

台灣電力股份有限公司一零三年度

研究計畫：546-4102-0102

電子式互感器應用於本公司智慧型變電  
所之可行性研究

完成報告

台灣電力股份有限公司

中華民國 103 年 5 月



# 電子式互感器應用於本公司智慧型變電 所之可行性研究

## 完成報告

研究方式： 委託研究

執行期間： 102 年 04 月 01 日 至 103 年 03 月 31 日

計畫主持人： 陳南鳴

副研究員： 陳坤隆

研究人員： 陳彥儒、楊政和、黃昭榕

執行單位： 國立臺灣科技大學

委託單位： 台電綜合研究所

## 摘要

目前變電所使用之電流互感器(CT)、電壓互感器(VT)係由鐵芯與線圈構成，體積龐大，且有飽和、鐵磁共振等問題。隨著科技進步，目前已有電子式互感器(ECT、EVT)應用於國外之變電所。因台電公司尚無使用經驗，這將阻礙未來智慧變電所及智慧電網的時程建置。

本計畫進行電子式互感器之設計、施工、運轉維護之研究，蒐集國內外之 ECT、EVT 相關感測技術、廠商、規格以及實際案例等資料，至國外拜訪電力設備製造商及參觀實際安裝 ECT/EVT 運行之變電所，並完成舉辦一場「電子式互感器」研討會。

最後，本研究計畫依據蒐集的資料來進行分析並提出台電公司智慧型變電所對於 ECT / EVT 之應用方式，以及電子式互感器與 IEC61850 協定之整合方案，並提出適用之技術規範草案，俾利台電公司未來智慧電網建置之參考。

關鍵字：電子式互感器、智慧型變電所、IEC61850、非傳統式電壓互感器、非傳統式電流互感器

## **Abstract**

Nowadays, current transformers (CT) and voltage transformers (VT) consist of iron cores and coils. They are very large. Furthermore, they have some problems like saturation and ferromagnetic resonance. With the advancement technology, some electronic instrument transformers (ECT, EVT) have already been used in foreign substations. However, up to now, Taipower Company has no experiences related to electronic instrument transformers, and this situation will obstruct the establishment schedule of future intelligent substations and smart grids.

This project aims to survey the design, construction, operation and maintenance of electronic instrument transformers, and to collect the related information of sensing techniques, manufacturers, standards, product specifications, and practical application substations. Moreover, the visiting of power equipment manufacturers and substations where ECTs/EVTs have been installed was also done. Finally, an international workshop on electronic instrument transformers was hosted.

This project brought out the application modes of ECT/EVT to Taipower intelligent substations according to the analysis of all collected data; moreover, an integration solution of electronic instrument transformers with IEC 61850 communication protocol was also included. Finally, a draft of technical specifications for TPC applications is proposed for future smart grid construction.

**Key words :** electronic instrument transformer, intelligent substation, IEC 61850, non conventional voltage transformer, non conventional current transformer.

## 計畫之預定進度、工作項目及查核事項

工 作 項 目	工 預 作 定 年 比 進 度 重 度 %	%	102 102 102 102 102 102 102 102 102 102 103 103 103												查核點完成 事項說明	
			年 4 月	年 5 月	年 6 月	年 7 月	年 8 月	年 9 月	年 10 月	年 11 月	年 12 月	年 1 月	年 2 月	年 3 月		
蒐集國內外 ECT, EVT 相關感測技術、廠商及規格	10	預定進度	4	4	1	1										完成蒐集國內外 ECT, EVT 產業趨勢。
		累計進度	4	8	9	10										
蒐集國外已採用電子式互感之變電所之電子式互感器品牌、規格及 EVT、ECT 數量；分析國外實際案例	10	預定進度	4	4	1	1										完成蒐集國外已採用電子式互感之變電所之互感器品牌、規格及布建規模，及完成實際案例分析
		累計進度	4	8	9	10										
蒐集國外變電所智慧化、IEC61850 通訊標準等相關論文、期刊與廠家技術資料。並重點於分析國外電子式互感器傳輸介面及 IED 通訊整合，以建立完整相關知識。	10	預定進度	2	2	3	3										完成蒐集及分析國外 IEC 61850 智慧化變電所之感測取樣介面技術及通訊整合相關文獻。
		累計進度	2	4	7	10										
分析現行台電變電所智慧化(自動化)通訊架構，及狀態維護及 IED 監控機制。	10	預定進度		1	3	3	3									完成分析現行台電智慧化變電所通訊架構及 IED 監控機制。
		累計進度		1	4	7	10									

分析傳統互感器與電子式互感器在設計、施工、運轉維護、成本之差異，並在各層面探討兩者之優缺點。	15	預定進度			3	3	4	5							完成分析各類電子式互感器設計、施工流程及相關運轉維護資料評估，並探討與傳統互感器間的優缺點。
	累計進度			3	6	10	15								
探討 IEC 61850 通訊協定在電子式互感器的整合情況，且提出 IEC 61850 整合電子式互感器與變電所內設備的互通性整合方案。	20	預定進度					3	3	4	5	5				完成分析 IEC 61850 通訊協定在電子式互感器的整合評估。
	累計進度					3	6	10	15	20					
依據蒐集資料進行分析，提出台電智慧型變電所用 EVT、ECT 規格、及相關運轉及應用方式和技術規範草案，舉辦研討會並完成期末報告。	25	預定進度							1	2	2	6	7	7	參考國外使用經驗及相關蒐及資料，完成提出最適合台電智慧型變電所用 EVT、ECT 規格、及相關運轉具體建議，並提出技術規範草案，及完成期末報告審查。
	累計進度								1	3	5	11	18	25	
合 計		預定進度	10	11	11	11	10	8	5	7	7	6	7	7	繳交期末報告
	累計進度	10	21	32	43	53	61	66	73	80	86	93	100		

## 台電公司委託研究計畫 102 年度第 2 季執行進度季報表

(執行期間：102.04.01~102.06.30)

研究分項計畫或重要工作計畫書項目內容	蒐集國內外 ECT、EVT 相關感測技術、廠商及規格	執行情形	已蒐集國內外有源、無源 ECT/EVT 之各項感測技術原理，且調查了歐洲、亞洲及美洲的相關廠商及產品規格等資料	截至本季進度%	
				預定	90
				實際	90
	佔總計畫 10%			比較	0
研究分項計畫或重要工作計畫書項目內容	蒐集國外已採用電子式互感器之品牌、規格及 EVT、ECT 數量；分析其實際案例	執行情形	對國外廠商如 ABB、Alstom 以及 GE 等大廠，均已蒐集一定之相關產品的規格及資料，並擬於七月中旬前往新東北電(瀋陽)及 Alstom(上海)的電子式互感器設備廠房，示範變電所及實際應用變電所參訪，以蒐集實際運作的 ECT/EVT 資料並進行分析	截至本季進度%	
				預定	90
				實際	90
	佔總計畫 10%			比較	0
研究分項計畫或重要工作計畫書項目內容	蒐集國外變電所智慧化、通訊標準等相關論文、期刊與技術資料	執行情形	已蒐集一定之智慧型變電所和通訊標準相關論文和期刊，並擬定於七月和九月前往大陸及瑞士進一步蒐集其相關技術資料	截至本季進度%	
				預定	70
				實際	70
	佔總計畫 10%			比較	0
研究分項計畫或重要工作計畫書項目內容	分析現行台電變電所智慧化通訊架構、狀態維護及 IED 監控機制	執行情形	已蒐集現今台電智慧型變電所的通訊系統架構和狀態維護資料，並擬定進行此通訊架構與 IED 監控系統的整合分析	截至本季進度%	
				預定	40
				實際	40
	佔總計畫 10%			比較	0

研究分項計畫或重要工作計畫書項目內容	分析傳統互感器與電子式互感器在設計、施工、運轉維護、成本之差異，並在各層面探討兩者之優缺點	執行情形	已蒐集部分兩種互感器的比較資料，並預計於七月和九月出國參訪國外廠商來進一步了解兩種互感器實際之比較和差異，以此來進行各層面之優缺點分析	截至本季進度%	
				預定	20
	實際			20	
	比較			0	
	佔總計畫 15%				

# 台電公司委託研究計畫 102 年度第 3 季執行進度季報表

(執行期間：102.07.01~102.09.30)

研究分項計畫或重要工作計畫書項目內容	蒐集國內外 ECT、EVT 相關感測技術、廠商及規格	執行情形	已蒐集國內外有源、無源 ECT/EVT 之各項感測技術原理，且調查了歐洲、亞洲及美洲的相關廠商及產品規格等資料	截至本季進度%	
				預定	100
	佔總計畫 10%			實際	100
				比較	0
研究分項計畫或重要工作計畫書項目內容	蒐集國外已採用電子式互感器之品牌、規格及 EVT、ECT 數量；分析其實際案例	執行情形	對國外廠商如 ABB、Alstom 以及 GE 等大廠，均已蒐集一定之相關產品的規格及資料，並於七月中旬前往新東北電(瀋陽)及 Alstom(上海)的電子式互感器設備廠房，示範變電所及實際應用變電所參訪，蒐集實際運作的 ECT/EVT 資料並進行分析	截至本季進度%	
				預定	100
				實際	100
				比較	0
研究分項計畫或重要工作計畫書項目內容	蒐集國外變電所智慧化、通訊標準等相關論文、期刊與技術資料	執行情形	已蒐集一定之智慧型變電所和通訊標準相關論文和期刊，並已於七月和九月前往大陸及瑞士進一步蒐集其相關技術資料	截至本季進度%	
				預定	100
				實際	100
				比較	0
研究分項計畫或重要工作計畫書項目內容	分析現行台電變電所智慧化通訊架構、狀態維護及 IED 監控機制	執行情形	已蒐集現今台電智慧型變電所的通訊系統架構和狀態維護資料，且進行此通訊架構與 IED 監控體系的整合分析	截至本季進度%	
				預定	100
				實際	100
				比較	0
	佔總計畫 10%			比較	0

研究分項計畫或重要工作計畫書項目內容	分析傳統互感器與電子式互感器在設計、施工、運轉維護、成本之差異，並在各層面探討兩者之優缺點	執行情形	已蒐集部分兩種互感器的比較資料，並於七月和九月出國參訪國外廠商來進一步了解兩種互感器實際之比較和差異，且進行各層面之優缺點分析	截至本季進度%	
	佔總計畫 15%			預定	100
				實際	100
比較	0				
研究分項計畫或重要工作計畫書項目內容	探討 IEC 61850 通訊協定在電子式互感器的整合情況，且提出 IEC 61850 整合電子式互感器與變電所內設備的互通性整合方案	執行情形	目前已蒐集了與 IEC 61850 和智慧型變電所的整合資料，正在進行並整理 Merging Unit 於不同廠家產品間的整合方案	截至本季進度%	
	佔總計畫 20%			預定	30
				實際	30
比較	0				

## 台電公司委託研究計畫 102 年度第 4 季執行進度季報表

(執行期間：102.10.01~102.12.31)

研究分項計畫或重要工作計畫書項目內容	蒐集國內外 ECT、EVT 相關感測技術、廠商及規格	執行情形	已蒐集國內外有源、無源 ECT/EVT 之各項感測技術原理，且調查了歐洲、亞洲及美洲的相關廠商及產品規格等資料	截至本季進度%	
				預定	100
	佔總計畫 10%			實際	100
				比較	0
研究分項計畫或重要工作計畫書項目內容	蒐集國外已採用電子式互感器之品牌、規格及 EVT、ECT 數量；分析其實際案例	執行情形	對國外廠商如 ABB、Alstom 以及 GE 等大廠，均已蒐集一定之相關產品的規格及資料，並於七月中旬前往新東北電(瀋陽)及 Alstom(上海)的電子式互感器設備廠房，示範變電所及實際應用變電所參訪，蒐集實際運作的 ECT/EVT 資料並進行分析	截至本季進度%	
				預定	100
				實際	100
				比較	0
研究分項計畫或重要工作計畫書項目內容	蒐集國外變電所智慧化、通訊標準等相關論文、期刊與技術資料	執行情形	已蒐集一定之智慧型變電所和通訊標準相關論文和期刊，並已於七月和九月前往大陸及瑞士進一步蒐集其相關技術資料	截至本季進度%	
				預定	100
				實際	100
				比較	0
研究分項計畫或重要工作計畫書項目內容	分析現行台電變電所智慧化通訊架構、狀態維護及 IED 監控機制	執行情形	已蒐集現今台電智慧型變電所的通訊系統架構和狀態維護資料，且進行此通訊架構與 IED 監控體系的整合分析	截至本季進度%	
				預定	100
				實際	100
				比較	0
	佔總計畫 10%			比較	0

研究分項計畫或重要工作計畫書項目內容	分析傳統互感器與電子式互感器在設計、施工、運轉維護、成本之差異，並在各層面探討兩者之優缺點	執行情形	已蒐集部分兩種互感器的比較資料，並於七月和九月出國參訪國外廠商來進一步了解兩種互感器實際之比較和差異，且進行各層面之優缺點分析	截至本季進度%	
	佔總計畫 15%			預定	100
				實際	100
比較	0				
研究分項計畫或重要工作計畫書項目內容	探討 IEC 61850 通訊協定在電子式互感器的整合情況，且提出 IEC 61850 整合電子式互感器與變電所內設備的互通性整合方案	執行情形	目前已蒐集了與 IEC 61850 和智慧型變電所的整合資料，正在進行並整理 Merging Unit 於不同廠家產品間的整合方案	截至本季進度%	
	佔總計畫 20%			預定	100
				實際	100
比較	0				
研究分項計畫或重要工作計畫書項目內容	依據蒐集資料進行分析，提出台電智慧型變電所使用 EVT、ECT 之具體建議和技術規範草案	執行情形	已蒐集國內外有源、無源 ECT/EVT 之各項感測技術原理，且調查了歐洲、亞洲及美洲的相關廠商及產品規格等資料	截至本季進度%	
	佔總計畫 25%			預定	20
				實際	20
比較	0				

# 台電公司委託研究計畫 103 年度第 1 季執行進度季報表

(執行期間：103.01.01~103.03.31)

研究分項計畫或重要工作計畫書項目內容	蒐集國內外 ECT、EVT 相關感測技術、廠商及規格	執行情形	已蒐集國內外有源、無源 ECT/EVT 之各項感測技術原理，且調查了歐洲、亞洲及美洲的相關廠商及產品規格等資料	截至本季進度%	
				預定	100
				實際	100
	比較			0	
	佔總計畫 10%				
研究分項計畫或重要工作計畫書項目內容	蒐集國外已採用電子式互感器之品牌、規格及 EVT、ECT 數量；分析其實際案例	執行情形	對國外廠商如 ABB、Alstom 以及 GE 等大廠，均已蒐集一定之相關產品的規格及資料，並於七月中旬前往新東北電(瀋陽)及 Alstom(上海)的電子式互感器設備廠房，示範變電所及實際應用變電所參訪，蒐集實際運作的 ECT/EVT 資料並進行分析	截至本季進度%	
				預定	100
				實際	100
	比較			0	
	佔總計畫 10%				
研究分項計畫或重要工作計畫書項目內容	蒐集國外變電所智慧化、通訊標準等相關論文、期刊與技術資料	執行情形	已蒐集一定之智慧型變電所和通訊標準相關論文和期刊，並已於七月和九月前往大陸及瑞士進一步蒐集其相關技術資料	截至本季進度%	
				預定	100
				實際	100
	比較			0	
	佔總計畫 10%				
研究分項計畫或重要工作計畫書項目內容	分析現行台電變電所智慧化通訊架構、狀態維護及 IED 監控機制	執行情形	已蒐集現今台電智慧型變電所的通訊系統架構和狀態維護資料，且進行此通訊架構與 IED 監控體系的整合分析	截至本季進度%	
				預定	100
				實際	100
	比較			0	
	佔總計畫 10%				

研究分項計畫或重要工作計畫書項目內容	分析傳統互感器與電子式互感器在設計、施工、運轉維護、成本之差異，並在各層面探討兩者之優缺點	執行情形	已蒐集部分兩種互感器的比較資料，並於七月和九月出國參訪國外廠商來進一步了解兩種互感器實際之比較和差異，且進行各層面之優缺點分析	截至本季進度%	
	佔總計畫 15%			預定	100
				實際	100
比較	0				
研究分項計畫或重要工作計畫書項目內容	探討 IEC 61850 通訊協定在電子式互感器的整合情況，且提出 IEC 61850 整合電子式互感器與變電所內設備的互通性整合方案	執行情形	已蒐集與 IEC 61850 和智慧型變電所的整合資料，並整理出 Merging Unit 於不同廠家產品間的互通性整合方案	截至本季進度%	
	佔總計畫 20%			預定	100
				實際	100
比較	0				
研究分項計畫或重要工作計畫書項目內容	依據蒐集資料進行分析，提出台電智慧型變電所使用 EVT、ECT 之具體建議和技術規範草案，舉辦研討會並完成期報告	執行情形	已蒐集國內外有源、無源 ECT/EVT 之各項感測技術原理，且調查了歐洲、亞洲及美洲的相關廠商及產品規格等資料。並進一步提出使用 EVT、ECT 之具體建議和技術規範草案	截至本季進度%	
	佔總計畫 25%			預定	100
				實際	100
比較	0				

## 期中審查項目與完成內容之查核

期中審查項目	完成內容
蒐集國內外 ECT、EVT 相關感測技術、廠商及規格。	2.2 電子式互感器的標準 2.3 電子式互感器的使用現狀 2.4 電子式互感器的分類和原理 2.5 電子式電流互感器 2.6 電子式電壓互感器
蒐集國外已採用電子式互感器之品牌、規格及 EVT、ECT 數量；分析其實際案例。	2.3 電子式互感器的使用現狀 2.4 電子式互感器的分類和原理 2.5 電子式電流互感器 2.6 電子式電壓互感器 5.2 中國地區之智慧電網運行近況 5.3 電子式互感器於變電所之實際運行範例
蒐集國外變電所智慧化、通訊標準等相關論文、期刊與技術資料	3.2 IEC 61850 於變電所自動化的演進 3.3 IEC 61850 於變電所自動化之通訊應用 3.4 IEC 61850 標準資訊模型結構 3.5 IEC 61850 於合併單元(Merging Unit)之應用
分析現行台電變電所智慧化通訊架構、狀態維護及 IED 監控機制	1.2 研究背景 3.3 IEC 61850 於變電所自動化之通訊應用 3.4 IEC 61850 標準資訊模型結構 3.5 IEC 61850 於合併單元(Merging Unit)之應用
分析傳統互感器與電子式互感器在設計、施工、運轉維護、成本之差異，並在各層面探討兩者之優缺點	1.2 研究背景 2.3 電子式互感器的使用現狀 2.4 電子式互感器的分類和原理 2.5 電子式電流互感器 2.6 電子式電壓互感器 2.8 電子式互感器的特性

## 期中說明會之會議紀錄

編號	開會意見	辦理情形
1	請研究團隊補充有源式電子互感器之電源是否需有備援設計。	經研究團隊調查，依台電變電所電控設計準則規定，有關直流電源須設置蓄電池組一組、充電機2具，考慮AC斷電8小時情況下蓄電池組仍能供設備正常操作。未來IEC61850電控規劃含ECT及EVT設備，有關直流電源仍須依原設計準則辦理，因此備用電源已包含於原準則範圍。  詳見此報告第二章第九小節：有源式互感器之電源問題
2	雖電子互感器至MU之資料格式已有IEC60044-7/8之規範，但不同廠商之末端設備與MU是否存在相容性問題，請研究團隊持續蒐集資料。	研究團隊會再去洽詢ALSTOM、ABB及南瑞公司，MU傳送至Relay(IEC61850)信號規格是否依IEC61850 9-2。另外，依IEC61850 9-2有關Sample Values的聯結傳送已規定A-Profile及T-Profile之格式，因此各家MU傳送Sample Values應須採用規定格式辦理。  詳見此報告第三章第六小節：合併單元使用上之相容性以及頻寬問題
3	請補充Process Bus在電子式互感器應用上是否有頻寬問題。	研究團隊會再去洽詢ALSTOM、ABB及南瑞公司，MU傳送至Relay(IEC61850)信號規格是否依IEC61850 9-2。另外，依IEC61850 9-2規範，有關Sample Values的聯結傳送須依ISO/IEC 8802-3規定設計辦理。  詳見此報告第三章第六小節：合併單元使用上之相容性以及頻寬問題
4	因互感器作為測量、保護用途時，其精度的要求有所不同，通常會將兩者分開使用，請補充案例測量、保護一體化的目的、理由。	研究團隊已詢問ABB公司對於電子式互感器之測保一體化的應對措施，會持續去洽詢其餘相關設備廠商。另外，於此報告中已提供另兩個實際範例以供參考。  詳見此報告第四章第四小節：測保一體化之討論

## 期末審查項目與完成內容之查核

期末審查項目	完成內容
蒐集國外已採用電子式互感器之品牌、規格及 EVT、ECT 數量；分析其實際案例。	2.3 電子式互感器的使用現狀 2.4 電子式互感器的分類和原理 2.5 電子式電流互感器 2.6 電子式電壓互感器 5.2 中國地區之智慧電網運行近況 5.3 電子式互感器於變電所之實際運行範例 5.4 ABB 電子式互感器於變電所之實際運行範例
探討 IEC 61850 通訊協定在電子式互感器的整合情況，且提出 IEC 61850 整合電子式互感器與變電所內設備的互通性整合方案	第六章、結論
依據蒐集資料進行分析，提出台電智慧型變電所使用 EVT、ECT 之具體建議和技術規範草案，舉辦研討會並完成期末報告	4.2 傳統互感器之技術規範 4.3 IEC 61869 新互感器標準介紹 4.4 電子式互感器通訊架構發展趨勢 4.5 電子式互感器通訊技術規範草案 <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 103 年 02 月 19 日(三)上午 08:30 至下午 05:00 於台灣科技大學舉辦電子式互感器研討會</li> <li>▪ 103 年 03 月 31 日(一)前提交期末報告初稿</li> </ul>

## 期末說明會之會議紀錄

編號	開會意見	辦理情形
1	建議各種電子式電流互感器之比較表格可補充磁光晶體、LPCT 之特性	已補充磁光晶體型為無源式，LPCT(低功率線圈)為有源式。磁光玻璃型有震動對量測精準度影響問題，且安裝較為複雜。  詳見表 2.1 各式電子式電流互感器比較
2	ABB 之電子式電流互感器前導安裝計畫從 2009 年開始，然而已有 350 個 CP-type NCIT 使用超過 10 年，請加以補充說明。	ABB 使用私有通訊系統，安裝於其測試示範場域及實際變電所；並且依國際電子產品老化測試標準(高溫高濕測試環境)，藉此評估二次轉換器之平均故障間隔時間。  詳見此報告第五章第四小節：ABB 電子式互感器於變電所之實際運行範例
3	請針對無源式(Faraday 效應)與有源式(Rogowski 線圈)之電子式電流互感器所適用之環境作補充說明。	新增 ECT 與 EVT 選用評估之選用表。Faraday 光學電流互感器之適用溫度約-40°C ~ 55°C，Rogowski 線圈約-20°C ~ 70°C。另外，Faraday 光學電流互感器可量測直流且無需一次側電源。  詳見此報告之表 6.1 ECT 與 EVT 選用評估
4	請補充目前各廠之 SAMU(Stand-alone Merge Unit)產品規格說明，以供參考。	新增目前國際大廠根據新標準定義的 Stand-alone Merge Unit 相關產品規格表。  詳見此報告之表 4.3 SAMU(Stand-alone Merge Unit)產品
5	新社變電所現為已運轉中之變電所，請修改結論中有關電子式互感器整合方式之表格內容。	新增既有以及新建變電所之通訊整合方式建議表(新社變電所已併入既有變電所之範圍內)，並依據各種整合建議，選用其對應之廠牌產品。  詳見此報告之表 6.2 台電既有變電所與新建變電所採用電子式互感器之整合建議
6	請於結論補充台電未來使用電子式互感器之相關建議。	在此建議台電應試辦一所智慧型變電所實際安裝電子式互感器，及早累積智慧型變電所的運行經驗。  詳見此報告之第六章、結論

## 目錄

摘要.....	I
Abstract.....	II
計畫之預定進度、工作項目及查核事項.....	III
台電公司委託研究 102 年度第 2 季執行進度季報.....	V
台電公司委託研究 102 年度第 3 季執行進度季報.....	VII
台電公司委託研究 102 年度第 4 季執行進度季報.....	IX
台電公司委託研究 103 年度第 1 季執行進度季報.....	XI
期中審查項目與完成內容之查核.....	XIII
期中說明會之會議紀錄.....	XIV
期末審查項目與完成內容之查核.....	XV
期末說明會之會議紀錄.....	XVI
目錄.....	XVII
圖目錄.....	XXI
表目錄.....	XXIV
第一章 緒論.....	1
1.1 前言.....	1
1.2 研究背景.....	2
1.3 研究目標.....	4

1.4 研究方法.....	5
第二章 電子式互感器介紹.....	7
2.1 前言.....	7
2.2 電子式互感器的標準.....	7
2.3 電子式互感器的使用現狀.....	8
2.4 電子式互感器的分類和原理.....	10
2.5 電子式電流互感器.....	11
2.5.1 Faraday 原理之電子式電流互感器.....	12
2.5.2 Rogowski 線圈之電子式互感器.....	14
2.5.3 低功率電流互感器.....	16
2.5.4 傳統式霍爾電流互感器.....	18
2.5.5 無鐵芯式霍爾電流互感器.....	20
2.6 電子式電壓互感器.....	21
2.6.1 Pockels 原理之電子式電壓互感器.....	21
2.6.2 逆壓電效應之電子式電壓互感器.....	23
2.6.3 分壓原理之電子式電壓互感器.....	24
2.7 有源式互感器和無源式互感器之比較.....	26
2.8 電子式互感器的特性.....	26
2.9 有源式互感器之電源問題.....	29

2.10 本章小結.....	31
第三章 IEC 61850 於變電所自動化之應用.....	32
3.1 前言.....	32
3.2 IEC 61850 於變電所自動化的演進.....	32
3.3 IEC 61850 於變電所自動化之通訊應用.....	36
3.4 IEC 61850 標準資訊模型結構.....	37
3.5 IEC 61850 於合併單元( Merging Unit )之應用.....	42
3.6 合併單元使用上之相容性以及頻寬問題.....	46
3.7 本章小結.....	48
第四章 電子式互感器之技術規範.....	49
4.1 前言.....	49
4.2 傳統互感器之技術規範.....	49
4.3 IEC 61869 新互感器標準介紹.....	52
4.4 電子式互感器通訊架構發展趨勢.....	53
4.5 電子式互感器通訊技術規範草案.....	57
4.6 本章小結.....	57
第五章 電子式互感器之實際應用分析.....	61
5.1 前言.....	61
5.2 中國地區之智慧電網運行近況.....	61

5.3 電子式互感器於變電所之實際運行範例.....	63
5.4 ABB 電子式互感器於變電所之實際運行範例.....	72
5.5 測保一體化之討論.....	77
5.6 本章小節.....	79
第六章 結論.....	81
參考文獻.....	86

## 圖目錄

圖 1.1 變電所自動化系統的演進過程圖.....	3
圖 2.1 電子式互感器分類圖.....	11
圖 2.2 Faraday 原理的電子式比流器(光玻璃型)原理圖.....	12
圖 2.3 Faraday 原理的電子式比流器(全光纖型)原理圖.....	12
圖 2.4 全光纖型電子式比流器範例圖.....	14
圖 2.5 Rogowski 線圈原理圖.....	14
圖 2.6 Rogowski 線圈型電子式比流器範例圖.....	15
圖 2.7 低功率電流互感器等效電路圖.....	17
圖 2.8 低功率電流互感器範例圖.....	17
圖 2.9 霍爾線效應說明圖.....	18
圖 2.10 傳統式霍爾電流互感器架構圖.....	20
圖 2.11 四顆霍爾感測器配置方式圖.....	21
圖 2.12 Pockels 效應之電壓互感器原理圖.....	22
圖 2.13 Pockels 效應之電壓互感器產品範例圖.....	23
圖 2.14 逆壓電效應之電壓互感器原理圖.....	24
圖 2.15 分壓原理之電壓互感器原理圖.....	25
圖 2.16 分壓原理之電壓互感器案例圖(戶外型).....	25
圖 2.17 電子式電壓互感器的 GIS 型圖片(中興電工製).....	26

圖 2.18 有源式互感器之備用電源範例圖.....	30
圖 3.1 通訊協定之系統架構圖.....	33
圖 3.2 傳統實體通訊架構示意圖.....	34
圖 3.3 數位通訊架構示意圖.....	34
圖 3.4 建置電子式互感器之數位通訊架構示意圖.....	35
圖 3.5 未來變電所之數位通訊架構示意圖.....	35
圖 3.6 IEC 61850 於變電所自動化之通訊應用架構圖.....	37
圖 3.7 IEC 61850 標準資訊模型結構圖.....	38
圖 3.8 資料物件之群組範例圖.....	39
圖 3.9 邏輯節點與邏輯連結圖.....	42
圖 3.10 合併單元的定義圖.....	44
圖 3.11 合併單元整體架構圖.....	46
圖 3.12 UCA 預計展開之設備互通性實驗資訊示意圖.....	47
圖 4.1 變電所自動化新舊標準 IEC 61869 對應 IEC 61850.....	55
圖 4.2 IEC 61869 標準中兩種合併單元.....	56
圖 5.1 疊彩 110kV 變電所之合併單元與智慧介面單元圖.....	64
圖 5.2 陳甫 220 kV 變電所之戶外斷路器與智慧控制單元圖.....	66
圖 5.3 郭家屯 220 kV 變電所之戶外電子式互感器圖.....	68
圖 5.4 蘭溪 500 kV 變電所之戶外智慧型終端機圖.....	70

圖 5.5 ABB 在全球 NICT 重要計畫里程碑.....	72
圖 5.6 瑞士之 Laufenburg 380 kV 變電所之一次側設備圖.....	73
圖 5.7 瑞士之 Laufenburg 380 kV 變電所之系統圖.....	74
圖 5.8 澳洲之 ABB Pilot installation at line reactor bay 設備圖.....	75
圖 5.9 ABB 第一間 NCIT 商業化變電所–Loganlea 275 kV 變電所.....	76
圖 5.9 ABB 第一間 NCIT 商業化變電所–Loganlea 275 kV 變電所(續).	77
圖 5.10 郭家屯 220 kV 變電所整體系統網路架構圖.....	79
圖 5.11 安新變電所系統架構圖.....	80

## 表目錄

表 2.1 各式電子式電流互感器比較.....	27
表 2.2 各式電子式電壓互感器比較.....	28
表 2.3 Faraday 光學型電流互感器產品特性規格表.....	30
表 3.1 IEC 61850 標準資訊模型結構表.....	41
表 4.1 IEC 新舊互感器標準對應.....	54
表 4.2 互感器實現智慧型變電所之 process level 的通訊架構與產品..	58
表 4.3 SAMU(Stand-alone Merge Unit)產品.....	59
表 4.4 電子式互感器實現智慧型變電所之安裝架構分類與產品.....	60
表 6.1 ECT 與 EVT 選用評估.....	83
表 6.2 台電既有變電所與新建變電所採用電子式互感器之整合建議..	85

# 第一章 緒論

## 1.1 前言

智慧電網為各國電力發展趨勢，而變電所智慧化是重要關鍵，其主要目的為實現量測數位化、控制網路化、狀態可視化、功能一體化及訊號互動化，而這些目標的基礎均基於對電壓電流的精確量測。新型的電子式互感器，包含電子式電壓互感器(Electronic Voltage Transformer, EVT)與電子式電流互感器(Electronic Current Transformer, ECT)，是實現智慧型變電所運行，訊號數位化的主要設備之一，在電網動態觀測與提高保護電驛可靠性等方面具有重要作用，可提高電力系統運行控制的整體等級基礎。但台電截至目前為止尚無使用電子式互感器之經驗，這將阻礙未來智慧變電所及智慧電網的時程建置。

本計畫研究目的在於蒐集 EVT 與 ECT 之基本原理、成品種類、發展趨勢及相應主要廠商和相關產品規格；另外也蒐集分析 EVT 和 ECT 在國外應用於變電所的現況。此外，本計畫將提出 EVT 和 ECT 應用於台電智慧型變電所時的相關設計、施工、運轉維護等相關資料及具體建議。最後，針對智慧型變電所設備整合的操作性及整體資料的互交換性，本計畫也將提出電子式互感器與 IEC 61850 通訊協定之整合方案。

## 1.2 研究背景

智慧電網依供需關係可分成發電與調度、輸電、配電、用戶等層面，而在「智慧電網總體規劃方案核定本」，更將智慧電網分成 6 個發展構面，「智慧發電與調度」、「智慧輸電」、「智慧配電」、「智慧用戶」、「智慧電網產業發展」及「智慧電網環境建構」，並規劃具體做法，其中變電所智慧化即為一重點項目[1,2]。

目前，台電已實施的變電所自動化系統中仍存在許多問題，例如傳統互感器(PT&CT)的動態量測範圍存在局限性，不同廠牌智慧型電子裝置(Intelligent Electronic Device, IED)間缺乏統一的資料格式與資料交換模型及二次設備間缺乏互操作性等，這些問題限制了變電所自動化技術的進一步發展。如圖 1.1 所示，目前變電所智慧化還是採用傳統 PT 與 CT 裝置於氣體絕緣開關設備(Gas-Insulated Switchgear, GIS)來量測電力系統電氣量，然後經由實體銅線傳送電壓及電流訊號至 IED。然而傳統比流器(Current Transformer, CT)在應用上最大的問題在於有著交流飽和、直流飽和及殘磁等問題，而這些問題完全起源於比流器本身鐵芯的磁滯特性，而其中又以直流飽和最為嚴重。在電力系統發生故障時，故障電流含有過大的直流偏移電流成份而使得比流器的鐵芯發生飽和的現象，因而造成二次側的電流的扭曲失真，使電流偵測產生誤差及電驛誤動作，將大大影響電力系統的安全性跟可靠性。而傳統比壓器(Voltage Transformer, VT)或稱(Potential

Transformer, PT)則有鐵磁共振及短路大電流之問題。此外，傳統互感器亦有體積大、重量重之缺點，隨著變電所自動化設備數位化與網路化的發展，使得變電所的電驛及儀表對於變比器的負擔要求大幅降低，促使電子式互感器的應用範圍及使用數量擴增。目前，新型電子式互感器已商品化，明確規範變電所資料採集、處理、傳輸及應用框架的 IEC 61850 標準亦已頒布實施，ABB、SIEMENS、AREVA、VAMP、GE 等各世界大廠之 IED 皆宣佈支援此通訊準則，預期將來設備間之資料互交換性與互操作性將更直接與更有效率。[3]

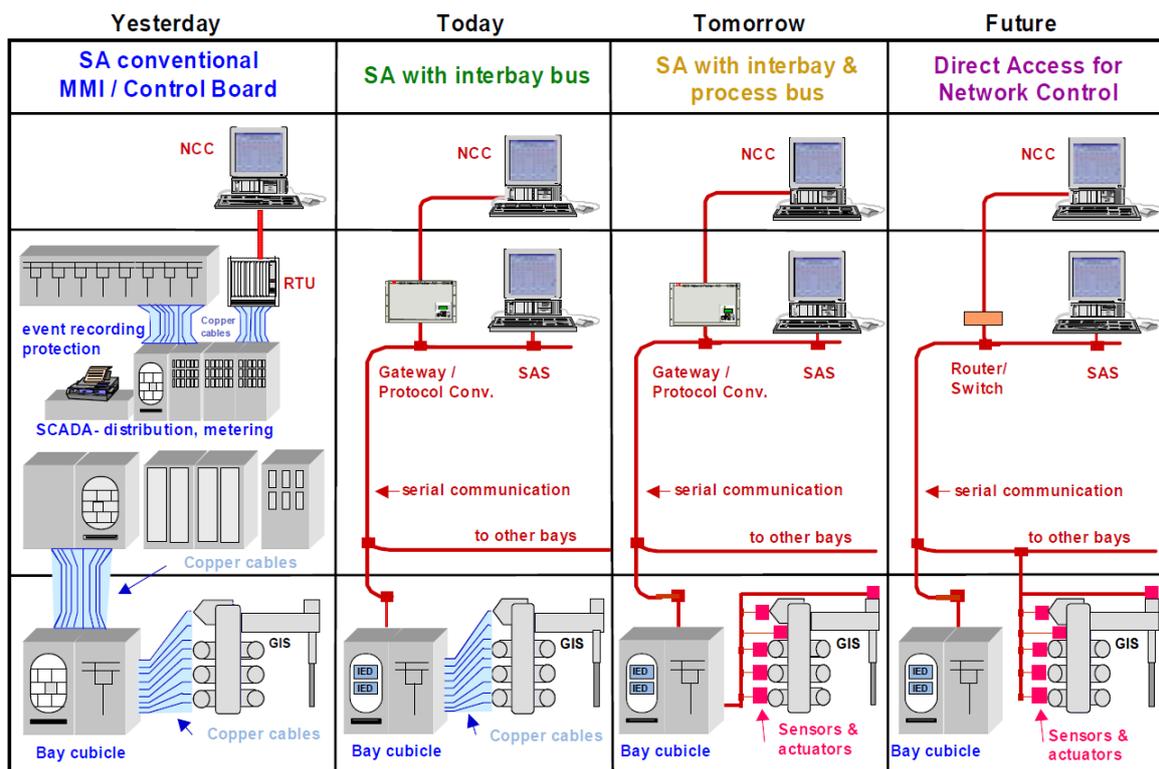


圖 1.1 變電所自動化系統的演進過程圖

### 1.3 研究目標

智慧變電所可以劃分為Station Level、Bay Level和Process Level三層。其中，Process Level包括變壓器、斷路器、隔離開關、電流電壓互感器等一次設備及其所屬的智慧組件以及獨立的智慧電子設備。智慧變電所主要目的為實現量測數位化、控制網路化、狀態可視化、功能一體化及訊號互動化。而這些目標的基礎全部基於對電壓電流的精確量測。電子式互感器是實現智慧型變電所運行，訊號數位化的主要設備之一，在電網動態觀測、提高保護電驛可靠性等方面具有重要作用，是提高電力系統運行控制的整體等級基礎。但台電截至目前為止尚無使用電子式互感器之經驗，這將阻礙未來智慧變電所及智慧電網的時程建置。

本計畫研究目的在於蒐集電子式電流互感器(ECT)及電子式電壓互感器(EVT)之基本原理、成品種類、發展趨勢及相應主要廠商和相關產品規格；另外也蒐集分析 EVT 和 ECT 在國外應用於變電所的現況。此外，本計畫將提出 EVT 和 ECT 應用於台電智慧型變電所時的相關設計、施工、運轉維護等相關資料及具體建議，並分析傳統互感器與電子式互感器在各層面的差異性。此外，也針對智慧型變電所設備整合電子式互感器時，進行 IEC 61850 通訊協定之整合性討論。最後依據蒐集資料的分析，提出適合台電智慧型變電所對於 ECT、EVT 應用之方式，並提出技術規範草案及舉辦相關技術研討會。

## 1.4 研究方法

本計畫之進行步驟及研究方法簡述如下：

### 1. 資料蒐集及分析

- (1) 蒐集國內外電子式互感器的相關產品資料，並分析、分類電子式互感器之基本原理、應用領域及發展趨勢。
- (2) 蒐集國外已採用電子式互感器的變電所資料，包括電子式互感器品牌、規格及各別EVT、ECT數量，並介紹國外實際應用案例。
- (3) 蒐集國外變電所智慧化及IEC61850通訊標準等相關論文、期刊與廠家技術資料。

### 2. 建構智慧型變電所之電子式互感器整體架構

- (1) 依據所蒐集的資料，提出適合台電智慧型變電所之電子式互感器設計、施工流程及相關運轉維護資料；並分析傳統互感器與電子式互感器在設計、施工、運轉維護、成本之差異，並在各層面探討兩者之優缺點。
- (2) 探討IEC 61850通訊協定在電子式互感器的整合情況，且分析IEC 61850通訊協定、電子式互感器以及變電所內設備之間的相容性問題。

### 3. 電子式互感器技術規範

以國外變電所電子式互感器的運轉經驗及相關蒐集資料，提出台電智慧型變電所使用EVT、ECT之具體建議，以完成提出最適合台電智慧型變電

所用EVT、ECT規格、及相關運轉具體建議及應用方式(不採用、試辦一所或全面使用)，並提出技術規範草案。

#### **4. 舉辦「電子式互感器應用於台電公司智慧型變電所之可行性」研討會**

舉辦「電子式互感器應用於台電公司智慧型變電所之可行性」研討會，並邀請專業人士、電力設備國產化評鑑合格廠商及台電相關單位，共同討論EVT、ECT未來在台電智慧變電所的可行性及配套方案。

## 第二章 電子式互感器介紹

### 2.1 前言

電子式互感器意指輸出為小電壓類比訊號或數位訊號的電流與電壓互感器(ECT&EVT)。由於類比輸出的電子式互感器仍存在傳統互感器的一些固有缺點，如準確度問題，因此現在發展的高電壓等級用電子式互感器一般都採光纖輸出數位訊號(以下的電子式互感器均指此類電子式互感器)。電子式電流與電壓互感器是無鐵芯、絕緣結構簡單可靠、體積小、質量小、線性度好、無飽和現象、輸出信號可直接與計量及保護設備連接的互感器，而且訊號輸出採用比電纜廉價的光纖，降低了綜合成本。現代光學技術、電力電子技術的發展使得電子式互感器的發展及實用化得以實現。由於電子式互感器的諸多優點，電子式互感器取代傳統互感器將為未來一種趨勢。

### 2.2 電子式互感器的標準

電子式互感器的標準化工作是由1999年的IEC 60044-7(電子式電壓互感器)和2002年的IEC 60044-8(電子式電流互感器)的發布開始的。在這兩個標準中串列數位通信協定被標準化。2003年初，類似的串列協定被用在IEC 61850-9-1標準中。這種串列協定並不能滿足IEC 61850總體系統的大部分需求。2004年，IEC 61850-9-2 發布，以太網路協定作為標準確立了下來，互

感器的輸出通過交換機提供給其他通過同樣的標準連接在網絡上的的保護、計量等其他設備。這一系列標準的頒布為電子式互感器的應用和推廣奠定了基礎。

## 2.3 電子式互感器的使用現狀

20 世紀 80 年代，美國、日本、德國、英國、法國、中國等國投入光學電流和電壓互感器的研究人員大約有 150 人，近 20 個研究團隊。其中成就最突出的是美國，其次是日本。

美國有許多大型電氣公司都已投入，各自於 1982 年左右成立研究中心。目標為，電壓：161 kV、345 kV、500 kV；電流：20~4000 A；ANSI C57 標準準確等級 0.5 級、0.3 級，並以 Farady 塊狀結構的磁光式電流互感器為主。美國利用 80 年代初日本、德國的相關研究與資料，急起直追於光學電流互感器(Optical Current Transformer, OCT)的研究，選定在超高壓電力系統採用塊狀結構的 OCT 方案，並終於實現了 1986~1988 年 161 kV 的保護電驛的運行。1990 年 9 月，以 ABB、T & D 名義刊登出世界上第一份「磁光電流互感器」的廣告及相關簡介。

日本除研究 500 kV 與 1000 kV 高壓電網計量用的 OCT 外，還進行 500 kV 以下至 6.6 kV 電壓等級的 GIS 之研究以及零序電流、電壓互感器使用的

光學 CT/PT 研究。三菱公司的伊丹工廠製造的 6.6 kV、600 A 的組合式光學零序電流與電壓互感器，在中部(Chubu)電力公司的配電網中安裝，經過長期戶外運行試驗，滿足 JEC1201-1985 標準，已在 1989 年末通過測試檢定。此組合式光學零序電流/電壓互感器可裝在電線桿上運行，重量約 3.5kg。他們還把這種光電電流互感器放在 7.7 kV 的配電網中，根據電流的流向，確定電網中的故障點。日立公司和東芝公司對用於 GIS 的光學 CT/PT 都進行了大量的研究，並長期進行試驗，確認其運行良好。

1991 年 9 月 22~27 日在美國德州 Dallas 會議中心，由 IEEE 電機工程學會主辦的輸變電會議上，3M 公司的 IEEE 會員 T. W. MacDougall 等人以「用於電力系統的光纖電流互感器的研製」為題介紹全光纖電流互感器，描述了產生高穩定性的感測光纖線圈和把光纖線圈與保偏光纖連接起來的新技術，還介紹了理論上的限制與初步特性曲線和數據。

中國研究光電式電流互感器的單位則有清華大學電機系、華中理工大學電力系、上海科技大學、西安交通大學、瀋陽沈變互感器製造有限公司和上海 MWB 互感器製造有限公司等。許多研究主要投入在溫度和應力引起的雙折射現象及其降低的對策，並計畫在光電式電流互感器的精度和長期穩定性方面進行更長期的實驗和現場考驗。

近年來，中國的一些大電氣公司和大學正在加速光電式電流互感器的

現場試驗和商品化。1994年ABB公司推出有源式光電式電流互感器。其電壓等級為72.5~765 kV，額定電流為600~6000 A。3M公司在1996年已宣稱開發出用於138 kV電壓等級的全光纖電流測量模組，據稱也可用於500 kV電壓等級。Photonics公司最近推出了一種用光供電的光電式電流互感器，稱之為「混合式光電電流互感器」，它們曾於1995年至1997年期間在美國、瑞典、芬蘭等國超高壓電網上嘗試運行。英國利物浦大學電機係也在進行混合式光電電流互感器的研究。德國著名的專業互感器公司Ritz公司也在和德國的大學聯合開發無源式及有源式光電電流互感器及光電電壓互感器。此外，日本的一些電氣公司把光電電流互感器用於抽水蓄能電站電流的測量，電流範圍為8000~35000 A，頻率範圍為1/60~150 Hz，此外還有很多用於高壓線電線故障測量的研究文章[4]。

## 2.4 電子式互感器的分類和原理

根據電子式互感器的量測目的，可分為電子式電流互感器，和電子式電壓互感器兩大類；再依感測頭部分是否需要提供電源，兩類電子式互感器可再個別分為有源式和無源式兩類，如圖2.1所示。電子式電流互感器主要採用Rogowski線圈、光學裝置、霍爾感測器或傳統電流互感器等方式實現一次電流信號的轉換；電子式電壓互感器主要採用電阻分壓器、電容分壓器、阻容分壓器或光電原理等方式實現一次電壓信號的轉換。

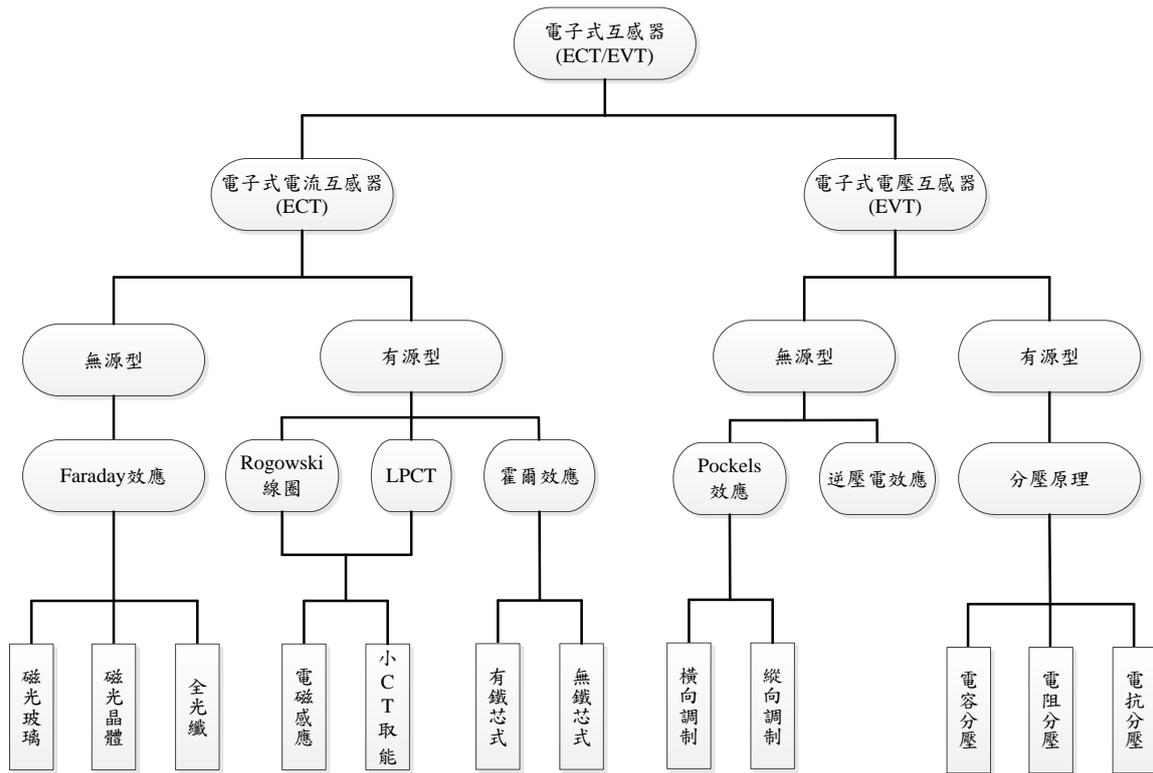


圖 2.1 電子式互感器分類圖

## 2.5 電子式電流互感器

電子式電流互感器依據一次側感應部分是否需要提供電源，分為有源式和無源式兩類，無源式電流互感器也稱光學電流互感器(OCT)，主要藉由Faraday效應，並配合不同的磁光材料再區分為磁光玻璃、磁光晶體以及全光纖三類型；有源式電流互感器則分別以Rogowski線圈、低功率比流器(Low Power Current Transformer, LPCT)[4,5]、霍爾感測器等方式實現一次側電流信號的轉換。

## 2.5.1 Faraday 原理之電子式電流互感器

本來不具有旋光性的介質，在外加磁場作用下，產生了旋光性，可以使在介質中沿磁場方向傳播的平面偏振光的偏振面發生旋轉，此種現象稱為Faraday效應[6]。利用Faraday 磁光效應的電流互感器原理如下：藉由發光二極體發出的光，經起偏器後為一線偏振光，線偏振光在磁光材料中繞載流導體一周後，其偏振面將發生旋轉，如圖2.2和圖2.3所示[7]，此外依磁光材料的不同，主要可以分成三種：磁光玻璃、磁光晶體、全光纖型。

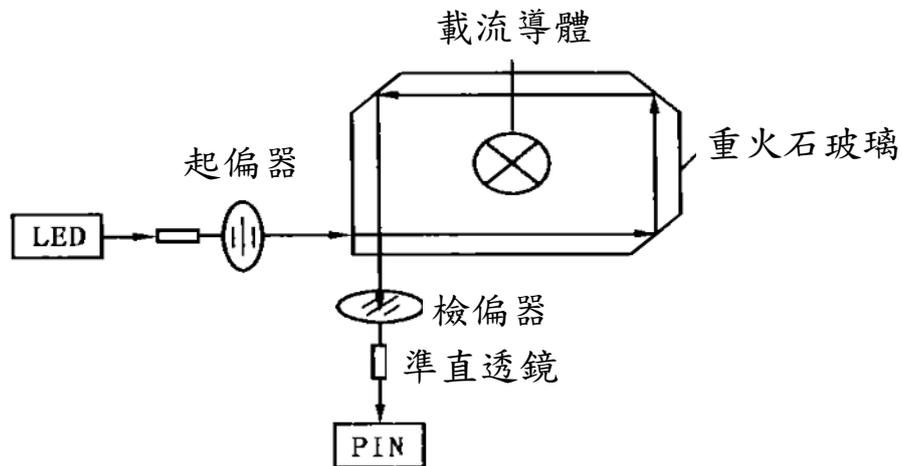


圖 2.2 Faraday 原理的電子式比流器(光玻璃型)原理圖[7]

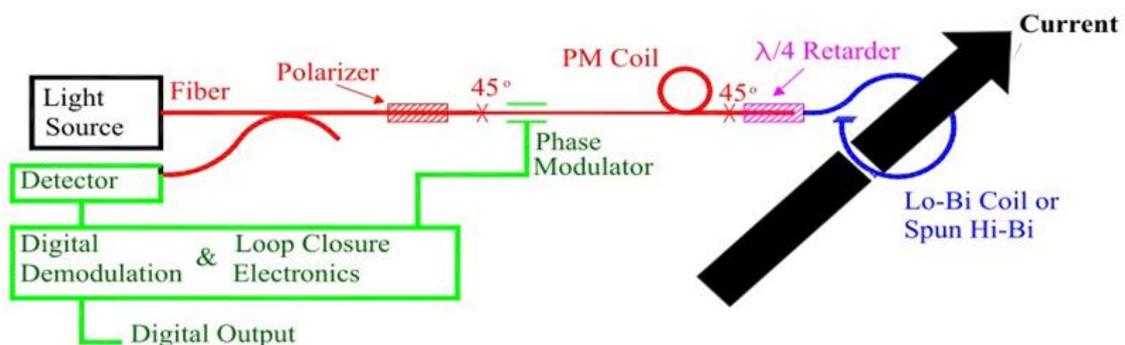


圖 2.3 Faraday 原理的電子式比流器(全光纖型)原理圖[7]

當一束線性偏振光通過放置在磁場中的旋光材料時，若磁場方向與光的傳播方向相同，則光的偏振面將產生旋轉，旋轉角正比於磁場強度沿偏振光通過材料路徑的線積分。據法拉第磁光效應及安培環路定律可知，線偏振光旋轉的角度  $\theta$  與載流導體中流過的電流  $i$  關係如下[7]：

$$\theta = V \int_l H \cdot dl = V \oint H \cdot dl = V \cdot i \quad (2-1)$$

$\theta$ ：偏振光偏振面的旋轉角度。

$V$ ：磁光材料的 Verdet 常數。

$l$ ：磁光材料中的通光路徑。

$H$ ：電流  $i$  在光路上產生的磁場強度。

$i$ ：導體電流。

由 2-1 式可知角度  $\theta$  與導體電流  $i$  成正比，利用檢偏器將角度  $\theta$  的變化轉換為輸出光強的變化，經光電變換及相應的信號處理，便可求得被測電流  $i$ 。而全光纖型電子式電流互感器，是指傳光部分、感測部分都採用光纖，其中光纖一般選用單模光纖。從原理上講可分成光纖干涉型與全光纖法拉第效應型 2 類。光纖干涉型電流互感器有利用全光纖 Mach-Zehnder 干涉儀的，也有利用全光纖 Sagnac 干涉儀的。其感測頭結構簡單、靈敏度可隨光纖長度變化等。

以下實際範例如圖 2.4 所示，圖中為 Alstom 公司的全光纖型電子式電流互感器，此互感器使用光纖感測頭直接將待測的套管纏繞，外部再裝設

法蘭環來加以固定，利用 Faraday 原理來進行偏振光的偏振面之旋轉角度測量，再經光電轉換和信號處理後得知一次側的待測電流大小。

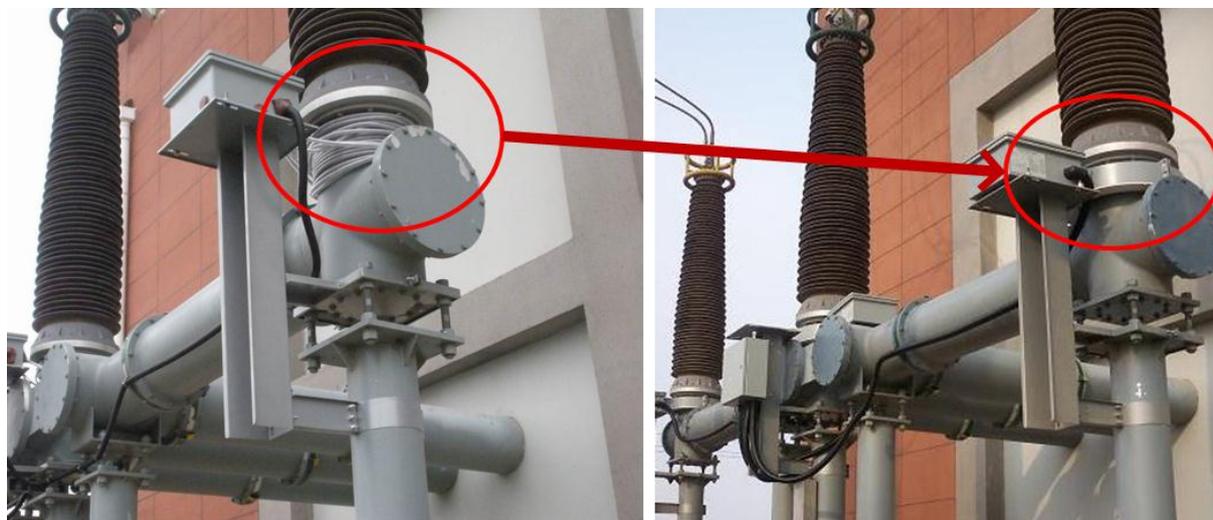


圖 2.4 全光纖型電子式比流器範例圖

## 2.5.2 Rogowski 線圈之電子式電流互感器

Rogowski 線圈是由是由俄國科學家 Rogowski 在 1912 年所發明的，漆包線均勻繞在環形骨架上製成的，如圖 2.5 所示，骨架採料多為塑料或陶瓷等非鐵磁性材料，其相對導磁率與空氣中的相對導磁率相同，這是 Rogowski 線圈有別於傳統比流器的一個差別[4,5]。

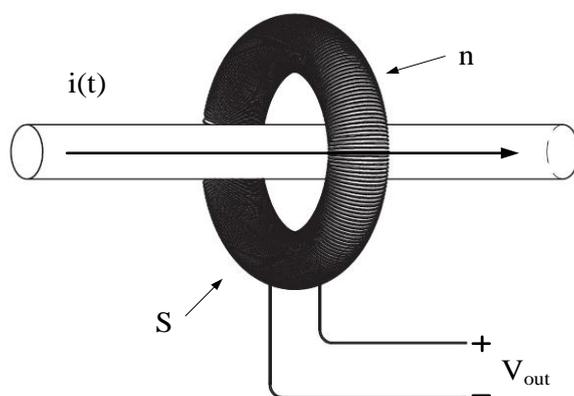


圖 2.5 Rogowski 線圈原理圖[8]

此外 Rogowski 線圈的輸出電壓與導體電流的時間導數成正比，如公式 2-2 所示，將  $V(t)$  積分便可求得待測電流。

$$V(t) = -\mu_0 n S \frac{di(t)}{dt} \quad (2-2)$$

$V$ ：Rogowski 線圈感應電壓

$\mu_0$ ：真空中的導磁率

$n$ ：每公尺匝數密度 (turns/m)

$S$ ：匝線圈面積 ( $m^2$ )

以下範例圖如圖 2.6 所示。圖中為 Alstom 公司的 Rogowski 線圈型之電子式電流互感器，圖中可看出，此互感器是由 Rogowski 線圈和外部加以固定和隔離的結構合成，抗干擾能力優秀。

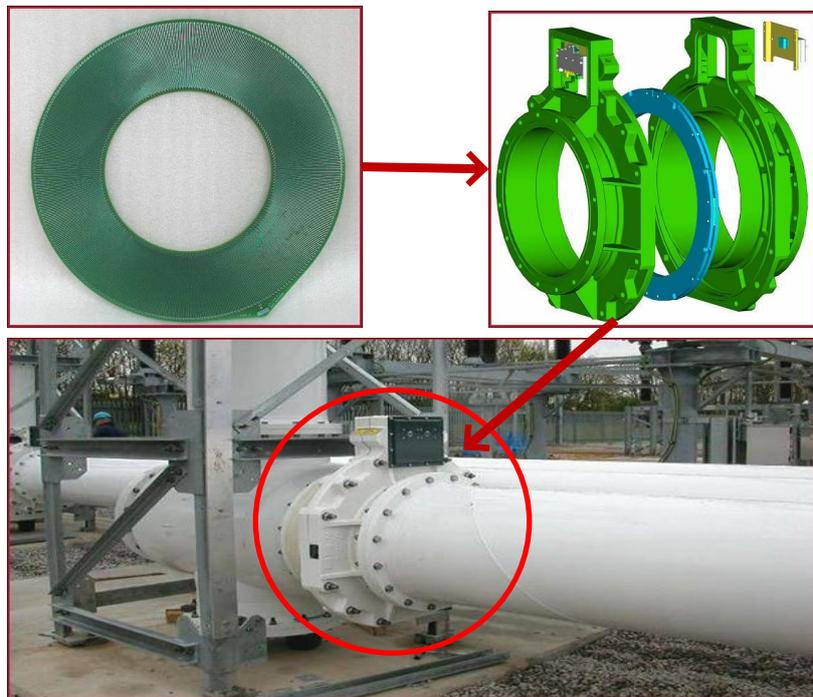


圖 2.6 Rogowski 線圈型電子式比流器範例圖

### 2.5.3 低功率電流互感器

低功率電流互感器(Low Power Current Transformer, LPCT) [5]，是一種具有低功率輸出特性的電磁式電流互感器，由於低功率電流互感器的輸出一般是直接提供給電子電路，所以二次負載比較小；其鐵芯一般採用微晶合金等高導磁性材料，在較小的鐵芯截面下，就能夠滿足測量準確度的要求，低功率比流器二次迴路要並接一阻值較小的電壓取樣電阻，該電阻是低功率比流器的一個組成部分，低功率電流互感器之等效電路如圖 2.7 所示，仍然是基於電磁感應原理的鐵芯電流互感器，它實際上代表了傳統電流互感器的發展，而其二次側輸出電壓公式如下：

$$U_S = R_{sh} \times I_s = R_{sh} \times \frac{N_p}{N_s} \times I_p \quad (2-3)$$

$U_S$ ：二次側電壓

$R_{sh}$ ：並聯電阻

$I_p$ ：一次側電流

$I_s$ ：二次側電流

$N_p$ ：一次側繞組數

$N_s$ ：二次側繞組數

$R_B$ ：Burden 電阻

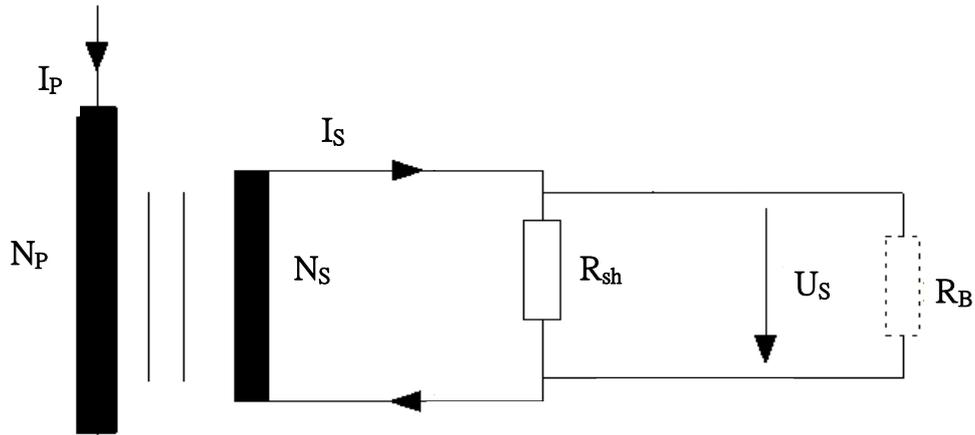


圖2.7 低功率電流互感器等效電路圖[5]

實際的產品範例如圖2.8所示。圖中的互感器為中國南瑞公司的低功率電流互感器，其結構為環氧樹脂材料澆注而成的全封閉結構，絕緣強度高，並且擁有防火、防潮等良好地環境適應性，二次側信號可就地傳送給合併單元，簡化了系統結構，減少了誤差源並提高了整個系統的穩定性和準確度，也方便與保護裝置介面做整合。



圖2.8 低功率電流互感器範例圖

## 2.5.4 傳統式霍爾電流互感器[9,10]

霍爾效應是由美國物理學家愛德華賀伯霍爾(Edwin H. Hall)先生於 1879 年發現，霍爾效應是由羅倫茲力 (Lorentz Force) 所引起[11]，即導體帶有移動電荷並置於磁場中，此時垂直於電流方向上，會有一個力量作用，這就是羅倫茲力量，而這種現象就稱為霍爾效應，如圖 2.9 所示，在一個半導體材料的薄片上，縱向流過一個控制電流  $I_c$  時，磁場  $B$  會產生一個羅倫茲力  $F_L$ ，並垂直施加於移動的電荷上，此時會在薄片的兩端造成電荷的儲存，因此造成了電位差，稱之為霍爾電壓  $V_H$ ，其  $V_H$  算法如下：

$$V_H = \frac{K}{d} \times I_c \times B \quad (2-4)$$

K：使用材質之霍爾係數

d：薄片厚度

B：磁場

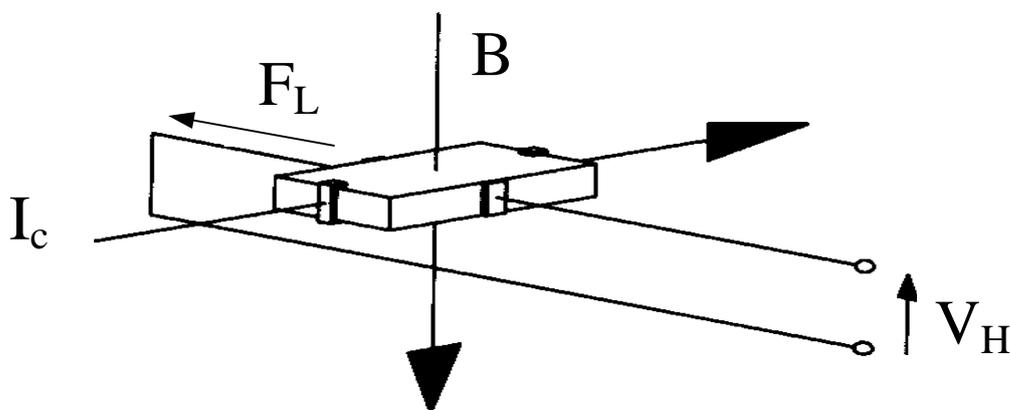


圖 2.9 霍爾線效應說明圖[10]

文中所提到之傳統式霍爾電流互感器，其原理為放置霍爾感測器於鐵芯內部中之氣隙，用以感測電流磁場，進而產生霍爾電壓，再經後段電力電子技術處理霍爾電壓信號，將信號供給後段設備用，其架構如圖 2.10 所示，即當被測電流  $I_p$  流過一次回路時，會產生磁場  $B$ ，因而引起霍爾電壓，圖中的控制電流  $I_c$  是由定電流源所提供。在環狀鐵芯路徑中留一氣隙，電流由中間流過，氣隙磁阻約等於整個環狀鐵芯之磁阻，而在磁場磁滯遞迴曲線的線性區中，氣隙所產生磁通密度  $B$  與  $I_p$  之關係如下：

$$B = a \times I_p \quad (2-5)$$

其中  $a = \frac{1}{\mu} \times I$

將式 2-5 代入 2-4 後可得霍爾電壓，以下式表示之：

$$V_H = \frac{K}{d} \times I_c \times a \times I_p \quad (2-6)$$

除了  $I_p$  以外，上式中各項都是定數，因此可簡化成

$$V_H = b \times I_p \quad (2-7)$$

其中  $b$  為常數。

雖然傳統式霍爾電流互感器可有效解決傳統比流器體積龐大及價格昂貴之問題，但傳統式霍爾電流互感器本身內部結構依舊存在鐵芯材質，其磁滯曲線只有某一線段為線性，依然會有鐵芯磁飽和之問題存在。

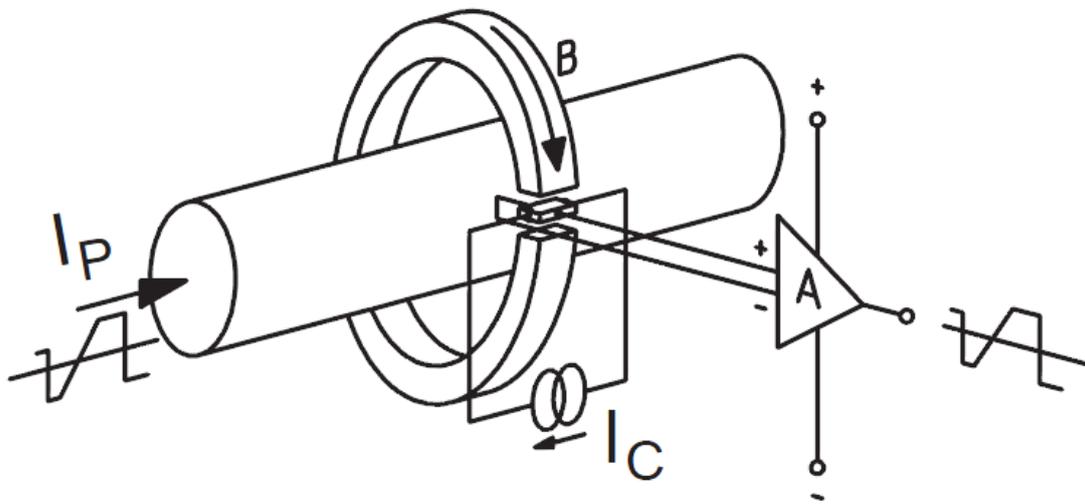


圖 2.10 傳統式霍爾電流互感器架構圖[10]

### 2.5.5 無鐵芯式霍爾電流互感器

無鐵芯式霍爾電流互感器以霍爾效應為基礎，當使用四顆霍爾感測器對稱排列於纜線外壁且各纜線間距大於五倍的纜線半徑時，四顆霍爾感測器的平均值能有效消除周遭磁場的干擾[12]，進而可簡單藉由長直導線之必歐-沙伐定律(Biot-Savart Law)公式即可求得實際電流，公式如下：[13]

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (T) \quad (2-8)$$

$r$ ：纜線半徑。

$\bar{B}$ ：距纜線中心位置 $r$ 處之磁通密度。

$I$ ：待測電流

$\mu_0$ ：空氣導磁係數

無鐵芯式霍爾電流互感器之四顆霍爾感測器配置方式如圖 2.11 所示。四顆霍爾感測器對纜線圓心的距離為等距的關係且兩兩互成  $90^\circ$ ，此對稱排列可配合機構需求順時針或逆時針旋轉，皆可達到消除磁場干擾的功效。

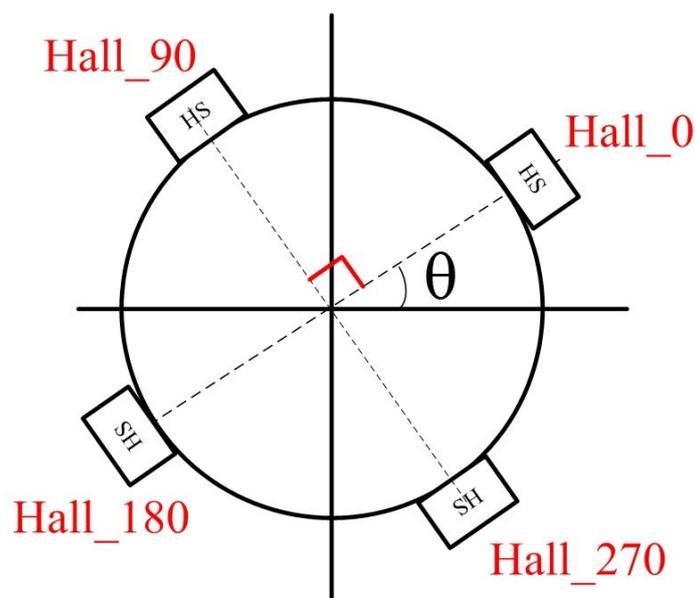


圖 2.11 四顆霍爾感測器配置方式圖[12]

## 2.6 電子式電壓互感器分類

依據感測頭部分是否需要提供電源，電子式電壓互感器主要可分為有源式和無源式兩類。大致可分成 Pockels 效應、逆壓電效應、分壓型等方式實現一次側電壓信號的轉換。

### 2.6.1 Pockels 原理之電子式電壓互感器

所謂 Pockels 效應就是指某些透明的光學介質在外電場的作用下，其折射率線性隨外加電場而變。Pockels 效應又稱為線性電光效應[14]。具有電

光效應的物質很多，但在電力系統高電壓測量中用得最多的是 BGO（鉻酸鈹  $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ ）晶體，BGO 是一種透過率高、無自然雙折射和自然旋光性、不存在熱電效應的電光晶體。根據電光晶體中通光方向與外加電場（電壓）方向的不同，基於 Pockels 效應的光學電壓互感器可分為橫向調變光學電壓互感器和縱向調變光學電壓互感器。光學電壓感測器是利用 Pockels 電光效應測量電壓的，如圖 2.12 所示。LED 發出的光經起偏器後為一線偏振光，在外加電壓作用下，線偏振光經電光晶體（如 BGO 晶體）後發生雙折射，雙折射兩光束的相位差  $\delta$  與外加電壓  $V$  成正比，利用檢偏器將相位差  $\delta$  的變化轉換為輸出光強的變化，經光電變換及相應的信號處理便可求得被測電壓[15]。

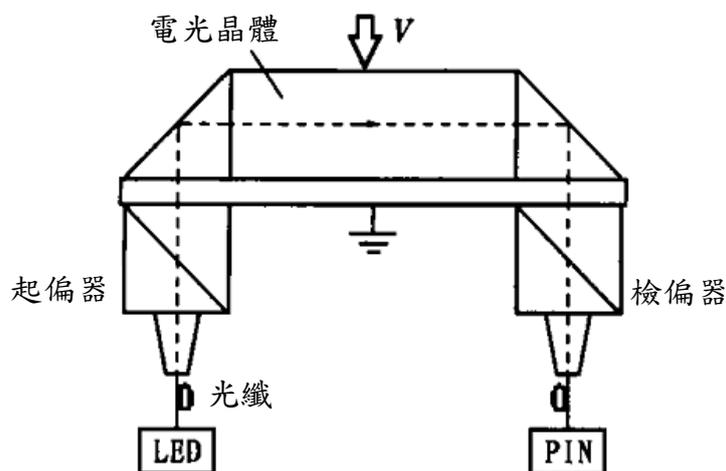


圖 2.12 Pockels 效應之電壓互感器原理圖[7]

實際產品範例如圖 2.13 所示。圖中之互感器為中國的南瑞航天公司的

產品，為標準基於光學 Pockels 效應之電子式電壓互感器，從原理上消除了鐵磁諧振現象，一次側無源，且依靠光纖將電壓信號傳至二次側，實現電氣隔離且節省空間的效用。



圖 2.13 Pockels 效應之電壓互感器產品範例圖

## 2.6.2 逆壓電效應之電子式電壓互感器

逆壓電效應就是指當壓電晶體受到外加電場作用時，晶體除了產生極化現象外，同時形狀也產生微小變化即產生應變[16]。利用逆壓電效應引起晶體形變轉化為光信號的調變並檢測光信號，則可以實現電場（或電壓）的光學感測。一般採用石英晶體作為感測元件，晶體圓柱表面纏繞橢圓芯雙模光纖。當交流電壓施加在晶體上時，引起晶體的交變形變，這種形變由橢圓形雙模光纖感測，光纖的兩種空間模式在傳播中將經過調變的光學

相位差以通過弱相干干涉法測量得到，其架構圖如圖2.14所示，除了石英晶體外，這種感測器是一種不需要類似準直儀、起偏器、波片等光學分離元件的全光纖感測器。具有較低的複雜性，且成本低。

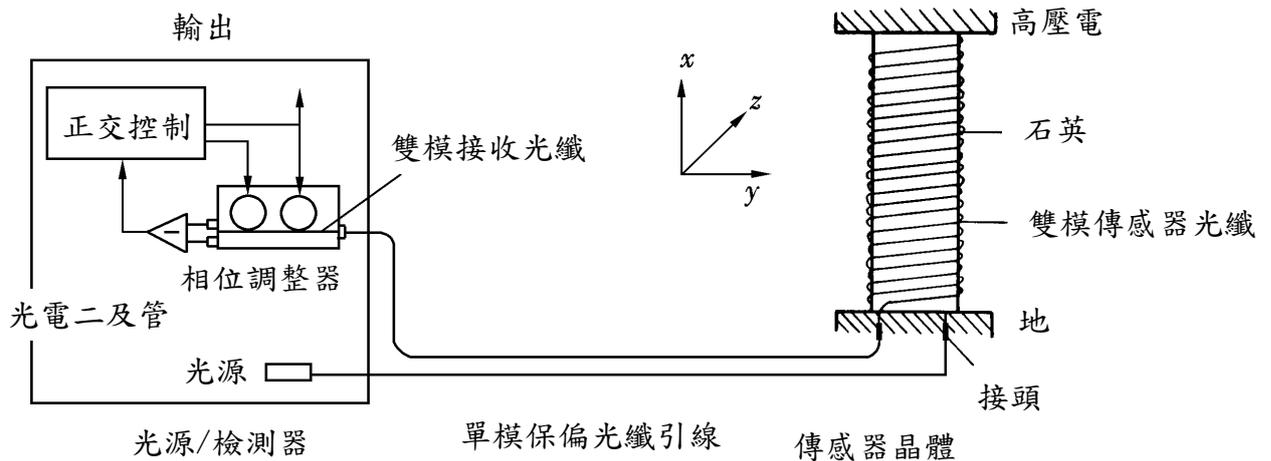


圖 2.14 逆壓電效應之電壓互感器原理圖

### 2.6.3 分壓原理之電子式電壓互感器

電壓互感器主要是由分壓器、電力電子電路和光纖等組成。分壓器可分為電容分壓器、電阻分壓器和電抗分壓器等，電阻分壓和電抗分壓用於一般低壓等級中，而電容分壓應用在高壓等級系統中已很成熟。電容分壓原理如圖 2.15 所示，其中  $C_1$ 、 $C_2$  分別為高、低壓電容，高壓加在電容  $C_1$  上，二次側信號從低壓電容  $C_2$  上輸出。高壓信號由分壓器從電網中取出，經訊號處理、A/D 轉換及 LED 轉換，以數位光信號的形式送至控制室，控制室的 PIN 及訊號處理電路對其進行光電轉換及相關的訊號處理，便可輸出供保護和計量使用的數位訊號。

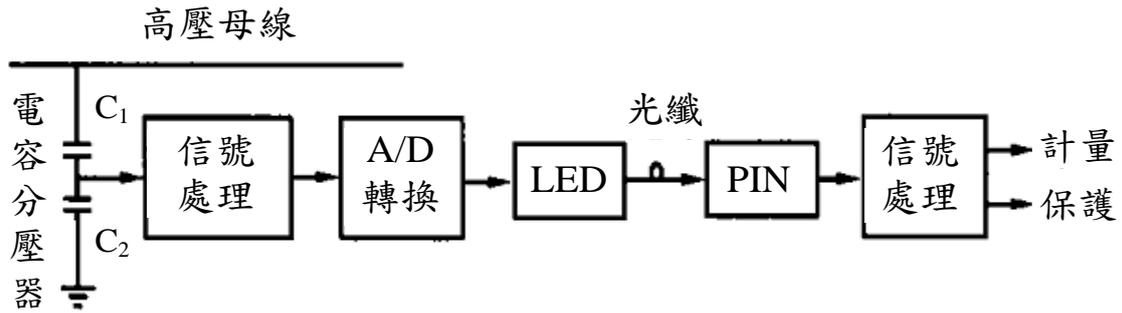


圖 2.15 分壓原理之電壓互感器原理圖[7]

實際產品範例如圖 2.16 所示。圖中之互感器為 Alstom 之分壓式電子式電壓互感器，內部絕緣部分採用玻璃纖維，感測頭需要電源，並且使用光纖來傳遞經分壓後轉換為數位訊號之感測電壓，靠著電容的穩定性提升量測的精確度。圖 2.17 為電子式電壓互感器的 GIS 型圖片（中興電工製）。



圖 2.16 分壓原理之電壓互感器案例圖(戶外型)



圖 2.17 電子式電壓互感器的 GIS 型圖片（中興電工製）

## 2.7 有源式互感器和無源式互感器之比較

有源、無源之電子式互感器在特性上存在一定的差別，且分別擁有不同優缺點。以下表2.1和表2.2分別對各類型之電子式電流互感器以及電子式電壓互感器，依照其感應原理、高壓測量端使用之特別元件、以及其他性能來做比較。

## 2.8 電子式互感器的特性[7]

### 1. 優良的絕緣性能,體積小、重量輕、造價低

傳統互感器為滿足絕緣、負荷和暫態穩定的要求，體積和重量較大，造價高。由電子式互感器的結構可知，其絕緣性能優於傳統的互感器。在電

子式互感器中，高壓側與地電位之間的訊號傳輸採用絕緣材料製造的石英光纖，因此絕緣結構簡單、體積小、造價低。

表 2.1 各式電子式電流互感器比較[17]

電子式比流器		無源式			有源式	
		磁光玻璃型	磁光晶體型	全光纖型	線圈式	霍爾式
感應原理		Faraday 磁光效應			Faraday 電磁感應	Hall 效應
高壓測量元件		磁光玻璃	磁光晶體	光纖環	羅式線圈或低功率線圈(LPCT)	霍爾感測器
性能比較	電源	不需要			需要	
	電磁干擾	不易受干擾			易受干擾	易受干擾 (有鐵芯)
						不易受干擾 (無鐵芯)
	溫度影響	大			小	大
技術瓶頸	1.溫度對量測精準度影響大 2.小電流時量測精準度問題 3.磁光玻璃型及磁光晶體型有震動對量測精準度影響問題 4.磁光玻璃型及磁光晶體型安裝較全光纖型複雜			1.抗干擾問題 2.供電消耗與壽命問題	1.溫度對量測精準度影響大 2.小電流時量測精準度問題 3.供電消耗與壽命問題	

表2.2 各式電子式電壓互感器比較

電壓互感器		無源式		有源式	
		Pockels	逆壓電效應	電容分壓	電阻分壓
性能比較	暫態效應	較不明顯		明顯	
	溫度影響	敏感		較不敏感	
	電磁干擾	影響小		電容分壓有對地雜散電容	
	光電結構	複雜		簡單	
	高壓側工作電源	不需要		需要	

## 2. 不含鐵芯，消除了磁飽和、鐵磁諧振等問題

傳統互感器不可避免地存在磁飽和、鐵磁共振和磁滯效應等問題，而電子式電流互感器不存在這方面的問題。

## 3. 抗電磁干擾性能好，二次側無開路、短路的危險

傳統的電流互感器二次不能開路，電壓互感器二次不能短路。電子式電流互感器的高壓邊與低壓邊之間只存在光纖聯結，不存在電磁干擾，無二次側開路、短路的可能。

## 4. 動態範圍大且測量精度高。

電網正常運行時，電流互感器流過的電流並不大，但短路電流一般很大，

而且隨著電網容量的增加，短路故障時短路電流越來越大。電磁感應式電流互感器因存在磁飽和問題，難以同時滿足高精度計量和保護電驛的需要。電子式電流互感器有較寬的動態範圍，額定電流可測到幾安培至幾千安培，短時大電流可達幾萬安培，可同時滿足高精度計量和保護電驛的需要。

## 5. 符合電力計量與保護數位化的發展潮流

電子式電流/電壓互感器的輸出多為數位量，輸出的數位化介面的物理層和鏈結層符合國際電工委員會的控制設備和系統 IEC 60870 標準以及變電所的通訊和系統 IEC 61850 標準，與電力系統中的保護電驛、通訊及計量的數位化發展方向是相容的。

整體而言，電子式互感器可以有效解決傳統互感器體積笨重及鐵芯飽和的問題，且易於數位化，方便於智慧型變電所整合。Faraday 光學型電流互感器為全球電力大廠目前的 NCIT 主要產品之一，其典型規格如表 2.3 所示。

## 2.9 有源式互感器之電源問題

由於有源式電壓/電流互感器於一次側的電源須另行設置，將會產生額外的經費考量以及配備問題，故在此特別做專門的評估及分析。

目前得知，ABB 公司設計之有源式互感器本身即具有備用電源之設計，並且主電源與備用電源彼此隔離，來預防當主電源無法供電時，互感器仍

可以繼續工作，實際之設備範例如圖 2.18 所示。

表 2.3 Faraday 光學型電流互感器產品特性規格表

特性參數	特性規格
安裝環境	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 36 kV to 1200 kV AC</li> <li>● 25 kV to 800 kV DC</li> </ul>
量測範圍	<ul style="list-style-type: none"> <li>● &lt;1 A to 6500 A (measurement and metering)</li> <li>● Up to 216 kA<sub>peak</sub> (protection)</li> </ul>
量測頻寬	<ul style="list-style-type: none"> <li>● DC to 20 kHz</li> </ul>
戶外操作溫度	<ul style="list-style-type: none"> <li>● -50°C to 70°C</li> </ul>
重量	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 以 245 kV 為例，約傳統電流互感器的 10% 重量，約 65 kg。</li> </ul>
占地空間	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 以 400 kV 為例，ECT 結合 LTCB，開關廠約節省 15% 的空間。</li> </ul>



Example cubicle with SAM600 modules

- SAM600 modules are designed for extended temperature range for field installation
  - -40 ... +70°C ambient (inside cubicle)
- Cubicles contain the modules in the switchyard
  - Passive cooling sufficient
  - Sun shield or double wall where required
  - Anti-condensation heating
  - Including patch panel for outdoor fiber termination
- Number of modules and cubicles optimally adapts to application type
- Flexible placement in the switchyard to optimize cabling and installation costs
- Customizable interface terminals for connection of field cabling
- Power supply of the modules by DC1 and/or DC2 station battery

圖 2.18 有源式互感器之備用電源範例圖

另外，依台電變電所電控設計準則規定，有關直流電源須設置蓄電池組一組、充電機 2 具，考慮 AC 斷電 8 小時情況下蓄電池組仍能供設備正常操作。未來 IEC61850 電控規劃含 ECT 及 EVT 設備，有關直流電源仍須依原設計準則辦理，因此備用電源已包含於原準則範圍。

## 2.10 本章小結

自 1884 年電磁式變壓器問世以來，經歷了一個多世紀，相關應用於輸配變電設備之電磁式感測技術得到了充分的發展，其中如電流互感器的發展有乾式、油浸式和氣體絕緣式多等種結構，因應了電力建設的發展需求。然而，隨著電力傳輸容量的不斷增長和電網電壓的提高，傳統的電磁感應式結構已逐漸無法滿足使用需求。如油浸式或氣體絕緣式等結構，對於 500kV 及以上電壓等級的互感器，其製造結構的複雜性、可靠性及造價都將令人難以接受，而且電磁式電流互感器所固有的磁飽和、鐵磁諧振、動態範圍小、使用頻帶窄等則更難以滿足電力系統發展的要求。因此，在科技較發達的國家，目前都已把注意力集中到光學感測技術上，應用光電子學的方法來解決電磁式互感器上述的弱點。自 20 世紀 60 年代以來，電子式互感器從原理性研究，到實驗室樣機乃至到近幾年來的運行，已經歷了半個世紀的發展，於 21 世紀，電子式互感器技術將進入一個嶄新的時代。

## 第三章 IEC 61850 於變電所自動化之應用

### 3.1 前言

為促使變電所自動化(Substation Automation System, SAS)的推動，各相關廠家也陸續發表因應變電所自動化的設備，且各廠商的設備所使用的通訊規格並不相容，幾乎每個廠商都有自己的通訊標準，因此自動化設備在變電所的使用上可能會有壟斷的情況出現，或者是需要更多投資在通訊協定的轉換上。而 IEC 61850 通訊協定的出現，代表著各廠家之間的自動化設備不僅可達到互操作性、可交換性以及資料共享的目標，也可簡化作業程序以及降低施工時程等優點。

### 3.2 IEC 61850 於變電所自動化的演進[18]

IEC 61850 是變電所內通訊網路以及系統的新標準，其核心的概念為：

1. 從不同的一次設備以及變電所自動化功能中，建立一個物件模型描述的訊息。
2. 在 IED 與自動化設備間建立一個特定的通訊規格。
3. 使用一種組態語言以交換變電所工程以及變電所網路控制工程所使用的工程工具之間的組態訊息。

以 IEC 61850 為標準規範所建置的自動化變電所，依通訊可將變電所劃分為站控層(Station level)、間隔層(Bay level)以及過程層(Process level)。站

控層部分包含站內監控人機介面、資料庫以及站對外通訊、警告以及訊息交換等功能；間隔層則設有保護、控制以及監測設備，如 IED；過程層除了傳統式互感器與現場開關設備外，還有電子式互感器以及合併單元 (Merge Unit, MU)。此通訊協定之系統架構如圖 3.1 所示。

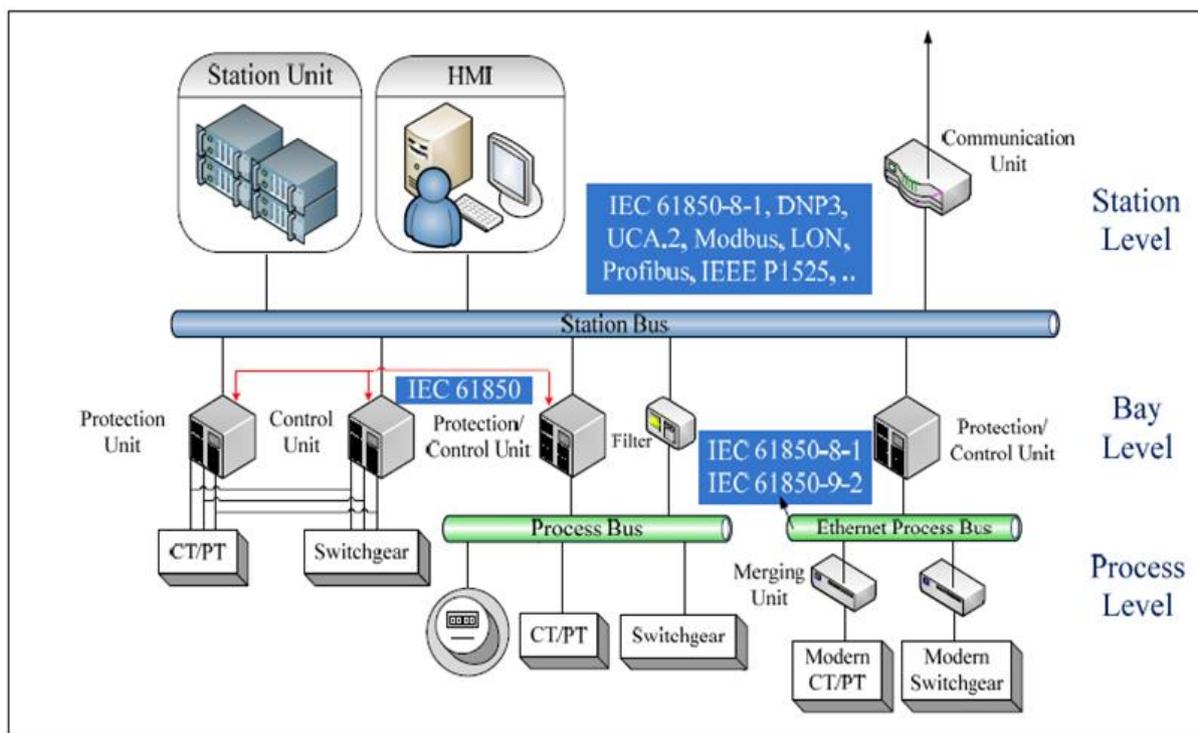


圖 3.1 通訊協定之系統架構圖

傳統的實體通訊線路如圖 3.2 所示，但由於數位電驛、IED 以及更新的通訊技術引進，傳統通訊架構將會被以乙太網路為基礎的數位通訊架構所取代，如圖 3.3 所示。同樣地，此架構概念可利用 IEC 61850 標準來因應新舊設備之間相容性。

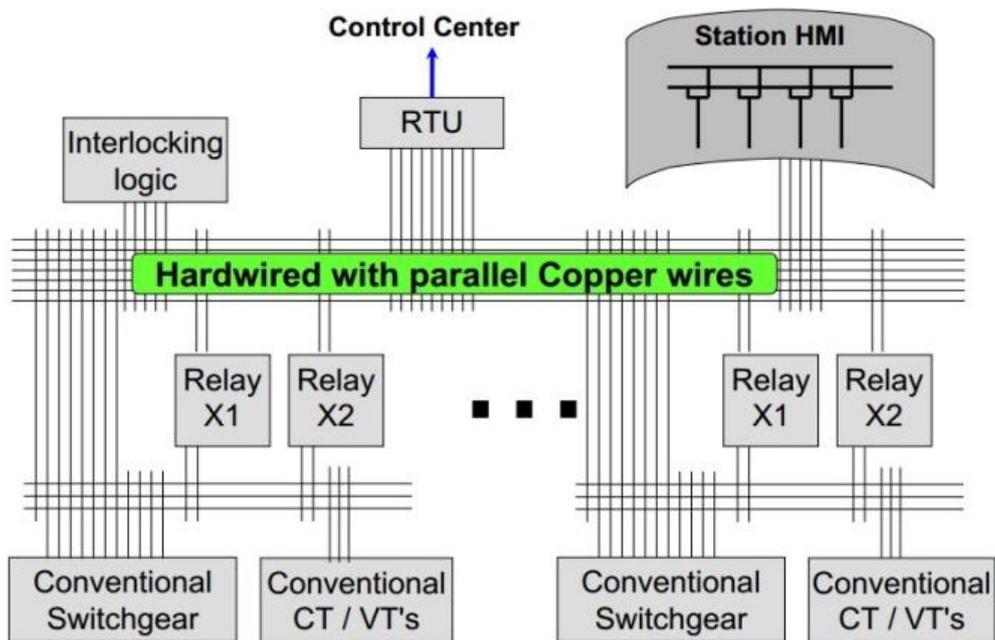


圖 3.2 傳統實體通訊架構示意圖

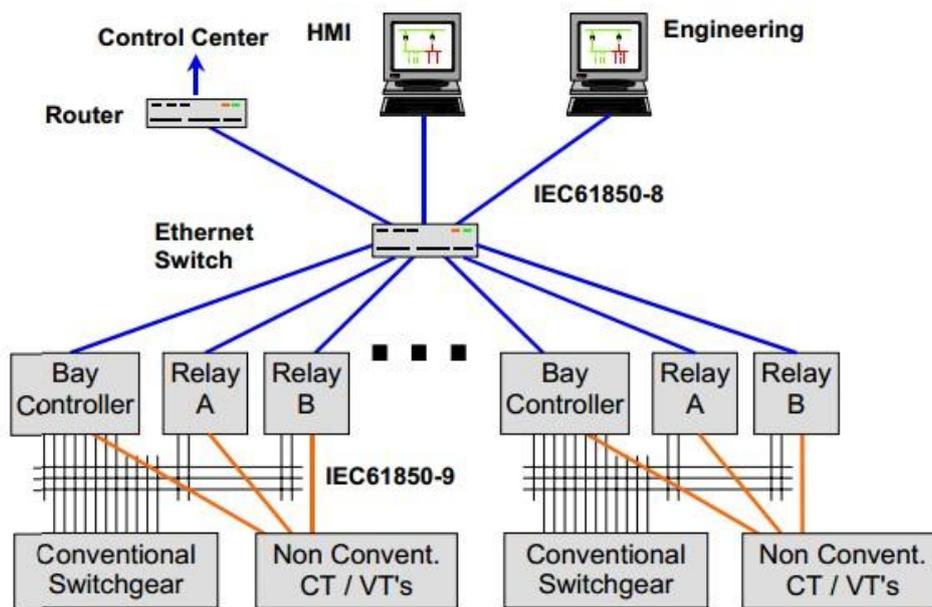


圖 3.3 數位通訊架構示意圖

若變電所中有建置電子式互感器，會以 IEC 61850 為基礎，再經由串列點對點(Serial Peer to Peer)的方式將訊號傳輸給保護電驛，接下來會於開關上建置具有通訊界面的驅動設備，進而減少了間隔層與過程層之間的銅線

電纜，並且簡化了變電所通訊拓撲架構，如圖 3.4 所示。

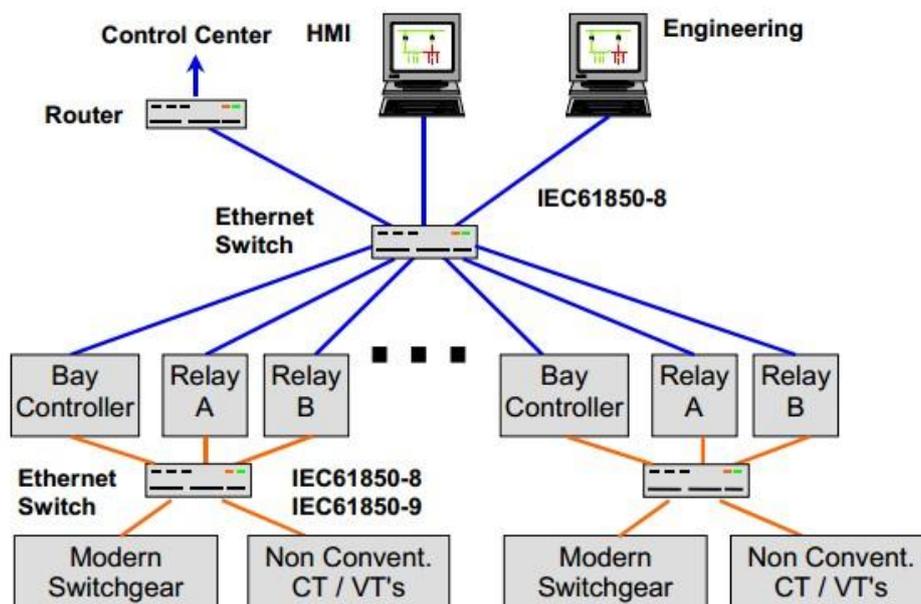


圖 3.4 建置電子式互感器之數位通訊架構示意圖

由於站控層以及過程層是以 IEC 61850 的通訊協定標準，未來變電所站內的資料傳輸將形成以無縫接軌的資料存取模式，如圖 3.5 所示。

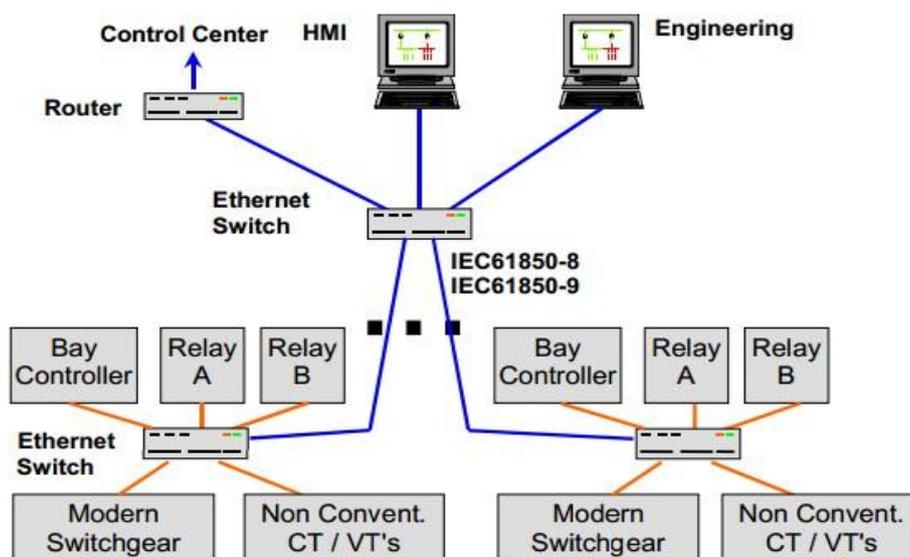


圖 3.5 未來變電所之數位通訊架構示意圖

由圖 3.3 以及圖 3.4 可明顯看出，在變電所自動化推動的過程中，以過程層較為複雜，畢竟各廠家間設備的通訊監控部分需要有十足的相容性，因此合併單元在出場測試驗證時，則必須要有一套嚴謹的試驗標準。

### 3.3 IEC 61850 於變電所自動化之通訊應用

IEC 61850 的通訊系統架構以乙太網路架構為基礎，並具備兩種通訊型態，一為 Client/Server 通訊模式，應用在站控層與間隔層之間的監控資料雙向通訊；而另一種為點對點通訊，主要應用於間隔層中之 IED 使用 GOOSE 傳遞訊息，以及過程層設備的取樣數據資訊交換，其中 GOOSE 以高速點對點資訊交換方式為架構，取代傳統 IED 間硬體線路的通訊模式，且所有邏輯運算皆於 IED 內部進行，故無須透過 SCADA 發送命令來執行其功能，為 IED 間通訊提供高優先權、快速且即時之可靠途徑，可應用於變電所緊急狀態事件通知；而取樣值為 IEC 61850-9-2 中定義 Ethernet Process Bus 資料之通訊對應值。其來源為變電所現場 CT/PT 與開關場 I/O 相關電氣訊號與狀態之類比量，透過合併單元將其數位化後行成之取樣值，並藉此來傳遞各種資料至過程層上游的所有裝置。整體 IEC 61850 於變電所自動化之通訊應用架構圖如圖 3.6 所示。

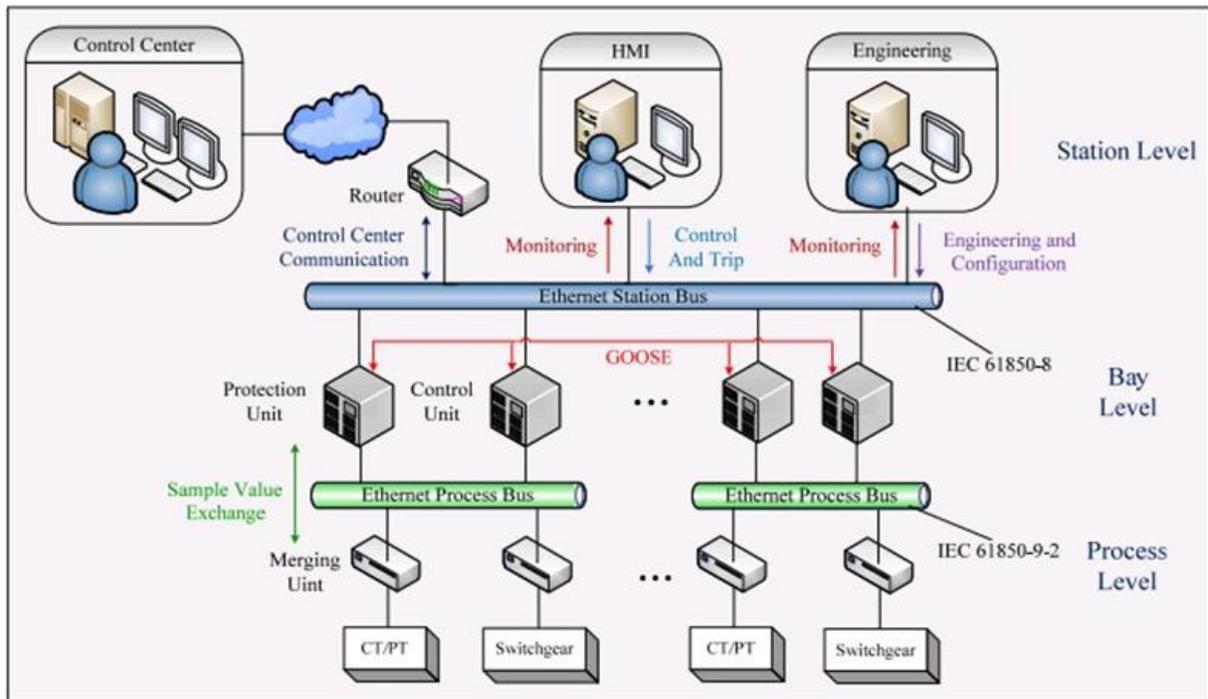


圖 3.6 IEC 61850 於變電所自動化之通訊應用架構圖[19]

### 3.4 IEC 61850 標準資訊模型結構[20]

#### 1. 標準資訊模型結構

創立IEC 61850標準的目的是設計一個通訊系統以提供變電所內執行功能的互通性，以及滿足不同供應商設備之間的相互操作性。其針對變電所內各種設備包含變壓器、開關場、感測器等分別定義，以及依保護、控制、量測等設備功能作劃分，定義共同資料類別（Common Data Class），且為達到此目標，變電所的功能被分為多個子功能，也稱作邏輯節點(Logical Node, LN)，而邏輯節點是數據模型中的核心要素，IEC 61850標準化數據會分配到邏輯節點，而這些資料數據及為變電所自動化中的訊息交換基礎。

每一邏輯節點可根據需求選用不同的資料物件(Data Object)，每個資料

物件可選擇名稱、位置、資料性質與數值等資料 (Data) 與屬性 (Attribute) 之描述，而邏輯節點之集合為邏輯設備 (Logic Device, LD)，可作為邏輯節點功能分類之用，意指一個邏輯設備包含數個邏輯節點，在此標準的最上層資訊模型為邏輯設備的集合，即智慧型電子裝置 (IED)，一台 IED 可以同时包含數個邏輯設備，如圖 3.7 所示，以此階層式物件導向的資料結構，使規劃人員更方便管理與擴充。

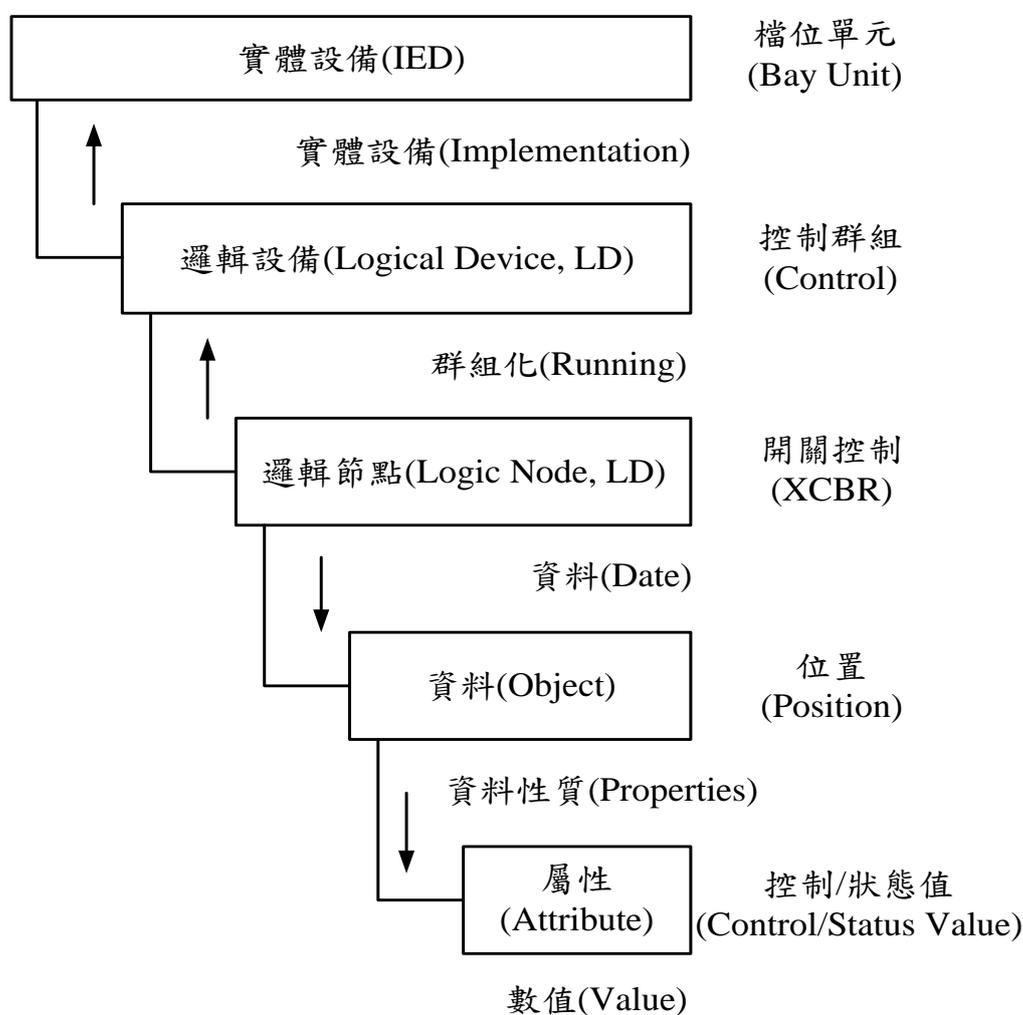


圖 3.7 IEC 61850 標準資訊模型結構圖

## 2. 定義物件之資料與群組

依據階層式之資訊模型概念來定義資料物件之群組名稱，舉例如圖 3.8 所示，前段 Relay1 表示為邏輯設備名稱；而 XCBR1 為邏輯節點群組名稱，可供 IED 廠家自行定義，第一個字母 X 為功能分類群組名稱，代表開關設備群組，CBR 為功能名稱縮寫，範例中即代表斷路器（Circuit Breaker）設備，而 1 為該邏輯節點功能編號；下一段為功能條件（Functional Constraint, FC），範例中 ST 代表開關狀態（Status）；接著為資料物件（Data Object）名稱，Pos 代表位置（Position），最後為屬性（Attribute），stVal 表示為狀態值（Status Value），其可能為 0 或 1。

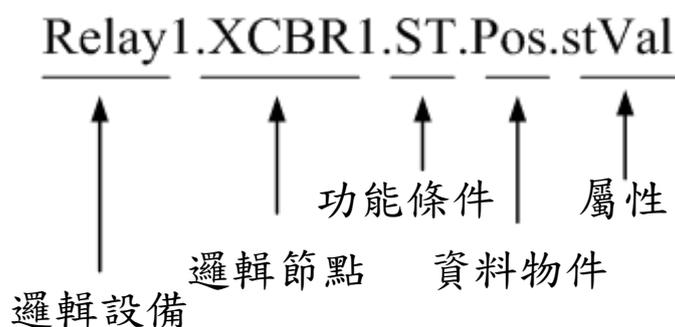


圖 3.8 資料物件之群組範例圖

因為這些數據資料有各自的屬性，針對實際設備與其功能相關資訊對應到虛擬的資料與通訊服務模型，而這些數據的屬性亦代表了系統的訊息，且須經由特定服務介面進行交換的動作，此服務稱為抽象通信服務界面（Abstract Communication Service Interface, ACSI）。

表 3.1 為 IEC 61850 邏輯節點群組名稱之分類，其中系統邏輯節點包含物理設備資訊名稱 (LPHD)、公共邏輯節點 (Common Logical Node) 與邏輯節點零 (Logical Node Zero Name, LLN0)，LPHD 用於實體設備相關資訊之模型化，而 Common Logical Node 包含指定 (Mandatory) 與可自由選擇 (Optional) 之邏輯節點，其中 Mandatory 為系統固有 (Inherit) 之所有資料 (Data)、資料集 (Data Sets)、控制方塊 (Control Blocks) 與服務 (Services)，而 Optional 則有三種選擇分別為非固有、固有指定與固有可自由選擇，另外 LLN0 為系統固有之邏輯節點類別，其用於訪問邏輯設備之公共訊息，而表中還包含其他狀態、控制與量測等分類，此標準中將邏輯節點分為 13 個群組。

### 3. 邏輯節點與邏輯連結

為了滿足變電所內設備與其功能之要求，因而定義邏輯節點來分類其功能，而這些邏輯節點可分佈於一個或多個物理設備中，但有些通訊資料要傳達的並不代表任何一項功能，而是指物理設備本身相關資訊如名牌資訊、設備自我監督 (Self-supervision) 結果等，為此需要另一特殊的邏輯節點 LLN0，如圖 3.9 所示邏輯節點分配功能 (Function, F) 和實體設備 (Physical Devices, PD)，邏輯節點透過邏輯連接 (Logical Connection, LC) 與其他邏輯節點間資料交換，而邏輯連接也可映射到建立在區域網路的實體連結上。實體設備則經由實體連接 (Physical Connection, PC) 來實現資料互連，

而 LN 是 PD 的一部分，LC 則為 PC 的一部分，另外圖 3.9 中 LN0 即代表 LLN0，其包含 IED 的公共資料 (Data) 與控制方塊 (Control Blocks) 服務。

表 3.1 IEC 61850 標準資訊模型結構表[21]

邏輯結點群組名稱	定義
System Logical Nodes, LN	系統邏輯節點
Protection Functions, P	保護功能
Protection Related Functions, R	保護相關功能
Control, C	控制
Generic References, G	通用參考功能
Interfacing and Archiving, I	介面及封存
Automatic Control, A	自動控制
Metering and Measurement, M	表計及量測
Sensors and Monitoring, S	感測器及監測
Switchgear, X	開關設備
Instrument Transformer, T	設備變比器
Power Transformer, Y	電力變壓器
Further Power System Equipment, Z	預留未來電力設備

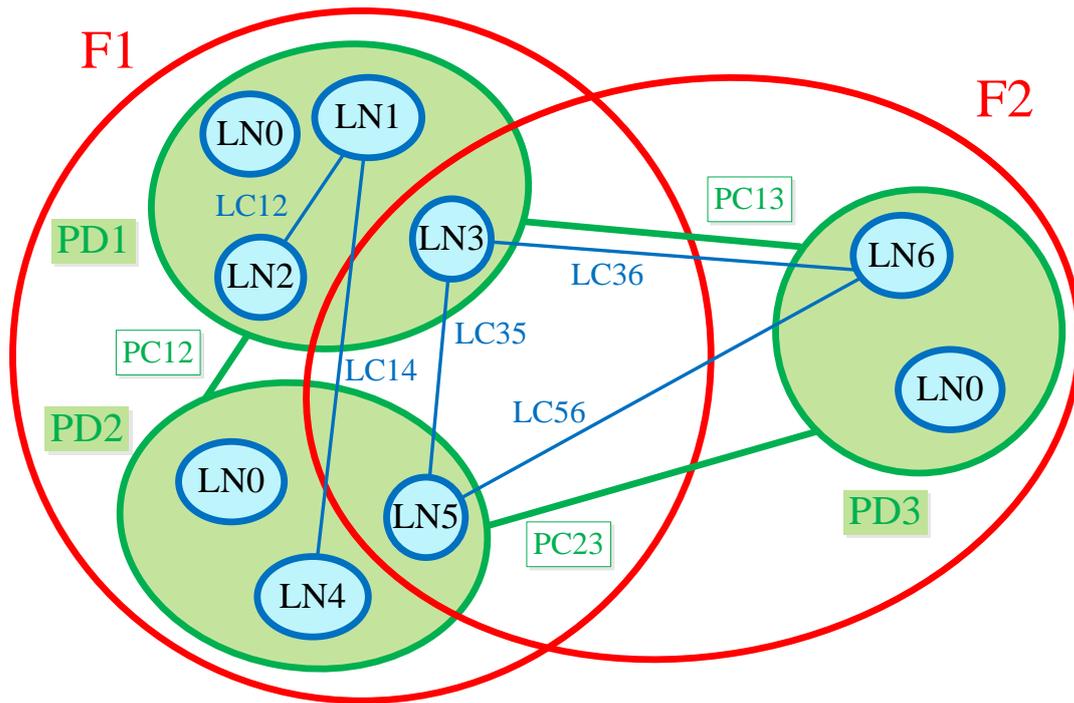


圖 3.9 邏輯節點與邏輯連結圖[21]

雖然目前IEC 61850規範只定義了數百個邏輯節點，但未來只須依IEC 61850中定義邏輯節點語法，即可依不同需求擴充新的邏輯節點和群組，因此各系統及設備廠商若能遵循此通訊協定，則系統規劃工作上即能完成標準化的作業。由此一來，除了系統整合度高之外，使用者對於設備製造廠商選擇性也較多，並提供系統更便利的配置與修改能力，降低系統維護成本，且提升未來系統設備擴充性。

### 3.5 IEC 61850 於合併單元(Merging Unit)之應用

傳統的互感器將二次電壓、電流訊號通過電纜傳送到各個二次設備。隨著光電感測器和智慧化開關設備等相關設備日趨成熟，二次設備也廣泛

應用了使用數位信號進行運算的微處理機設備，電子式互感器和其他智慧電子設備(IED)所具有的數位輸出，為光纖或雙絞線取代傳統金屬電纜提供了契機，主控室主機通過光纖網路可以方便地獲取訊息並對設備進行管理，這一切使得數位化的變電所自動化系統成為可能。

為了有效地利用電子式互感器的優點，需要將各個互感器的數據訊息統一處理，並將各路電流、電壓取樣值同時傳輸到測量和保護裝置，因此對變電所互感器與二次設備而言這樣的一個介面裝置是需要的，合併單元(Merging Unit)即作為一個連接電子式互感器與二次設備的轉換單元，成為數位取樣值通訊中一個重要的節點。在 IEC60044-7/8 中首次提出了合併單元，是針對電子式互感器的數位輸出而定義的，如圖 3.10 所示。合併單元接收 12 路訊息，將這些訊息組合框架編碼，通過通訊網路發送給二次保護控制設備。標準並沒有規定合併單元必須連接 12 路電流、電壓互感器，如果不使用某通道，需要將數據框架的對應狀態標示位置設置為無效。[22]

合併單元採集的是一個斷路器內的有效訊號，它不只是互感器與二次設備的連結介面，同時也作為變電所 Bay Level 和 Process Level 之間的介面智慧設備，它不只能向二次設備發出取樣訊號，還能接受二次設備的配置訊號對數據取樣的屬性進行設置。

在 IEC61850 中定義的合併單元在一定程度上參考了 IEC60044-7/8，與

二次保護、監控設備的介面有兩種標準，分別定義於 IEC61850-9-1 和 IEC61850-9-2。在 IEC61850-9-1 中，合併單元傳輸的數據框架的數據集不只包括 12 路電流、電壓訊息，還包括反映斷路器、隔離開關等開關狀態訊息的兩進位數據，合併單元、二次保護、監控設備的數據傳輸採用串列單向多站點連接方式，IEC61850-9-2 中則採用了基於 Process Bus 的通訊。

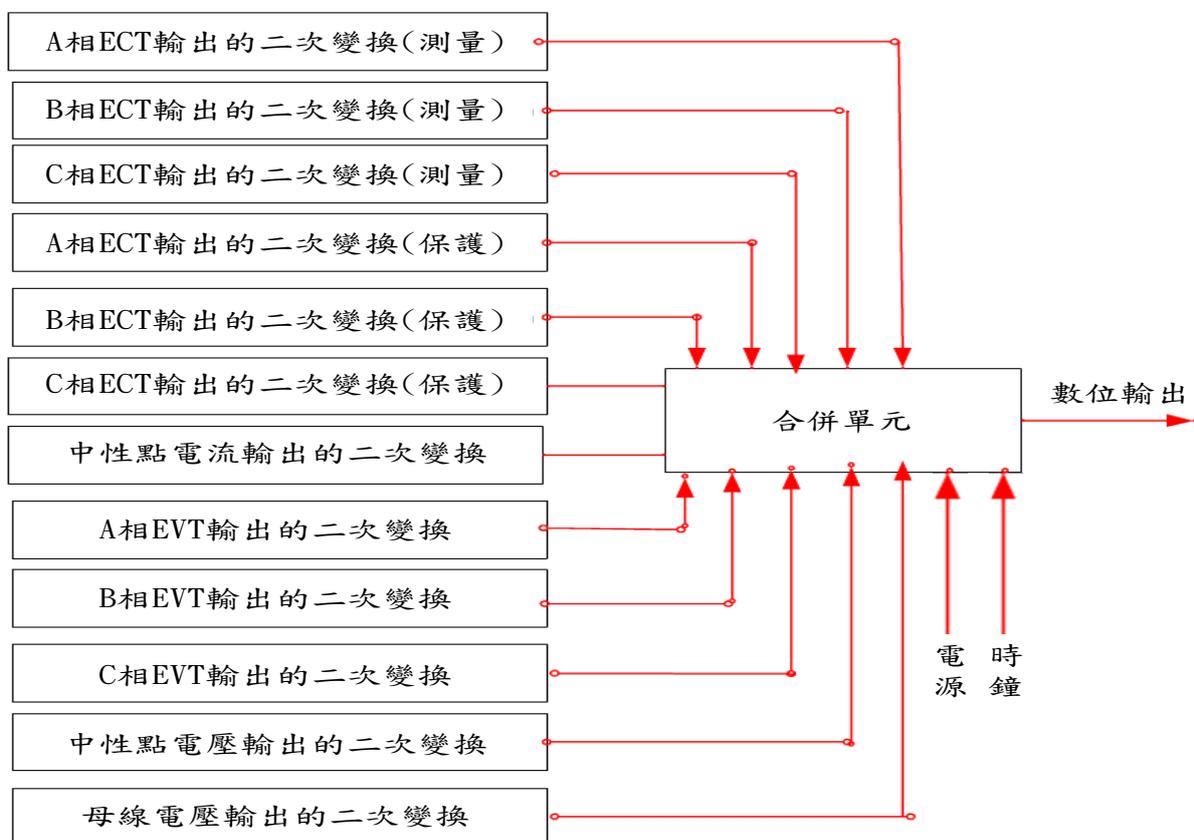


圖 3.10 合併單元的定義圖

合併單元的本質是真實地反映各互感器所感測的類比訊號並將這些數據提供二次保護、監控設備，數據在合併單元停留的時間決定了保護設備動作的快慢，這要求合併單元需具有高即時性和可靠性。[23]

合併單元需要實現的功能一般分為：

(1)數據接收和處理功能模組。此模組同時接收多路 ECT/EVT 輸出的數據。

通過介面傳輸到數據處理 CPU，CPU 根據對數據的處理要求進行訊號處理；

(2)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 A/D 同一時刻取樣電流/電壓量，並同時接收全所統一的秒脈衝基準，用於實現全所的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，其訊號格式及傳輸速率可以自行定義；

(3)乙太網發送模組。此模組將數據接收模組傳送過來的數據按照相應標示

規定的乙太網框架格式，組框架後通過乙太網路發送給二次保護、監控設備。

合併單元由數據介面、CPU、乙太網路控制器組成，原理結構圖如圖 3.11 所示。由於數據介面與處理功能模組已經在二次轉換器中實現，故合併單元主要實現後面的同步和乙太網的發送兩項功能。

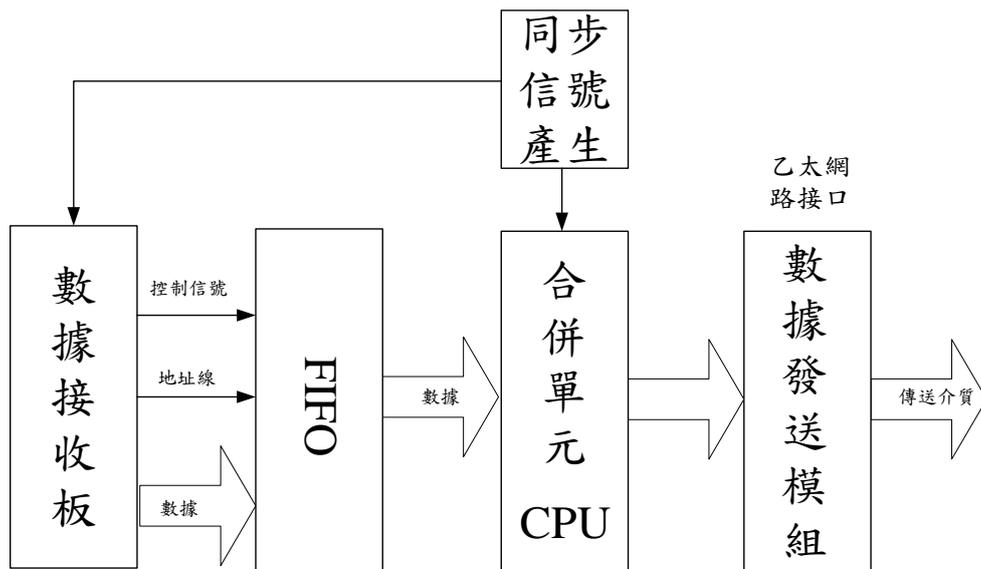


圖 3.11 合併單元整體架構圖

### 3.6 合併單元使用上之相容性以及頻寬問題

雖然現今之電子式互感器至 MU 的資料格式已有 IEC 60044-7/8 來做為規範，但不同廠商之末端設備與 MU 是否存在相容性的問題，也在此做個探討。

依據目前蒐集之資料，得知 Alstom 公司生產之產品互通性高，易於跟不同廠商之設備做互通及整合。ABB 公司則致力於整個系統之研發，故單一設備與其他廠商之設備的互通性著墨較少。

目前如 Alstom、ABB、西門子...等電力設備廠商均致力於符合 IEC 61850 通訊協定的電力產品設計與製造，並且通過 UCA 認可的 IEC 61850 Conformance Testing Lab 測試，但相關測試止於設備符合性測試。至於設備互通性測試，為目前各廠家產品研究設計的重點，另外，德國 TUV SUD 也

將於今年底成立 IEC 61850 設備互通性測試實驗室，為全世界第一間第三方公正單位來測試各廠商間產品互通性能力。相關資訊示意圖如圖 3.12 所示。

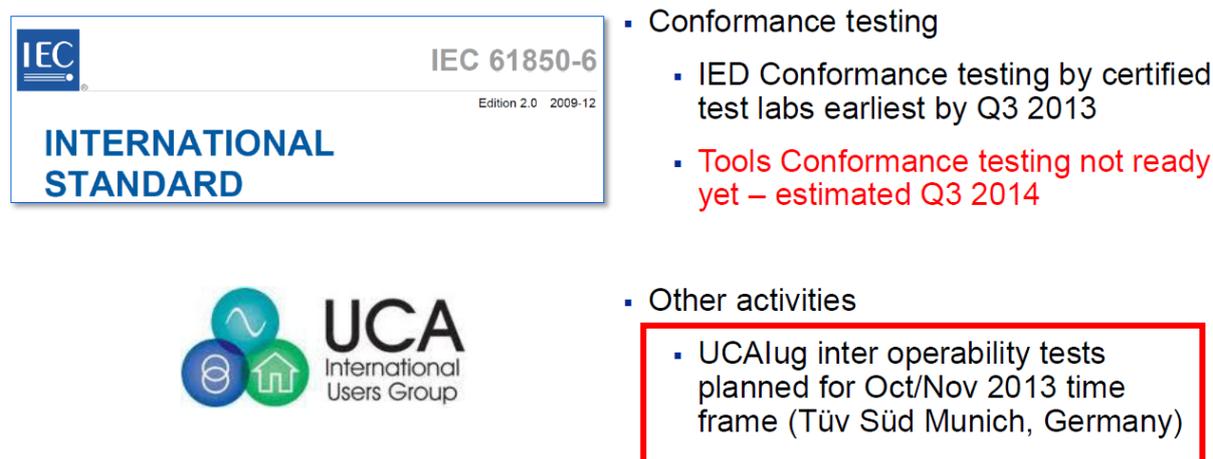


圖 3.12 UCA 預計展開之設備互通性實驗資訊示意圖[24]

Process Bus 網路的設計取決於變電所的布局，同時也要考慮發送出取樣數據的頻寬和性能要求，因此待 MU 等設備與電子式互感器結合後，頻寬上的選擇仍取決於是否符合標準，換句話說，依 IEC 61850 9-2 規範，有關 Sample Values 的聯結傳送須依 ISO/IEC 8802-3 規定設計辦理。例如，現今市面上的非傳統式電子互感器，合併單元、保護和控制的智慧型電子裝置 (IED)採用的取樣率皆為每週期 80 個樣本，但未來將根據 IEC 61869 來採用更多類型的取樣率。

### 3.7 本章小結

為實現變電所自動化及智慧化之目的，除採用第二章所述之電子式互感器外，對於智慧型變電所之資料蒐集、處理及傳輸則必須要有共同的通訊協定及標準。以 IEC 61850 作為變電所自動化的通信系統基礎，能大幅度提升訊息傳遞能力並完善設備數據收集自動化功能，以減少工程作業、現場驗收、運行、監視、診斷和維護等費用，能節省大量時間，並增加自動化系統使用的靈活性，且同時解決變電所自動化系統及產品間的互操作性和協議轉換等問題。

電子式互感器透過 MU 與 IED 連結，其使用之通訊協定標準即為 IEC 61850 協定，因此未來若要務實推動智慧電網及相關自動化，需要更了解變電所自動化通訊架構、電子式互感器之發展趨勢以及相關應用於變電所之情況，以因應目前各電力設備廠家正逐漸朝向 IEC 61850 之標準通訊規範來發展，以達到未來能彼此整合之目的。

## 第四章 電子式互感器之技術規範

### 4.1 前言

電壓與電流互感器為電力監控與保護裝置的感測資訊來源，因此相關標準定義較早，且亦完整。台電針對互感器的採購與使用已制定了相關技術規範，內容包含：設計、製造、性能及試驗，而內容主要參考ANSI C57系列及NEMA。然而針對電子式互感器，台電目前在台電綜合研究所及大潭火力電廠雖有裝設，但只於示範研究，且與傳統互感器共存，因為目前為止尚未有實際商轉使用，因此尚未擬定其相關技術規範。因此本章將先介紹台電之傳統互感器的技術規範，然後分析國際新舊互感器標準的差異，最後針對電子式互感器，擬定一技術規範草案，以供台電未來規劃電子式互感器至變電所時，採購與運轉維護用。

### 4.2 傳統互感器之技術規範 [25]

#### 4.2.1 原理：鐵芯磁耦合

#### 4.2.2 設計規範

- 需顯示 CT 及 PT 精確度及比值容量等。
- 需顯示引接線徑。
- 需標註 PT 繞組的分配。
- 需標註各檔位 CT 組別與引接表計或電驛之編號種類。

- 標示出 NCT 接線即示波器引接原則。

### 4.2.3 安裝規範

- 比流器：

- (1) 各類型比流器安裝前，須經絕緣及電力因數測定合格後，始得進行安裝。
- (2) 比流器二次側原則上使用黑色 PVC 電線配線，須確實做好分接頭編號，以利選擇變流比。
- (3) 二次側端子，須設短路開關，當 CT 不用時，二次側線圈必須予以短路，並予接地。
- (4) 二次側應具有獨立閉合電路，不得與 AC 或 DC 回路混接。

- 比壓器：

- (1) 各類型比壓器安裝前，須經絕緣及電力因數測定試驗合格後，始得安裝。
- (2) 比壓器二次側原則上使用紅色 PVC 電線配線，須確實做好端子編號，以利結線。
- (3) 比壓器二次側線圈，不可短路使用。

### 4.2.4 測試規範

- (1) 型式試驗應測試至少一個斷路器、隔離開關、接地開關、電壓互感器、電流互感器、母線和戶外套管。若為相同的設計、絕緣等

級，也可以提供已被預先製造的設備評估，這些以前生產的設備類型測試將是可以接受的。測試數據必須完整，並應當載明測試的性能數據。

(2) 局部放電試驗：電壓互感器和電流互感器按照 ANSI，IEEE 和 NEMA 標準的各種測試。

(3) 路由測試

#### 4.2.5 維護保養

- 161kV G.I.S.：

(1) 為三繞組 PT，x 繞組 115~66.4V，y 繞組 115~66.4V，z 繞組 66.4V，y 繞組精確度 ANSI 0.3 精度等級，z 及 x 繞組精確度 ANSI 1.2 精度等級。

(2) PT 其他絕緣等級及耐壓和溫升如規範所要求。

(3) CT 依單線圖所示組別每相一個。

(4) 精確度電表用為 ANSI 精度等級 0.3B-0.9，電驛用為 C800。

(5) CT 其他絕緣等級及耐壓和溫升如規範所要求。

- 23kV GIS 用智慧型電子裝置 (IED)：

(1) 具備比流器輸入回路能接於額定輸出電流為 5A 的比流器

(2) 對 CT 電源的每相電力消耗為 1VA(在額定 5A)以下

(3) CT 電流輸入回路耐壓能力：2000Vrms 1min

(4) 23kV 或 11kV 匯流排比壓器採用 Y-Y 接線，二次側相對地/相對相電壓為 115V/199 V

(5) PT 電壓輸入之每相電力消耗： $\leq 1VA$  (在額定相電壓 115V)

(6) PT 電壓輸入回路耐壓能力：2000Vrms 1min

● 主變壓器規範：

(1) 形式為 bushing type current transformers，比值為 4,000/5 amp，精確度為 C800 精度等級。

(2) 中性點 NCT 為 1000-800-400/5A,ANSI C200。

### 4.3 IEC 61869 新互感器標準介紹

IEC 60044 定義了傳統與電子式互感器比流器的範圍、正常及特殊使用時的環境條件、各種額定電流值及溫度限值、設計的要求(絕緣、機械強度及一般結構)、試驗分類(型式試驗、例行試驗及特殊試驗)、標誌、計測用比流器的補充要求、保護用比流器的補充要求及 PR 與 PX 級保護用比流器的補充技術要求。IEC 60044-7/8 也初次定義了電子式互感器的數位訊號窗格式採 IEC 60870-5-1 的 FT3。因此國際電工委員會在初期制定變電所自動化標準 IEC 61850-9-1「特定通訊服務對應之取樣值於串列單向多站點對點連接」時，也是遵照 IEC 60044-7/8 的編碼。隨著 IEC 61850-9-2「特定通訊服務對應之取樣值於乙太網路之通訊對應」的出版，UCA 制定了按照 IEC

61850-9-2 實現的導向則作為電子式互感器與保護的序列通訊，並且 IEC TC57 也隨後廢除 IEC 61850-9-1。因應此數位通訊的變革，IEC TC38 已經計畫以 61869-9 取代 IEC 60044-8 電子式互感器數位介面的相關標準，並且最終以新互感器標準 IEC 61869 全面取代 IEC 60044。新舊標準間相關內容的對應，如表 4.1 所示[26,27]。

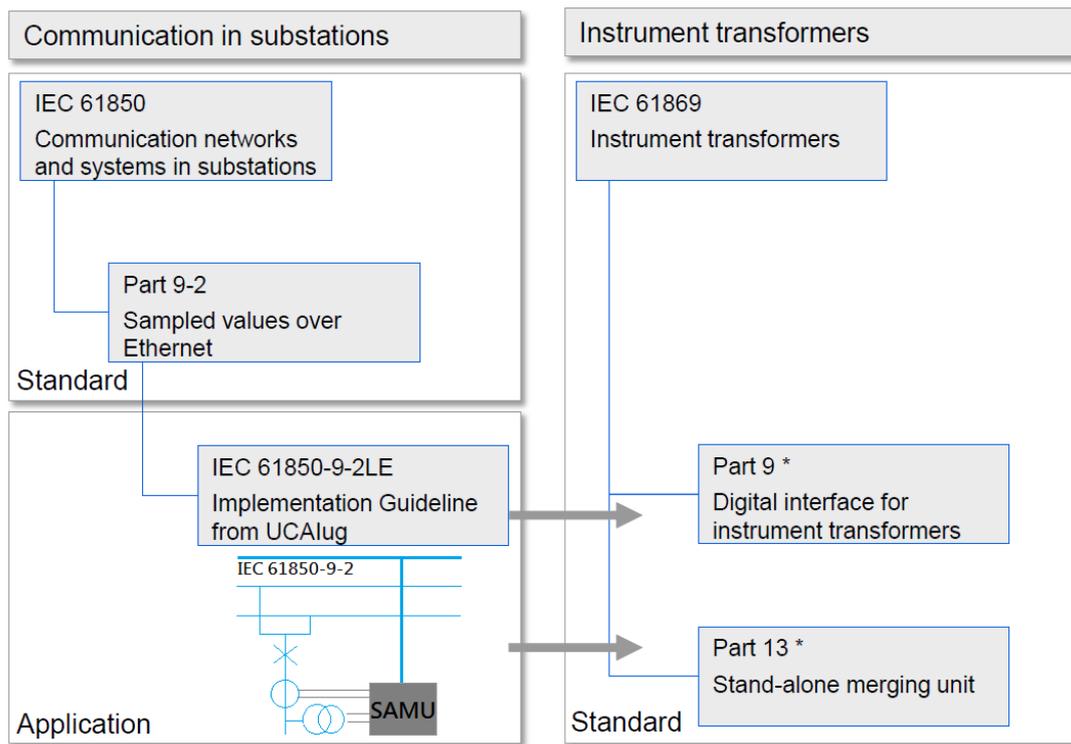
新的標準系列中，電子式電壓及電流互感器將以 IEC 61869-7 及 IEC 61869-8 來取代 IEC 60044-7 及 IEC 60044-8，而電子式互感器最重要的數位介面要求，則獨立介紹於一新標準 IEC 61869-9，其內容主要基於 IEC 61850-9-2 及 UCAIug 出版的 Implementation Guideline，IEC 61850-9-2 LE。此外，考量變電所中眾多傳統互感器，如要全面以電子式互感器取代，成本太過昂貴，因此如何數位整合以實現變電所全面智慧化，一種新型的 Merging Unit，稱 Standalone Merging Unit(SAMU)，被新制定於 IEC 61869-13 中。新互感器標準 IEC 61869 的制定補強了變電所自動化標準 IEC 61850 在通訊介面及整合架構的不足，兩者在通訊及介面硬體的對應於圖 4-1 所示。

#### 4.4 電子式互感器通訊架構發展趨勢

新互感器標準 IEC 61869 加強了互感器的通訊介面及合併單元相關定義，使得 IEC 61850 通訊架構能實際在智慧型變電所實現。

表4.1 IEC新舊互感器標準對應[26,27]

Instrument Transformers	Electronic Instrument Transformers & Low Power Standalone Sensors	New Product Standards	Products	Old Standard
IEC 61869-1 General requirements for instrument transformers.	X	IEC 61869-2	Additional requirements for current transformers	IEC 60044-1 IEC 60044-6
		IEC 61869-3	Additional requirements for inductive voltage transformers	IEC 60044-2
		IEC 61869-4	Additional requirements for combined transformers	IEC 60044-3
		IEC 61869-5	Additional requirements for capacitive voltage transformers	IEC 60044-5
	IEC 61869-6 Additional general requirements for electronic instrument transformers and low power standalone sensors	IEC 61869-7	Additional requirements for electronic voltage transformers	IEC 60044-7
		IEC 61869-8	Additional requirements for electronic current transformers	IEC 60044-8
		IEC 61869-9	Digital interface for instrument transformers	
		IEC 61869-10	Additional requirements for low power and standalone current sensors	
		IEC 61869-11	Additional requirements for low power and standalone voltage sensors	IEC 60044-7
		IEC 61869-12	Additional requirements for combined electronic instrument transformers or combined standalone sensors	
		IEC 61869-13	Standalone merging unit	



\* Under preparation by IEC TC38 WG37

圖 4.1 變電所自動化新舊標準 IEC 61869 對應 IEC 61850[28]

IEC 61850 在智慧型變電所 process bus 的通訊概念，而兩者架構如圖 4-2 所示。

傳統變電所架構中，傳統互感器感測電壓與電流，並經由實際硬線接 IEC 61869 針對傳統的電壓/電流互感器與電子式的電壓/電流互感器，各別明確規範了數位通訊的架構，使能完成至後端的量測系統，然後才經濾波及數位取樣，如圖 4-2 上方架構所示。在 IEC 61869 中，傳統互感器可先把類比感測量值經一 Standalone Merging Unit 完成數位取樣，且數位輸出符合 IEC 61850-9-2，再連接至 Process Bus，如圖 4-2 下方架構所示，此架構可視於傳統互感器應用於電子式互感器的代替方案。另一種架構，則為電子式互感器本身在量測完電壓與電流量值後，電壓與電流數位取樣值再經一

Merging Unit 合併輸出，且符合 IEC 61850-9-2，如圖 4-2 中間架構所示。

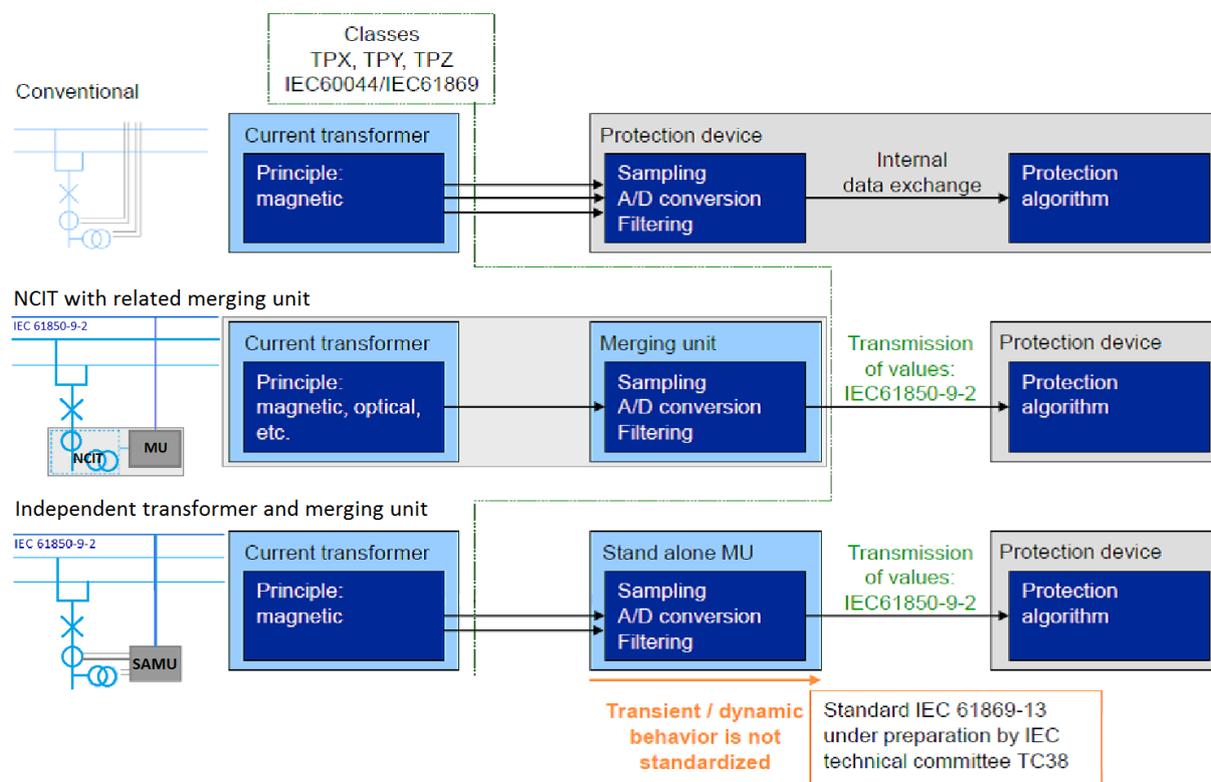


圖 4.2 IEC 61869 標準中兩種合併單元[28]

目前國際主要電力設備大廠，包含 ABB、Alstom、GE、SIEMENS，針對互感器通訊整合於 Process Bus 的產品，可依上述 IEC 61869 標準分類成兩類，如表 4.2 所示，其中新標準定義的 Stand-alone Merge Unit，目前國際大廠相關的產品規格如表 4.3 所示。而單純針對電子式互感器搭配 merging unit 的架構，又可依產品的裝設型式，分成(1)與 GIS 一體化的 GIS 架構；(2)可單獨使用，並可結合於非同廠牌系統的開放式架構，而兩架構相對應的廠牌其相關的產品如表 4.4 分類所示。此外，開放式架構又可分成整合於 disconnecting CB 與單體貫穿/繞線型；其中，繞線型便於攜帶及活線量測，如圖 2.4 所示。

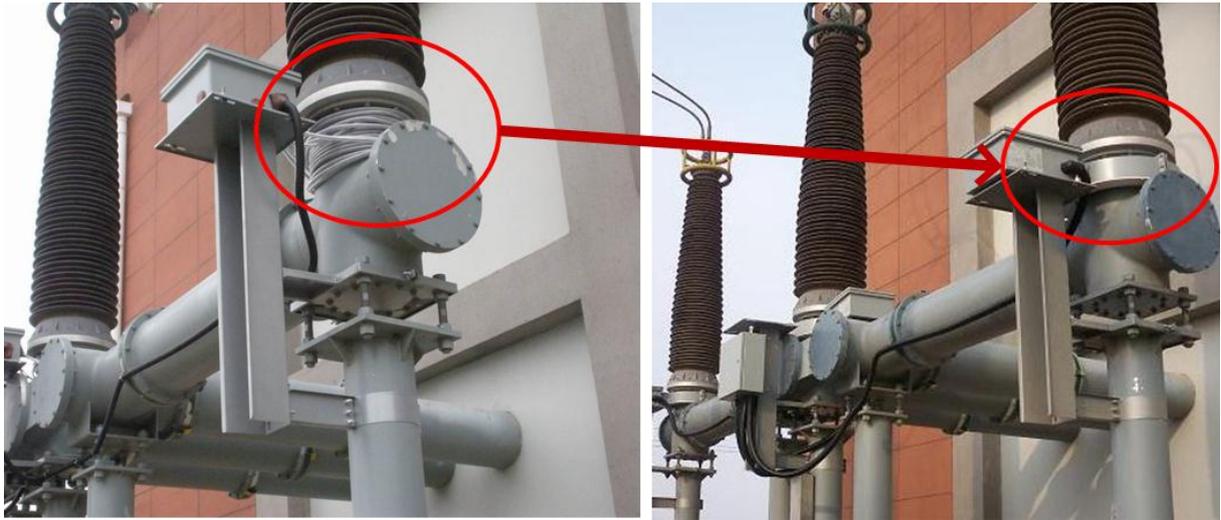


圖 2.4 全光纖型電子式比流器範例圖

## 4.5 電子式互感器通訊技術規範草案

IEC 60044-7：2002(電子式電壓互感器)與 IEC 60044-8：2002(電子式電流互感器)為 IEC 60044 系列中的此兩項規範，適用於新製造的電子式互感器，提供頻率 15~100 Hz 的電器測量儀器和電器保護裝置所使用(光學裝置通常包含電子元件，因此亦適用於此兩項規範)。

## 4.6 本章小結

針對傳統互感器的技術規範已重點式介紹，內容包含設計準則、器材規範、安裝規範及試驗規範。當台電要採購新的互感器時，則需遵照技術規範。如台電將採購傳統互感器內嵌至 GIS 室，將依照台電的技術規範 161kV GIS Gas Insulated Switchgear Equipment，要求 GIS 與內部一體化的 CT/PT 的 type test 必須符合 IEEE/ANSI C37.04。然而面對智慧型變電所的新架構需求，如今新型電力設備需要新的技術規範來遵循。

表 4.2 互感器實現智慧型變電所之 process level 的通訊架構與產品

通訊架構	廠牌	產品型號
<p>傳統互感器搭配 Standalone Merging Unit</p>	<p>ABB</p>	<p>Standalone Merging Unit :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● SAM600-VT : 電壓取樣</li> <li>● SAM600-CT : 電流取樣</li> <li>● SAM600-TS : 同步化電壓與電流取樣</li> </ul>
	<p>GE</p>	<p>Standalone Merging Unit :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Brick : 電壓/電流取樣，且達同步化</li> </ul>
	<p>SIEMENS</p>	<p>Standalone Merging Unit :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 7SC805 : 電壓/電流取樣，且達同步化</li> </ul>
<p>電子式互感器搭配 Merging Unit</p>	<p>Alstom</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● COSI-MU merging unit for COSI-VT (電壓取樣)and COSI-CT(電流取樣) : Compact Optical Sensor Intelligence</li> </ul>
	<p>ABB</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● CP-MU merging unit for ELK-CP14 and ELK-CP3 (包含電壓與電流) : 採 Rogowski coils and capacitive divider</li> <li>● FOCS : Fiber Optic Current Sensor and merging unit</li> </ul>
	<p>SIEMENS</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 7SJ815 merging unit for NCIT(包含電壓與電流) : 採 Rogowski coil and electrical field probe</li> <li>● 7SJ816 merging unit for LOPO VT/CT(包含電壓與電流) : 採低功率電壓與電流互感器</li> </ul>

表 4.3 SAMU(Stand-alone Merge Unit)產品

廠牌	產品型號	規格說明
ABB	SAM600-VT	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 電壓取樣 110V x 3</li> <li>● 1PPS、IEEE1588-2012、PC37.238 (1588 power profile)</li> <li>● IEC61850-9-2LE synchronization with 80 samples/cycle</li> </ul>
	SAM600-CT	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 電流取樣 1A / 5A x 4</li> <li>● 1PPS、IEEE1588-2012、PC37.238 (1588 power profile)</li> <li>● IEC61850-9-2LE synchronization with 80 samples/cycle</li> </ul>
	SAM600-TS	<p>Time synchronization and gateway functionality</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Synchronize IEDs via PPS</li> <li>● Synchronize SAM600 system via IEEE1588</li> <li>● Synchronize SAM600 to GPS (2.1)</li> </ul>
GE	Brick	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 電壓與電流取樣分四種：50 to 240 V x 4 與 1A x 4、50 to 240 V x 4 與 5A x 4、1A x 8、5A x 8</li> <li>● IEC61850-9-2 synchronization</li> </ul>
SIEMENS	7SC805	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 電壓取樣 100V x 4</li> <li>● 電流取樣 1A / 5A x 4</li> <li>● optical PPS、IRIG-B、GPS</li> <li>● IEC61850-9-2LE synchronization with 80 samples/cycle</li> </ul>

表 4.4 電子式互感器實現智慧型變電所之安裝架構分類與產品

安裝型式		廠牌	產品型號
GIS 架構		ABB	● CP-MU merging unit for ELK-CP14 and ELK-CP3
		SIEMENS	● 7SJ815 merging unit for NCIT
開放式架構	整合於 disconnecting CB	ABB	● FOCS：Fiber Optic Current Sensor and merging unit
	單體貫穿/繞線型	Alstom	● COSI-CT：單體貫穿，電流量測 ● COSI-CT F3：繞線型，電流量測

本章介紹新的互感器標準 IEC 61869，其加強了互感器的通訊介面及合併單元相關定義，使得 IEC 61850 通訊架構能實際在智慧型變電所實現，如為傳統互感器，可先把類比感測量值經一 Standalone Merging Unit 完成數位取樣，且數位輸出符合 IEC 61850-9-2，再連接至 Process Bus；如為電子式互感器，本身在量測完電壓與電流量值後，電壓與電流數位取樣值再經一 Merging Unit 合併輸出，且符合 IEC 61850-9-2。而針對以上兩種不同的互感器通訊架構，本研究將目前主要國際電力大廠的互感器分類整理，且也對 ECT/EVT 依智慧型變電所之安裝架構分類，以提供台電未來選購互感器實現智慧型變電所 Process Bus 通訊整合的參考。最後，本章依電子式互感器的標準及通訊架構的分析，完成電子式互感器的技術規範草案。

## 第五章 電子式互感器之實際應用分析

### 5.1 前言

由於目前電子式互感器在全球的實際使用率並不高，僅只中國以及歐洲部分國家有較普遍的研究發展和實際應用案例。而由於計畫中於七月及九月的國外參訪分別目標為：(1)中國的廠家和法國廠商 Alstom 應用於中國地區之變電所及(2)瑞典-瑞士廠商 ABB 應用於瑞士地區之變電所，因此本章專門針對中國國內之廠家，以及外商公司之產品應用於中國地區及歐澳等部分，來對電子式互感器的實際應用做各層面的介紹及分析，以便從中得知在實際的智慧型變電所中使用電子式互感器時，將會發生的問題以及解決之道。

### 5.2 中國地區之智慧電網運行近況[28]

中國國家電網公司提出建設「統一堅強的智能電網」，作為智慧電網的重要組成部分和關鍵節點，智慧變電所的設計和建設應當充分實現資訊化、自動化和互動化的特點和需求。目前智慧型變電所還沒有統一定義，一般認為，智慧型變電所是以數位化變電所為基礎，透過採用先進的感測器、電子、資訊、通信、控制及智慧分析軟體等技術，建立全所所有資訊採集、傳輸、分析、處理的數位化統一應用平台，實現變電所的自動運行控制、設備狀態檢修、運行狀態自我調整、分佈協同控制及智慧分析決策等高級

應用功能，提高管理和運行維護水準。

智慧型變電所有利於資訊統一採集，資料共用，設備線上監測，方便實現高級應用，但目前智慧型變電所的設計和建設還缺乏統一標準。為進一步掌握近年來智慧型變電所關鍵技術和設備工程應用情況，追蹤智慧型變電所最新技術發展動態，為下一步設計建設創造條件，中國國網公司基建部組織了相關單位和專家開展了智慧型變電所設計、技術和工程應用專題研究。同時對華北、天津、江蘇、河南公司，以及國網電科院、許繼、南自、新甯、南瑞航太等科研製造單位進行了實地專題研究。

目前在中國從事無源電子式電流互感器研究，並已有產品問世的廠家有：許繼、AREVA、西安同維、南瑞繼保及中德。目前各廠家產品主要是無源型戶外電流互感器。無源型戶外電壓互感器及 GIS 用無源型電流電壓互感器都在開發中，目前沒有成熟產品問世。

許繼：目前產品為 500 kV 及以下電壓等級的戶外敞開式電流互感器，磁光玻璃型。純光學電流互感器電壓等級為 500 kV 及以下均已獲得電力工業電氣設備品質檢測中心檢測合格報告。110 kV 及以下電壓等級已運行 6 年。

AREVA：目前 OCT、OVT 產品主要面向 500 kV 及以上和直流特高壓等電壓等級，沒有 220 kV 及以下產品。

西安同維：目前可生產 220 kV 及以下電壓等級 OCT，磁光玻璃型。110

kV 電流互感器已穩定運行 8 年，在洛陽江莊變電所等 4 個網站應用；330 kV 電流互感器運行 6 年；220 kV 電流互感器有產品，但未給出應用。

南瑞繼保：無源型光纖式電流互感器於 2008 年下半年通過型式試驗，於 2008 年 12 月在黑龍江佳木斯景山 220 kV 變電所投入運行。

中德：目前 220 kV 及以下電壓等級的無源型光纖式電流互感器正在運行。在上海 220 kV 南匯所數位化試驗斷路器研究試驗專案等 5 個網站中有應用，其中 4 個正在實施中。

據調查，具有最早的無源式互感器工程應用經驗的是現今已與法國 Alstom 公司合併的加拿大 NXT Phase 公司，該公司最早從 2000 年開始進行電流電壓混合型純光互感器的商業應用，大約維持了每年數十套的規模就近銷售，主要使用者是加拿大的一家水力發電公司。出於工程服務難度和技術保密等方面的考慮，該公司嘗試進入中國市場時，其產品價格大約是常規互感器或中國製造之有源式電子互感器的 4 倍。另外，NXT Phase 公司有較成熟的無源電子式電流電壓互感器組合產品，但價格較貴。

### **5.3 電子式互感器於中國地區變電所之實際運行範例[29]**

#### **範例 1. 河南省鄭州之疊彩 110 kV 變電所**

疊彩變電所為 110 kV 戶內 GIS 變電所，全所有主變壓器 2 台，110 kV

線路 2 條內橋接線方式，本期運行主變低壓側為分支接線。110 kV 採用 GIS 組合開關，10 kV 採用高壓開關櫃。

疊彩變電所使用的光電互感器採用的是西安華偉公司的有源式互感器。其他如保護、測控、瓦時表、合併器和智慧單元均採用許繼公司產品，由許繼電氣負責系統集成。

站控層主站與間隔層裝置之間通過 100 M 乙太網採用 IEC61850-8-1 標準協定通訊；過程層 110 kV 配置羅氏線圈電子式互感器，各相互感器輸出數位信號給合併單元( Merging Unit, MU )，通過 MU 轉換成 IEC61850-9-2 網路協定數位量，為保護、測控裝置及瓦時表提供取樣值。開關通過配置智慧介面單元，採用 GOOSE 協定實現數位化。MU 與智慧介面裝置單獨組櫃，下放到 GIS 室開關櫃旁安裝，其中取樣值與 GOOSE(Generic Object Oriented Substation Events)共同組成過程層網路。10 kV 開關櫃採用小信號類比量輸出的電流、電壓一體化電子式互感器，配合小信號類比量輸入的低壓保護測控裝置和瓦時表。



圖 5.1 疊彩 110kV 變電所之合併單元與智慧介面單元圖

實際運行情況：

(1) 變電所於 2008 年 12 月啟動運轉（充電 24 小時）後就停運。因此，對電子式互感器運行過程中的穩定性、精度等性能不好評價。

(2) 運轉後出現過 110 千伏分段開關空載時有較大電流引起保護動作現象，廠家採取了波形過濾等措施，波形過濾的依據未說明。

(3) 電能表計問題，使用許繼生產的數位輸入的瓦時表，目前數位型瓦時表沒有國家規定的認證，不能作為瓦時表使用，這是數位化變電所建設中的共同問題。

(4) 因缺乏相關測試設備和規範，建議互感器的試驗在出廠前直接調校好，現場並未對電子式互感器、合併單元及智慧單元等進行相關的測試實驗。

## 範例 2. 天津市之陳甫 220kV 變電所

陳甫變電所最終規模為：3 個 180 MVA 的主變壓器，220 kV 為雙母線單分段接線，6 回進出線；110 kV 為雙母線單分段接線，12 回出線；35 kV 為兩組單母線分段接線，18 回出線。本期規模為：2 個 180 MVA 主變壓器，220 kV 為雙母線接線，2 回進線；110 kV 為雙母線接線，4 回出線；35 kV 為單母線分段接線，12 回出線。

220 kV、110 kV 及主變電所各斷路器採用智慧控制單元 (ICU) 取代開關的傳統數位值取樣和控制。220 kV、110 kV、主變電所各斷路器電流的

量測使用電子式電流互感器，母線電壓的量測使用電子式電壓互感器，每個互感器配置兩套獨立的感測頭，對應配置兩台合併單元（MU），實現取樣冗餘配置。就地智慧控制單元（ICU）與間隔層測控、保護裝置通信採用雙星型光纖乙太網（GOOSE），電子互感器與合併單元（MU）採用點對點光纖通信方式，站控層與間隔層採用雙星型雙絞線乙太網。



圖 5.2 陳甫 220 kV 變電所之戶外斷路器與智慧控制單元圖

實際運行情況：

（1）光纖尾纜在施工過程中出現破壞性彎折現象，架設前之產品材質檢測需要改進。

（2）電子式互感器的可靠性和穩定性還需要進一步時間考驗，電子式互感器頭部的探測器是其主要故障點。

(3) 中國電力系統部門間對一次二次設備的管理維護職責劃分很明確。電子式互感器的一次探頭部分存在二次設備的特徵，管理維護職責有交叉。

### 範例 3. 河北省唐山之郭家屯 220kV 變電所

郭家屯變電所之 220 kV 電氣主接線為雙母線接線，最終規模為：3 個 180 MVA 主變壓器、220 kV 出線 4 回。本期規模為：2 個 180 MVA 主變壓器、220 kV 線路 2 回。110 kV 主接線為雙母線接線，最終出線 14 回，本期出線 8 回。10 kV 接線第一、二台主變壓器，10 kV 側採用單母線分段接線，第三台主變壓器採用單母線接線。

郭家屯變電所全面採用電子互感器和網路跳脫技術，使用光纖通信全面取代了開關場到保護電驛室以及保護屏之間的電纜硬線連接，使用了數位化瓦時表，對保護測控裝置進行了完善的智慧化處理；另外，在全所的線路、變壓器內之斷路器採用了測保一體化裝置，成為中國第一個在 220 kV 實現測保一體化的變電所；郭家屯工程採用分散錄波方式，由設於量測、保護一體化裝置內的錄波程式將各自的 Single Value (SV) 和 GOOSE 資訊記錄下來，以 Comtrade 格式向外提供，實現全所順控，對開關內部二次回路進行改造。以網路化方式實現變壓器非電量保護；利用 SNMP(Simple Network Management Protocol)技術，即時監控過程層網路的運行狀況。

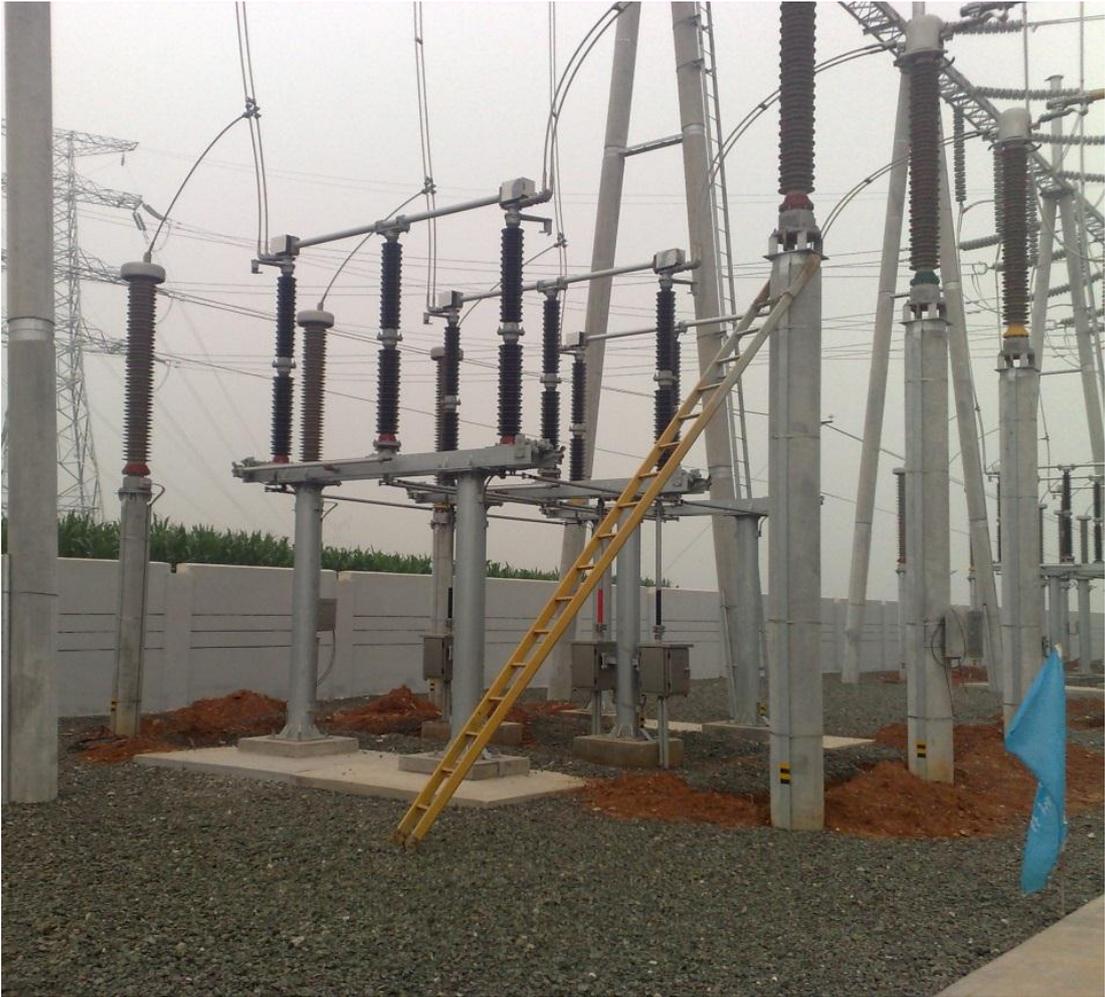


圖 5.3 郭家屯 220 kV 變電所之戶外電子式互感器圖

實際運行情況：

- (1) 控制箱數量過多，可進一步壓縮，如取消電纜溝，改為地上電纜橋箱。
- (2) 光纖類型及介面規範並未統一，對此方面之檢查需要加強。
- (3) 將來可增加一次設備狀態檢測設備，如變壓器線上色譜分析、線上局放檢測、刀閘溫度線上監測、斷路器線上監測等，為一次設備狀態檢修提供資料支援。完善變電所監控系統應用，主要包括：分散式狀態估計、

分散式智慧安全評估、分散式智慧故障診斷和報警，分散式智慧電壓控制，分散式智慧恢復控制，分散式智慧設備的狀態監測等。

(4) 在改造工程中，可以將數位化變電所的主要構成分成三個方面：

1. 基於 IEC 61850 標準的變電所監控系統及間隔層設備，實現不同廠家二次設備能夠交互操作，實現資訊共用的目的。

2. 基於 IEC 61850 標準的電子式互感器及間隔層設備，實現電子式互感器與間隔層設備間通信的數位化和標準化。

3. 智慧化的一次設備或通過配置智慧終端機將其改造為智慧化的一次設備，實現一次設備與間隔層設備間通信的數位化和標準化，從而以光纜替代常規的控制電纜。

以上三個方面在工程上均可單獨實施，特別是第三個方面對傳統變電所的保護電驛改造具有明確的指導意義。

(5) 為了更深入進行一次設備的智慧化改造，可以將智慧操作箱看作是開關的一部分，也就是開關的智慧化部分。可以制定智慧操作箱的安裝標準，將智慧操作箱放進開關匯控櫃內；制定智慧操作箱與開關的介面標準，以航空插頭的形式進行連接。

(6) 無源電子式互感器是基於光效應的互感器，這類互感器直接用光進行資訊變換和傳輸，由於互感器處於高電位的部分不需要電源，所以可以避免鐳射供能帶來的一系列問題。

#### 範例 4. 浙江省之蘭溪 500kV 變電所

蘭溪變電所安裝 4 組 1000 MVA，本期安裝 1 組 1000 MVA 主變壓器，二期安裝 1 組 1000 MVA 主變壓器。500kV 出線 8 回，220 kV 出線 16 回。500 kV 接線本期均採用一個半斷路器接線型式。220 kV 接線採用雙母線雙分段接線。35 kV 採用單母線接線。

500 kV 蘭溪變電所採用常規一次設備和符合 IEC 61850 標準的智慧型二次設備結合的模式；監控、保護命令的輸出、保護動作資訊的交換則由網路完成，通過 GOOSE 實現間隔層之閉鎖和保護功能。

保護電驛裝置按國網公司繼電保護標準化設計規範配置，全所主變壓器、線路、母線、開關保護均採用 GOOSE 方式實現斷路器開關功能。首次在浙江省電網使用了智慧終端機就地佈置方式，在過程層應用了 IEC 61850 標準。



圖 5.4 蘭溪 500 kV 變電所之戶外智慧型終端機圖

35 kV 測控保護一體化裝置採用 IEC 61850 協定與監控系統通訊，保護跳脫按傳統方式。故障錄波器通訊採用 GOOSE 方式。220 kV 線路保護採用三相線路 PT，保護用交流電壓不再需要切換。全站相關之電源開關全遠方遙控，按程式化控制要求設計。

實際運行情況：

(1) 網路結構問題，外國廠家主要推薦光纖環網結構，中國內廠家主要推薦星型網結構。但單星型網結構無冗餘，可靠性差。網路線路斷線或交換機設備故障將造成網路癱瘓。

(2) 在電子式互感器的應用方面，需要關注以下幾個問題：互感器的安裝位置，合併單元的配置方案，各個二次設備如何共用數位訊號，差動保護(變壓器、母線、線路等)採樣資料的同步如何解決。

(3) 對智慧終端機、電子式互感器和合併單元的配置需要進一步統一，對於交換機的技術要求及其網路結構要結合不同電壓等級不同地點變電所的要求展開進一步的論證。

(4) 智慧終端機的應用減少了控制電纜的使用，提高了整個二次系統的抗干擾能力。可適當的減小電纜溝。

(5) 智慧終端機包含保護操作箱及測控的 I/O 功能，使測控僅存交流採集、同步和邏輯閉鎖功能，測控的功能可由智慧終端機實現，使智慧終端機不僅僅是個採集和執行單元，還可以實現邏輯判斷和同步功能。

(6) 減少電纜和 IED 裝置的同時，可以整合 500 kV 變電所的保護電驛室，不需配置 4~5 個電驛室，而僅僅根據實際情況配置 1~2 個電驛室，既節省建築面積，也減少了運行維護的工作量，總體上減少了投資。

## 5.4 ABB 電子式互感器於變電所之實際運行範例

ABB 早於 1992 開始法拉第磁光效應電流互感器的研發，並從 2009 進行實際變電所的 pilot installation，至 2013 年為止已於全球多國完成 NCIT 的安裝，而其中較重要的計畫如圖 5.5 所示。依 ABB 產品在現實環境安裝及運轉的經驗，至今共有 350 個 CP-type NCITs 已被持續使用超過 10 年(使用私有的通訊系統，並安裝於 ABB 測試示範場域及實際變電所)，但沒有任何一個安裝的 primary sensor 故障，並且 ABB 依國際電子產品老化測試標準自行評估二次轉換器之平均故障間隔時間約 300 年。



圖 5.5 ABB 在全球 NICT 重要計畫里程碑

## 範例 1. 瑞士之 Laufenburg 380 kV 變電所

Laufenburg 380 kV 變電所為瑞士境內最大的變電所，並於 2009 年與 ABB 合作進行 NCIT Pilot installation 於 380 kV 饋線上。其 NCIT 為 ELK-CP3 系列，其為兩組具 redundant 的 Rogowski coils 用於量測電流，並採電容式分壓器來量測電壓。後端的二次測轉換器可輸出電與光訊號至 merging unit，且以滿足 IEC 61850-9-2LE 的通訊要求。圖 5.6 為 Laufenburg 變電所之實際一次側設備的照片，除了安裝 ELK-CP3 NCIT 外，亦保留傳統電壓與電流互感器，以進行雙邊資料比對跟試驗，而 Laufenburg 380 kV 變電所之系統圖如圖 5.7 所示。

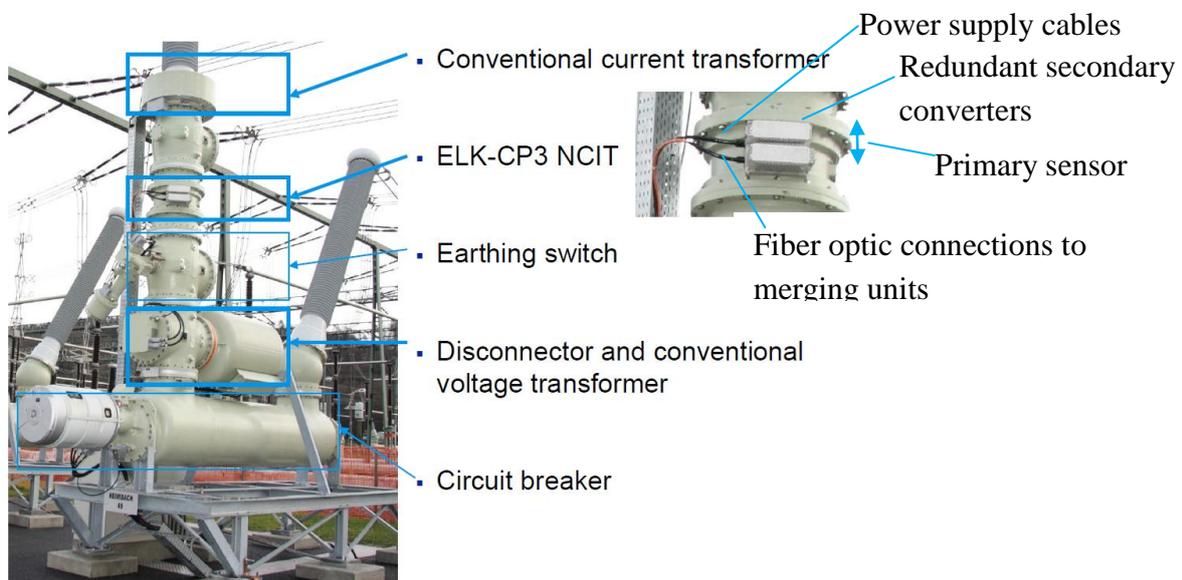


圖 5.6 瑞士之 Laufenburg 380 kV 變電所之一次側設備圖

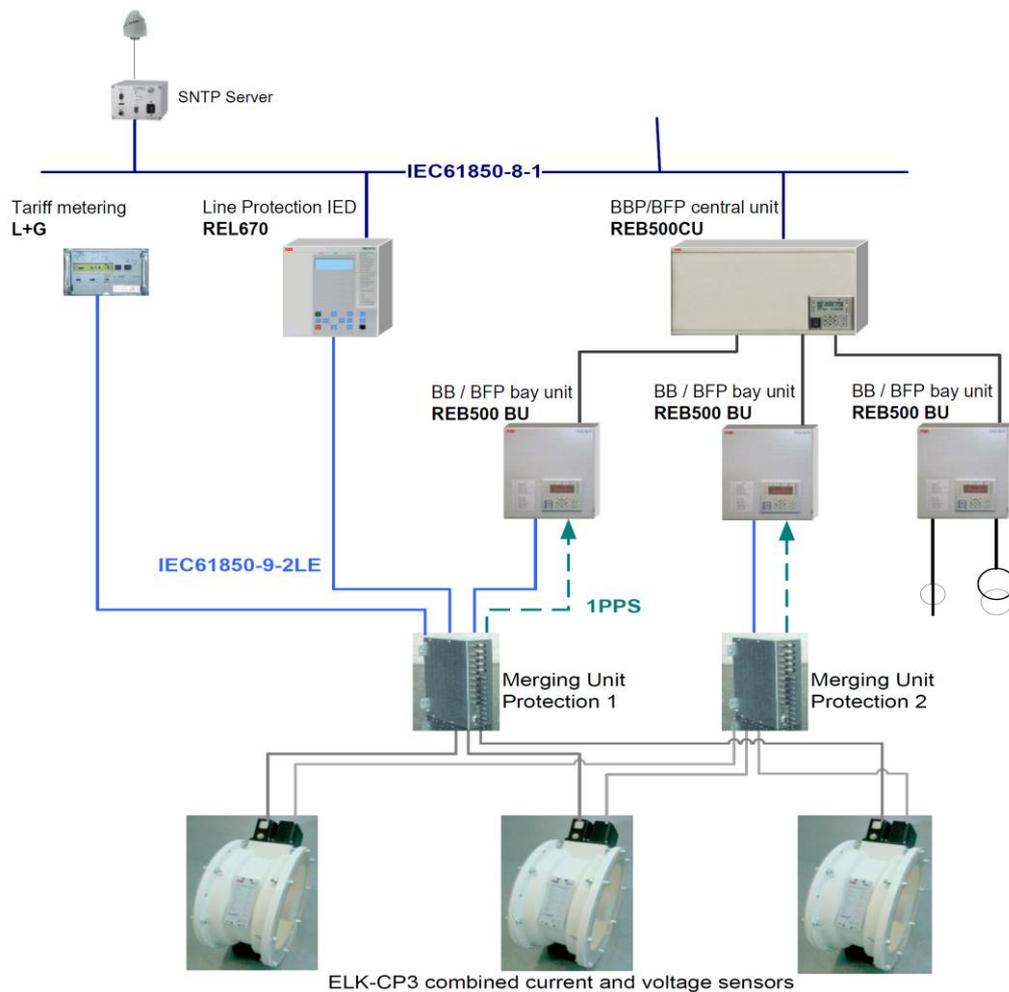


圖 5.7 瑞士之 Laufenburg 380 kV 變電所之系統圖

## 範例 2. 澳洲之 Pilot installation at line reactor bay

計畫始於 2009 年，目前為止已系統運作服務超過三年，採傳統與電子式互感器混合安裝，並且 NCIT 採兩家不同廠牌，但各自搭配自家 merging unit，然後輸出符合 IEC 61850-9-2LE 至 process bus，此計畫之系統與架構圖如下頁圖 5.8 所示。

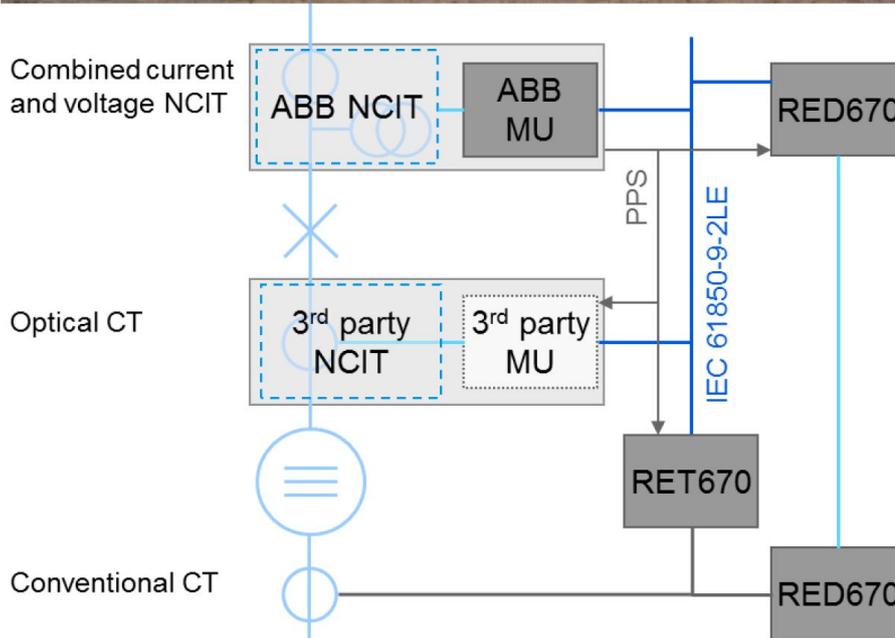


圖 5.8 澳洲之 ABB Pilot installation at line reactor bay 設備圖

### 範例 3. 澳洲之 Loganlea 275 kV 變電所

任務始於 2011，ABB 承接 Powerlink Queensland 電網計畫，興建一智慧型變電所，其為 ABB 第一間商業化 NCIT 且完全符合 IEC 61850-9-2 的變電所，建置地點於澳洲昆士蘭，如圖 5.9。

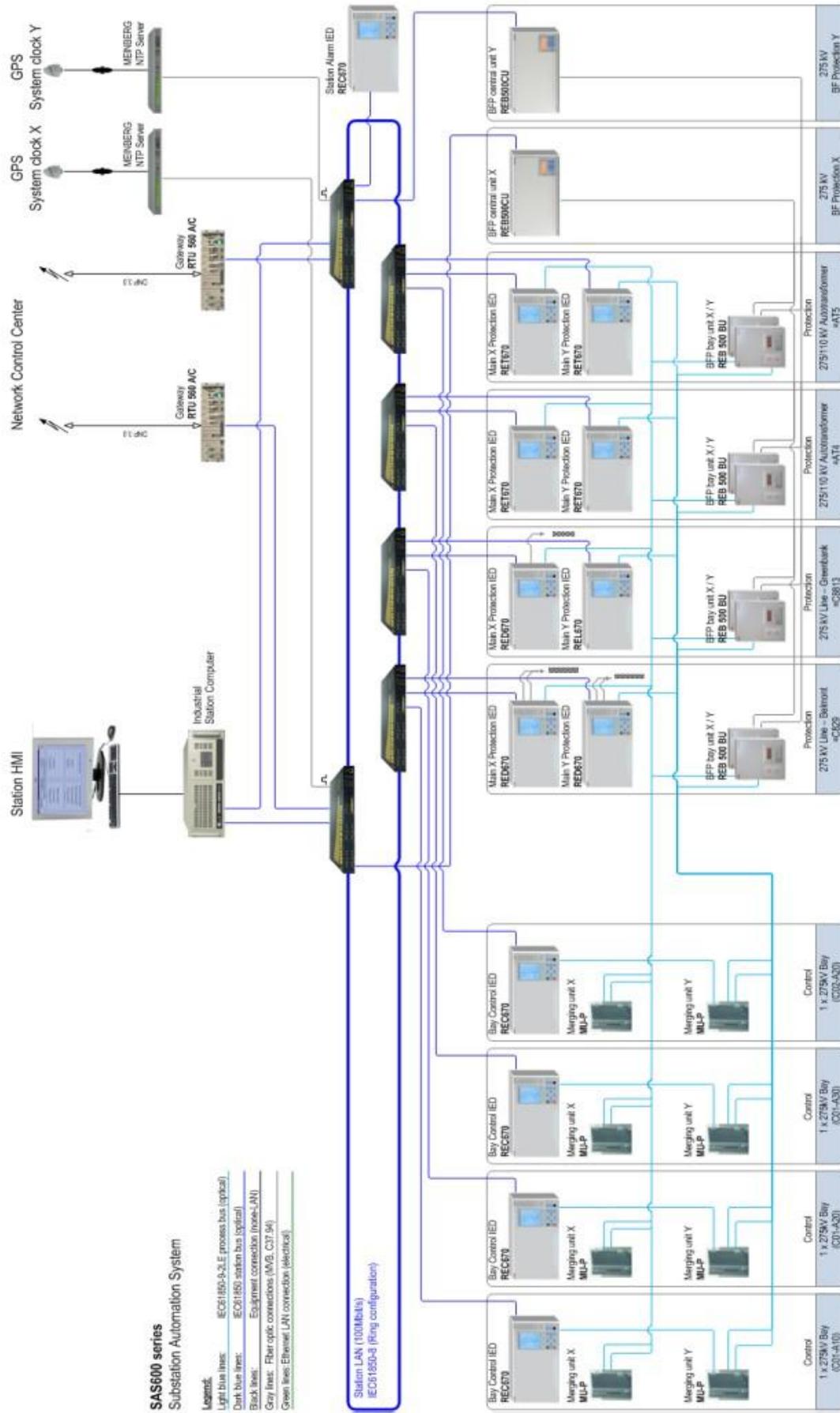


圖 5.9 ABB 第一間 NCIT 商業化變電所—Loganlea 275 kV 變電所

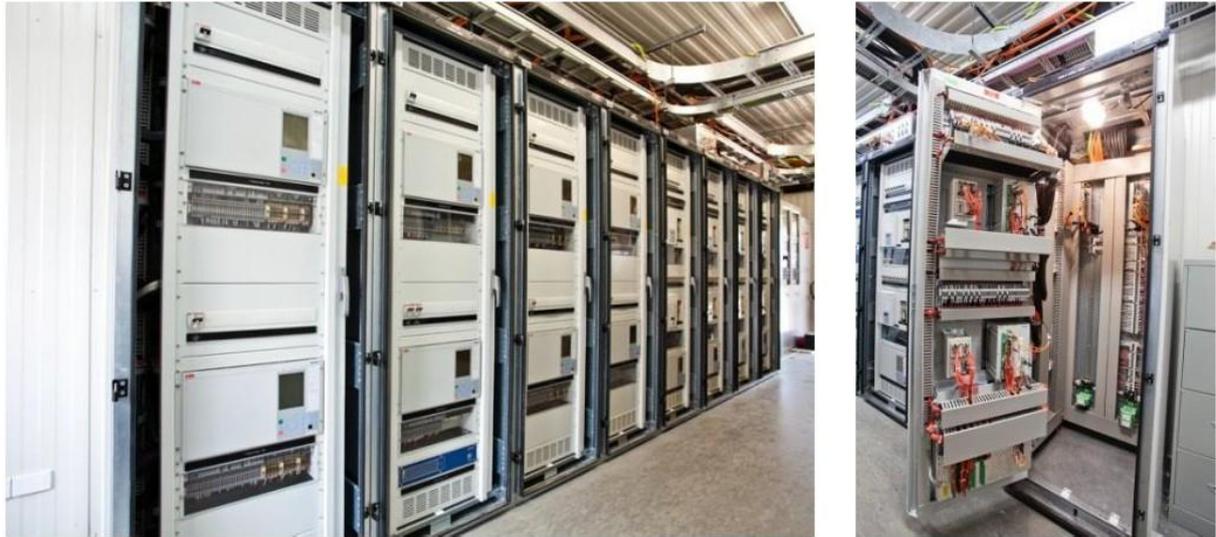


圖 5.9 ABB 第一間 NCIT 商業化變電所–Loganlea 275 kV 變電所(續)

## 5.5 測保一體化之討論

非傳統式電子互感器通常在整體量測範圍內具有良好的線性感測特性，因此可利用其特性設計出計測及保護一體化功能之新型電流互感器，這種非傳統式電子互感器可提供計測用時的準確度，例如：0.2 級或 0.2s 級(0.2 級為在 5%額定電流時的電流誤差不能超過正負 0.75% ； 0.2s 級為在 1%額定電流時的電流誤差不能超過正負 0.75%)。另外，也可提供保護用時的準確度，例如：5TPE 級。實際上，測量和保護是否要結合或分開，大多是考量到技術和經濟等因素，還有客戶的要求。

實際範例部分，ABB 公司目前針對氣體絕緣開關(GIS)，已設計一非傳統式電壓結合電流互感器，並且可達計測與保護準確度等級。另外，目前

ABB 公司有款結合隔離斷路器的保護用光學式電流互感器，預計未來也將完成計測用準確等級。

第二個範例如前一節提到之郭家屯 220kV 變電所，其站控層是一個綜合性的監控及資訊傳輸平臺，包括傳統變電所各自獨立的變電所監控系統、遙控系統、防誤閉鎖系統、保護資訊管理系統、電量監測系統、安防監視系統及火災報警系統等組合，以達到網路共用、資訊共用的目的，各系統均以網路通訊方式接入站控層網路。間隔層包括按斷路器物件配置的測控保護裝置、計量裝置以及與接入其它智慧設備的協定轉換設備。單斷路器設備有線路測控保護裝置、計量裝置，跨斷路器設備包括母線保護、變壓器保護等。

過程層設備主要包括電子式互感器和智慧化開關。採用羅氏線圈 (Rogowski) 和帶鐵心的低功率電流互感器、分壓型的電壓互感器。合併器的採樣同步不依賴於 GPS 對時，由冗餘配置的同步源進行同步。其整體系統網路架構如圖 5.10 所示。

第三個實際範例為中國南瑞繼保公司安裝於大陸安新變電所案例，依 ECT 及 EVT 特性僅需一套，既可滿足 220kV 保護及量測功能需求，但亦可規劃備用 ECT 及 EVT 一套，可大幅減少設備成本及傳送 SV 信號光纖數量。其系統架構單線圖如圖 5.11 所示。

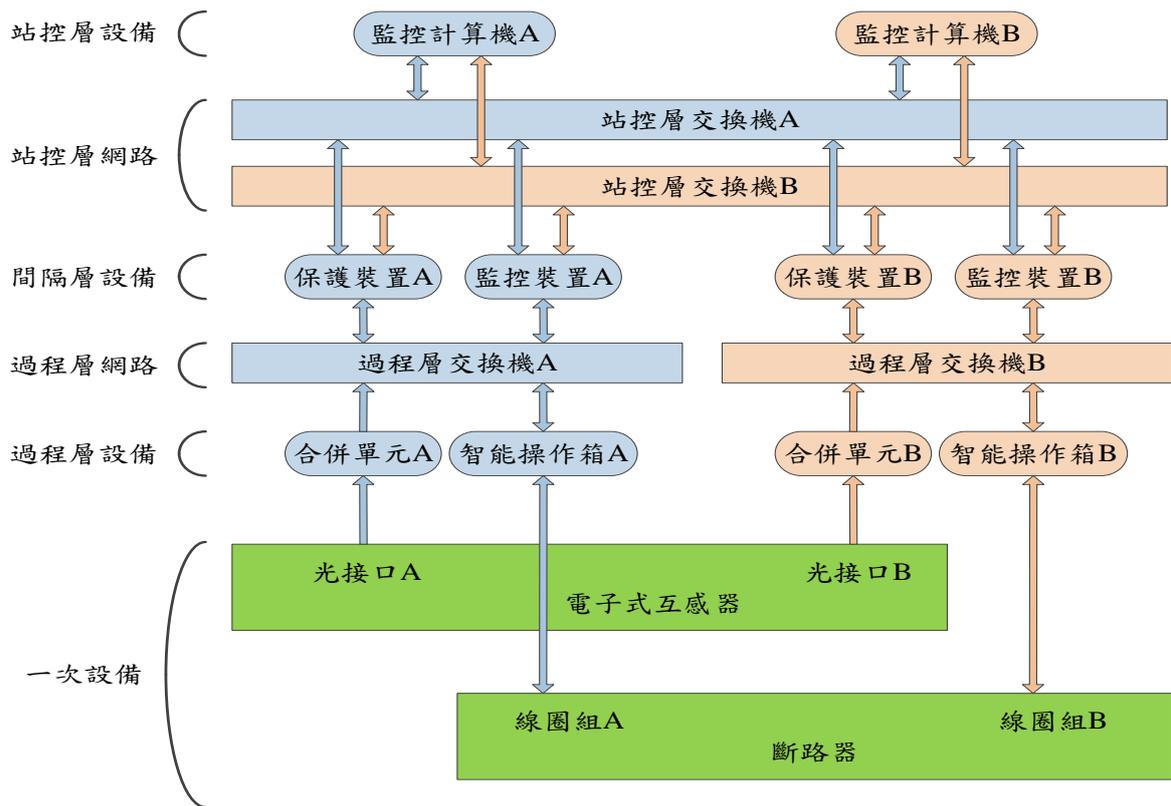


圖 5.10 郭家屯 220 kV 變電所整體系統網路架構圖[29]

## 5.6 本章小結

鑒於目前智慧化技術還處於發展階段，很多理論觀念尚缺乏實際的檢驗，故於現階段而言，制定原則須十分慎重。今後，若要開始實施變電所自動化工程，在設備標書編制階段應先開始著手 IEC 61850 工程模型的統一工作，在技術談判階段與系統集成商做充分溝通，從而制定出符合工程實際需要的 IEC 61850 資訊模型，並作為技術協定附件來要求所有相關廠家統一執行，以達到高效率全面推動自動化之目的。例如：對網路的安全可靠性進一步研究規範，並制訂有關的即時監控的標準及方法；組織電子式互

感器廠家和有關研究單位進行介面標準化工作，以達到介面標準統一；組織系統保護廠家和有關研究單位進行資訊標準化工作，來達到光纖線路差動保護和保護裝置交換資訊之標準化；由相關部門制定符合國家計量要求的相關規定，實現智慧電能計量等。

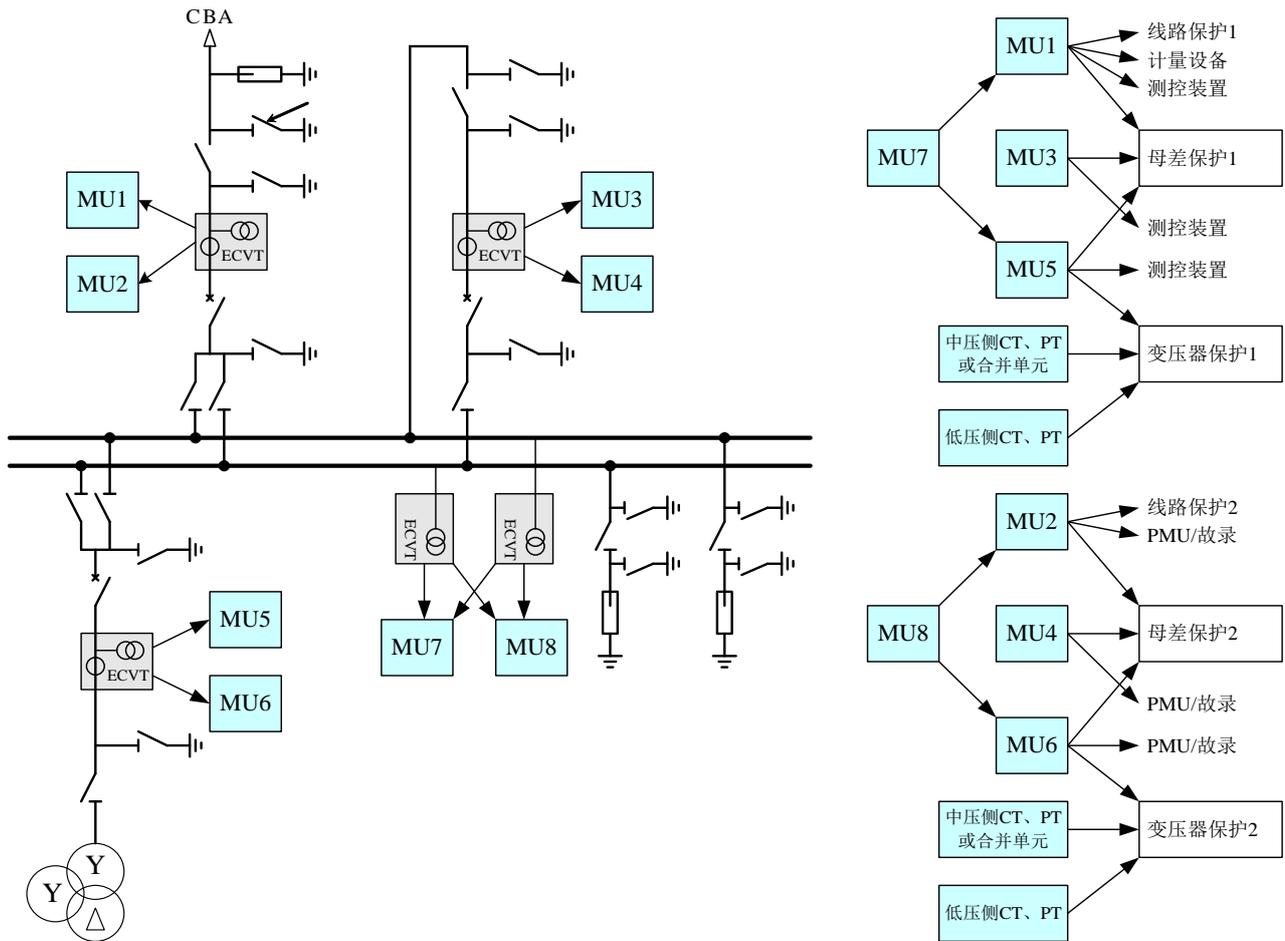


圖 5.11 安新變電所系統架構圖[29]

## 第六章 結論

本計畫旨在探討電子式互感器應用於台電之智慧型變電所之可能性，藉由蒐集各國之相關技術資料進行分析，並同時出國拜訪國外相關設備廠商以了解電子式互感器於全球之使用狀況和最新技術，以及實際參觀國外已使用電子式互感器之變電所來蒐集其應用資料如：安裝問題、測試項目、測試方法、架設位置、運轉維護、維修方式、量測和檢查等實際資料。研究成果蒐集電子式電壓與電流互感相關原理、規格與國際電力設備商相關產品，以建立電子式互感器相關知識，並完成電子式互感器完整技術分類。完成變電所內通訊架構介紹，並探討變電所智慧化於 Process Bus 階段的需求，並以國際大廠設備整合技術及參考新國際互感器標準，提出具體可行之電子式互感器應用於智慧型變電所的架構雛型。另外亦舉辦一場國際性電子式互感器研討會，使全球主要電力大廠之國際級專家進行完整且全面的歸納和討論。

本計畫最終依電子式互感器的性能評估結果、並參考國外的電子式互感器的運行經驗及考量國內未來能源政策 - 智慧電網的推動，在此建議台電應試辦一所智慧型變電所實際安裝電子式互感器，及早累積智慧型變電所的運行經驗。Process Level 可選擇不同廠商及混合(1)電子式互感器搭配 Merging Unit 與(2)傳統互感器搭配 Standalone Merging Unit 兩種，再上連結至 Bay Level 的 IED，以整體實測 IEC 61850 通訊架構下，廠商間資料互通

性及設備互操作性的問題，並且了解傳統互感器於智慧型變電所的通訊整合可行性。各項研究之探討皆已呈現在各章節之中。整體研究總結可綜合歸納如下 5 點：

1. **電子式電流互感器以 Rogowski 式與 Faraday 式為主，電子式電壓互感器則為電容分壓式為主。**依據電子式電壓與電流互感相關技術原理、相關產品與一次側感應部分是否需要提供電源，電子式電流互感器可分類成(1)無源式：Faraday 光學電流互感器，(2)有源式：Rogowski 線圈、低功率比流器、霍爾感測器；電子式電壓互感器亦可分類成(1)無源式：Pockels 效應、逆壓電效應，(2)有源式：分壓式。然而近百年的發展，考量材料穩定性、設備複雜性、一次側電源必須性及最重要的製作成本，最終產品市場趨勢以 Rogowski 與 Faraday 光學為電流感測，而電壓感測則以分壓式為主。Rogowski 與 Faraday 有較好的溫度特性，且一次側感測結構簡單，更可設計成繞線性，增加使用靈活度；而電壓互感器採分壓式有較好的絕緣特性且成本較低。整體選用評估整理如表 6.1 所示。
2. **全智慧化的變電所為智慧電網發展的重要一環。**智慧電網為各國電力發展趨勢，而變電所智慧化為重要一環，其主要目的為實現量測數位化、控制網路化、狀態可視化、功能一體化、訊號互動化。未來變電所自動化系統勢必走向 IEC 61850 協定標準系統，而這些目標的基礎全部基於對電壓電流的精確量測。電子式互感器是實現智慧型變電所運行，訊號

數位化的主要設備之一，儘管推行上仍面臨許多挑戰，但為了邁向國際腳步，必然須採取因應對策，未來結合分散式能源，並建構高互操作性之智慧型電網。

表 6.1 ECT 與 EVT 選用評估

	電源	技術	選用原因
ECT	無源式	Faraday 光學電流互感器	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 較佳之溫度特性(約-40°C ~ 55°C)</li> <li>• 一次側感測結構簡單</li> <li>• 可設計成繞線性，增加靈活度</li> <li>• 可量測直流</li> <li>• 無需一次側電源</li> </ul>
	有源式	Rogowski 線圈	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 一般之溫度特性(約-20°C ~ 70°C)</li> <li>• 一次側感測結構簡單。</li> <li>• 可設計成繞線性，增加靈活度。</li> </ul>
EVT	無源式	Pockels 效應、逆壓電效應	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 無需一次側電源，但成本高且尚無商品化產品</li> </ul>
	有源式	分壓式(電阻、電容、電抗分壓)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 較佳之絕緣特性</li> <li>• 低成本</li> </ul>

3. IEC 61869 新互感器標準，補強了變電所自動化標準 IEC 61850 在通訊介面及整合架構的不足。早期互感器標準 IEC 60044 在感測輸出定義了數位訊號窗格式，採用 IEC 60870-5-1 的 FT3。然而隨著 IEC 61850-9-2

的出版，UCA 制定了按照 IEC 61850-9-2 實現的導則作為電子式互感器與保護的序列通訊，因此 IEC TC38 已經計畫以 61869-9 取代 IEC 60044-8 電子式互感器數位介面的相關標準。IEC 61869 針對傳統的電壓/電流互感器與電子式的電壓/電流互感器，各別明確規範了數位通訊的架構，使能完成 IEC 61850 在智慧型變電所 Process Bus 的通訊概念。如為傳統互感器，可先把類比感測量值經一 Standalone Merging Unit 完成數位取樣，且數位輸出符合 IEC 61850-9-2，再連接至 Process Bus；如為電子式互感器，本身在量測完電壓與電流量值後，電壓與電流數位取樣值再經一 Merging Unit 合併輸出，且符合 IEC 61850-9-2。

4. **電子式互感器技術規範加速 ECT/EVT 於台電變電所智慧化過程。**目前台電既有互感器技術規範為傳統鐵芯磁互感型，內容包含設計、製造、性能及試驗，而內容主要參考 ANSI C57 系列及 NEMA，且相關規範也明定 GIS 與內部一體化的 CT/PT 的 type test 必須符合 IEEE/ANSI C37.04。本計畫分析國際新舊互感器標準的差異，最後針對電子式互感器，主要參考 IEC 60044-7/8，擬定一技術規範草案，以供台電未來規劃電子式互感器至變電所時，採購與運轉維護用。
5. **依新建變電所或既有變電所的情況來實踐全面變電所智慧化的架構。**目前智慧型變電所概念中，以 Process Level 為最具互通性整合的問題。所幸電力設備廠商可依 IEC 61869 互感器標準，實現互感器於智慧型變電

所 Process Level 的通訊架構，如表 4.2 所示。並且更可依安裝架構，挑選適合的電子式互感器產品，如表 4.3 所示。未來台電在建置變電所 Process Level 的通訊架構時，可依新建變電所或既有變電所的環境，然後再依表 4.2 與 4.3 挑選最適合的通訊整合方式。選擇方式舉例如表 6.2 所示。

表 6.2 台電既有變電所與新建變電所採用電子式互感器之整合建議

	可通訊整合方式	安裝型式	廠牌
既有變電所	傳統 CT、VT 搭配 Standalone Merging Unit	X	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ABB</li> <li>● GE</li> <li>● SIEMENS</li> </ul>
	ECT 搭配 Merging Unit	開放式架構-單體貫穿/繞線型 (適用屋外式變電所，且有多餘空間時)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Alstom</li> </ul>
新建變電所	傳統 CT、VT 搭配 Standalone Merging Unit	X	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ABB</li> <li>● GE</li> <li>● SIEMENS</li> </ul>
	ECT、EVT 搭配 Merging Unit	GIS 架構	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ABB</li> <li>● SIEMENS</li> </ul>
	ECT 搭配 Merging Unit	整合於 ACB (空斷開關)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ABB</li> </ul>
		開放式架構-單體貫穿/繞線型	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Alstom</li> </ul>

## 參考文獻

- [1] 行政院，「國家節能減碳總計畫核定本」，民國 99 年 5 月 11 日。
- [2] 經濟部能源局，「智慧電網總體規劃方案核定本」，民國 101 年 9 月 3 日。
- [3] 潘明宏，「電力系統運轉資料倉儲及其應用」，台電出國報告，民國 99 年 2 月 1 日。
- [4] 喬峨，安作平，羅承沐，王廷雲，光電式電流互感器的開發與應用 21 世紀互感器技術展望，中國，西元 2011 年。
- [5] 劉延冰，電子式互感器原理、技術及應用，第 2-1~2-6 頁，北京，科學出版社，民國 98 年。
- [6] Wikipedia：Faraday effect：http：[//en.wikipedia.org/wiki/Faraday\\_effect](http://en.wikipedia.org/wiki/Faraday_effect), 2013.
- [7] 高鵬，馬江泓，楊妮，高紅杰，電子式互感器技術及其發展現況，南方電網技術，第 3 卷，第 3 期，第 39~42 頁，中國，西元 2009 年。
- [8] ABB, "Sensor Technology Applications for Medium Voltage," 2004.
- [9] L. Cristaldi, A. Ferrero, M. Lazzaroni, R. T. Ottoboni, "A Linearization Method for Commercial Hall-effect Current Transducers," IEEE Trans. Instrumentation and Measurement, Vol. 50, No. 5, pp. 1149–1153, Oct. 2011.

- [10] LEM, "Isolated Current and Voltage Transducers Characteristics - Applications – Calculations," 3rd Edition, pp. 9, 2004.
- [11] Wikipedia : Lorentz Force : [http://en.wikipedia.org/wiki/Lorentz\\_Force](http://en.wikipedia.org/wiki/Lorentz_Force), 2013.
- [12] K. L. Chen and N. Chen, "A New Method for Power Current Measurement Using a Coreless Hall Effect Current Transformer," IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 60, No. 1, pp. 158-169, Jan. 2011.
- [13] D. K. Cheng, "Field and Wave Electromagnetics," Canada: Addison-Wesley, 1989.
- [14] J. C. Santos; M. C. Taplamacioglu.; K. Hidaka, "Pockels High-Voltage Measurement System," IEEE Transactions on Power Delivery,, vol.15, no.1, pp.8,13, Jan 2000.
- [15] 劉清瑞，電子式互感器簡介，第 21~23 頁，上海申瑞電力科技股份有限公司，中國，2008-03。
- [16] P. E. Caroline; X. S. Christina; A. P. Kabilan, "Optical Signal Processor for Multibeam Array Antennas using Inverse Piezoelectric Effect," TENCON 2005 2005 IEEE Region 10, Melbourne, Queensland, pp.1,5, 21-24 Nov. 2005.
- [17] 陳彥儒，「具無線傳輸功能之新型電子式比流器設計」，國立台灣科技

大學碩士論文，民國 102 年 6 月 17 日。

- [18] 王永富，「監控自動化與電子互感器於變電所智慧化之應用研習」出國報告，台灣電力公司，民國 102 年 8 月，第 9~12 頁。
- [19] IEC 61850-7-1, Communication Networks and System in Substations Part 7-1 : Basic Communication Structure for Substation and Feeder Equipment Principles and Models.
- [20] 辜志承，廖清榮，楊明達，黃彥霖，林柏君，王政群，「應用 IED 於設備狀態監測及 IEC 61850 通訊協定評估研究」完成報告，台電綜合研究所，民國 99 年 9 月 30 日，第 145~147 頁。
- [21] IEC 61850-5, Communication Networks and Systems in Substations Part 5 : Communication Requirements for Functions and Devices Models.
- [22] H.X. Wang; G.Q. Zhang; Z.Z. Guo; J.Y. Wang; X.G. Cai, "Application of Electronic Transformers in Digital Substation," Power System Technology and IEEE Power India Conference, 2008. POWERCON 2008. Joint International Conference on, New Delhi, India, pp.1,5, 12-15 Oct. 2008.
- [23] W.M. Wang; X.Y. Duan; Y. Luo, "The research and development of an intelligent merging unit based on IEC61850-9-2," International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT), 2011 4th, Weihai, Shandong, pp.1238,1241, 6-9 July 2011.

[24] IEC 61869 replacing IEC 60044，網址：[http :](http://www.itl-uk.com/en/our-blog/2013/april/iec-61869-and-iec-60044)

[//www.itl-uk.com/en/our-blog/2013/april/iec-61869-and-iec-60044](http://www.itl-uk.com/en/our-blog/2013/april/iec-61869-and-iec-60044)

[25] TK-A01 變電所統包設計準則、TK-A02 變電所器材規範、TK-A03 變電所施工規範、TK-A04 變電所試驗規範

[26] IEC 61850 最近進展，網址：<http://www.doc88.com/p-0971661617528.html>

[27] ABB Technical Report, “IEC 61850 process bus,” Sept. 2013.

[28] T. Maeda, “ Latest trends in IEC 61850 & Learn about IEC 61850 Edition 2.0 ”, ABB Substation Automation Products & Systems.

[29] 中國國家電網公司基建部，智慧變電站設計、技術及工程應用專題調研報告，中國，西元 2009 年 8 月。