷。

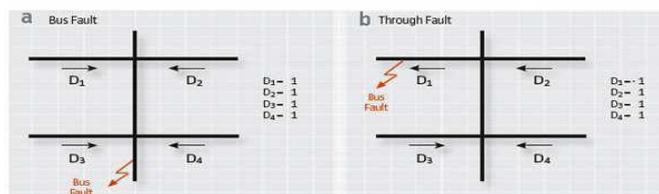


圖9 方向性比較匯流排保護的內部故障、外部故障圖

五、結論

匯流排能否正常運轉對於電力系統的穩定供電與供電安全攸關重要，由於匯流排保護電驛動作，將會造成大範圍停電後果非常嚴重，由於各種因素的影響匯流排故障無法安全杜絕。因此，當匯流排保護電驛動作後，根據數位電驛內部所紀錄故障波形與相關訊息，可以及時發現故障原因並進行故障處理，儘速恢復匯流排的供電，同時採取相關的改善措施以提高匯流排的運轉安全，降低匯流排事故發生率，對電力系統的安全穩定運轉是非常重要的。匯流排保護電驛從最簡單的過電流電驛發展到現在，主要經歷了低阻抗、高阻抗、中阻抗匯流排差動保護、數位式匯流排差動保護，以及現在的分散式匯流排保護，為滿足速動性與選擇性的要求上述的匯流排保護都是以差電流保護為理論基礎，並且都是對匯流排所連接各回路的電流直接計算來完成匯流排保護。上述不同類型的匯流排保護可以分為：集中式和分散式兩種，傳統集中式匯流排保護由於需要將所有電流都引接到匯流排保護電驛，無法達到分散佈置的要求，因傳輸距離遠近不同靠電纜連結會增加比流器二次側負擔，很容易因外部故障所引起的比流器飽和而造成保護電驛誤動作，另外還有二次側接線複雜、擴充困難、易受干擾，無法適應匯流排運轉方式變化等多項缺失。至於分散式的匯流排保護主要是把採集資料和資料處理的功能分散到各個保護間隔中，由於分散式的匯流排保護仍然是採用差動原理，各個保護裝置的資料處理量很大，同時還必須考慮到同步與通訊等問題。由於通訊技術的快速發展與光纖在變電所的大量使用，使得通訊速率大幅提升，通訊品質也得到大幅的改善，確保資

料傳輸的即時性與正確性，藉由網路和光纖達到大量資料高精確度的同步採樣與傳輸，滿足了分散佈置的要求。分散式數位匯流排保護分為有主站分散式數位匯流排保護和無主站分散式數位匯流排保護兩種，無主站分散式數位匯流排保護，各個BU間互相傳遞即時數字量與訊息因此對通信品質要求非常高，至於有主站分散式數位匯流排保護各個BU單獨只與主站的CU通信，各BU之間沒有任何關連這種保護方式對通信品質要求不高，因此目前使用中的分散式匯流排保護採用此方案較多。目前台電公司正在推行智慧電網而智能化變電所是智慧電網的重要關鍵，智能變電所是指智能化一次設備網路化二次設備並基於IEC 61850通信協定分層構建，可以達到智慧設備間資訊共享和交互操作的現代化變電所，IEC 61850將智能變電所分為過程層、間隔層和站控層，各層內部及各層之間採用高速網路或光纖通信，可以達到保護下放到現場及節省電纜與簡化二次回路的優點，目前台電公司正於新社配電變電所試辦中。

參考文獻

- [1] Edward Chikun, "Power System and Substation Automation", 2012.
- [2] Klaus-Peter Brand, Volker Lohmann, Wolfgang Wimmer, "Substation Automation Handbook", 2003.
- [3] Siprotect 7SS52 7SS60 Distribute Numerical Busbar and Circuit Breaker Failure Protection Relay, SIEMENS, 2003.
- [4] Apostolov, Bastigkeit, "Testing of Modern Bus Protection Systems", CIGRE 2008 B5-215.
- [5] 何磊, IEC 61850應用入門, 中國電力出版社.
- [6] 網路資料 - 百度文庫 (wenku.baidu.com).

三相鼠籠式馬達狀態監測與診斷技術之應用

台電公司核技處 鄭 強

國立台灣科技大學電機工程系 郭政謙、蕭弘清

摘 要

智慧電網之高壓馬達系統狀態監測與診斷系統，涵蓋三個主要物理量檢測方向，分別為振動，電量及局部放電之檢測與分析技術。考慮智慧電網高壓馬達線上診斷系統建置前，運轉維護工程師可於現場讀取馬達三相電壓、電流運轉數值，計算馬達運轉之三相電壓、電流不平衡率，藉三相電壓與電流的不平衡率，評估馬達電機機械結構、磁場之非對稱性及其性能老化的程度。並可藉運轉經驗回饋機制，提供開發高壓馬達線上狀態監測與診斷系統之技術參考。

關鍵詞：高壓馬達、狀態監測、診斷系統。

Keywords: High Voltage Motor, Condition Monitoring, Diagnosis System.

一、前言

感應電動機在特殊起停頻繁運轉狀態下，或是處於高熱、高濕氣與粉塵汙染運轉環境下，係導致感應電動機絕緣加速老化與劣化縮短可用年限的要因。高壓感應電動機之定子、轉子繞組、軸連接器及軸承等結構，可能因設計、組裝程序存在瑕疵與缺陷，或驅動變動性負載等情況，而導致感應電動機絕緣加速老化縮減其可用年限。輔機系統各個類感應電動機與機械泵類之強健度，亦直接或間接影響發感應電動機出力狀態。亦將對電力系統供電穩定度及電力品質，產生不利的影響外，亦可能衍伸出鉅額的電力經濟損失。

故依三相感應電動機運轉特徵值、三相電壓、電流平衡率等理論基礎與評估指標，建立高壓感應電動機線上檢測與診斷技術，辨識線上運轉感應電動機強健度及

其弱點，適時擬定檢修或汰換備品之因應策略，以強化機組運轉風險之管控技術，有助於降低輔機設備引起機組降載、停機之潛在威脅。

二、分析統計高壓馬達之故障率

有關高壓感應電動機故障分類及統計分析文獻指出[1, 2]：高壓感應電動機機械性故障比例約占 53%，故障型態包含軸承故障、轉子偏心、轉軸不平衡、楔子鬆動等；其次，電氣性故障率約 47%；其中 37%源於定子繞組異常，如絕緣老化、絕緣劣化等屬於定子線圈故障要因；另轉子性能弱化約占 10%故障率，其影響因素如電流不平衡、轉子鐵心積熱或鼠籠繞組接合不良、氣隙不均勻、斷條等缺陷等要因，可能導致耦合旋轉磁通脈動不平衡現象。

高壓感應電動機故障分類包含轉子故障、定子故障、軸承失效與對中故障等，其中機械性軸承故障比例達 41 %最高，定子線圈故障比例為 37 %次之，轉子故障比例約為 10 %最低；感應電動機之故障比例，如圖 1 所示。然而高壓感應電動機處於高溫、高溼、高汙染之運轉環境、頻繁啟動與停機、過載、軸承異常振動、潤滑不良，或是驅動三相感應電動機之三相電壓不平衡或欠相運轉等因素，均可能導致感應電動機性能逐漸降低而趨於老化。運轉環境引起感應電動機故障外在因素之百分比，整理如圖 2 所示；圖中顯示感應電動機過載、軸承潤滑不良與環境濕氣、潔淨度，係引起感應電動機故障的主要原因。

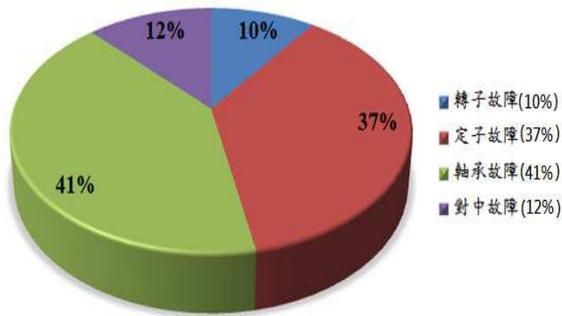


圖1. 感應電動機故障原因之統計圖

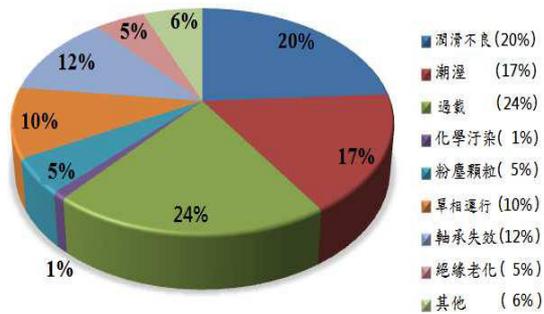


圖2. 運轉環境因素引起感應電動機故障之統計圖

三、感應電動機性能降低要因分析

有關感應電動機預防性診斷技術創新之研發議題，較電力變壓器、同步發電機、電容器組、並聯電抗器、斷路器、地下電纜等電力設備預防性診斷技術之發展為低。故研討高壓感應電動機性能降低與故障分析，提升運轉維護技術有其必要性。

電力系統供電品質不良、感應電動機過載、堵轉、高溫度、高溼度之運轉環境及其起停操作邏輯控制程序等，有關感應電動機性能降低之因素。感應電動機性能，可能由單一或是複合性要因，引起感應電動機繞組絕緣或是鐵心加速老化，導致感應電動機運轉性能與效率降低。若感應電動機於無預警狀態下驟然失效不可用，除了直接影響機組出力外，亦可能影響系統運轉穩定度。

感應電動機典型之故障類型，包含定子、轉子鐵心、繞組絕緣、軸承等組件，其性能降低與故障要因，臚列如下：

3.1 定子鐵心短路：感應電動機運轉於過電壓或/及低頻率之過激磁狀態下，或是於

感應電動機鐵心未充分鎖緊或固定，在長期運轉振動鐵心絕緣磨耗下，可能引起定子鐵心退磁，損失增加而使得效率降低。其次，由運轉電磁功率轉換之機械力矩，可能引起鐵心固定元件鬆動、脫落、振動加劇；而機械振動可加速矽鋼片表面絕緣磨耗，升高渦流損失，進而引起鐵心局部熱點溫度升高。

3.2 若鐵心熱點溫度達到 800 °C 容許值以上，可導致矽鋼片表面玻璃及酯組成的無機物鍍膜劣化，除了對鐵心產生退磁、溫升效應外，熱點亦將加速線圈絕緣老化，降低其可用年限與效能。

3.3 軸承故障：三相電壓不平衡率高、軸承潤滑維護排程不當，係軸承失效、轉軸振動、噪音加劇的要因，長期運轉以來，可能造成定子與轉子結構異常磨耗。

3.4 定子繞組絕緣磨損：繞組因長期運轉機械振動磨耗而劣化絕緣；其次，絕緣層與定子線圈、鐵芯材料之冷熱膨脹、收縮係數不同，可能為定子繞組絕緣磨耗故障之因素。

3.5 定子繞組匝間短路：若大型感應電動機通常與其繞組幾何結構設計不良有關，可於感應電動機加入系統運轉後，發生繞組絕緣失效之事故；其次製造、組裝製程管控不當，如繞組間含有雜質或線圈壓型不當，亦屬影響繞組匝間或層間短路的因素。

3.6 鼠籠繞組斷條和端環開裂：鼠籠式感應電動機在全壓起動時，轉子導體條承受較正常負載為高的時變感應電磁力及機械力矩，且其端環承受較大的離心力，容易造成轉子斷條及端環開裂。

3.7 系統供電品質不良，如電源不平衡、欠相、過電壓、低電壓、低頻率、旋轉相序反向、系統擾動及其線路復閉操作等運轉異常狀態。另系統供電之三相電壓平衡率，對感應電動機所產生負面的影響，較系統頻率變動、諧波汙染為嚴重。

3.8 三相感應電動機於輸入三相電壓不平衡狀態下，感應電動機定子繞組輸入之三相電流，亦不再維持平衡且對稱之狀態；而感應電動機之合成同步旋轉磁場

亦不再穩定，因而同步旋轉磁場產生脈動波；另三相不平衡電壓中的負相序分量，係導致感應電動機轉子過熱與電磁機械振動升高之因素。

- 3.9 運轉高粉塵性汙染環境，導致冷卻風道阻塞，或環境溫度高於 40°C、高濕度等異常環境，即可增加感應電動機之老化速率。

四、三相電壓不平衡指標

目前美國電氣製造商公會(NEMA)、國際電機電子工程師學會(IEEE)、國際電工委員會(IEC)等組織，針對感應電動機分別訂定度量三相電壓不平衡率的標準[3, 4, 5]。三相電壓不平衡率對感應電動機之影響程度，可以使用多種指標來表示，以下分別說明其指標意義。

美國電氣製造商公會(NEMA)所用指標稱為“線電壓不平衡率”(line voltage unbalance rate, LVUR)，定義為三相線電壓偏離平均線電壓的最大值，對平均線電壓之比值；LVUR 以數學公式表示為：

$$LVUR = \lambda_u = \frac{\text{Max}(|U_1 - U_{avg}|)(|U_2 - U_{avg}|)(|U_3 - U_{avg}|)}{(U_{avg})} \times 100\%$$

.....(1)

式中 U_1 、 U_2 、 U_3 為三相線電壓振幅， $U_{avg} = (U_1 + U_2 + U_3) / 3$ 為三相線電壓的平均值。

IEEE Std. 141、IEEE Std. 241 以相電壓為基準，定義其不平衡，計算方式與(1)式類似，稱為“相電壓不平衡率”(phase voltage unbalance rate, PVUR)。IEEE Std. 141、IEEE Std. 241 之相電壓不平衡率 PVUR1 以公式表示如下：

$$PVUR = \lambda_{v1} = \frac{\text{Max}(|V_1 - V_{avg}|)(|V_2 - V_{avg}|)(|V_3 - V_{avg}|)}{(V_{avg})} \times 100\%$$

.....(2)

式中 V_1 、 V_2 、 V_3 為三相相電壓振幅量測值，而 $V_{avg} = (V_1 + V_2 + V_3) / 3$ 用以計算三相相電壓的平均值。

以相電壓評估系統三相電壓不平衡率，其定義為三相相電壓的最大值與最小值之差，對三相相電壓平均值之比，以 PVUR₂ 表示三相電壓不平衡率如下：

$$PVUR_2 = \lambda_{v2} = \frac{V_{Max} - V_{min}}{V_{avg}} \times 100\%$$

.....(3)

以相電壓的振幅大小，評估三相電壓不平衡率，有其缺點；例如當三相相電壓大小相等，但相位角度偏離 120° 時，即難以藉由計算公式，準確的評估三相相電壓不平衡的嚴重性；其次，量測相電壓須以比壓器中性點為參考點，若輔機匯流排之三相比壓器未提供中性線，或是僅配置兩具以開三角接線的比壓器，僅可於比壓器二次側三相三線迴路上，取得三相線電壓；在上述情況下，可能受限於量測值而造成分析上的困擾，因此 PVUR 的應用有其侷限性。

國際電工委員會(IEC)及 IEEE Std. 1159[6, 7]藉電壓振幅及相位角度量測值，應用對稱分量法則，將不平衡三相系統轉換為正、負、零相序之三相平衡系統，再輔以負相序分量與正相序分量之比率，定義其“不平衡因數”(unbalance factor, UBF)，得以主準確衡量三相電壓不平衡率的嚴重性。不平衡因數 UBF 以公式表示如下：

$$UBF = \tau = \frac{|V_n|}{|V_p|} \times 100\%$$

.....(4)

不平衡系統之相電壓中，存在著正相序、負相序與零相序分量；而在不平衡系統之線電壓中，因零相序分量恆等於零，故僅有正相序及負相序成分。因此不平衡三相系統，可依三相三線式或是三相四線式系統，選擇相電壓或是線電壓與相位角度量測值，計算分析評估不平衡因數 UBF 之作用與影響。

依 UBF 定義，亦可延伸為“複數電壓不平衡因數”(complex voltage unbalance factor, CVUF)、“複數相電壓不平衡因數”(complex phase voltage unbalance factor, CPVUF)、“複數線電壓不平衡因數”(complex line voltage unbalance factor, CLVUF)，其定義分述如下：

$$CPVUF = \bar{k}_v = \frac{|V_n|}{|V_p|} \times 100\% = k_v \angle \theta$$

.....(5)

\bar{k}_v 與 \bar{k}_u 的百分比值大小等於 τ ，但角度不同，由式(5)可知

$$\theta_v = \theta_u + 60^\circ, \bar{k}_v \text{ 與 } \bar{k}_u \text{ 的關係為}$$

$$\bar{k}_u = \bar{k}_v \cdot \exp(-j60^\circ) \dots\dots\dots(6)$$

零相序電壓亦為造成電壓不平衡因素之一，因此零相序電壓對正相序電壓之比值，也是電壓不平衡的指標之一，稱為“電壓非對稱因數”(voltage asymmetry factor, VAF)，其定義如下：

$$VAF = k_a = \frac{|V_0|}{|V_p|} \times 100\% \dots\dots\dots(7)$$

若同時考慮“電壓非對稱因數” k_a 振幅與零相序電壓超前正相序電壓的角度 θ_a ，則可進一步表示為“複數電壓非對稱因數”(complex voltage asymmetry factor, CVAF)

$$CVAF = \bar{k}_a = \frac{|V_0|}{|V_p|} \times 100\% = k_a \angle \theta_a \dots\dots\dots(8)$$

關於上述 8 種電壓不平衡指標，每一種指標都有其特殊用途與優缺點。LVUR、PVUR 都是常用的指標，其優點為計算簡單，現場工程師僅需使用一具勾式伏安計量測紀錄三相線電壓、相電壓或是線電流，利用簡單的四則運算，即可求得 LVUR 與 PVUR 之值；但其缺點是這兩個指標所含對感應電動機影響的物理意義，並不明確與清晰。

電壓不平衡因數 UBF 則清晰表達電壓不平衡的物理機制，電壓不平衡可以視為一組正相序電壓，受到負相序電壓的干擾，因此負相序電壓對正相序電壓的比值，就有類似雜訊/訊號比(noise/signal ratio)的物理意義，所以電壓不平衡因數，經常用於評估電壓不平衡，對三相電動機及整流器的影響。複數電壓不平衡因數(CLVUF、CPVUF)除了正、負相序電壓的比值，還包含正、負相序電壓之相位角度差，其物理意義非常豐富，因此在學術研究上是最常用的指標。

但電壓不平衡因數(UBF、CLVUF、CPVUF)的計算，必須透過對稱分量分析，在實務上，有所侷限與不便。另於現

場採用電力分析儀，可獲得電壓不平衡計算所需三相電壓大小及角度之必要參數。若受限於電壓與相位角度檢測設備之不足，僅能獲的三相電壓的大小而無角度，可應用下列公式，自三相電壓的大小，直接計算出電壓不平衡因數的大小(k_u)與角度(θ_u)。

$$k_u = k_v = \tau = \frac{A - \sqrt{3A^2 - 6B}}{\sqrt{6B - 2A^2}} \dots\dots\dots(9)$$

$$\theta_u = \angle \left[-(U_{bc}^2 + U_{ca}^2 - 2U_{ab}^2) + j\sqrt{3}(U_{bc}^2 - U_{ca}^2) \right] \dots\dots\dots(10)$$

式中，

$$A = U_{ab}^2 + U_{bc}^2 + U_{ca}^2,$$

$$B = U_{ab}^4 + U_{bc}^4 + U_{ca}^4$$

式 9 可以另一種形式表示如下：

$$k_u = \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\xi}}{1 + \sqrt{3 - 6\xi}}} \dots\dots\dots(11)$$

$$\xi = \frac{(U_{ab}^4 + U_{bc}^4 + U_{ca}^4)}{(U_{ab}^2 + U_{bc}^2 + U_{ca}^2)}$$

式 10 表示 θ_u 是複數 $[-(U_{bc}^2 + U_{ca}^2 - 2U_{ab}^2) + j\sqrt{3}(U_{bc}^2 - U_{ca}^2)]$ 的角度。

本節介紹 8 種電壓不平衡之指標，後四種指標尚未被電機工程之相關標準採用。參考綜研所及發電處在外鐵式三相電力變壓器組之研究發展技術服務報告：複數電壓非對稱因數 CVAF 可應用於外鐵式 Dyn 及 Ynd 繞組結線之升壓、降壓電力變壓器，評估系統電壓不平衡率與其 D 側繞組之零相序電流關聯性，及其側鐵柱上流動的零相序磁通嚴重性的指標。

NEMA、IEC、IEEE 等標準中，有關感應電動機對三相電壓及電流不平衡率要求，臚列如下：

NEMA MG-1, 2009 標準：建議三相電動機之運轉電壓偏差率小於 5 %；電流偏差率需小於 10 %，以避免感應電動機異常溫升及振動。

IEEE Std. 141, 1993 標準：規定感應感應電動機於接近滿載出力時，感應電動機之供電電壓不平衡率須小 2 %，以避免感應電動機過熱。

IEC 60034-1, 2004, Rotating Electrical Machines, Part1:Rating and Performance 標

準：規定三相交流電動機應用於 0.02 之諧波電壓因數 (harmonic voltage factor; HVF)、固定頻率、負相序分量、零相序分量小於 1 % 之供電狀態下，感應電動機可長期運轉。若三相電源之負相序分量達 1.5 % 時，感應電動機亦可運轉數分鐘時間。

IEEE Std. 519 標準[8]：有關電力品質之規定，電壓總諧波失真率小於 5 %。若交流系統提供三相平衡及正弦波形電壓，其諧波電流因數 (harmonic current factor; HCF) 小於 0.05，且負相序及零相序電流量小於 5 %；得以避免感應電動機溫升超過 10 K，感應電動機之絕緣系統不致發生加速老化、壽命減半之風險。

五、不平衡電壓對鼠籠式三相感應電動機之影響

三相系統電壓可依對稱分量法則，將不平衡系統分解為零相序、負相序與正相序三個對稱平衡之分量，再藉各對稱分量之間的比例關係，解析不平衡系統中的負相序分量對感應電動機轉子鐵心、定子繞組溫升、轉矩漣波及其絕緣壽命之影響；其次，三相不平衡電壓中，雖含有額外的零相序電壓成分，對三相無中性線引出之正常感應電動機而言，零相序阻抗為無限大。因此零相序電壓對三相感應電動機並無明顯的負面影響。

低壓配電系統存在著大量的單相負載，若配電變壓器採 Dyn 結線提供單相負載電源，其單相負載饋入三相系統後，亦可引起三相電源相當程度的不平衡，故饋線的中性線電流與負載不平衡程度間的關係密切。一般可以負載重新分配，降低不平衡之中性線電流。其次變壓器採 Dyn 繞組結構，亦有助於減緩上游三相電源的不平衡程度與影響。

中性線電流在其回路阻抗上產生的電壓降，是零相序電壓的主要來源，零相序電壓對單相及無中性線的三相負載影響程度相對的低；若從中性點引出中性線，可令變壓器每相形成獨立的回路，而中性線為三相所共用，可使基波及三倍頻率的電

流，流動於每相繞組與中性線所構成的回路中。無論中性點接地或是非接地之三相三線式 Y 形連接系統，其相電壓均可能存在三倍次諧波電壓，而變壓器之中性點位於此一相量之末端，故中性點電位不為零，三倍次諧波電於其零點附近波動。中性線提供三倍次諧波電流路徑，它迫使電路周圍的電流抵消線對中性點的三倍次諧波電壓。因此中性線上存在三次諧波電流時，三次諧波電壓可以被全部抑制或部分被抵消。

在三相系統中，無論中性點不接地或是中性點接地，相對地電壓中，都可存在三次諧波電壓，如 180 Hz、360 Hz、540 Hz 等三倍次諧波電壓，均屬於零相序分量。但是三倍次諧波電壓，卻不存在於線電壓中。由於在 a-b-c 三相相電壓之，三倍次諧波電壓互相同相位。故三倍次諧波電壓經由相電壓轉換至 ab-bc-ca 線電壓時，三倍次諧波電壓相量可相互抵消，故三相系統線電壓中，不含三倍次諧波成分，使得三相系統線電壓免受三倍次諧波電壓的影響。

三相不平衡電壓藉對稱分量計算，可將不平衡三相系統轉換為正、負、零相序之平衡系統。對稱分量計算所求得的負相序分量，對三相感應電動機運轉壽命、效率有顯著的影響與危害。因此感應電動機多採負相序電壓，作為評估電壓不平衡現象，與感應電動機運轉壽命及其效能的主要參數與指標。

參考三相感應電動機之相序等效電路，其負相序阻抗遠小於正相序阻抗。故系統電源輕微的電壓不平衡，輸入感應電動機之電流，即可受到感應電動機之自感電感與互感電感之影響，而放大輸入感應電動機電樞繞組三相電流之不平衡程度。跨接於感應電動機電樞之不平衡電壓，即可於相對正相序阻抗為低的負相序阻抗中，驅動可觀的負相序電流。負相序電流量足以導致感應電動機定子繞組額外的銅損及轉矩漣波，使感應電動機運轉溫升高於額定值。

若負相序電流作用於運轉中的感應電

動機，將導致感應電動機之運轉溫度，大於額定 10 K 溫升的現象，可令感應電動機繞組、鐵心絕緣老化速率加倍，產生預期壽命減半之不利影響。絕緣加速老化之結果，可能於感應電動機運轉中，不預期的發生絕緣崩潰，產生繞組對地、匝間或是層間短路，令其有效匝數減少及效率降低，最終可引起故障。

若於不平衡供電條件下，欲避免感應電動機過熱，就必須減少其機械負載，其效果相當於減少電動機的有效容量，稱之為“減額運轉”(derating)。例如一台 10 hp 的電動機，在 5 % 不平衡電壓下，僅能輸出 7.5 hp，有助於避免感應電動機過熱，繞組與鐵心絕緣加速老化降低壽命之影響。

參考 NEMA MG 1 標準，感應電動機操作在電壓不平衡下，建議之“減額因數”(derating factor)如圖 3 所示；圖中所使用的線電壓不平衡率(LVUR)，如式 1 定義之三相線電壓，偏離平均線電壓最大值對平均線電壓之比值。例如圖中顯示不平衡電壓與減額因數之特性曲線，電壓不平衡率為 1.5 % 時，減額運轉因數為 0.97；當線電壓不平衡率升高至 5 % 時，減額運轉因數為 0.75，亦即系統供電電壓於此一不平衡狀態下，感應電動機運轉點須降低至額定值的 75 %。

電壓不平衡率與電動機溫升、損失之關係，表示如圖 4；曲線顯示感應電動機運轉於電壓不平衡狀態下，損失熱值的遞增量較其額定損失量為嚴重。分析比較輸入感應電動機之電壓不平衡率為 1.5 % 及 5 % 之熱值及損失值如下：當電壓不平衡率為 1.5 % 時，感應電動機之損失增量近似零，損失熱值約增加 10 %；若電壓不平衡率達 5 %，感應電動機之損失量約遞增 35 %，損失熱值約增加 50 %。當感應電動機運轉於電壓不平衡率 7 % 時，熱值升高 100 %，感應電動機損失遞增 60 %；另系統電壓不平衡率達 10 % 時，感應電動機運轉之損失值將遞增至 100 %。

感應感應電動機於電壓平衡狀態下，感應電動機的合成氣隙磁勢為一定值，不

會隨著旋轉磁場的轉動位置而改變。但是感應電動機運轉於三相電壓不平衡狀態下，感應電動機之合成氣隙磁勢波，亦將隨磁場轉動的位置而改變，故可能造成感應電動機鐵心局部飽和，進而因鐵心磁飽和而產生諧波電流。

負相序電流除了對感應電動機溫升的影響外，因其旋轉磁場與轉子轉動方向相反，而減弱感應電動機輸出轉矩。正相序與負相序電流各自產生兩個旋轉方向相反的磁勢波，於氣隙中相互作用。兩個磁勢波均以其同步速度旋轉，其相互作用的頻率恰為系統頻率的兩倍，故電動機會出現 120 Hz 的脈動轉矩(pulsating torque)，其大小與電壓不平衡程度成正比。脈動轉矩會造成感應電動機轉軸額外的應力負擔，亦為感應電動機振動的來源之一。

一般感應電動機定子與轉組繞組採用正溫度係數之銅或鋁導體製造，在導體上流動的電流密度與繞組損失呈現正相關關係。因此繞組溫度上升後，繞組電阻值亦一併升高，損失亦隨之增加；感應電動機之運轉溫度可呈現上升趨勢。故感應電動機運轉於系統電壓不平衡狀態下，額外損失產生的熱值，不利維繫介電材料既有之壽命。

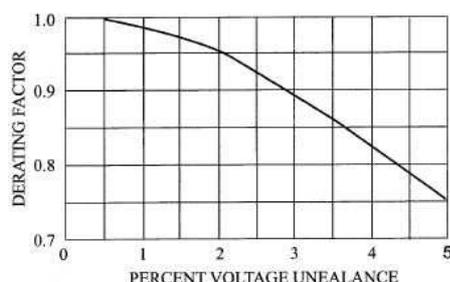


圖3. 不平衡電壓與感應電動機減額運轉曲線[8]

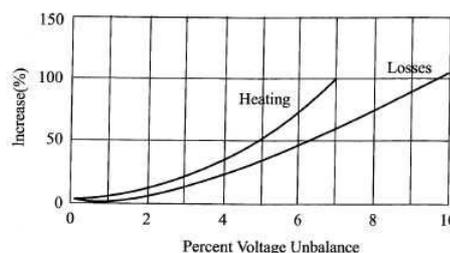


圖4. 電壓不平衡與電動機溫升、損失曲線[8]

六、輔機系統電源三相電壓與電流不平衡之檢討

一般機組之起動變壓器或/及輔助變壓器係用於提供蒸氣渦輪機各式輔機電源。起動變壓器之電源，視電廠規模及輔機系統的重要性，規劃由 345 kV 超高壓系統、161 kV 一次輸電系統或是 69 kV 二次輸電系統供電；而輔助變壓器係由同步發電機，經相間絕緣匯流排 IPBD 直接供電。

一般而言，同步發電機輸出之三相電壓不平衡率受到同步電機相關標準約制。在正常情況下，同步發電機並非系統不平衡電壓之來源與供應者。故於輔機系統三相電壓不平衡率之來源，可藉電源結構，如三相變壓器型式、輔機系統 480 V、208 V / 120 V 之下游單相負載檢討之。另超高壓、一次及二次輸電系統之電壓不平衡現象，與線路負載電流及其線路阻抗電壓降、ATr、MTr 於輕重載電流下的阻抗電壓與電壓調整率等因素有關。

高壓感應電動機電樞繞組以 Y 型繞製者，並未引出其中性線，故以三相三線式電源系統，即可滿足高壓感應電動機之供電條件。起動變壓器與輔助變壓器二次側及三次側為 Y 型繞組且中性點可設計為直接接地或是阻抗接地，係依 NEMA、IEEE、IEC 等標準要求感應電動機之電源須採中性點直接或阻抗接地設計需求，藉電源接地設計技術，降低接地故障電流，並提高感應電動機繞組之接地過電流保護電驛之靈敏度。

IEC 60034-1, 2004 標準規定三相交流電動機於 0.02 之諧波電壓因數(HVF)、固定頻率、負相序分量、零相序分量小於 1 %之供電狀態下，可長期運轉。若三相電源之負相序分量達 1.5 %時，感應電動機亦可運轉數分鐘時間。故 1.5 %負相序電壓門檻值之規定，相對高於 NEMA 及 IEEE 之電壓不平衡率之規範。故採用此一規範管控供電品質，有助於維繫感應電動機之長期運轉性能與壽命。惟欲改善電壓不平衡率運轉環境所需的維護成本，亦須針對各感應電動機之溫升與損失遞增量，一併考慮投資與經濟效益間的平衡點。

在三相電壓不平衡之運轉環境下，NEMA MG 1 標準指出可藉感應電動機的服務因數或減額運轉措施，減緩感應電動機性能降低的趨勢。NEMA 電壓不平衡率之定義，較 IEC 以對稱分量法計算不平衡電壓簡易外，亦具有現場應用之便利性與實用價值。NEMA MG 1 標準較務實的以三相電壓不平衡率達 5 %以上時，可藉感應電動機之服務因數設計值或是減額輸出功率之運轉對策，獲得兼顧感應電動機規格之投資與經濟效益之優點；亦足以彌補其電壓不平衡率計算法則，相對較 IEC 標準簡易之弱點。

七、精進運轉維護技術之研發策略

早期世界各電力公司是於設備發生事故後，才進行相關維護工作，屬事故後之維護策略。目前各項電力設備仍需仰賴運轉經驗，擬定維持設備正常運轉所需的維護檢查項目與保養排程，屬週期性維護策略。

惟於定期維護制度下，需利用設備停電點檢時機，執行必要的診斷性試驗。通常診斷性試驗之檢測條件，與感應電動機運轉狀態不同，故試驗條件不易充分反應設備線上運轉特性，以及可能引起設備性能降低之現場變動狀況。然而現代核能與汽力機組之輔機設備，在配置高度自動化邏輯控制系統下，仍需定時派遣運轉或維護人力施行設備巡檢作業，以掌握設備之運轉狀態。

電力設備線上監測技術之相關研究議題，可分類如下：高壓感應電動機之運轉特性、線上運轉電量檢測、資料擷取、設備性能降低或是故障特徵值之類神經演算法、運轉電量之大數據探勘、狀態分析、趨勢分析、資訊處理、儲存與傳輸模式等。擬藉上述發展重點之成果，將狀態維護(Condition based Maintenance, CBM)技術，精進為預測性診斷維護(Predictive Diagnosis and Maintenance, PDM)技術。高壓感應電動機之線上監測與診斷系統概念，如圖 5 所示。

目前高壓感應電動機線上監測及故障診斷智能系統之研究計畫，第一階段已完成高壓感應電動機電路模型、理論分析、電量演算法之特徵值、故障診斷、趨勢分析及資料庫格式等等分項工作。第二階段的研究重點，擬整合高壓感應電動機線上運轉量測資訊擷取單元、電量、物理量特徵值演算分析單元、趨勢分析單元及資料庫存取單元等，完成高壓感應電動機線上診斷分析儀器開發案。

電壓不平衡因數的計算，必須透過對稱分量分析；在實務上，有所侷限與不便。另於現場採用電力分析儀，雖可即時獲得電壓不平衡計算所需三相電壓大小及角度之必要參數；電量量測值經轉換計算值的正確性，亦可輔以三相線電壓的振幅大小，計算求得電壓不平衡因數的大小與角度；藉以評估與驗證診斷系統對於電源電力品質，對感應電動機性能降低的作用與影響。

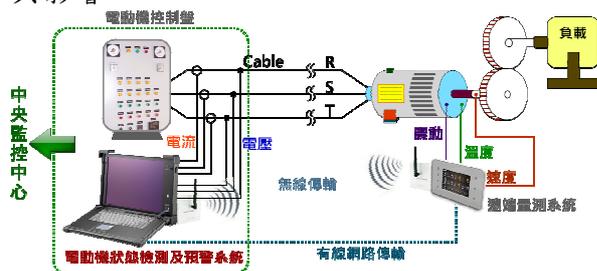


圖5. 高壓感應電動機線上診斷系統研發概念圖

八、結論

依據 NEMA MG-1, 2009 標準之“三相電動機之運轉電壓偏差率介於 5 % 範圍中；電流偏差率需小於 10 %”及感應電動機之“減額因數”等三要因，可作為檢討高低壓輔機系統各個感應電動機運轉性能趨勢分析之準則。當電壓偏差率大於 5 % 時，可配合感應電動機之減額因數及電流偏差率等參數，作為感應電動機性能趨勢分析基礎。易言之，電流不平衡率係感應電動機性能降低的關鍵性指標。故電流不平衡率之趨勢變化，可作為感應電動機狀態維護分析之基礎。其次，因輔機匯流排含有單相負載，故其總供電量之 I_2 / I_1 之比例參數，並不足以作為分析評估各個感

應電動機性能趨勢之指標參數。

在三相電壓不平衡之運轉環境下，NEMA MG 1 標準指出可藉感應電動機的服務因數或減額運轉措施，減緩感應電動機性能降低的趨勢。NEMA 電壓不平衡率之定義，較 IEC 以對稱分量法計算不平衡電壓簡易外，亦深具現場應用之便利性。NEMA MG 1 標準較務實的以三相電壓不平衡率達 5 % 以上時，可藉感應電動機之服務因數設計值或是減額輸出功率之運轉對策，獲得兼具感應電動機規格之投資與經濟效益之優點；亦足以彌補其電壓不平衡率規範，相對較 IEC 標準簡易之弱點。

參考三相感應電動機運轉特徵值、三相電壓、電流平衡率等評估指標，有助於建立高壓感應電動機線上趨勢分析技術，辨識感應電動機運轉其弱點，適時擬定檢修或汰換備品之因應策略，有助於降低輔機設備引起機組降載、停機之潛在威脅，並強化機組運轉風險之管控技術。

參考文獻

- [1] 5460100062 “智慧電網之高壓馬達狀態監測與診斷系統開發應用”研究計畫報告，2016年。
- [2] “電廠輔機高壓感應電動機運轉維護策略”技術服務報告，2016年。
- [3] NEMA Standard MG1 12, “Motors and Generators – Part 12: Tests and Performance AC Motors,” 2009.
- [4] ANSI/IEEE Std. 141, “IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants,” 1993.
- [5] IEEE Std. 241, “IEEE Recommended Practice for Electric Power Systems in Commercial Buildings,” 1990.
- [6] IEC 60034-1, “Rotating Electrical Machines, Part 1: Rating and Performance,” 2004.
- [7] IEEE Std. 1159, “Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality,” 1995.
- [8] IEEE Std. 519, “IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems,” New York, April 1993.

談年金改革

常務監事 李國楨

壹、前言

據報載今(106)年4月19日立法院進行年金改革修正案審查，引來監督年金改革行動聯盟決議進行大動員，發起「夜宿圍城」到場抗議；另外軍公教團體也到監察院遞交陳情書，再回法院集結、抗議。

近年來由於醫療科技發達，延長老人平均餘命，也延伸退休年金發放；相對地新世代人口出生率低迷，造成年金提撥人數下滑。受人口結構此消彼長影響，退休基金逆轉成寅吃卯糧日漸枯竭，失衡頹勢加劇邁向破產，激發年金改革的動機與急迫性。

年金改革召集人副總統陳建仁指出：『年改應以科學為基礎，照精算數據規畫，修法是以民主審意為依歸，以確保基金永續和世代共享。』論述中透露出理性客觀追求永續共享。但令人不解的是：總統府年改會迄今既未提供精算報告供各界檢視，亦未與年改團體坦誠溝通對話，求取大體共識，即將年金改革法案送

至立法院審議，導致攸關權益的團體群起圍城。盤檢各職業別年金都面臨財務失衡窘困，尤以勞保年金推估在116年最先破產，理應列為第一波改革，但年改會卻避重就輕，掩飾弊病。因為勞工有數百萬而軍公教僅數十萬，如果改革內容不符民意而招致反彈，基於選票考量而有所不為，完全充滿政治權謀算計，以預設立場來選擇辦案失去政府公信力。

年金改革不能以簡單量化年金提撥與支付評量，應綜合財政、經濟、社會等各層面間連鎖效應，匯集成關聯性系統風險評估。例如減少給付、調升保費、延後退休等措施，可能壓縮退休族群消費動能，削弱國內市場需求，不利企業長遠投資意願，造成國民所得均貧及就業率下滑，最後影響政府財稅短收或無力增加老年長照及救助等社福支出。這一連串負面衝擊財政、經濟、社會無法切割地環環相扣，年改會可有科學數據實質分析報告嗎？其實觀察年改會成員均不具備財經

背景，隨興倡議「多繳、少領、延退」等膚淺內容，凸顯決策差強人意，不知苦民所苦，更遑論「民之所欲，常在吾心。」

貳、年金的起源與沿革發展

年金的設計其實就是退休後的養老保險金，早期勞工的退休金，因法令寬鬆僅規定雇主須支付員工退休金，但沒有強制定期定額存入專款專用帳戶，才會發生類如華隆案或其他經營不善的倒閉公司，激化勞資嚴重對立抗爭事件，引發社會輿論撻伐。

前述華隆紡織公司自 1997 年起經營陸續出現虧損，其後關廠、積欠勞工薪資，從 2001 年起該公司陸續與退休、退職員工簽下退休金及退職金延遲給付契約，明訂於二年或三年後分期給付，事後卻背信違約不兌現承諾。

早期軍公教因薪資所得微薄，又法定不得在外兼職或私下經營小買賣，以致無力自行提撥退休基金，所有退休給付來自於政府每年編列的預算，可說是恩給制，是項專屬軍公教人員與政府之間，特殊的權利與義務關係。但自民國 84 年公教退撫基金成立後，切割民國 84 年以

前的軍公教退休金部分為恩給制，84 年後劃歸新制公教退撫基金給付範圍。

考察歐洲國家的退休金設計，大都採用隨收隨付制，其理念植基於應用年輕世代的年金提撥，移轉支付退休族群的老年年金。此因世代會交替運行，假設出生人口穩定成長，則年金制度理應可永續發展。在講究制度完備的德國，政府周全設計特編列備用預算，提防突發不足時可能崩潰，然而經多年驗證僅聊備一格。

本項制度的缺失在於退休族群平均餘命延長時，其提領期間延伸；或新生人口遞減時，整體社會人口結構丕變為倒三角狀時，新世代族群人口少提撥亦少，無法撐起累增退休族群的年金。

國內勞保制度從民國 46 年開始實施，老年給付也同時開始起算。至於勞保年金制度，源起於華隆案政府被迫於民國 98 年立法實施，也採納隨收隨付制，仿國外退休年金模式，採攜帶式個人帳戶可跟隨勞工職場移轉。

談到退休給付 = 保險 + 退休金，軍公教保險有公保養老給付，一般勞工保險有勞保老年給付。因此軍

公教按月提撥公保保費與退撫基金，一般勞工按月提撥勞保保費與勞退新制退休金，兩者制度完全建立在不同法源基礎上。事實上軍公教退休給付也各自為政，即分別量身裁製各自適用的法規，因此各自按月扣繳金額多寡自然也不盡相同。

通常設計單一制度下退休金額的所得替代率，概略為 70% 之譜，但若有額外項目加計，則可能就會溢出 70% 限額。因此討論年金議題時，必須先了解老年退休給付來源及相關要素。

一、確定提撥制

將個人的老年退休給付，統一提撥到個人指定帳戶，等退休時可以選擇一次或是按月提領帳戶存款。通常在退休月領期間，個人退休基金仍加入全體退休基金帳戶，交由專業經理人從事投資與孳息，再將投資報酬回饋到個人帳戶，政府則置身事外，這是國外退休基金的作法。只要全球經濟景氣揚升平穩，大致能長期穩定受益，保障退休生活安穩無虞，但無法避免通膨風險。

二、確定給付制

政府承諾給予優惠利率公式以鼓舞公教(或勞工)按月提撥退撫基

金(或勞退基金)，於退休時長期給付退休年金。但如平均餘命持續延長時，也延伸基金給付或經濟景氣長期低迷不振，政府無力兌現優惠承諾，引爆風險浮上檯面，18%優存帳戶就是案例。

國內現行新制的勞保年金跟公保養老年金都是採用確定給付制。給付所得與投保年資、工作職級以及投保費率成正相關比例。勞工保險的經費來自雇主(70%)+勞工(20%)+政府(10%)，但訂有上限 43,900 元，即使薪資超過上限也限保額度 43,900 元。此因顧慮雇主承擔 70% 保費，如提升保費，雇主負有難以承擔之重。至於退撫基金提撥，公教人員負擔 35%，雇主政府則負擔 65%，公教人員依照其職等按月強制扣繳，沒有勞保的上限設定，因此公教人員實際繳費較多，退休給付領多是合情合理的。

回顧現行勞退新制而言，屬於個人帳戶制，勞工本人除按月強制扣 6% 外，另可自由選擇自提 6%，若能按月繳付 12%，退休後養老金倍增也是不無小補。

參、退休年金給付的分類

就公教人員來說，以民國 84 年

為切割新舊制年金的分水嶺，依照退休年度約略可劃分如下：

- 1、已退休純屬舊制年資者；
- 2、已退休含新舊制年資者；
- 3、現職含新舊制年資者；
- 4、現職純屬新制年資者。

第1類的公教人員係指民國84年以前退休，退休給付全部屬於恩給制，完全由政府全額擔負，所以18%優存帳戶就是他們退休給付主要來源，若年金改革18%歸零，這些族群的生活費無著落，可完全歸責於政府違背誠信及信賴保護崩潰，因此政府必須另外尋求替代解決方案。

第2類與第3類的公務員，因為含有民國84年以前的年資，此部分年金享有18%優存帳戶，因此退休年金總所得保險+退休金+18%利息，此時替代率有可能溢出70%限額。本次改革關鍵在於：針對超出70%時，就調降在「天花板」和「樓地板」框限之間，故2、3類公務員幾乎無可避免地成為本次改革的主要對象。

至於第4類公務員，因為年資從84年後起算，所以退休僅有保險+退休金。展望現況年金財務日漸枯竭，如按年改會「多繳、少領、延

退」規畫，再加上考量國內長期通貨膨脹，未來退休年金所得替代率勢更遠低於70%。還得長期面臨前述「高齡化+少子化+延長提領」等三大變數。假使政府漠視基金帳戶餘額逐年下滑的事實，而不規畫籌建退撫基金以挹注彌補，未來仍須面對年金破產的焦慮與處置。

肆、結語

亞東集團徐旭東指出「新加坡的淡馬錫主權基金，成立迄今股東權益報酬率15%；另一個主權基金GIC股東權益報酬率則為4%」反觀國內勞保、退撫、勞退加上郵政儲金合計3500億元，投資報酬率僅2%~3%。年改會不想方設法應用全方位投資策略，靈活運用分散投資新興市場穩定型債券基金、指數型股票基金或其他保守型投資標的物。除參酌國外作法之外，政府還有其他紓解年金困厄的前瞻計畫嗎？

值得再提的是年金改革委員沒有財經專家參與，故決策過程欠缺評估近年歲收超徵及投資效益滾動式財務收支，導入動態科學分析和精算數據的統計，僅以靜態的年金收支核算作為結論。不能透視核心問題的關鍵所在，提出迴避負面衝

擊的決策，如何讓人信服？本次改革如不足完善引為成功範例，面對勞保年金改革恐將掀起更大波濤巨浪，勞工若群起圍城，則政府岌岌可危。

一個穩健改革方案，不能強求一步到位，需要階段性的調適，讓衝擊降到最低，新制年金必須政府擔得起、退休領得到。在體恤民困前提下，宜採取因時制宜方略，由新政府與新立法院融通情理法，全力以赴共推最友善決策，才能贏得退休族群認同諒解，共體時艱地讓年金永續長存。

談到年金改革長遠之道，政府必須堅守開源與節流作法。開源之道就是積極提升退休基金營運績效，追求平穩年化高報酬率，利益回饋挹注短缺；節流作法就是有效管理各年度總預算支出嚴令杜絕浪費，或投資無效益之建設，展現「當用則用，能省則省」，結餘公帑可部分預供備援退撫基金，以維護年金之永續推動。

審察 105 年度總歲收歲入，中央政府退撫費支出，及各項勞軍公教年金支出，只占政府總歲出 7%。加上國內連續 3 年稅收超徵高達 4,019 億元。但往年政府虛擲幾百億

蓋了許多蚊子館，目前反成燙手山芋；耗費 800 億治水特別預算，遇豪大雨災情慘重，治水效益不彰；新建核四廠耗費 4,000 億卻封存不用，更甚者還提案要發放里長年終慰問金。

軍公教優惠存款法規係於民國 84 年制定，法律具備信賴保護和不溯及既往原則。政府應依法執行，若有窒礙難行，於法有據可優先取得預算支配權。反觀政府每年編列 580 億元預算，按月發放老農津貼 7000 元，超徵納稅人的血汗錢，收攬老農為其選舉基本盤，這種作為公義何在？

前述勞軍公教年金支出，只占政府總歲出 7%，因提撥抵不過提領被認定必須改革，那其餘 93% 總歲出政府能公開保證沒有改革的空間嗎？
管理學之父彼得·杜拉克 (1909~2005) 說得好：「管理，是把事情做對；領導，是做對的事情。」政府在年金改革方面有抱持這樣的宏觀視野嗎？

伍、參考文獻：

人間福報 106 年 6 月之讀者投稿的專欄。