

出國報告（出國類別：實習）

智慧電網之電力品質改善技術

服務機關：台灣電力公司綜合研究所

姓名職稱：柯喬元 電機工程師

派赴國家：德國、瑞士

出國期間：102年9月24日至102年10月4日

報告日期：102年11月28日

出國報告審核表

出國報告名稱：智慧電網之電力品質改善技術		
出國人姓名(2人以上,以1人為代表)	職稱	服務單位
柯喬元	電機研究專員	台灣電力公司綜合研究所
出國類別	<input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input checked="" type="checkbox"/> 實習 <input type="checkbox"/> 其他 _____ (例如國際會議、國際比賽、業務接洽)	
出國期間：102年9月24日至102年10月4日		報告繳交日期：102年11月28日
出國人員 自我審核	計畫主辦 機關審核	審核項目
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.依限繳交出國報告
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2.格式完整(本文必須具備「目地」、「過程」、「心得及建議事項」)
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	3.無抄襲相關資料
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	4.內容充實完備.
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	5..建議具參考價值
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6..送本機關參考或研辦
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7..送上級機關參考
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8..退回補正,原因:
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(1) 不符原核定出國計畫
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(2) 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(3) 內容空洞簡略或未涵蓋規定要項
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(4) 抄襲相關資料之全部或部分內容
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(5) 引用相關資料未註明資料來源
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(6) 電子檔案未依格式辦理
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(7) 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	9..本報告除上傳至出國報告資訊網外,將採行之公開發表:
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	(1) 辦理本機關出國報告座談會(說明會),與同仁進行知識分享。
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(2) 於本機關業務會報提出報告
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(3) .其他
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10.其他處理意見及方式:

報告人：  單位主管：  主管處主管：  總經理：  副總經理：

說明：

- 一、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 二、審核作業應於報告提出後二個月內完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「公務報告資訊網為原則」。

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：

智慧電網之電力品質改善技術

頁數 36 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司 人力資源處/陳德隆/02-23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

柯喬元/台灣電力公司/綜合研究所/電機工程師/02-80782303

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：102.09.24~102.10.04 出國地區：德國、瑞士

報告日期：102.11.29

分類號/目

關鍵詞：智慧電網、IEC61850、過程匯流排、非傳統式互感器

內容摘要：

AMPS(Applied Measurements for Power Systems)研討會邀請了電力系統各領域的專家，探討電力系統有關智慧電網測量應用的各個層面，與公司未來發展較有關聯的項目，包含電子式測量變壓器校準系統的設計、智慧電網分散式電源的量測與通信、智慧電網電力品質量測問題。另外至 ABB 研發中心討論智慧電網發展，瞭解其對 IEC61850 發展的觀點與相關測試工具應用與設計架構、新型末端設備發展。非傳統式互感器(NCIT)具大範圍的線性反應之特性，且過程匯流排(Process Bus)上擷取資料也很方便，對於未來電力品質量測非常有幫助。行程最後至瑞士 Laufenburg 變電所參觀，瞭解其運轉情況。

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

目錄

壹、目的.....	6
貳、出國行程	7
一、行程	7
二、過程	8
參、AMPS 研討會.....	10
一、研討會介紹.....	10
二、電子式變壓器校準系統的建置	11
三、智慧電網分散式電源的的測量和通信介面.....	13
四、現今電力系統的測量問題.....	15
五、E.ON 能源研究中心參訪	17
肆、參訪內容	19
一、IEC61850 的發展趨勢.....	19
二、過程匯流排(Process BUS)之設計	23
三、合併單元(Merge Unit)與非傳統式互感器(NCIT).....	26
四、參觀 Laufenburg 變電所	30
伍、心得與建議	35

摘要

研討會 AMPS(Applied Measurements for Power Systems)邀請了電力系統各領域的專家，探討電力系統中智慧電網測量各種應用，包含感測器的發展、智慧電網的應用、相量測量單元(PMU)…等。來自德國、英國、義大利…等國家的教授在研討會中發表了多篇論文，本報告將探討與公司未來發展較有關聯的項目，包含電子式測量變壓器校準系統的設計、智慧電網分散式電源的量測與通信介面、智慧電網電力品質量測問題。Aachen 工業大學，校內有一由德國輸電公司 E.ON 贊助成立之能源研究中心。能源研究中心之參觀重點為其電力自動化部門的各項電網系統衝擊模擬設備，瞭解其進行的各項研究計畫。

此外，本次實習亦拜訪了位於瑞士 Baden 的 ABB 研發中心，瞭解其對 IEC61850 發展的觀點與相關測試工具應用與設計架構、新型末端設備發展。非傳統式互感器(NCIT)具大範圍的線性反應之特性，加上過程匯流排(Process Bus)上擷取資料的方便性，對於未來電力品質的量測非常有幫助。參訪過程除了蒐集了非傳統式互感器(NCIT)在歐洲的實際運轉案例，並至瑞士 Laufenburg 變電所參觀，瞭解其運轉情況。

關鍵詞：智慧電網、IEC61850、過程匯流排、非傳統式互感器

壹、目的

隨著全世界分散式電源的逐年增加、電動車的議題逐漸受到重視，加上乙太網路應用於電力系統的技術逐漸成熟，智慧電網的應用備受各國電業注重。智慧電網所包含的議題很廣，舉凡變電所內外的網路通訊協定(IEC61850)、智慧電網的電力品質、新型末端設備的應用(ECT、EVT or NCIT)、分散式能源的設計與保護、負載調配…等，都屬於智慧電網的討論範疇。

本公司為推動智慧電網，已將智慧電網之電力品質測量與相關規範列為研究重點項目之一。因應未來再生能源大量併網，為維持電網穩定並提供良好電力品質，有必要對智慧電網電力品質測量測程序作進一步探討，認識智慧電網最新的應用。AMPS(Applied Measurements for Power Systems)研討會探討有關智慧電網測量應用的各個層面，包含感測器的發展、智慧電網的測量系統與裝置、相量測量單元(PMU)發展…等，並發表電力系統測量的演進與應用。

隨著未來變電所智慧化，IEC61850在變電所內的整合已逐漸成熟，亦有不少案例。本次參訪與設備廠商ABB討論了變電所智慧化發展趨勢、平台測試規劃工具、PMU與新型末端設備的應用。最後，除了參訪ABB在IEC61850平台的研發工作外，也拜訪了位於瑞士Laufenburg的變電所，參觀NCIT(Nonconventional Instrument Transformer)的示範案例，作為未來本公司智慧電網末端設備建置之參考。

貳、出國行程

一、行程

本次「智慧電網之電力品質改善技術」出國實習計畫，為期 10 天，相關行程與實習項目如表 1。

表 1、出國行程表

日期	地點	機構	實習項目
102.9.24	台北 -> 法蘭克福		
102.9.25 ~ 102.9.27	Aachen (德國)	AMPS2013 研討會	電力系統有關智慧電網測量應用的各個層面，包含感測器的發展、智慧電網的測量系統與裝置、PMU 研討…等。參訪 E.ON 能源研究中心，瞭解其電力系統相關研究計畫。
102.9.30 ~ 102.10.2	Baden、 Zurich (瑞士)	ABB	瞭解 ABB 之各式產品，包含 IEC61850 平台工具、網路架構、末端設備，參訪 ABB 之自動化變電所、智慧電網運轉實際案例。
102.10.3	瑞士 ->台北		

二、過程

本次出國搭乘華航，由桃園直飛法蘭克福機場，搭乘時間約為 13 個小時，約 9/25 清晨抵達當地，隨即搭乘火車前往研討會舉辦場地:Aachen 工業大學。研討會舉辦地點位於由德國輸電公司(E.ON)於 Aachen 工業大學所成立的能源研究中心，議程的主席為 Aachen 工業大學的教授，會議為期 3 天。所有議程皆在同一會場進行討論，討論主題分別為：測量用傳感器(Measurement Transducers)、非正弦波量之量測(Measurements of Nonsinusoidal Quantities)、鐵路系統用電量測(Measurements for Railway Systems)、量測方法(Measurement Methods)、相量測量單元(Phasor Measurement Units)、通訊系統狀態評估(Communication Systems and State Estimation)、現代電網量測(Measurements on Modern Power Networks)、智慧電網量測(Measurements for Smart Grids)、發電系統量測(Measurements on Power Generation Systems)，並參觀了能源中心正在進行的研究。

研討會結束後至搭乘 ICE 列車至瑞士的 Baden、Zurich 進行參訪，瞭解 ABB 之產品，包含其 IEC61850 平台測試工具、網路架構，並至 Laufenburg 變電所參觀 ABB 之 NCIT 實際運轉案例。



圖 1、Aachen 工業大學之能源中心

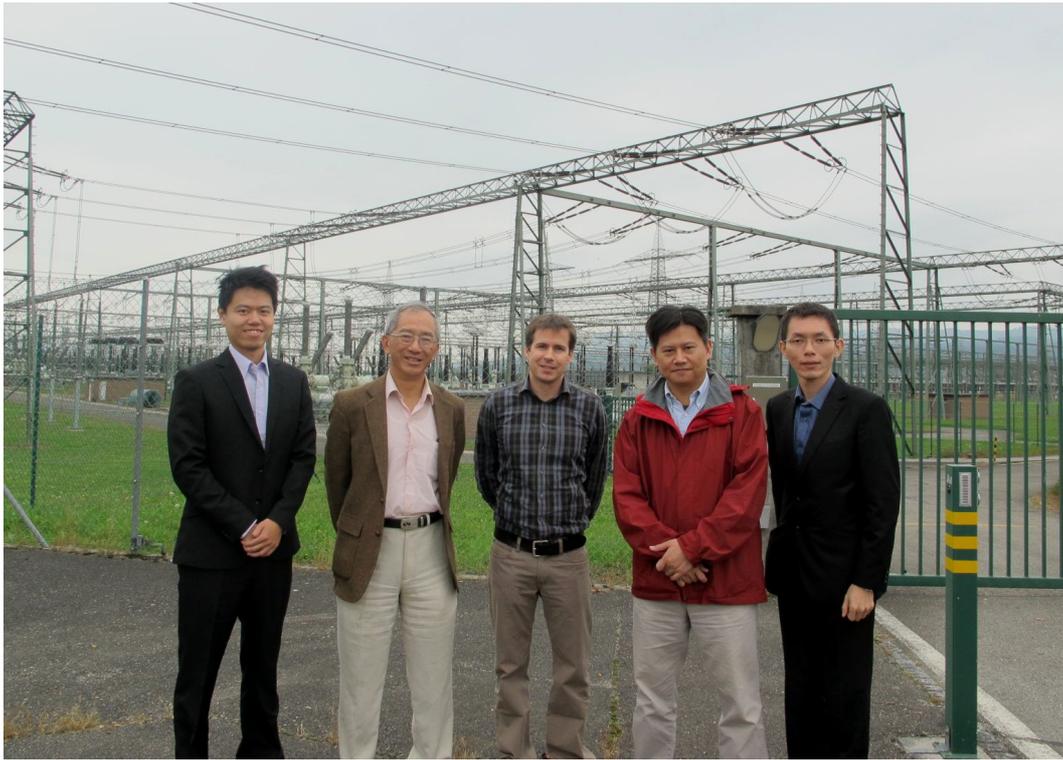


圖 2、與 ABB 之計畫負責人至 Laufenburg 變電所參觀



圖 3、與 Laufenburg 變電所維運人員合影

參、AMPS 研討會

一、研討會介紹

由 IEEE 儀器與測量學會主辦的 AMPS 研討會，是一個聚焦於電力系統中應用測量的國際研討會，本年度為第 4 屆。主要目標為討論現代電網的計量問題，並鼓勵學術界及電力事業專家之間的交流。隨著電力系統量測應用的持續發展，值得關注的議題有：電網的監控、管理與相關元件的評估（發電機、變壓器、轉換器等）、智慧電網應用。隨著電力電子技術的快速發展，評估這些測量的系統和設備的數據方式需要定義新的程序，以確保量測品質。

舉例來說，相量測量單元（PMU）已經被認為是現代電力網絡管理和智慧電網發展的關鍵設備，它仍有許多理論上和實體的問題可探討。例如 PMU 所測得的同步相量物理意義及取樣正確性，或者實際使用於廣域監測系統的應用模式…等。考慮電網 ICT 基礎設施在現代測量系統的影響，測量方法是需要討論的關鍵的環節，包含了同步方式、通訊媒介…等，由這些複雜儀器所提供的量測精度才能獲得保證。

除了上述主題外，還有許多其他方面的討論，像是電力品質與診斷，各式感應器和傳感器最新發展，以及在未來電網的若干元件上測量有意義參數的新方法。本次研討會提供了一個專業的論壇去發現問題，並提供進一步的知識給彼此交流，以下選擇了其中三個與公司未來技術發展較有關連的題目進行說明。

二、電子式變壓器校準系統的建置

目前的電驛大多接收傳統互感器的訊號，而非傳統式互感器 NCIT(nonconventional instrument transformer)所使用的低功率輸出，則具有許多優勢，像是訊號在大範圍的變動時擁有較佳的線性輸出，也沒有失真現象。NCIT 與傳統傳感器相比，的確可提供精確的輸出，而且更輕更小。此外，NCIT 所延伸的頻段亦可更方便的應用於波形失真與電力品質測。根據統計，中壓與高壓應用 NCIT 於保護與量測案例在去年已有所擴展，許多傳感器仍持續發展，相關的測量系統發展也正在進行當中。

因電子式量測變壓器具可大範圍量測的良好線性，不易受共振影響導致飽和現象，未來此類裝置將日益普及。本測試描述了傳統式和電子式測量變壓器模擬輸出的校準系統特點和性能。校準電路包括了標準電流、電壓互感器，作為參考傳感器，另有兩個同步數位轉換器，使測量的信號振幅分為三個不同的大小。本篇文章提出最佳的微弧比率和相位誤差程度，估計約在幾百 ppm。通過不同的取樣策略，伴隨著不確定性的增加，相同的設置下傳感器的頻率響應測量範圍可擴大到數十千赫。

相對於定義良好的傳統傳感器輸出特性，新一代的傳感器著重大範圍的數值分析提供給輸出電壓和負載所需。現有市售新一代的傳感器其額定輸出電壓範圍從數十毫伏到 10 伏，然而需要的負載則約在 $2\text{k}\Omega\sim 10\text{M}\Omega$ 。傳統上傳統互感器採用的校準電路，根據所使用的補償電流比較器和高壓氣體的電容，或橋接耦合標準變壓器搭配電流比較器，可達到的最好的測量不確定度(比值微弧度和相位誤差)為幾個 ppm。然而，相同的電路不能直接用於校準非傳統的變壓器，因低輸出信號代表數位轉換器已被應用於取樣。

商業數位轉換器輸入信號一般約為 10 伏，標準互感器的輸出已被分壓器所降低，電流標準源或儀表變壓器使用較低的一次輸入訊號。此系統利用了兩個同

步的安捷倫 3458A 萬用表，藉由他們的數位化功能和在高輸入阻抗可直接量測峰值達 1000V 電壓波形的能力完成校準系統。

電子式變壓器之相位誤差與來自標準和其輸出訊號的比較，校準架構如圖 4。一次側電壓由標準電壓變壓器 VT_N 測量，相對所施加的電壓它的校準不確定系統誤差比率可在 25ppm 內，相位誤差可在 $25 \mu\text{rad}$ 內。 VT_N 與 $NCVTx$ 的輸出包含相關的傳輸和轉換元件，由 2 台安捷倫數位處理器(DMM1、DMM2)同時進行取樣。當傳統的變壓器進行校準時，它的輸出可由數位處理器直接量測，數位處理器最高可接收到 1000V 的電壓峰值。通過不同的取樣策略，相同的設置，同樣可以適用傳統的和非傳統的變壓器的校準，傳感器的頻率響應測量可高達數十千赫，可評估傳感器在失真波形下所反應的現象。

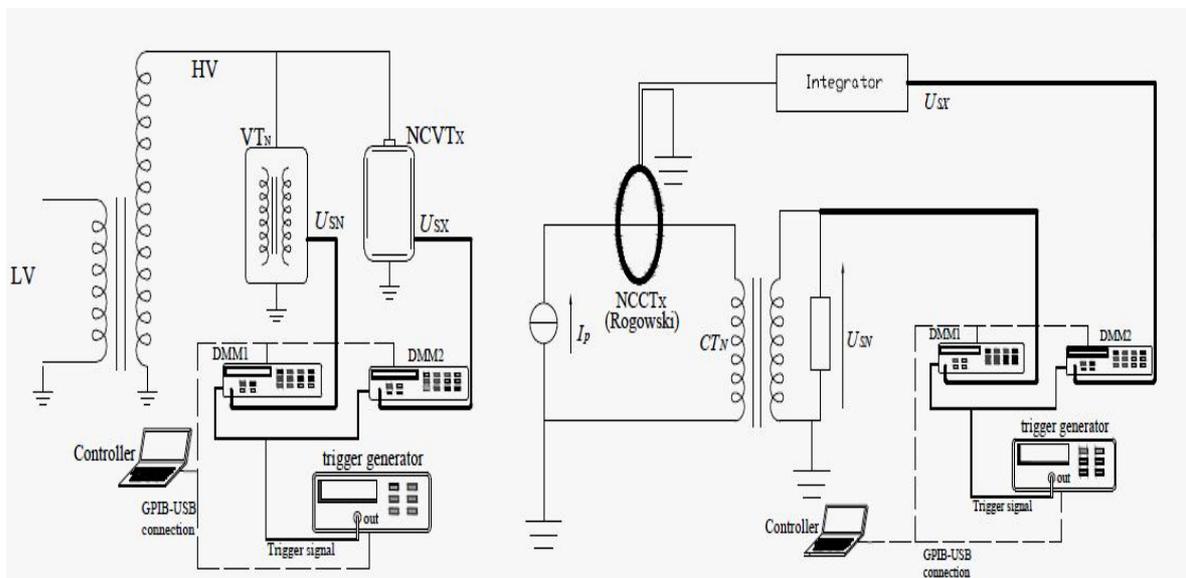


圖 4、NCIT 校準系統電路圖

(參考資料:2013 IEEE International Workshop on AMPS)

帶模擬量輸出的儀器變壓器校準系統使用了兩台安捷倫同步數位轉換器，採集標準訊號與待測變壓器的訊號輸出。利用數位轉換器的輸入功能，使測量信號幅度被區分為三個層級，傳統與非傳統的變壓器的類比輸出都可以被校準。至於 50Hz 的校準需靠一次側的電流/電壓決定，校準過程非常仰賴標準測量變壓器的表現，在微弧度比率與相位的測量誤差估計在幾百個 ppm。

此校準系統可透過比較電磁式電壓互感器測量值比率和相位的誤差，並搭配高電壓標準氣體電容和模擬電流比較器來作校準。本公司未來如需作 NCIT 的校準系統，此篇文章的設置經驗可供參考。

三、智慧電網分散式電源的的測量和通信介面

智慧電網於新一代的介面的測量和通信策略持續發展中，這個方案提出通信系統可在各層使用單一或多個技術，在 SCADA（監控和數據採集）架構下創造一種低成本的網絡基礎設施。提到智慧電網測量應用時，一般都將聚焦在孤島運轉防範的保護解決方案上，而中壓或低壓電網的通訊與測量往往需藉助電力線通信技術才能達成。本試驗提供一些模擬和實驗結果，提出建議方案的可行性。

隨著分散式電源在電網的大量布建，有些狀況會危及到電網的安全，例如誤判配電線上電力潮流的方向，就很可能導致孤島運轉。因此電網必須從被動系統（單向電力潮流和有限的自動化功能）轉換到新的智慧電網，智慧電網的電力潮流是雙向的，並應具有先進的計量和通信技術能力，提供監測自動化、保護及控制功能。

直到今日，建立配電網良好的基礎通訊仍是個挑戰，許多方式已被提出例如：光纖網路、無線通訊、射頻通訊、電力線通訊。上述方式，有些成功的在都

市的電網被應用，但是在較郊外的地方就無法適用，這個研究提出了在SCADA的架構下，一個適用各電壓階層的通信架構方案。

這裡提出了兩種可能方案，第一種是僅利用電力線通訊技術完成通訊架構，對電力公司而言應該是最節省成本的方式，主機與電力公司各種介面設備間的通訊可參考圖5。集中器連接到每個二次變電站的低壓側，收集的介面設備的數據，功能類似AMI(先進計量基礎設施)。另一方面，電容耦合器則用來發送PLC信號至中壓匯流排所在的變電所，藉此完成了中壓與低壓電網間的通信。第二個解決方案則是一種多重系統，將電力線通訊用於低壓網絡通信設備與集中器之間，集中器再通過無線方式與主機通信。

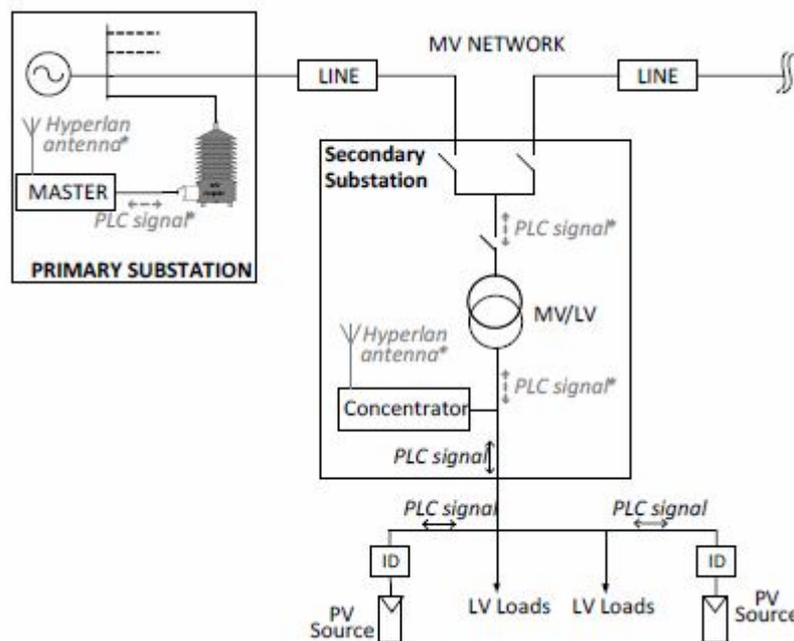


圖5、智慧電網通信架構(打*號表示可彈性選擇)

(參考資料:2013 IEEE International Workshop on AMPS)

現在微電網中孤島的問題產生，通常是由於電力公司無法遠端控制分散電源。這是因為現有通訊標準化不同的差距，使既有設備在分散電源與主電網間沒有適當通訊模式所導致。在過去，防止孤島運轉的保護主要是利用被動方法（局部測量），此種方法具有簡單和成本便宜的優點。然而，它們通常有一個大的非檢測區，發生在分散式電源輸出電力與電網負載達到平衡時。為了降低非檢測區的範圍，主動監視不同參數是可行的方法。區域電網上的量測設備亦可整合電網與分散式電源間的通訊，有了綜合資訊有助於避免電網發生問題。

四、現今電力系統的測量問題

電力系統從上個世紀陸續奠定理論基礎後，發、輸、配電的基本架構並沒有太大改變，而且也穩定的運轉了數十年。然而，因為分散式能源的大量佈建與電力電子技術的突飛猛進，電網的形式已在改變。我們仍一直停留在教科書所教導我們的傳統電力系統模式，電力系統中常見到的裝置，像是計費電錶、測量用變壓器(VT、CT)也一直沿用到今天。

隨著近年來的電力電子技術發展與數位化革命，未來DC的供電模式將有可能和AC供電達到同等的效益，這也將使得再生能源越來越普及。但是，這樣的趨勢也帶來了新的問題，也就是現有的系統上的量測裝置是否還能適用於新的模式？這裡提出了一些建議與未來電網有待解決的難題。

承上述說明，分散式電源對現有量測系統的衝擊主要有兩點。第一，從配電系統注入的分散式電源包含了週期性或非週期性的干擾源，這將導致系統擾動的增加，原本系統中理想AC弦波的特性將會越來越少見。第二，再生能源在各個電壓階層併入系統後，原本的負載端可能成為了發電端，並在系統中注入無法準確預測的電力，這當然也催生了智慧電網的發展。當電力潮流不在是單一方向

後，將改變電網上的各個支線的潮流方向。目前利用簡單的傅立葉分析並不足以完成諧波方向判斷，雖說可用其他複雜的計算方式達成，但是否有可好的方式是可以加以探討的。

現有電力系統上的擾動現象大多歸類為電力品質問題，並使用傳統的VT、CT作信號擷取分析。這些量測裝置原本是設計用來量測理想的AC弦波與基本波附近的頻率，但因為傳統VT、CT頻寬上的限制，傳統的裝置並不是那麼適合再用來量測這些擾動現象，例如諧波、間諧波或非週期性訊號，未來亦有待新式的感測器解決上述問題。

現在的智慧電表一般仍僅提供遠端控制與計費功能，經過統計其應用於電力品質量測的效果，精確度並不佳。改善智慧電錶的功能也是未來的趨勢之一，智慧電錶如可達到電力品質分析器的標準時，上述所提到的電力品質難題就有良好的對策可解決，對於智慧電網控制將更完美。目前已有許多國家大量佈建智慧電錶，它可以偵測雙向的電力潮流，並提供計費功能。然而，隨著網路上龐大數據流量，智慧電錶是否有能力處理而不會有資料遺失或誤判情形，又如何評估這些網路上的延遲，與其對精確度的影響，並加以改善，是另一項值得探討的議題。

進行現代電力系統測量的討論時，「量測的不確定性」的基本概念已鮮少被提出，然而這是量測系統中最重要的事情之一，在電力量測系統不去提出這項要求是非常不合理的。AMPS的前任主席也對此提出了，為了讓研究更加有說服力，在電力領域進行量測研究的專家，可多關注有關「計量方法」的議題。

五、E.ON 能源研究中心參訪

德國的輸電公司E.ON於阿亨工業大學成立的能源研究中心，此中心研究的項目包括了四大主題：電網與儲能系統、建築與城市之能源設施建設、發電設施、能源市場政策。能源中心有幾個重要的要實驗設施，如轉換器高速驅動實驗室、電力電子相關半導體設備清潔室、儲能系統實驗室、實時模擬器、硬體環路試驗設備。

本次參訪，研究中心電網自動化研究部門的主管為我們介紹了模擬電力系統現象的相關硬體設備：實時模擬器、硬體環路試驗設備。在工業產品的發展中，利用模擬工具是很重要的，藉此達到降低風險、未來花費，並在特定的操作環境下作各種分析。然而，僅利用數值模擬或實際測試對於系統分析都是個大挑戰，若藉由實時模擬與硬體環路試驗的技術，則可填補純數值模擬的不足。

在數值模擬時即包含了動態模組與多種實體負載，欲將電腦運用在大系統的實時模擬時則需要非常快的計算速度，且模擬平台需要有可與硬體環路試驗連接的介面。穩定的供電需要在每一個瞬間將既有能源最佳化，因此不同系統間的互聯、模擬測試是個挑戰。實時模擬器、硬體環路試驗設備可填補了模擬和場驗之間的差距。

其電力自動化部門 ACS (Automation of Complex Power System) 發展了一套設備可模擬現代電力系統的各种運作狀態，設備包含了電力系統的實時模擬器 RTDS(Real-Time digital simulation of complex power system)、DSP Cluster、PC Cluster、FlePS(Flexible Power Simulator)。各項設備說明如下：

實時數位模擬器(RTDS):

由高速的電腦主機組成，進行實時的電力系統時域模擬，每個機櫃可模擬具 66 個節點的電網。分析時一般常用 $50\mu\text{s}$ 作為時間步階，如在特殊情況分析甚至可到 $2\mu\text{s}$ 。研究中心有 8 台 rack，因此可模擬約 528 個節點的電網。

數位訊號處理叢集(DSP Cluster):

在 DSP Cluster 上可用硬體與軟體的方式作成模擬器，進行多重系統之電力電子轉換器的實時模擬。研究中心利用它作配電能源系統的實時模擬，例如連接系統的離岸風場特性模擬。

電腦叢集(PC Cluster):

藉由多工處理器的計算能力模擬多種硬體的動態模式，目前由 5 個節點組成，未來可擴充至 24 個。

彈性電力模擬器(FlePS):

此模擬器包含了三相變壓器、主動前端、四腳的 DC/AC 轉換器，如圖 6。它原本設計用於家庭能源系統測試平台，用來作硬體環路試驗，可以測試小於 20kW 的裝置，大型的負載(~5MW)則可在中壓的測試大樓中完成。

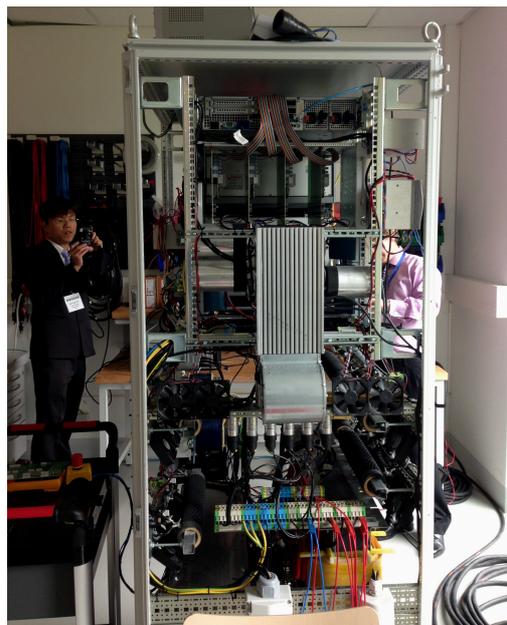


圖6、彈性電力模擬器(FlePS)

肆、參訪內容

本次至 ABB 位於 Baden 的研發中心，與負責電網自動化的各部門計畫負責人進行交流，討論了各種電網自動化最新發展，包含 IEC61850 的發展趨勢、平台工具的使用、PMU 的應用、NCIT 的介紹...等，並至 Laufenburg 的變電所參觀 NCIT 實際案例展示。

一、IEC61850 的發展趨勢

變電所的架構隨著時代的進步，演變如圖 7。早期的第一代變電所從 GIS 引接 VT、CT 訊號，並藉由許多實體電纜線的連線供控制盤與 RTU 使用，建置過程需用到大量的銅纜，本公司目前運轉中的變電所仍多屬於此架構。現代化的變電所則利用了網路通訊，盡量減少變電站中的實體電纜線，並搭配 Gateway 做為資料處理與傳遞的設備。IEC61850 協定已在近年發表，變電站層相關的示範案例不少，算是較成熟的部分，各大廠也有相對應的 IED 產品。

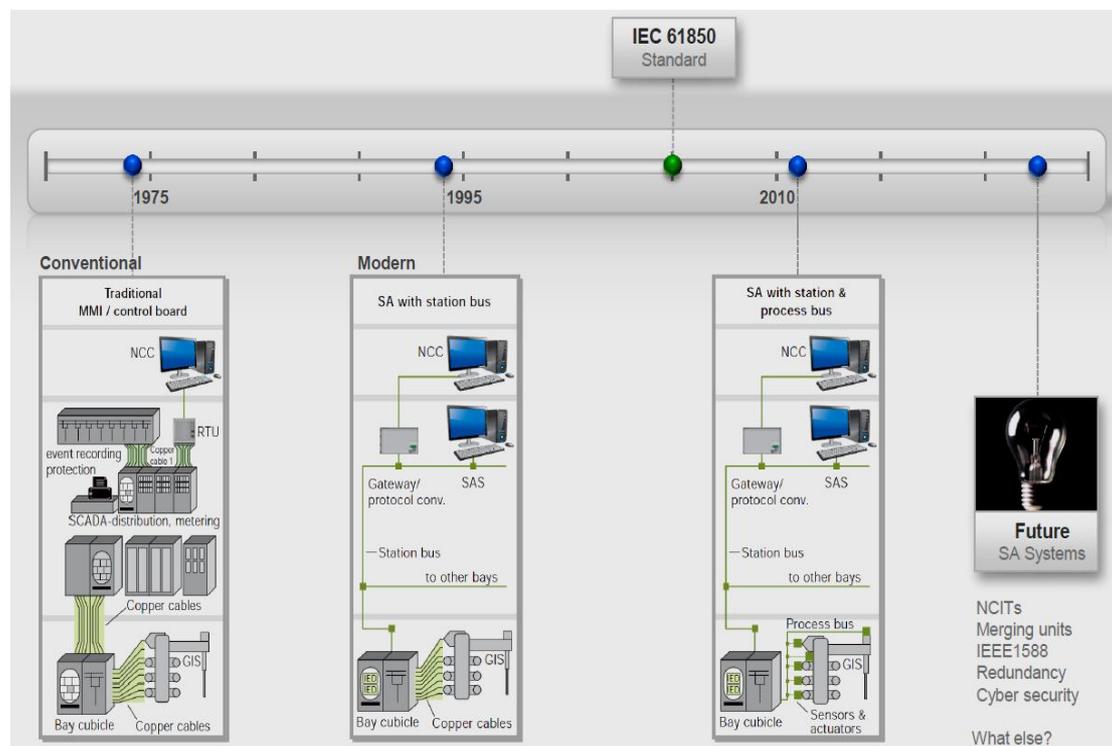


圖 7、變電所的架構演變

IEC61850 將變電所的實體設備虛擬化成爲不同的邏輯節點(Logic Node)，邏輯節點內可再細分爲不同的狀態、屬性，這部份在 IEC61850-7-4 標準(變電所和饋線設備的基本通信結構)中有詳細說明，內容包含了邏輯節點的定義、資料物件及邏輯定址。各項邏輯設備與變電所間的基本通信結構則定義在 IEC61850-7-2 標準中，標準中提到抽象通信服務介面的描述、抽象通信服務的規範、服務資料庫的模型...等，變電所層(Station Level)和間隔層(Bay Level)之間通信網路的映射則在 IEC61850-8-1 進行說明，上述各標準間的關係架構如圖 8。

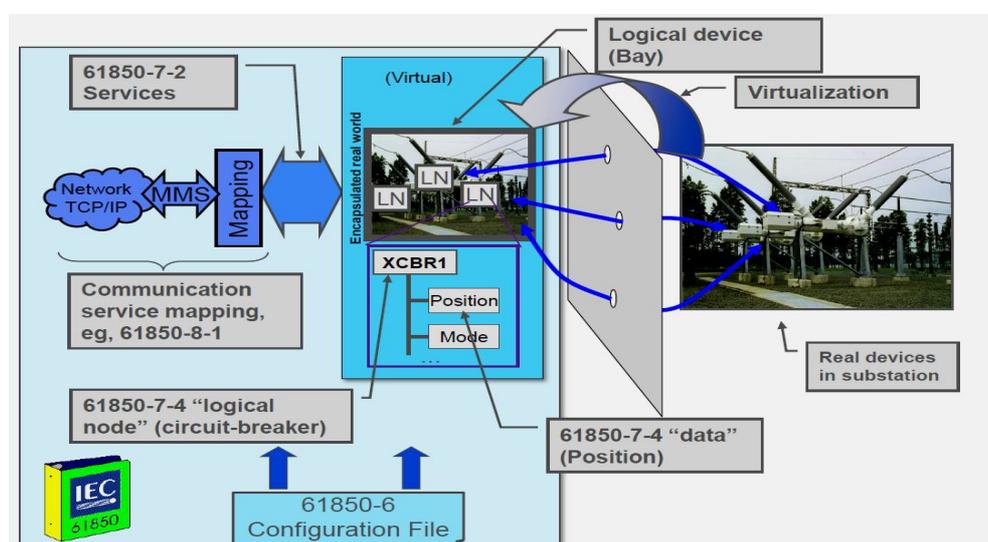


圖 8、IEC61850 中的邏輯節點

過程導向的資料模型可持續作新功能的擴充，也有利於未來智慧電網的建設。對於電力公司而言，設定好點名並定義好各項功能後，可以利用有效率地複製到其他 IED，可縮短變電所建置時間、人力成本，未來也可達到更好的安全性與可靠度。

變電所的自動化目前已擴展到過程層(Process BUS)的使用，這個部分包含了 MU 的資料格式與所傳遞訊號(sampled values)的標準，但仍有許多細節需要工作小組去定義。

IEC61850 的通訊架構如圖 9，變電所層和間隔層(Bay Level)之間使用乙太網路技術進行各種資料傳遞，每個間隔裡包含數個保護或控制 IED，在站匯流排(Station Bus)的資料傳輸主要使用 IEC61850-8-1 標準。不同間隔可使用 GOOSE(Generic Object Oriented Substation Events)進行溝通並達成 IED 間連鎖(Interlocking)的進階功能，相較於傳統變電所的連鎖功能需採用大量硬體接線，GOOSE 只需網路線即可達成，不需額外的 I/O 接點，且可清楚的監視資訊交換情形。合併單元(Merge Unit)接收了末端的電壓、電流信號後透過 IEC61850-9-2 標準(間隔層和過程層之間採樣值的通信映射)在 Process BUS 上與各廠牌 IED 連線，Process BUS 會用到 GOOSE、Sampled values 兩種模式。GOOSE 功能主要用來傳遞指令或開關狀態，Sampled values 則用來傳遞實際的電壓、電流類比值。

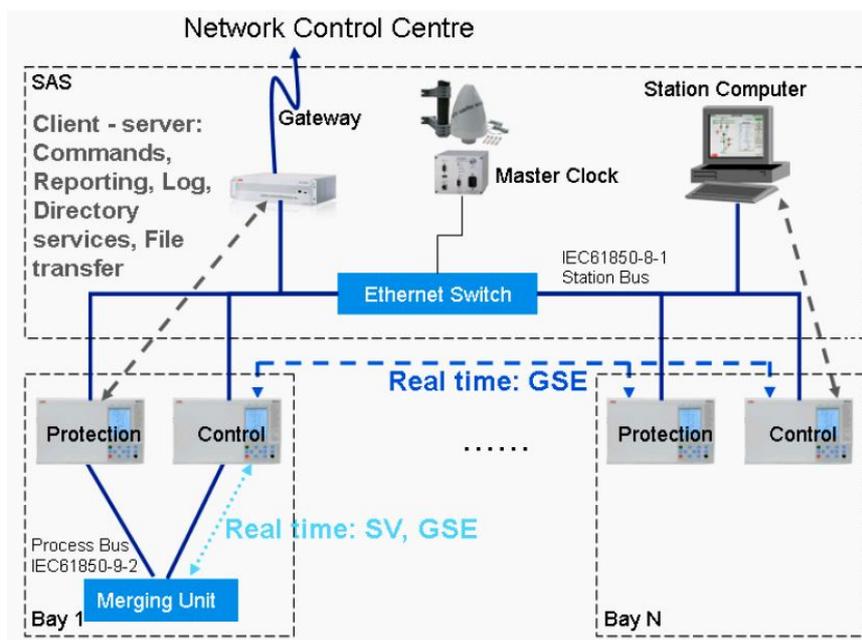


圖 9、IEC61850 通訊架構

IEC 61850 成立的目的是為變電所的自動化設立標準，在 2010 年發佈的 IEC 61850 Edition 2(第二版)更擴大了範圍，將整個電網的自動化都納入標準訂定範圍。第二版中有幾項較大的改變，如下：增加資料模型的類別、變電所描述語言

(SCL)的擴展、SCL 在執行的相容性說明、備援機制的說明。

在 IEC 61850 第一版中描述各種設備的邏輯節點約為 90 個，到第二版時增加至 150 個以上，新的邏輯節點群組包括 F(Functional Blocks)、K(Mechanical and non-electrical primary equipment)、Q(PQ events detection related)。F 群組中的各項功能如計數器(FCNT)、PID 調整器(FPID)、設定控制點(FSPT)...等，K 群組則包含了許多機械式的一次設備，如風扇(KFAN)、濾波器(KFIL)、幫浦(KPMP)...等，Q 群組則包含了電壓變動(QVVR)、頻率變動(QFVR)、電壓暫態(QVTR)...等。

第二版中的 SCL 擴充了兩種資料格式，分別為 IID(Instantiated IED Description)、SED(System Exchange Description)。IID 可進一步描述 IED 的實際模型，SED 則描述了不同計畫間的資交換介面方式，上述的格式有利於變電所、多重計畫間的整合工作。SCL 在執行的相容性的補充說明進一步改善了互操作性，提供了不同 IED 系統工具間互操作性程度的判斷依據。

有關通訊的備援機制方面，通訊網路可使用 IEEE 802.1D 的 RSTP 進行備援，適用於 N-1 的機制，但會伴隨回復時間的誤差。末端節點的備援則可利用 IEC 62439-3 裡的 PRP(Parallel Redundancy Protocol)、HSR(High-available Seamless Redundancy)，其回復時間的誤差為零。

除上述新增於 IEC 61850 第二版中的各項功能外，未來將有許多標準會持續進行訂定，像是控制中心到變電所間的傳遞(IEC 61850-90-2)、設備維護狀態監測標準(IEC 61850-90-3)、電動車與電網間的標準(IEC 61850-90-8)、儲能系統(IEC 61850-90-9)...等。相容性測試標準也正進行制定工作，IED 相容性測試的認證實驗室標準預估最早可在 2013 年底公佈，工具相容性的測試標準則預計要到 2014 年第三季完成。

根據研究機構 Newton-Evans Research Company 的統計，歐洲現有的變電所使用的協定如圖 10，使用 IEC61850 標準的變電所增長非常快速。

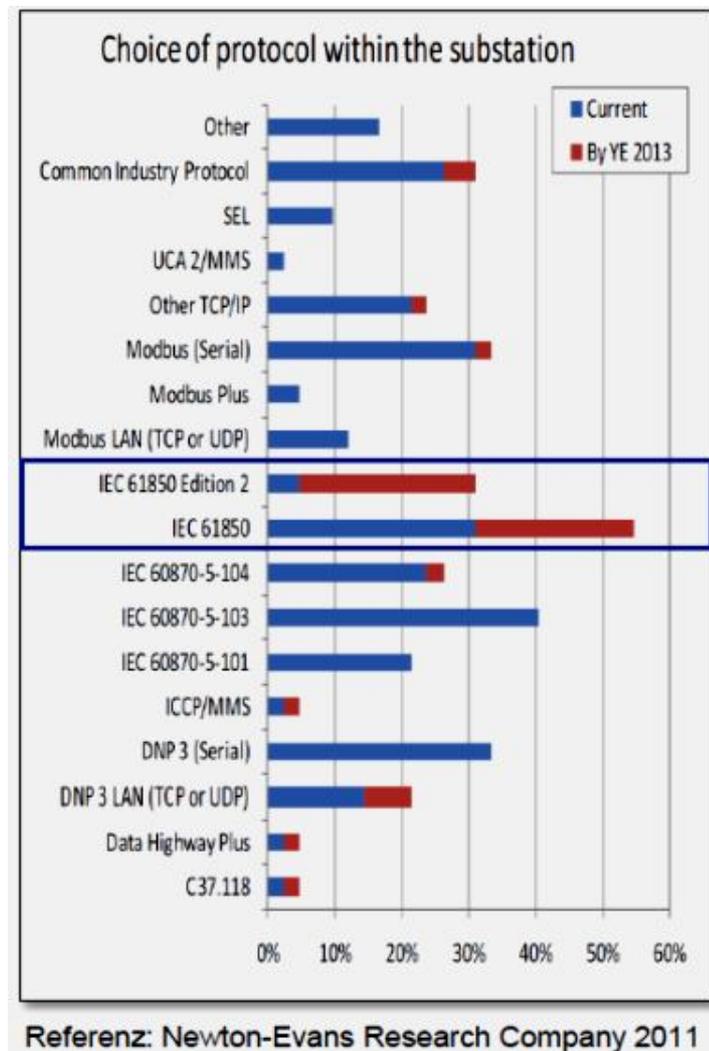


圖 10、變電所之通訊協定選擇

二、過程匯流排(Process BUS)之設計

過程匯流排(Process BUS)為間隔層 IED 與一次設備間的通訊匯流排，一次設備使用 IEC61850-8-1、IEC 61850-9-2 標準與間隔層溝通，一次設備包含了斷路器、接地開關、變壓器、CT、VT...等，如圖 11。

過程匯流排上使用 IEC61850-8-1 的 GOOSE 服務，作為二進位狀態的傳輸，如開關切換狀態、跳脫、指令。IEC 61850-9-2 則用於取樣值(Sampled value)資料的傳輸，提供間隔層和過程層之間取樣值的通信映射，讓類比資料在同一標準下傳輸。



圖 11、過程匯流排與一次設備

然而，因為 IEC61850-9-2 標準定義太廣，使得執行上的細節並未說明，導致互操作性不夠完備，設備廠商在產品設計上遭遇困難。因此，國際用戶組織 (UCA) 提出了 IEC61850-9-2 LE 作為產品的指導方針，此方針主要提出了三項建議，分別是類比值的取樣率、資料集的內容、時間同步方式。兩者的內容比較如表 2。

表 2、IEC61850-9-2 標準與 IEC61850-9-2 LE 比較

項目	IEC61850-9-2 標準	IEC61850-9-2 LE (UCA 提出之指導方針)
類比值的取樣率	自由	保護與量測 :80 samples/cycle 電力品質 :256 samples/cycle
資料集的內容	可配置	三相電流+中性點電流與品質 三相電壓+中性點電壓與品質
時間同步方式	未定義	1pps(pulse per second)

過程匯流排改採光纖網路架構，可減少實體電纜的使用，也使得傳輸至各 IED 的資料監控與管理得以實現。過程匯流排的設計也需考慮最高的可靠度與可用性，也就是需要在成本與效果中取得平衡。最後，易於維修與維護也是設計工作的重點，以增加系統的可用度。傳統的 IED 接收的是類比訊號，Process Bus 上則有所不同，IED 接收的是取樣值串流，因此 IED 可接收多少串流數量也是影響設計的重要因素。

另外，在進行設計時，假如 Process Bus 連接了許多間隔層設備，那麼就需要考慮更多的層面，分別是乙太網路上流量的限制、IED 接收的限制。在 50Hz 的電力系統中，一個取樣率 80 samples/cycle 的串流會使用約 5Mbit/s 的頻寬，假如將乙太網路實際頻寬 100Mbit 的 50%作為可用頻寬，那麼網路上就只能同時允許 10 條串流在 Process Bus 上傳輸。當很多串流在通訊網路上傳送時，IED 也應具備處理串流的能力。

三、合併單元(Merge Unit)與非傳統式互感器(NCIT)

合併單元(Merge Unit)作為 NCIT 與 Process Bus 間的介面，其功能是将三相的訊號作合併，並根據 IEC61850-9-2 之標準傳輸電壓與電流取樣值。合併單元具有時間同步功能，作為主時鐘(Time master)時可設定 IED 或其他 MU 之同步狀態，如圖 12。

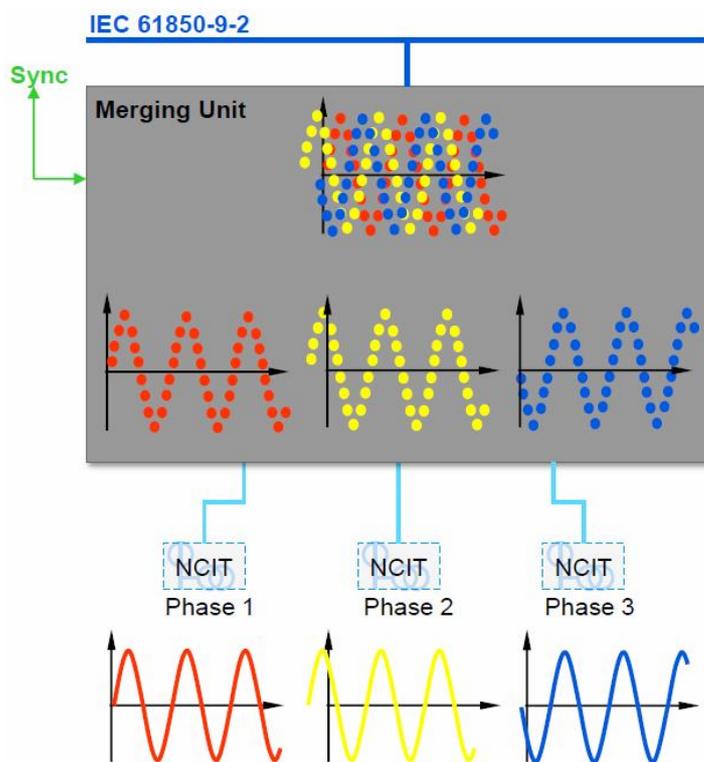


圖 12、合併單元(Merge Unit)

MU 可分為 2 種類型，一種僅能與 NCIT 連接，另一種則可與傳統的 CT、VT 連接，後者又稱為 SAMU(Stand-alone merging unit)，但其在 9-2 上的輸出動態形式尚未定義，SAMU 的相關規範將在 IEC 61869 標準中訂定。

ABB 的非傳統式互感器(NCIT)分為兩種形式，一種與氣體絕緣設備(GIS)搭配，另一種則與空氣斷路開關(AIS)搭配，前者可提供符合測量、保護控制所需之精確度要求。與 GIS 搭配之 NCIT 可量測電壓、電流訊號，如圖 13，可外接於斷路開關後方或末端。其適用的電壓等級為 170kV~550kV，電流訊號利用

Rodowski 線圈擷取，電壓信號則利用電容分壓原理達成，組成元件包含主感測器和二次轉換器，並具備額定電流調整功能，改變匝比時不需另外更換外環。

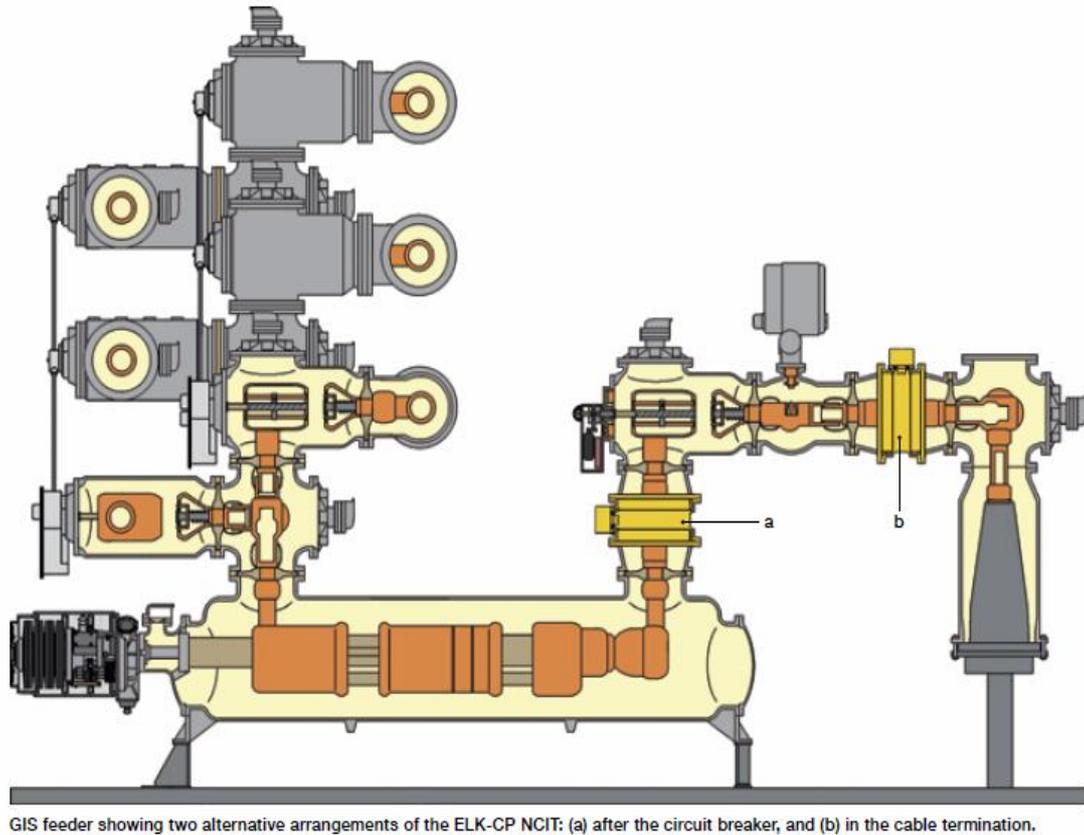


圖 13、與 GIS 搭配之非傳統式互感器

與 AIS 搭配之 NCIT 僅能量測電流訊號，如圖 14。它可與斷路器之解聯功能互相整合，作為保護控制使用，其適用的電壓等級為 420kV。主感測器利用法拉第效應偵測光波的相位移，相位變化會與線路上電流信號的變化呈現比例增減，另外在開關的三相都有光纖作備援。此種設計可加強工作人員安全性，減少空間與材料的使用，相較傳統取樣方式減少了複雜的施工過程。

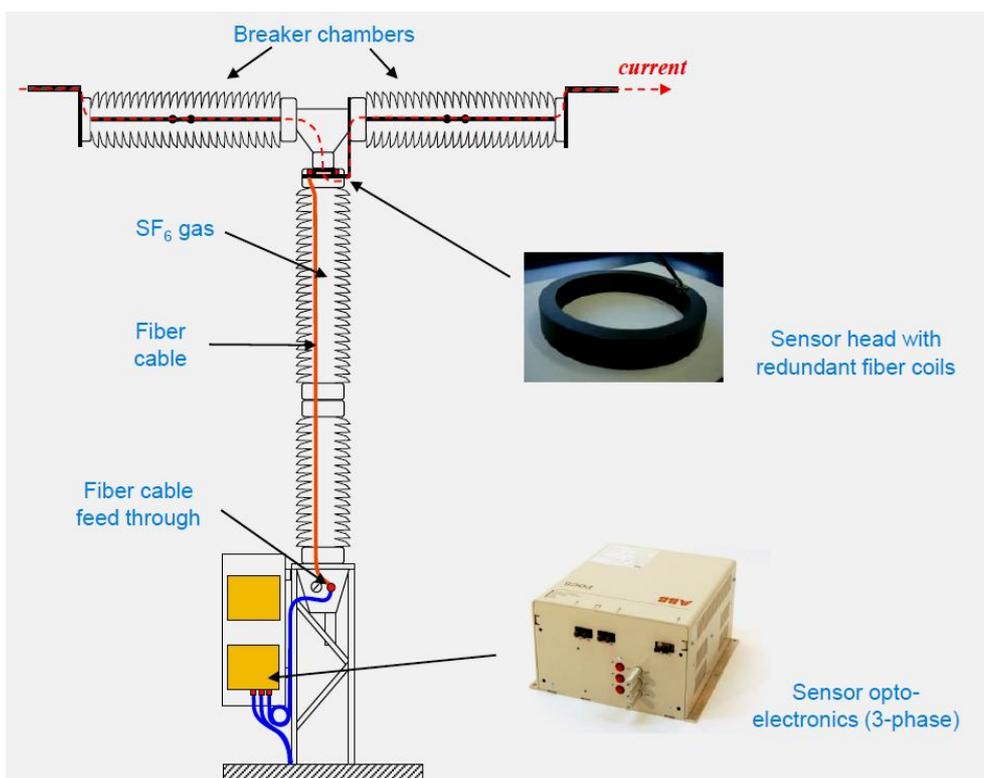


圖 14、與 AIS 搭配之非傳統式互感器

與 GIS 搭配之非傳統式互感器與 MU 整合之架構如圖 15。二次感測器可引接數個點對點光纖至 MU，每個 MU 有 9 個輸入通道，最後再透過 IEC61850-9-2 標準傳輸取樣值。

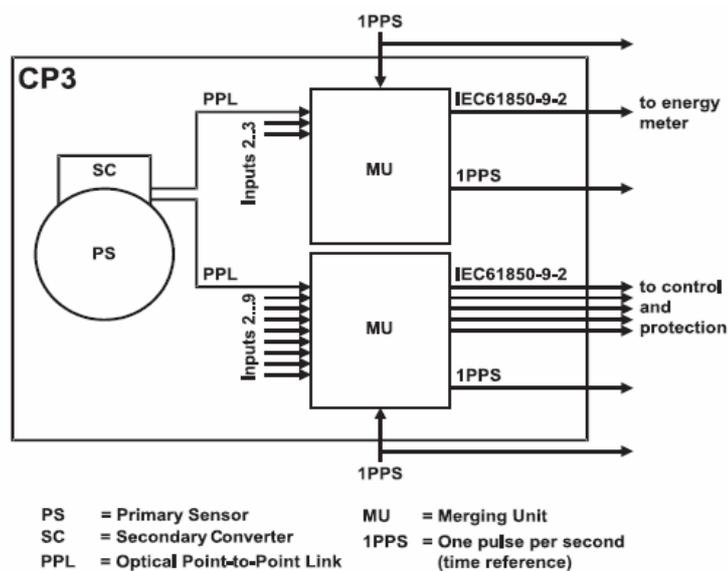


圖 15、非傳統式互感器與 MU 整合之架構

IEC 61689-9 標準(轉換變壓器的數位介面)預計在 2013 年年底公佈，IEC 61689-13(獨立合併單元)將在 2014 年年中發表，Process Bus 上各標準之關係與進程如圖 16。而時間同步方面，IEEE 1588 可望在未來的電網提供最精確的時間校準方式，以替代目前利用光纖的 1pps 同步方式，但仍有一段路要走。

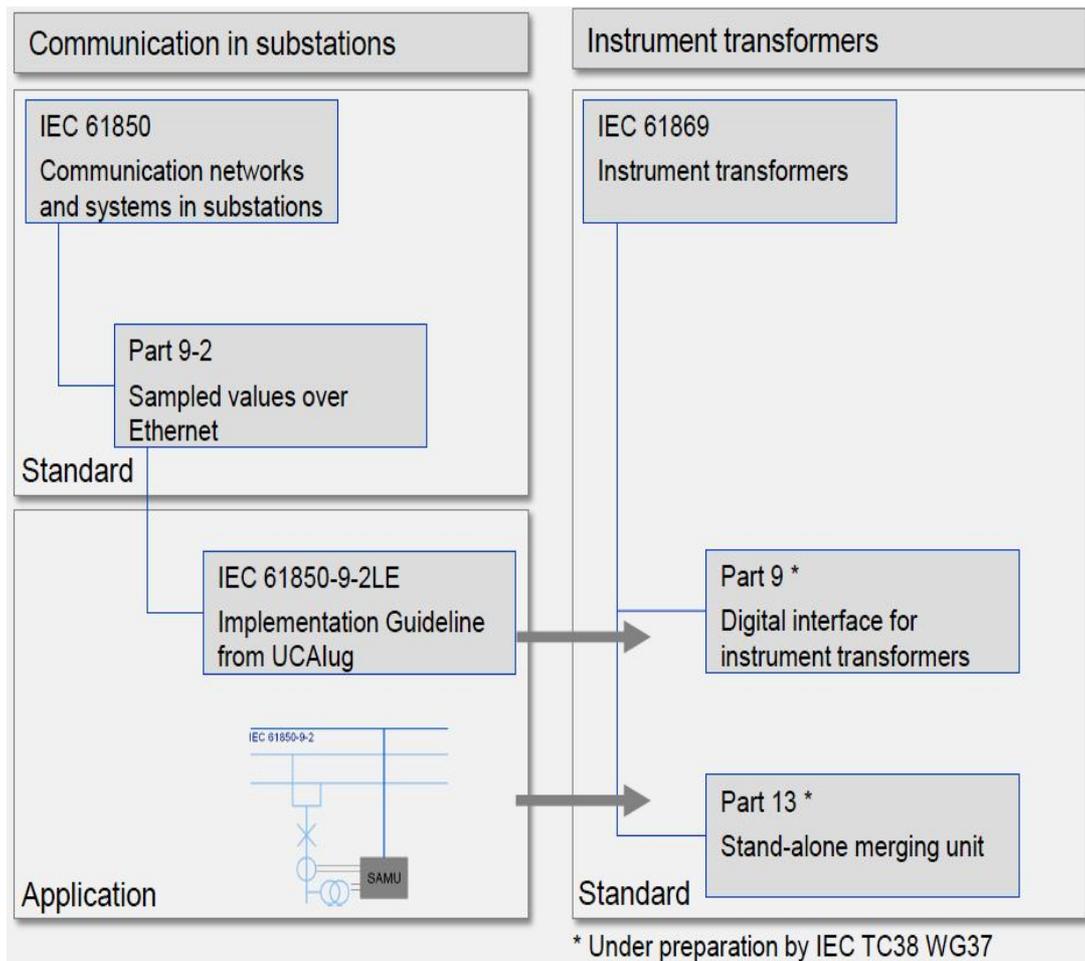


圖 16、Process Bus 相關標準

四、參觀 Laufenburg 變電所

ABB 發展 NCIT 技術已有數十年，隨著電力電子技術的成熟，實際產品也得以實現。自 2009 年以來，ABB 已在數個國家進行了 NCIT 與搭配電驛的裝設，如圖 17。大部分為前導型計畫(Pilot installation)，也就是在部份設備上加入 NCIT，藉此評估其與 Process BUS 搭配的精確度與穩定性。ABB 在澳洲的案例則是已大量採用，並穩定運轉中。

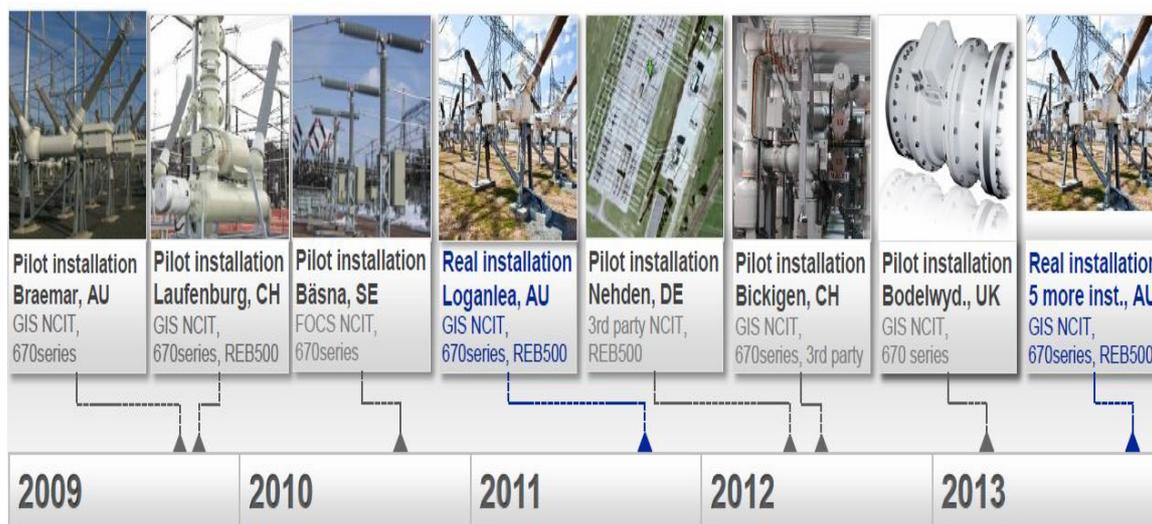


圖 17、NCIT 使用現況

本次 ABB 安排我們至 Laufenburg 超高壓變電所參觀，此變電所位於瑞士與德國的邊界，為歐洲電網中的重要樞紐，其電壓傳輸等級為 380kV。變電所從 2004 年開始進行了前導型計畫，到 2009 年年底完成。期間之工作內容包括一次與二次設備的改造、汰換舊的人機介面、根據 IEC 61850-9-2 標準導入相關設備。此計畫採用了 ABB 型號 CP-3 的 NCIT 與 GIS 進行搭配，可量測電壓與電流，並搭配 ABB 之線路保護電驛、匯流排保護電驛作保護使用，Laufenburg 變電所使用 NCIT 之架構如圖 18。

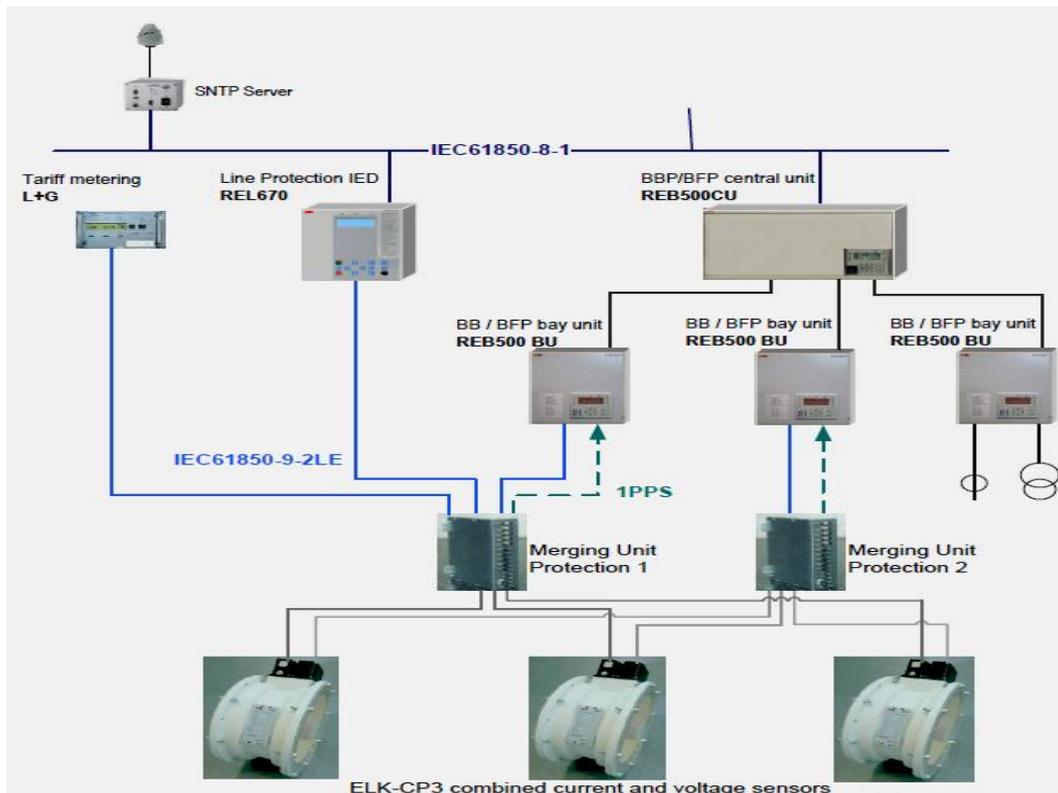


圖 18、Laufenburg 變電所使用 NCIT 之架構

此前導計畫目前仍持續運轉中，成功實現了 NCIT 與 Process BUS 的結合。設計亦有備援機制，每個 NCIT 會有兩路光纖接到不同的 MU，現場之配置如圖 19，MU 再透過 1pps 時間同步功能與 IEC 61850-9-2 標準與 IED 連線。



圖 19、Laufenburg 變電所使用之 MU

此外，本計畫讓 NCIT 與傳統式的互感器之保護功能平行運轉，以比較彼此的暫態波形與反應特性。舉例來說，變壓器差動保護功能測試，在變壓器兩端分別擷取 NCIT、傳統 CT 訊號，並利用保護電驛 RET 670 進行計算，如圖 20。線路差動保護功能方面，則利用 2 台 RED 670 分別擷取 NCIT、傳統 CT 訊號進行保護，如圖 21。ABB 計畫主持人說明目前 NCIT 運作皆正常，效能良好。

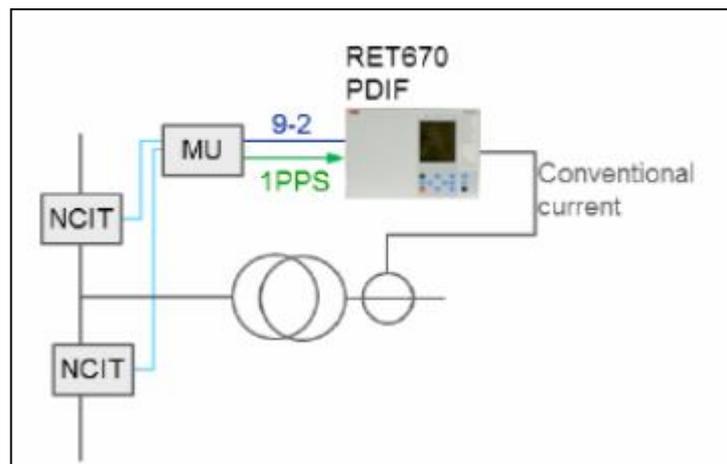


圖 20、變壓器差動保護功能測試

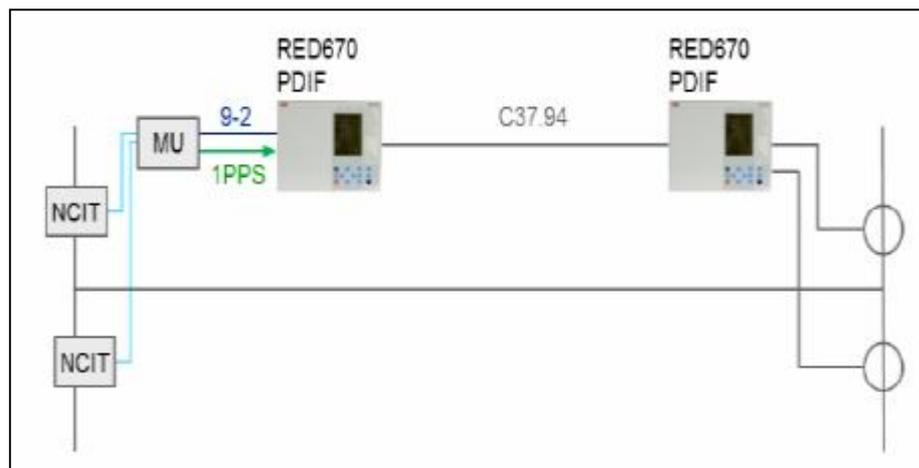


圖 21、線路差動保護功能測試

根據 ABB 之測試，此前導計畫自從 2009 年運轉以來，保護系統運作正常，並未發生設備事故或誤跳事件。經由間隔層設備 REB 500 的比較，傳統 CT 與 NCIT 電流訊號並無特別差異，符合期待，NCIT 比較如圖 22（藍色部份為 NCIT 所輸出訊號）。使用 IEC 61850-9-2 LE 標準所紀錄的擾動狀態，與傳統保護系統所紀錄的結果也呈現一致。

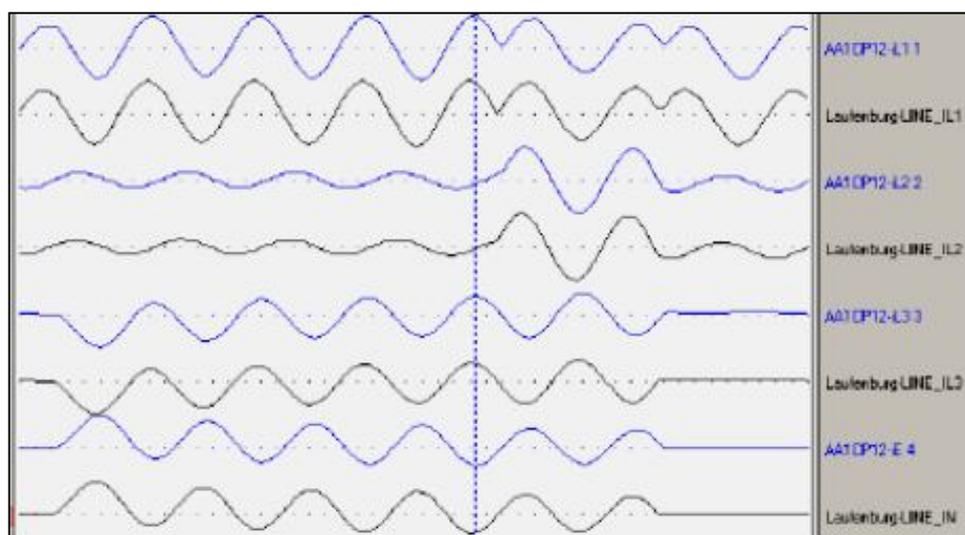


圖 22、傳統 CT 與 NCIT 電流訊號比較

Laufenburg 變電所裡僅有 3 台 GIS 配置 NCIT，其餘皆為傳統式的 GIS，兩者之比較如圖 23，可看出配置 NCIT 的 GIS 較傳統式 GIS 設計有所不同。

ABB 設置於變電所之 NCIT 型號為 ELK-CP3，GIS 各部份元件如圖 24。本型號之 NCIT 最高可量測之電壓等即可達 550kV，量測頻寬約為 1000Hz，可承受之環境溫度為-40°C~40°C，且符合保護用 IP65 等級。根據 ABB 本計畫負責人與變電所現場維護人員之說明，所有 NCIT 自設置以來皆正常運轉。



圖 23、Laufenburg 變電所之 GIS(左邊有配置 NCIT)

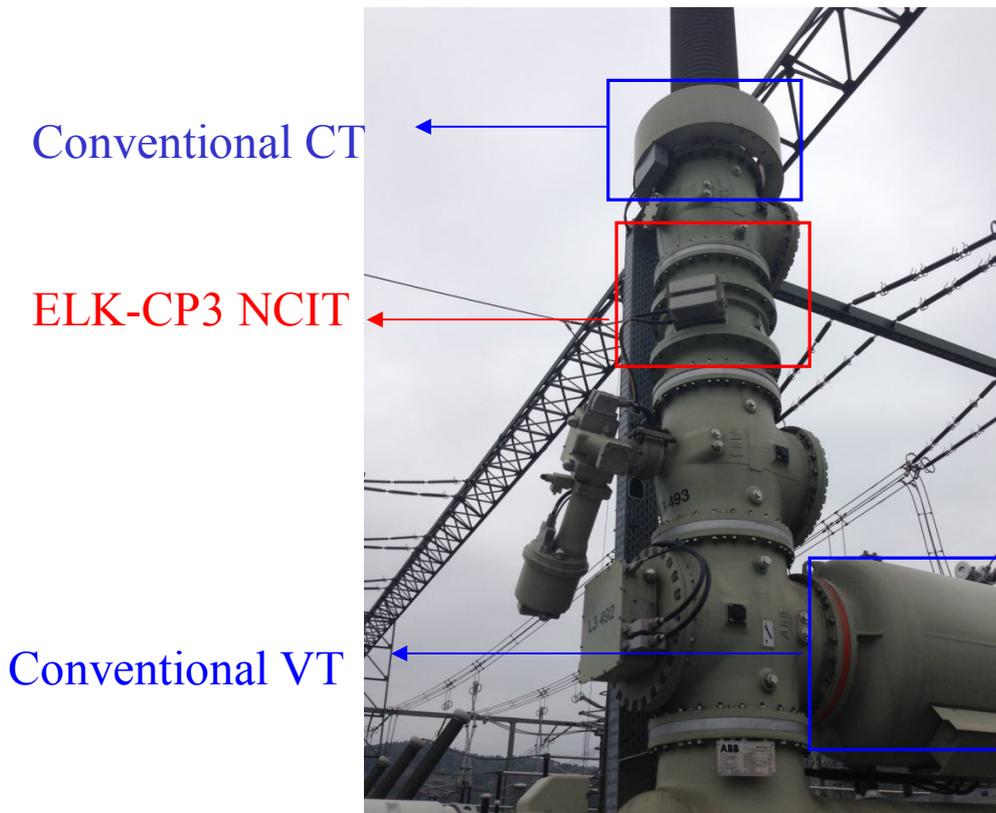


圖 24、Laufenburg 變電所與 NCIT 搭配之 GIS

伍、心得與建議

1. 隨著分散式電源的增加，電力潮流從負載端回送至系統的情形將會越來越常見，導致配電系統上的諧波及其他非週期性干擾源之流向與來源判斷更加複雜。根據各國分散式電源之電力品質統計，系統之諧波電壓已呈現緩步增加趨勢，因此本公司應對再生能源於配電系統的電力品質需作定期追蹤，避免突發事故產生。
2. 目前歐洲使用 NCIT 的實例並不多，雖已有運轉實績，但在大多為與傳統式 CT、VT 合併使用之前導性質計畫(Pilot installation)。除澳洲之案例外，歐洲這些前導性質計畫通常會有第三方認證之 NCIT/MU/IED 設備混搭之情形，未全部採用 NCIT 進行變電所之保護、監測。因此，如本公司未來有意裝設 NCIT，可先以既有變電所進行傳統式互感器與 NCIT 搭配之示範計畫，並與傳統 CT 搭配於電驛使用，除了保護測試外，亦可針對 NCIT 量測值之正確性、運轉狀態作比較。
3. 目前 IEC61850 較成熟部份是 Station BUS 上的應用，而從 MU 傳送到 Process BUS 的資料格式與實作目前有 IEC61850-9-2 LE 可參考。IEC61850-9-2 LE 是 UCA 所提供的指導準則，提供了時間同步、取樣率、資料內容的建議。未來還有更多相關標準會提出，如要實作 Process BUS 上之相關應用，建議可等到相關規範更為完備時再來進行。
4. 以 ABB 提供之運轉經驗，其 NCIT 在澳洲之實績已有 10 年以上經驗，NCIT 中的主要感測器之耐用強度可比擬傳統 CT、VT，耐用性佳。如果是二次轉換器異常則可快速替換而不需另作校正。有關維護方面，則可對 Process BUS 作連續性的監測，偵測 NCIT 之訊號以判斷是否有異常現象。這些運轉經驗也提供了對產品性能的評估過程，對於本公司非常實用。
5. 在 Process BUS 的架構下，擷取信號將更方便，也較為安全，非常有利於電

力品質的分析。又隨著 NCIT 成本的降低，未來 Process BUS 之應用可望漸漸普及，本公司可建立標準實驗室，作相關性能試驗。

6. IEC61850 所提供的保護與控制功能的資訊傳遞皆在乙太網路上，這對目前變電所的維護人員來說會較為陌生，新一代的自動化電網將需要較長時間的學習。隨著平台測試工具相容性的規範將在 2014 年第三季提出，公司可多舉辦研討會，以配合未來 IEC61850 相關測試工作。