

出國報告（出國類別：實習）

興達複循環機組保護電驛更新數位化維護 研習

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：陳彥宇 興達電廠-電氣一組 電機維護專員

派赴國家：德國

出國期間：113 年 10 月 20 日至 113 年 11 月 03 日

報告日期：113 年 12 月 05 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：興達複循環機組保護電驛更新數位化維護研習

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/翁玉靜/02-23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

陳彥宇/台灣電力公司/興達發電廠/電氣組電機維護專員/07-6912811#2681

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：113.10.20~113.11.03 出國地區：德國

報告日期：113 年 12 月 05 日

分類號/目：能源/ 國家發展及科技

關鍵詞：Siemens Energy，發電機保護電驛，變壓器保護電驛，SIPROTEC 4，SIPROTEC 5，SIGRA，數位式電驛(Digital Relay)

內容摘要：(二百至三百字)

隨著電力系統的數位化與自動化發展，電力設備的穩定性和安全性愈加依賴先進的保護技術。興達發電廠的複循環機組經過多年運行，面臨著電驛保護設備老化、維護效率低下等問題，迫切需要進行技術升級和更新。

Siemens SIPROTEC 系統作為現代化數位保護技術的代表，具備模組化設計、高靈活性和多功能保護特性，能夠提供即時的故障診斷和數據分析，為電力系統的安全運行提供強有力的技術支持。

本報告彙整了 SIPROTEC 系統的架構、功能介紹、配置，以及數位化維護應用等相關技術內容，並結合保護電驛故障檢測、波形分析類型與數據應用等經驗進行分享。期望此內容能為同仁在機組維護方面提供參考，並對未來電廠設備的數位化升級帶來積極助益。

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

目次

壹、 實習目的	- 4 -
貳、 實習行程	- 4 -
參、 實習內容	- 7 -
一、 數位化保護電驛沿革及架構簡介	- 7 -
(一) 保護電驛沿革	- 7 -
(二) 數位保護電驛的基本架構	- 8 -
二、 SIPROTEC 4 系統	- 16 -
(一) 系統簡介	- 16 -
(二) 設備簡介	- 21 -
(三) 小結	- 24 -
三、 SIPROTEC 5 系統	- 25 -
(一) 系統簡介	- 25 -
(二) 設備簡介	- 27 -
(三) 小結	- 29 -
四、 SIGRA 4	- 30 -
(一) 系統簡介	- 30 -
(二) SIGRA 故障分析流程	- 31 -
(三) 故障定位器的功能描述與工作原理概述	- 33 -
肆、 心得與建議	- 35 -
伍、 參考文獻	- 36 -

壹、實習目的

隨著電力系統數位化發展的快速推進，興達發電廠複循環機組的運行穩定性與安全性，愈加依賴於先進的電驛保護技術，此次研習的核心內容包括如何通過 SIPROTEC 系統整合多種保護功能，以提升電力系統的整體運行效率。

SIPROTEC 能夠於故障時即時捕捉運行數據，包含觸發保護之類型、故障時間點、持續時間及電壓、電流波形，並生成詳細報告，協助維護人員進行故障原因診斷，加速故障排除。

希望通過這次技術研習，將 SIPROTEC 系統的技術知識與經驗分享給維護同仁，期能在電驛維護及故障分析上帶來幫助，減少查修時間以及增加機組運轉安全。

貳、實習行程

一、實習行程

起 始 日	迄 止 日	地 點	工 作 內 容
113/10/20	113/10/21		往程（台北桃園機場－德國法蘭克福機場－慕尼黑）
113/10/22	113/11/01	Siemens Energy Munich Headquarter	研習保護電驛更新數位化維護課程
113/11/02	113/11/03		返程（慕尼黑－德國法蘭克福機場－台北桃園機場）

表2.1實習行程表

二、實習地點

本次實習地點位於德國慕尼黑市之總部(Corporate Headquarters)，並配合課程場地需要，往返 Erlangen(DIGSI軟體研發部門)及Karlsruhe(生產工廠)。



圖2.1 慕尼黑總部外觀



圖2.2 Erlangen訓練中心大廳

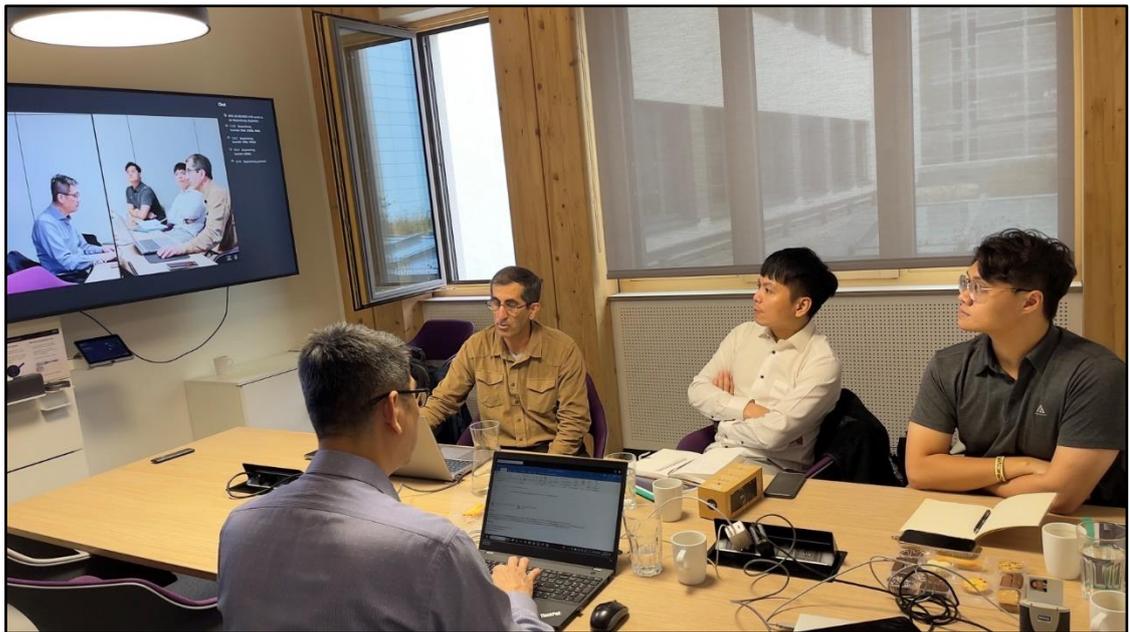


圖2.3 Erlangen上課教室



圖2.4 Karlsruhe生產園區大門



圖2.5 製造產線工廠參觀

三、實習講師

課程	期間	講師
SIPROTEC System Introduce	10/21~10/24	Mehdi Salimi Khaligh
SIPROTEC Maintenance	10/25~10/28	Mehdi Salimi Khaligh
SIGRA 4 System Introduce	10/29~11/02	Mehdi Salimi Khaligh

表2.2 實習課程講師名單

參、實習內容

一、數位化保護電驛沿革及架構簡介

(一) 保護電驛沿革：

Siemens 自20世紀初推出第一代電磁式保護電驛以來，隨著科技進步逐步發展出多代保護電驛產品，實現了從機械式到數位化的重大技術突破。

電磁式保護電驛是 Siemens 在20世紀初發展的基礎保護設備，利用電磁元件檢測電力系統中的電流或電壓變化，提供基本的過電流與短路保護功能。此類型電驛因設計簡單、可靠性高，在當時廣泛應用。然而，隨著電力系統的複雜化，其準確性和靈活性逐漸無法滿足需求。

1970年代，Siemens 推出了靜態保護電驛，利用電子元件取代機械式部件，顯著提高了測量準確性與設備壽命。此階段的電驛實現了多功能保護，但缺乏數據數位化處理能力。

1980年代起，Siemens 開始推出數位保護電驛，其中 SIPROTEC 系列作為數位保護技術的代表。1994年推出的 SIPROTEC 4 系列是 Siemens 首款模組化的數位保護電驛，實現多功能整合、即時數據處理與通信功能。此系列產品迅速成為市場主流，應用於全球電力系統。



圖3.1.1.1 SE SIPROTEC 4保護電驛圖

2013年，Siemens 發布了 SIPROTEC 5 系列，此系列保護電驛採用模組化設計並支援 IEC 61850 通信協議，具備更強大的數位化功能與靈活性。SIPROTEC 5 配備 DIGSI 5 軟體，簡化了設定與診斷流程，並引入 DigitalTwin 技術，模擬實際運行環境以提升培訓和測試效率。



圖3.1.1.2 SE SIPROTEC 5保護電驛圖

目前，SIPROTEC 5 系列仍在不斷升級，整體設計架構已實現高度智能化。未來 Siemens 計畫將人工智慧（AI）技術引入保護電驛，實現故障預測與主動維護，進一步提升電力系統的可靠性與效率。

(二) 數位保護電驛的基本架構：

1. 感測與輸入模組 (Sensing and Input Module)

功能：

- 接收從電流互感器（CT）和電壓互感器（VT）傳來的原始模擬信號（如電流、電壓）。
- 進行信號過濾、調理，並將模擬信號轉換為數位信號（通過 A/D 轉換器）。

關鍵部件：

- 電壓和電流感測元件。
- 高精度的 A/D轉換器。

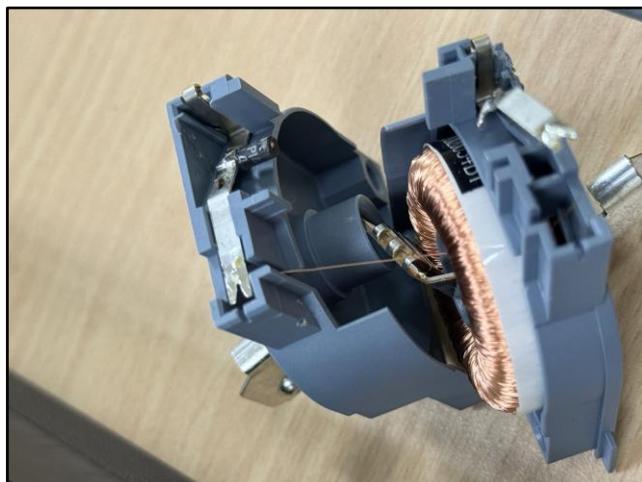


圖3.1.2.1 SIPROTEC 5 內部 CT構造圖

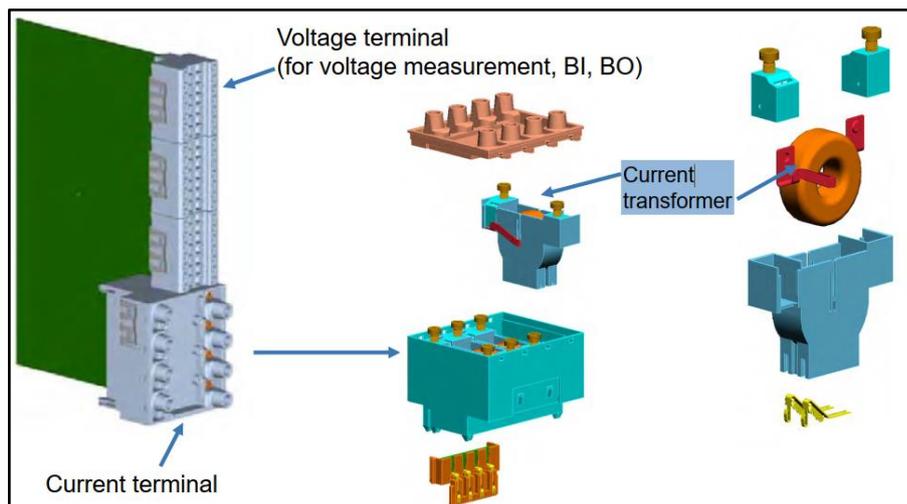


圖3.1.2.2 CT、PT接點示意圖

2. 信號處理與測量模組 (Signal Processing and Measurement Module)

功能：

- 進一步處理經 A/D 轉換的數位信號（如濾波和放大）。
- 提取保護所需的關鍵電氣參數（如相位、頻率、有效值）。
- 利用 Resampling Realization，將高頻採樣數據調整為滿足保護功能和測量值計算需求的特定要求。

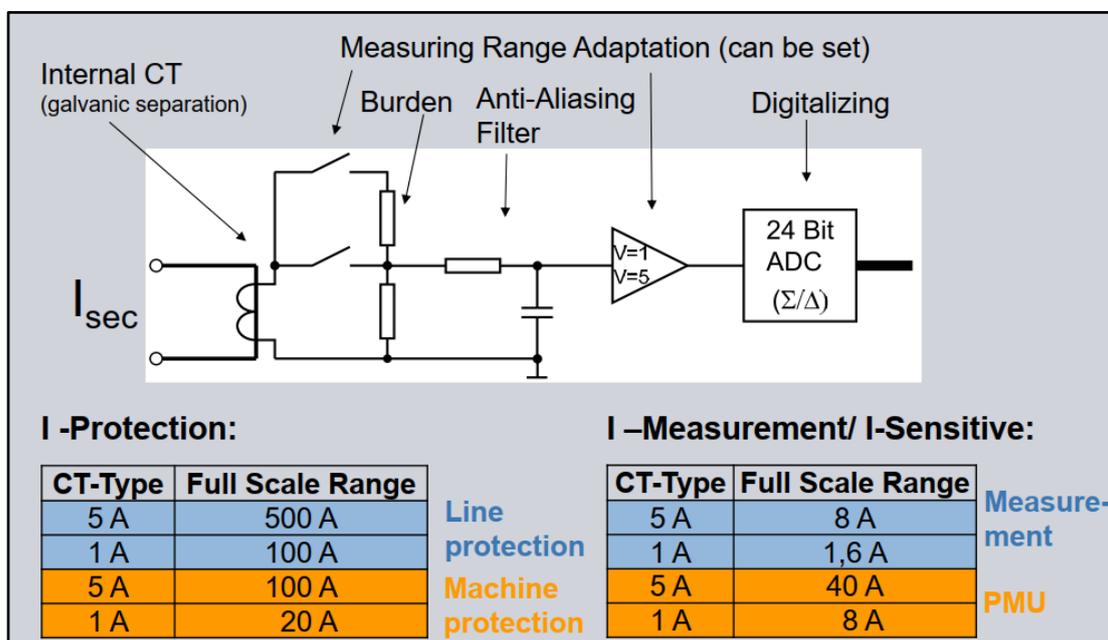


圖 3.1.2.3 電流 A/D 轉換圖

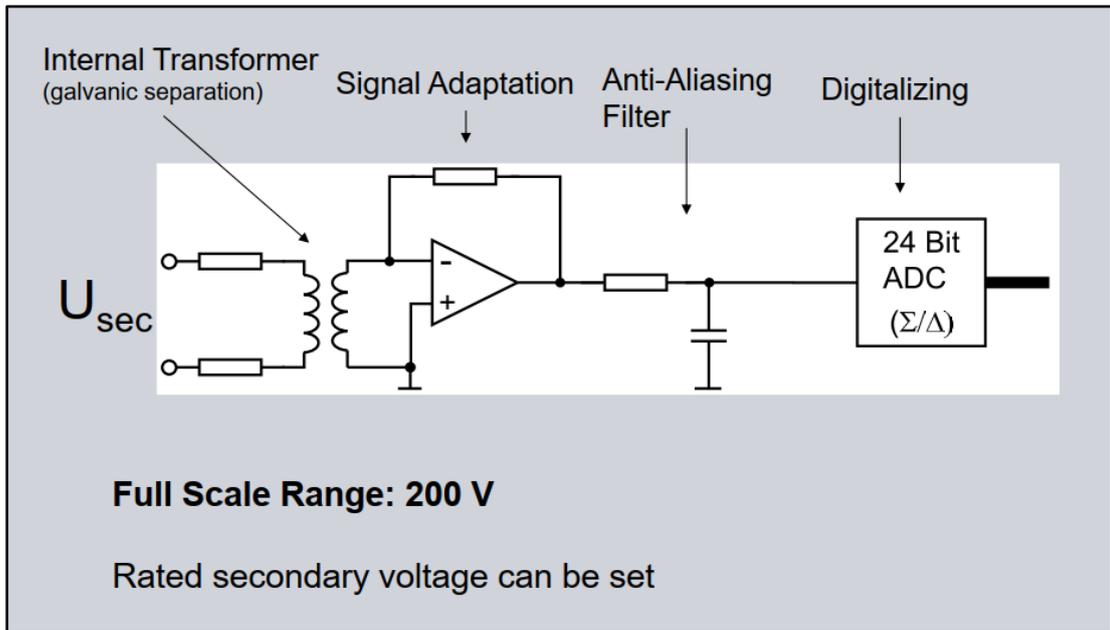


圖 3.1.2.4 電壓 A/D 轉換圖

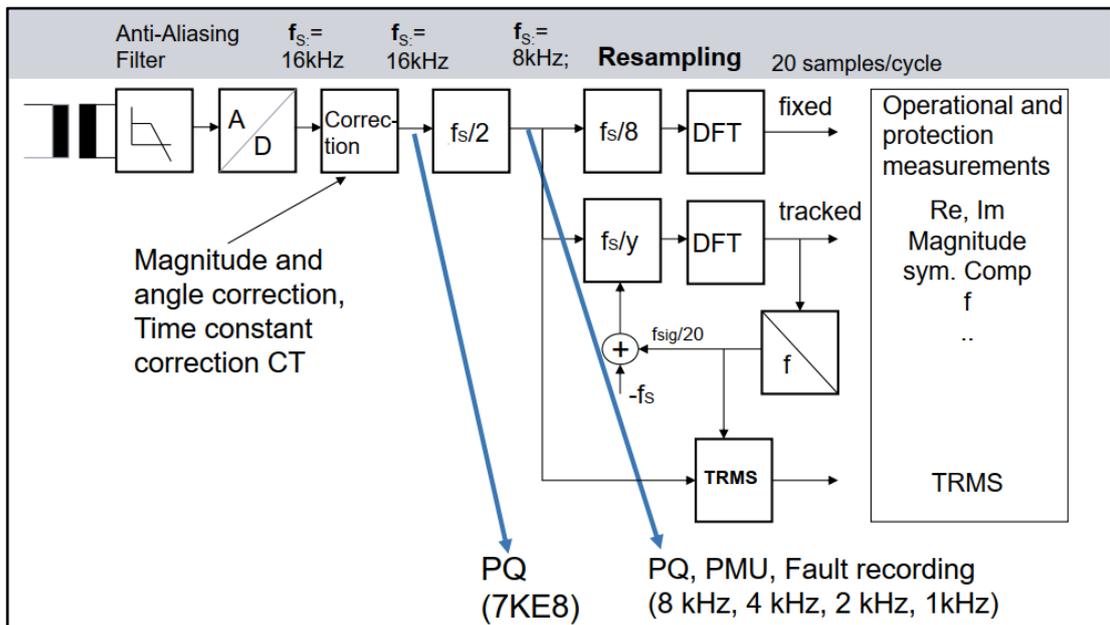


圖 3.1.2.5 訊號處理框架圖

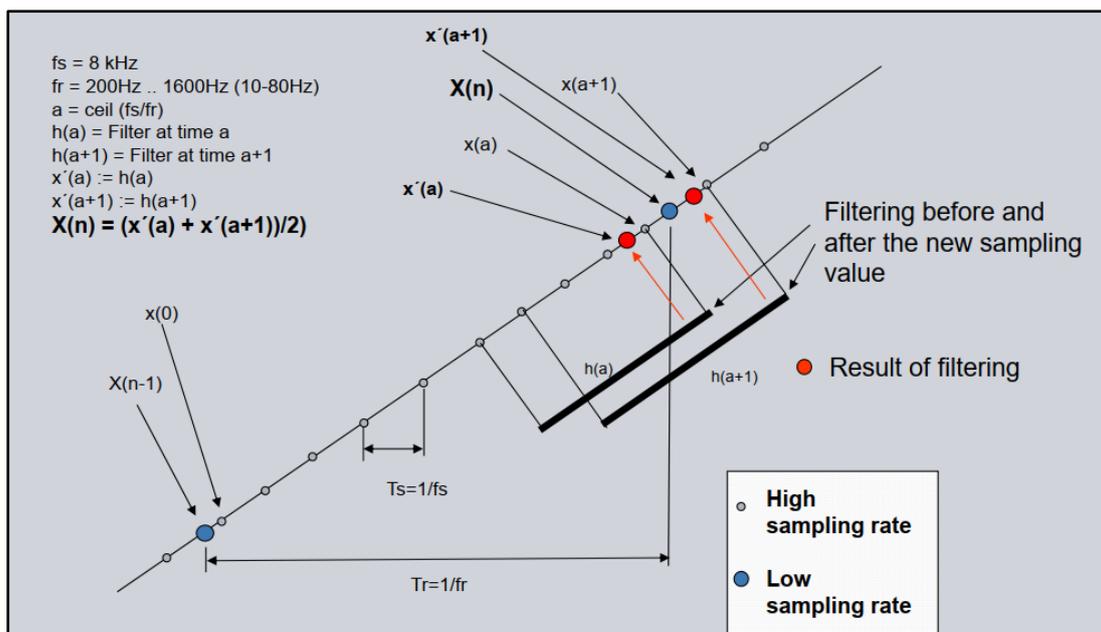


圖 3.1.2.6 Resampling Realization

在 SIPROTEC 5 的應用中，Resampling 是一個關鍵過程，用於將高頻採樣數據調整為滿足保護功能和測量值計算需求的特定要求，透過對輸入信號以 8 kHz 的高頻進行初始採樣，確保信號細節的精確捕捉，接著對於以固定採樣率運行的保護功能（例如測距保護 21 或差動保護 87L），數據會被重新採樣至每週期 20 個樣本。這一優化的採樣率在計算效率與信號準確性之間實現平衡，保證這些保護算法的可靠運行。

Resampling 機制使 SIPROTEC 5 能夠在 10 Hz 至 80 Hz 的寬頻率範圍內動態追蹤系統頻率，通過專注於保護功能最相關的數據來減輕處理器的計算負擔，同時在穩態和瞬態條件下保持高準確性。

3. 控制與邏輯模組 (Control and Logic Module)

功能：

- 根據設定的保護算法進行邏輯運算（如過電流、差動、距離保護邏輯）。
- 判斷是否存在異常狀況並發出相應的保護動作信號。
- 提供多功能整合，支持多種保護方案的靈活配置。

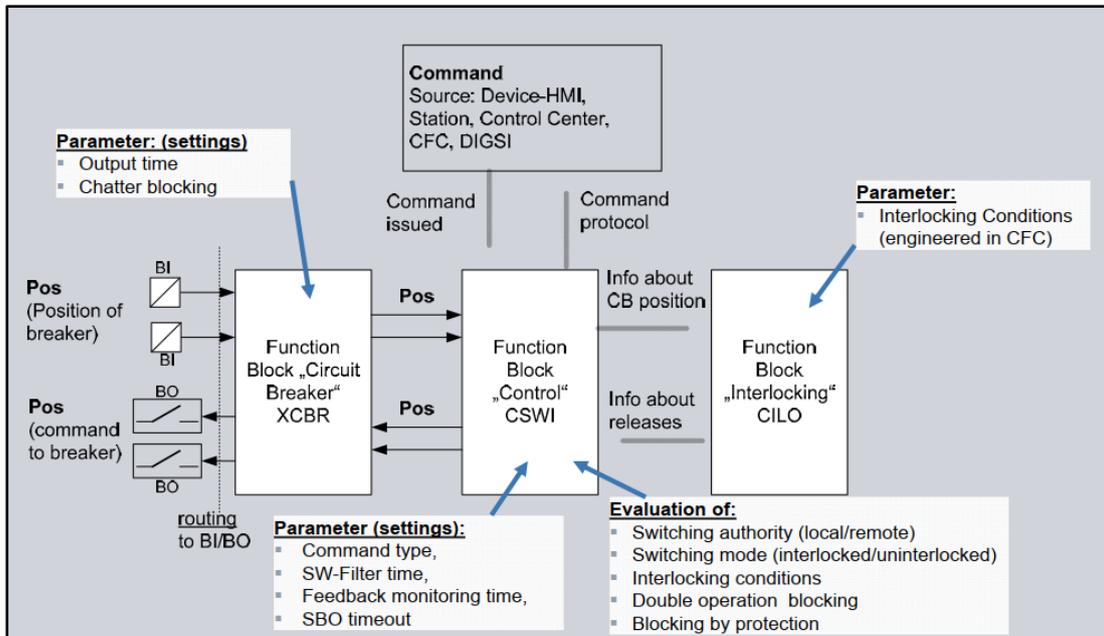


圖 3.1.2.7 控制功能的結構圖

SIPROTEC 5 的控制功能是基于功能模块的架构设计，包含以下主要模块和交互流程：

(1) 指令来源与协议

- 指令来源：
 - 命令可以来自设备 HMI、站控系统、控制中心、CFC 逻辑、或 DIGSI 软件。
- 指令协议：
 - 确保不同来源的命令通过协议被正确传输至目标模块。

(2) 功能模块结构

- 功能模块「断路器」(XCBR)：
 - 负责处理与断路器位置相关的信号，例如位置指示 (Pos) 和命令信号 (Command)。
 - 提供参数设置，例如输出时间 (Output Time) 和抖动屏蔽 (Chatter Blocking)。
 - BI/BO (输入/输出) 信号通过此模块路由至其他模块。
- 功能模块「控制」(CSWI)：
 - 负责接收来自命令来源的控制信号并转发至目标模块 (如断路器模块)。

- 參數設置，例如指令類型 (Command Type)、軟體濾波時間 (SW-Filter Time)、反饋監測時間 (Feedback Monitoring Time) 和 操作前選擇超時 (SBO Timeout)。
- 提供有關斷路器位置的資訊以確保正確操作。
- 功能模組「連鎖」(CILO)：
 - 評估連鎖條件，包括當地/遠程控制權限、連鎖/非連鎖切換模式、雙重操作阻止和保護阻止。
 - 支援用戶在 CFC 中設計的連鎖條件，並作為所有控制操作的安全檢查機制。

(3) 互動與信息流

- 命令的執行與反饋：
 - 當控制命令下達後，信息會通過 CSWI 模組傳遞至 XCBR 模組執行，並反饋執行結果至 CSWI。
- 連鎖條件的評估：
 - CILO 模組負責檢查並確保所有控制操作符合連鎖條件，以避免不安全的操作行為。

4. 通信模組 (Communication and Interface Module)

功能：

- 與現場控制系統（如 SCADA 系統）或其他保護裝置進行數據交換。
- 支援多種通信協議（如 IEC 61850、MODBUS、DNP3）。
- 提供遠程監控和設定功能，實現數字化和智能化管理。

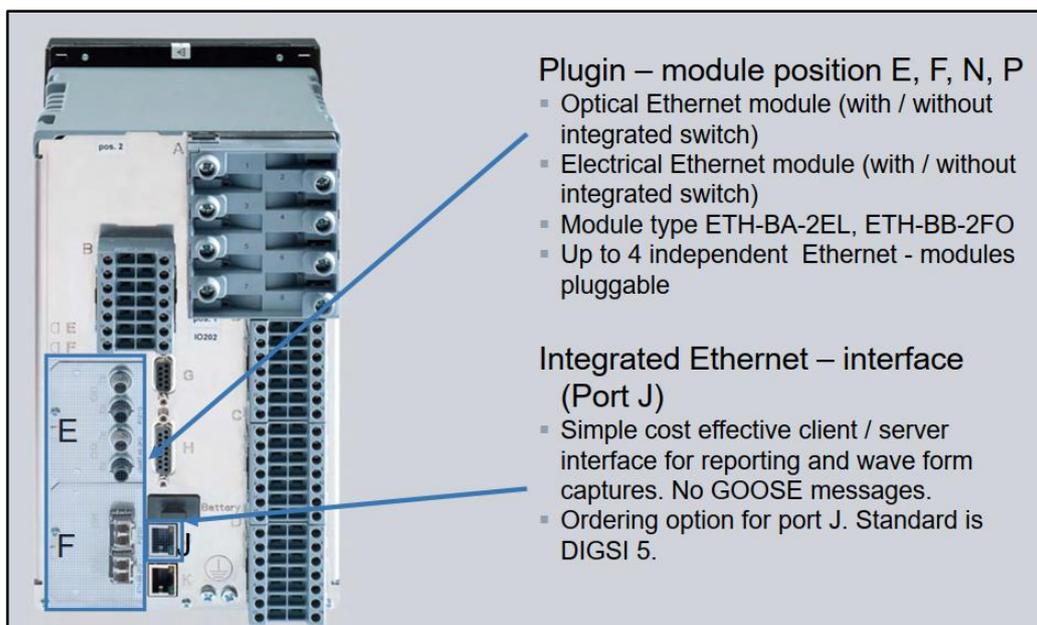


圖 3.1.2.8 以太模組和 IEC 61850 協議的實體端口圖

5. 故障記錄與診斷模組 (Fault Recording and Diagnostics Module)

功能：

- 實時記錄故障前後的關鍵數據（如電壓、電流波形）。
- 提供故障波形的捕捉與存儲功能，用於事後分析。

6. 繼電器輸出與執行模組 (Relay Output and Actuation Module)

功能：

- 接收控制邏輯模組發出的動作信號。
- 驅動執行機構（如斷路器 OPEN 或 CLOSE）。
- 提供隔離保護，確保設備安全。

Information	Source	Destination	Binary input								Binary output							
			Base module								Expansion module 1							
Signals	Number	Type	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
Line 1	21	(-)																
Circuit breaker 1	201																	
Trip logic	201.5341																	
Circuit break.	201.4261																	
External health	201.4261.503	ENS																
>Ready	201.4261.500	SPS																
>Acquisition blocking	201.4261.501	SPS																
>Reset switch statist.	201.4261.502	SPS																
Health	201.4261.53	ENS																
Position	201.4261.58	SPS																
Trip/open cmd.	201.4261.300	SPS																
Close command	201.4261.301	SPS																
Command active	201.4261.302	SPS																
Definitive trip	201.4261.303	SPS																
Alarm suppression	201.4261.304	SPS																
Op.ct.	201.4261.306	INS																
Control	201.4201																	
Health	201.4201.53	ENS																
Cmd. with feedback	201.4201.58	SPS																
Interlocking	201.4231																	
>Enable opening	201.4231.500	SPS																
>Enable closing	201.4231.501	SPS																
>Enable opening (fixed)	201.4231.502	SPS																
>Enable closing (fixed)	201.4231.503	SPS																
Health	201.4231.53	ENS																

圖 3.1.2.9 保護功能設定介面圖

7. 設定與人機界面 (HMI) 模組

功能：

- 可通過面板或軟體（如 DIGSI 4、5）進行保護參數的設定與修改。
- 提供狀態顯示、警報信息和診斷數據。
- 支持現場或遠程操作。

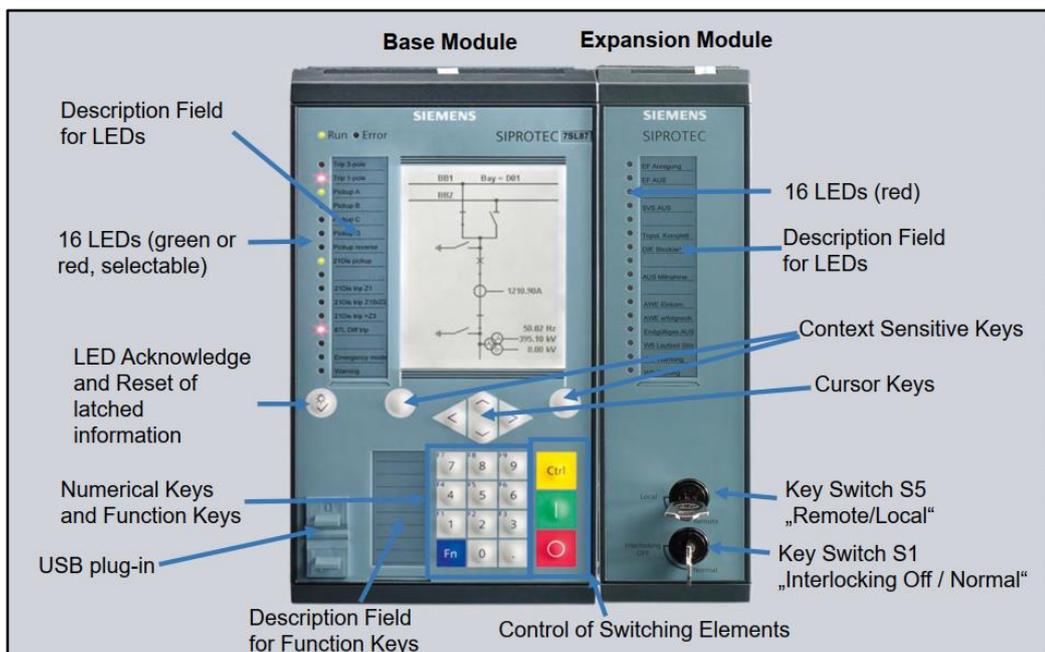


圖 3.1.2.10 HMI (人機介面) 的操作元件圖

二、SIPROTEC 4 系統：

(一) 系統簡介：

SIPROTEC 4 系統內建強大的 32-bit 微處理器，能夠高效執行數位化測量值的處理與控制，包括對電量的採樣、數位化量測，以及對斷路器或其他開關設備的跳脫進行精準控制。其設計特點之一是內部訊號與外部系統的測量、控制和供電電路之間完全電氣隔離，透過測量轉換器(Measuring Transducer)、二進制輸入/輸出模組以及直流轉換器實現對外部干擾的免疫能力。

為了便於操作，系統提供整合式操作面板，並支援連接電腦執行 DIGSI 4 軟體，透過軟體內之Masking I/O以及CFC(Continuous Function Chart)功能，提供了卓越的靈活性與高度定制化能力。矩陣功能允許用戶將指示信號、測量值、計量值及命令傳送至輸入/輸出端口、LED 指示燈、系統接口及緩衝區等多個目標，實現數據的高效傳遞與集成。CFC 則進一步擴展了這一靈活性，允許用戶基於矩陣提供的信號創建自定義邏輯。

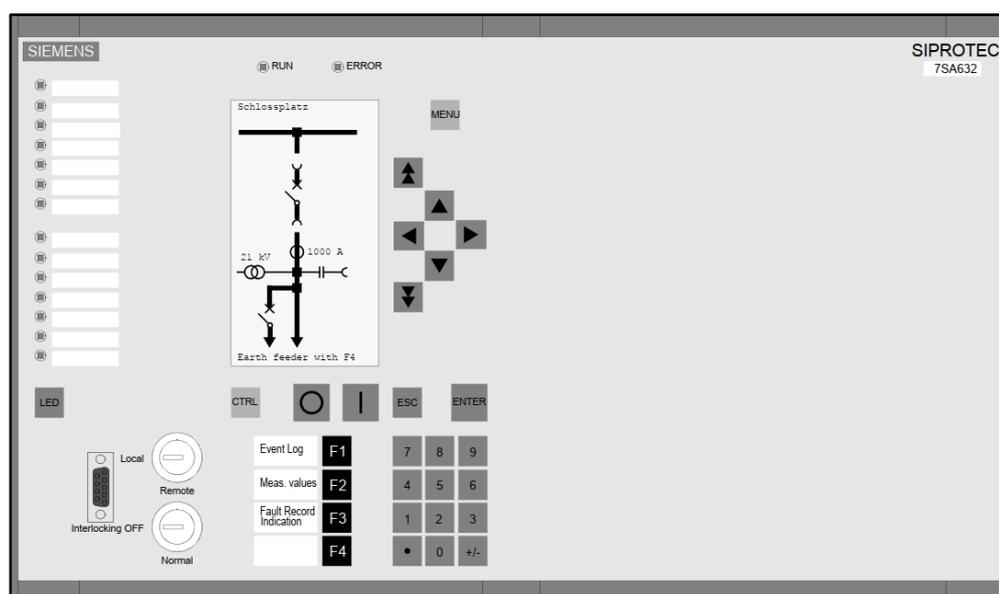


圖3.2.1.1 整合式操作面板圖

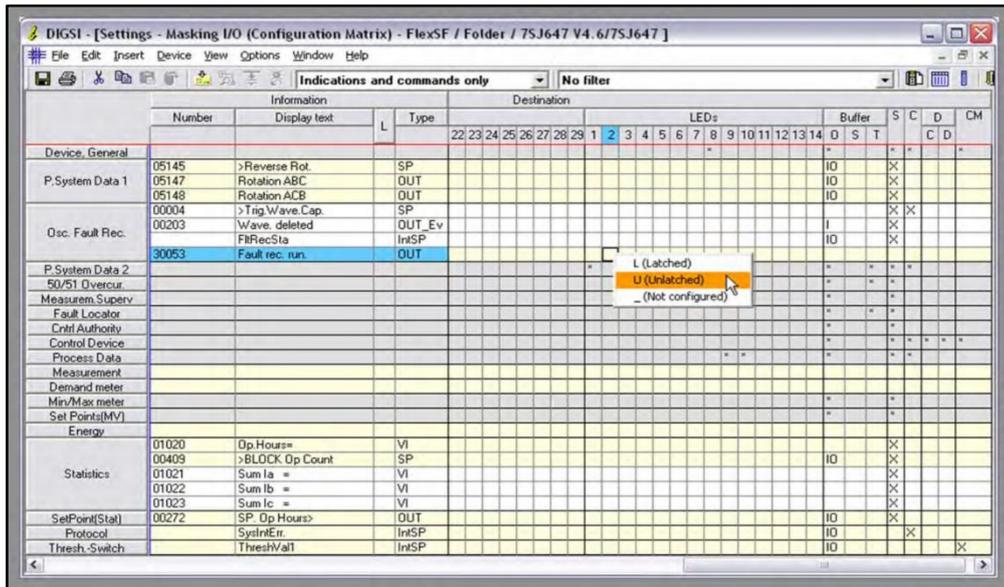


圖3.2.1.2 Masking I/O 配置界面

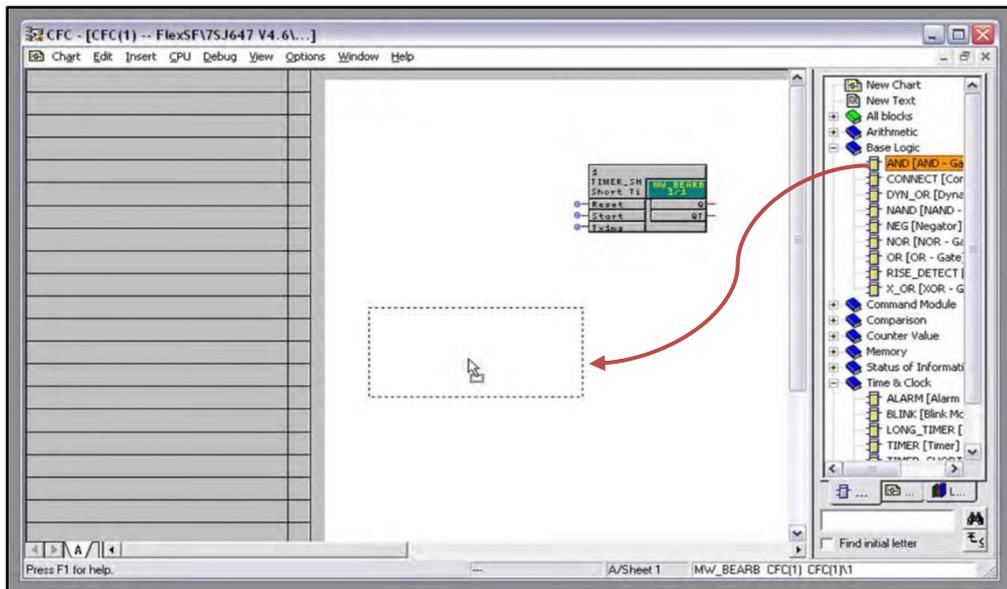


圖3.2.1.3 CFC 邏輯編輯圖

(圖形化界面使得設置過程直觀且易於理解，可通過拖拽功能模組來創建邏輯)

此外，系統能夠持續計算與顯示運轉中的電壓、電流、相角等數據，並且透過 Operational Annunciations (Event Log) 和 Fault Annunciations (Trip Log) 向維護人員提供設備運行狀態和事件的即時反饋，這些警示會對事件進行詳細記錄，並以時間戳的方式標明發生順序，幫助人員快速了解系統的當前狀況。

這一功能具有高度的可配置性，用戶可以根據具體需求設置警示的觸發條件，例如設定特定的電壓或電流閾值，或者根據優先級調整警示的顯示順序。同時，操作警示的輸出方式非常靈活，既可以通過裝置上的顯示幕和 LED 指示燈進行展示，也可以通過通訊模組傳遞至 SCADA 或外部警報設備。

Number	Indication	Value	Date and time
01444	Breaker failure l>	ON	04.09.2003 16:38:34.540
05666	Diff: Increase of char. phase L1	OFF	04.09.2003 16:38:35.641
05668	Diff: Increase of char. phase L3	OFF	04.09.2003 16:38:36.541
05667	Diff: Increase of char. phase L2	OFF	04.09.2003 16:38:36.546
01515	Overload Current Alarm (I alarm)	ON	04.09.2003 16:39:47.751
01515	Overload Current Alarm (I alarm)	OFF	05.09.2003 00:02:38.145
00301	Power System fault	164 - ON	05.09.2003 03:22:15.385
00301	Power System fault	164 - OFF	05.09.2003 03:22:37.612
01423	>ext. start 1 breaker failure prot.	ON	05.09.2003 03:23:04.349
01441	>ext. start 2 breaker failure prot.	ON	05.09.2003 03:23:04.349
00301	Power System fault	165 - ON	05.09.2003 03:23:04.353
01422	>Breaker contacts	OFF	05.09.2003 03:23:04.380
06531	Undervoltage protection is BLOCKED	ON	05.09.2003 03:23:04.384
05212	Frequency protection is BLOCKED	ON	05.09.2003 03:23:04.384
06532	Undervoltage protection is ACTIVE	OFF	05.09.2003 03:23:04.384
05213	Frequency protection is ACTIVE	OFF	05.09.2003 03:23:04.384
01444	Breaker failure l>	OFF	05.09.2003 03:23:04.402
05666	Diff: Increase of char. phase L1	ON	05.09.2003 03:23:04.403
05667	Diff: Increase of char. phase L2	ON	05.09.2003 03:23:04.403
05668	Diff: Increase of char. phase L3	ON	05.09.2003 03:23:04.403

圖3.2.1.4 Event Log示意圖

Number	Indication	Value	Date and time
00301	Power System fault	162 - ON	03.09.2003 19:05:54.680
00302	Fault Event	162 - ON	03.09.2003 19:05:54.680
00501	Relay PICKUP	ON	0 ms
05631	Differential protection picked up	ON	0 ms
00511	Relay GENERAL TRIP command	ON	66 ms
05691	Differential prot.: TRIP by IDIFF>	ON	66 ms
00576	Primary fault current IL1 Side1	0.30 kA	84 ms
00577	Primary fault current IL2 Side1	0.33 kA	84 ms
00578	Primary fault current IL3 Side1	0.34 kA	84 ms
00579	Primary fault current IL1 Side2	0.30 kA	84 ms
00580	Primary fault current IL2 Side2	0.33 kA	84 ms
00581	Primary fault current IL3 Side2	0.31 kA	84 ms
05012	Voltage UL1E at trip	3.97 kV	84 ms
05013	Voltage UL2E at trip	3.95 kV	84 ms
05014	Voltage UL3E at trip	3.88 kV	84 ms
05015	Active power at trip	2.76 MW	84 ms
05016	Reactive power at trip	2.39 MVAR	84 ms
05017	Frequency at trip	60.03 Hz	84 ms
05701	Diff. current in phase L1 at trip	0.00 I/n0	84 ms
05702	Diff. current in phase L2 at trip	0.01 I/n0	84 ms
05703	Diff. current in phase L3 at trip	0.16 I/n0	84 ms
05704	Restr. current in phase L1 at trip	1.29 I/n0	84 ms
05705	Restr. current in phase L2 at trip	1.42 I/n0	84 ms
05706	Restr. current in phase L3 at trip	1.40 I/n0	84 ms
01455	Breaker failure protection: picked up	ON	92 ms
05683	Diff. prot.: IDIFF> L3 (without T delay)	OFF	100 ms
06531	Undervoltage protection is BLOCKED	ON	125 ms
05212	Frequency protection is BLOCKED	ON	125 ms
05631	Differential protection picked up	OFF	133 ms
01455	Breaker failure protection: picked up	OFF	142 ms
00301	Power System fault	162 - OFF	03.09.2003 19:05:54.822

圖3.2.1.5 Trip Log示意圖

故障發生時，除了上述紀錄功能外，亦會觸發Oscillographic Fault Records，該功能記錄了故障發生期間的動態行為，包括電壓和電流的變化、保護設備的動作以及事件的時間標記，數據可以以即時值(Instantaneous Values)或方均根值(RMS Values)的形式保存並透過SIGRA開啟。即時值模式提供更詳細的動態信息，適合對快速變化的故障進行深入分析；而均方根值模式則能延長記錄時間，適合長時間擾動的觀察。

Network Fault number	Fault record number	Date and time
000164	000164	05.09.2003 03:22:25.181
000162	000162	03.09.2003 19:05:54.480
000151	000151	29.08.2003 14:13:37.536
000141	000141	17.08.2003 03:29:14.382
000117	000117	28.07.2003 15:32:00.215
000116	000116	27.07.2003 03:33:23.319
000112	000112	24.07.2003 08:18:34.135
000110	000110	19.07.2003 12:47:46.025
000055	000055	04.07.2003 16:26:49.252
000004	000004	17.06.2003 15:11:03.246
000003	000003	17.06.2003 14:40:47.259
000002	000002	17.06.2003 15:00:05.341
000001	000001	17.06.2003 14:35:58.186

圖3.2.1.6 Oscillographic Fault Records示意圖

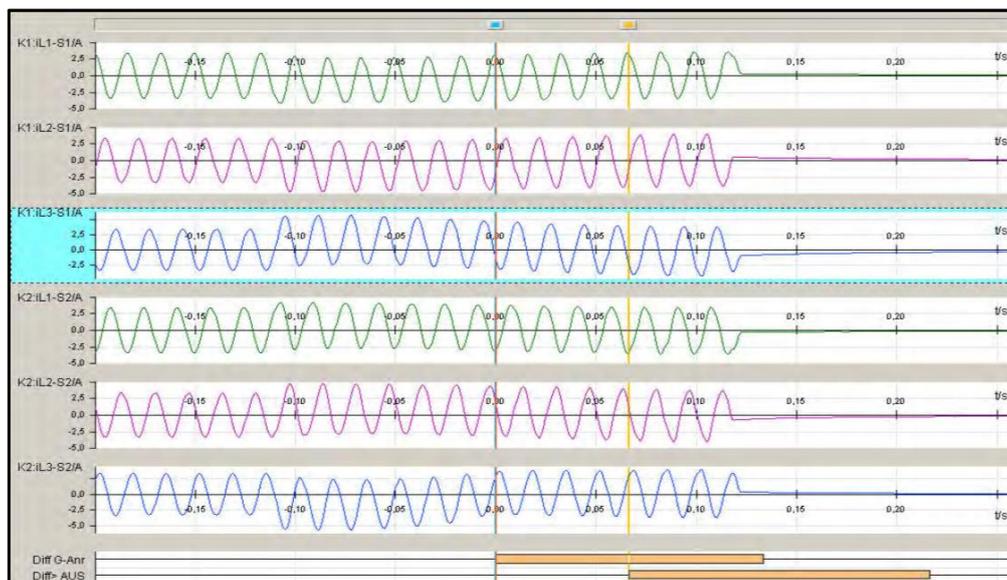


圖3.2.1.7 SIGRA 之 Instantaneous Values示意圖
(即時值顯示更多細節)

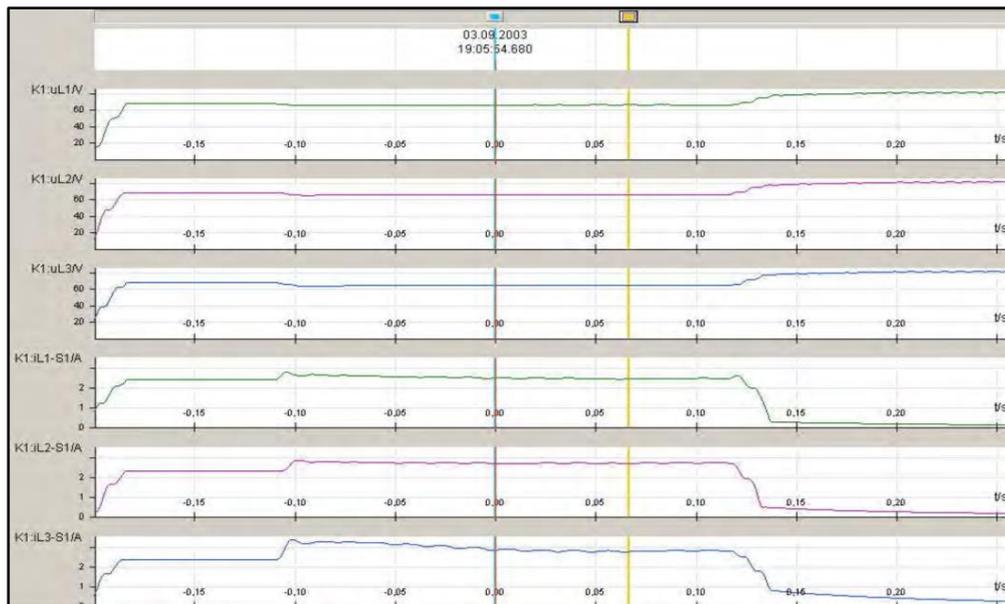


圖3.2.1.8 SIGRA 之 RMS Values示意圖
(均方根值提供初步概覽)

這些記錄主要用於故障診斷和性能評估，通過分析波形異常，可以準確識別故障類型（如短路或接地故障），並評估保護設備的響應時間和行為。此外，記錄的數據還可以存檔，用於未來的研究或操作人員的培訓。

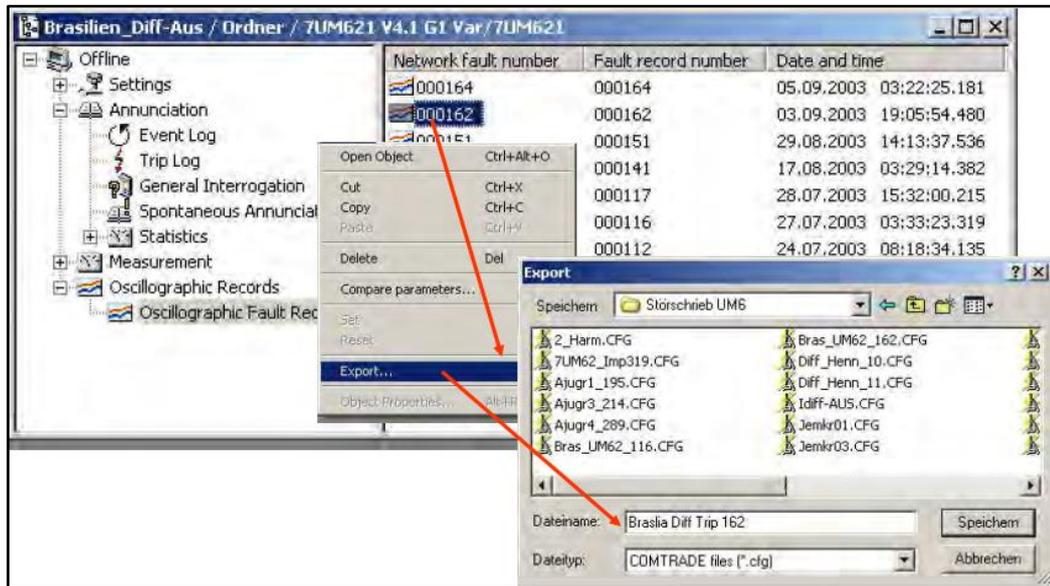


圖3.2.1.9 存檔匯出示意圖

(波形故障記錄文件以標準的 COMTRADE 格式保存，方便與 DIGSI 和 SIGRA 結合使用)

(二) 設備簡介：

1. 7UM6225：

主要用途是在發電機、變壓器及其組合的電力設備中提供全面的保護和監控功能，特別針對大型和關鍵性設備。保護功能如下：

分類	功能
發電機保護	差動保護 (87G)
	失磁保護 (40)
	逆功率保護 (32R)
	100% 定子接地保護 (64G)
	匝間短路保護 (59N)
變壓器保護	差動保護 (87T)
線路保護	距離保護 (21)
	瞬時/延時過電流保護 (50/51)
電動機保護	過載保護 (49)
	起動時間監控 (48)
	不平衡負載保護 (46)
	重啟抑制保護 (66)
接地保護	敏感接地保護 (51GN)
	100% 定子接地保護 (64G)
	敏感轉子接地保護 (64R)
頻率保護	過頻保護 (81O)
	欠頻保護 (81U)
過電壓保護	過電壓保護 (59)
欠電壓保護	欠電壓保護 (27)
差動保護	差動保護 (87)
反向功率保護	反向功率保護 (32R)
起動過電流保護	起動過電流保護 (51)

特別注意的地方在於 SIPROTEC 4 的 C-CPU-2 處理器電路板，須根據不同的電源供應、生命接點的靜態狀態、通訊介面及控制電壓...等等，調整電路板上Jumper的位置，所以在每次更換後，都要記得將面板拆卸下來調整內部的Jumper(共有4張電路板)。

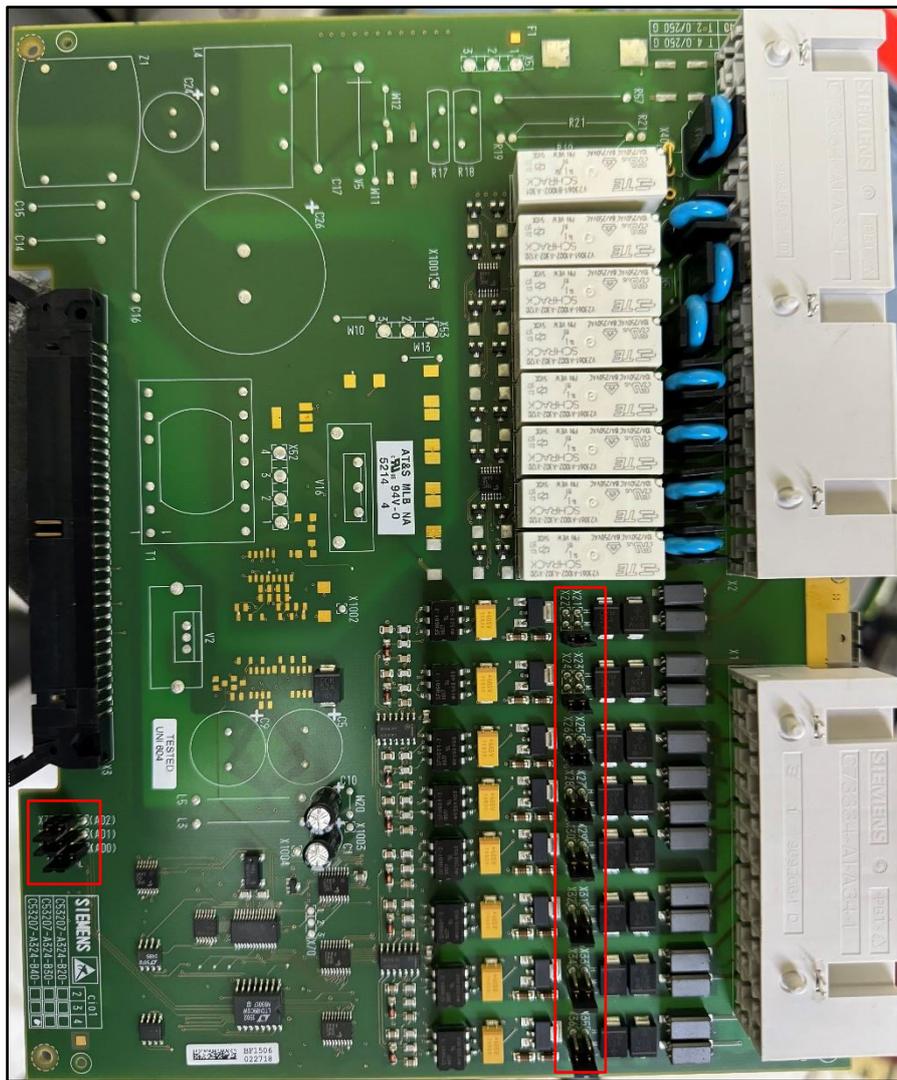


圖3.2.2.1 Jumper示意圖

2. 7VE61 :

功能為同步器和同步檢測繼電器，可以精確檢測發電機與電網之間的頻率、電壓及相角差異，並根據實時參數生成調整信號。例如，當彼此之間的頻率存在偏差時，7VE61會向發電機的調速器(Governor Control)發出頻率調整信號，通過改變發電機的機械輸入功率來校正頻率。同樣，當電壓不匹配時，設備會向勵磁系統(Excitation System)發送調整信號，調整輸出電壓實現電壓匹配。

支援手動同步和自動同步兩種模式，適用於不同的運行需求，主要應用於電力系統的發電機與電網的併網操作，確保安全且高效的同步。

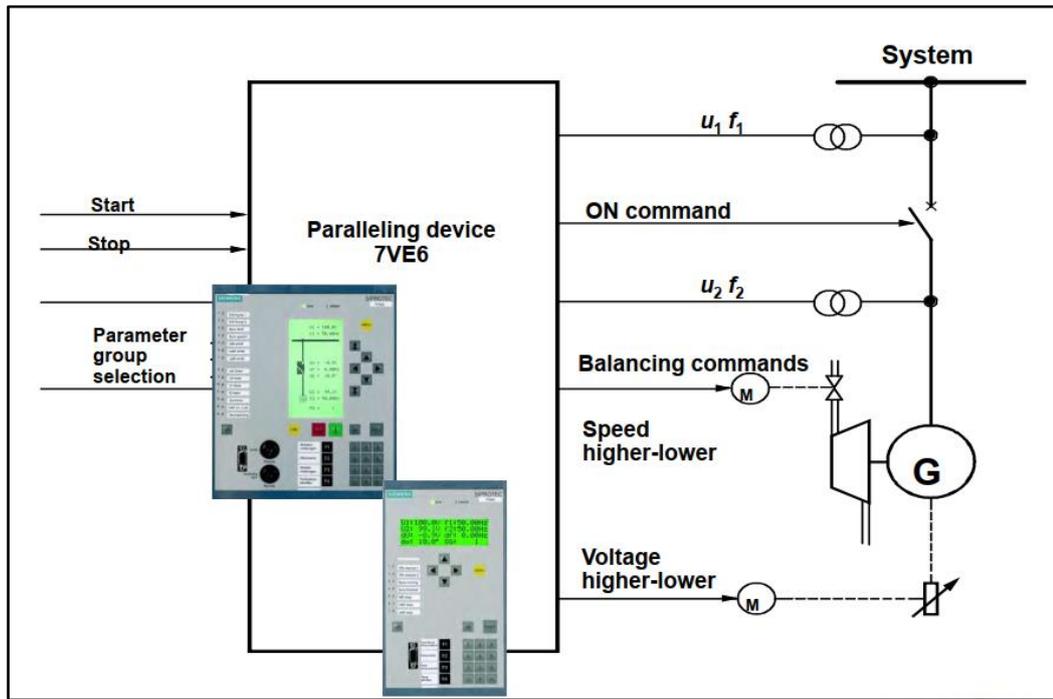


圖3.2.2.2 併網原理示意圖

在具體的控制實現上，系統具備兩個獨立的控制輸出（CLOSE 1 和 CLOSE 2），分別向斷路器（CB-Coil）發送投入命令。每個控制輸出都配有獨立的監視機制，以保證操作的準確性和穩定性。這種雙通道冗餘設計結合多層的監視功能，確保了裝置在進行併網操作時的可靠性和安全性。

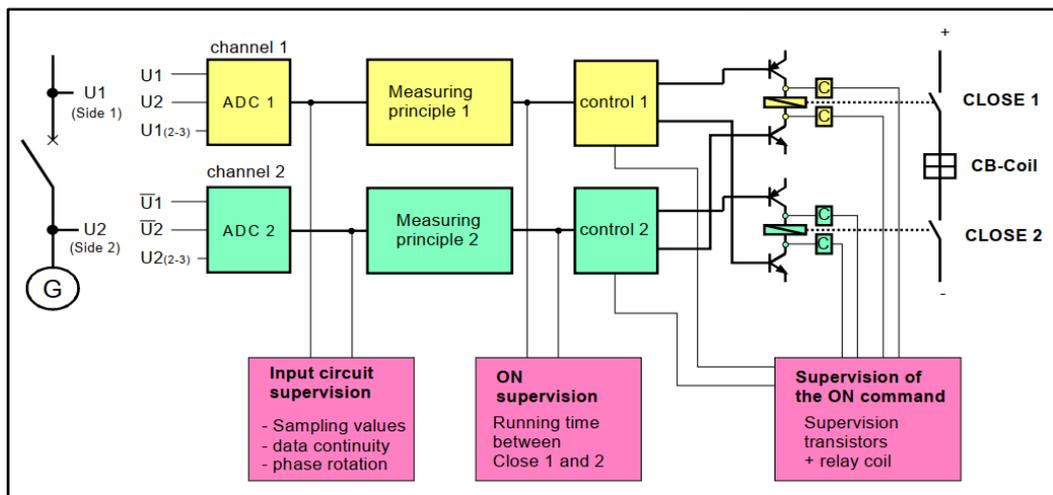


圖3.2.2.3 併網裝置的雙通道設計與監視功能示意圖

(三) 小結：

SIPROTEC 4 系統展現出極高的性能與穩定性，但與 SIPROTEC 5 相比，SIPROTEC 4 系統在硬體模組化設計上存在不足，導致硬體升級與維護的靈活性較低。如果需要新增功能，可能需要更換整套設備，而非單獨替換模組。

雖然 SIPROTEC 4 支援數位化功能，但在現代更高階數位化應用（如 Digital Twin Technology）方面表現不足。此外，其通訊協議與接口種類相對 SIPROTEC 5 較少，例如缺乏 PRP (Parallel Redundancy Protocol) 和 HSR (High-availability Seamless Redundancy) 支持。

最後，由於 SIPROTEC 4 發布時間較早，部分硬體可能面臨老化問題，配件供應也可能逐漸減少，這會增加維護成本並影響長期的系統運行效能。

三、SIPROTEC 5 系統：

(一) 系統簡介：

SIPROTEC 5 的設計採用模組化系統結構，由基礎模組和擴展模組組成，用戶可根據具體應用場景靈活配置，包括標準與自定義的設備配置。模組化設備可支援新增擴展模組，進一步拓展應用範圍，適用於複雜的電力系統結構（如 1½ 斷路器佈局）。此外，用戶還可根據需求選擇大顯示屏、小顯示屏或僅具 LED 指示燈的操作面板，進一步提高操作的靈活性。

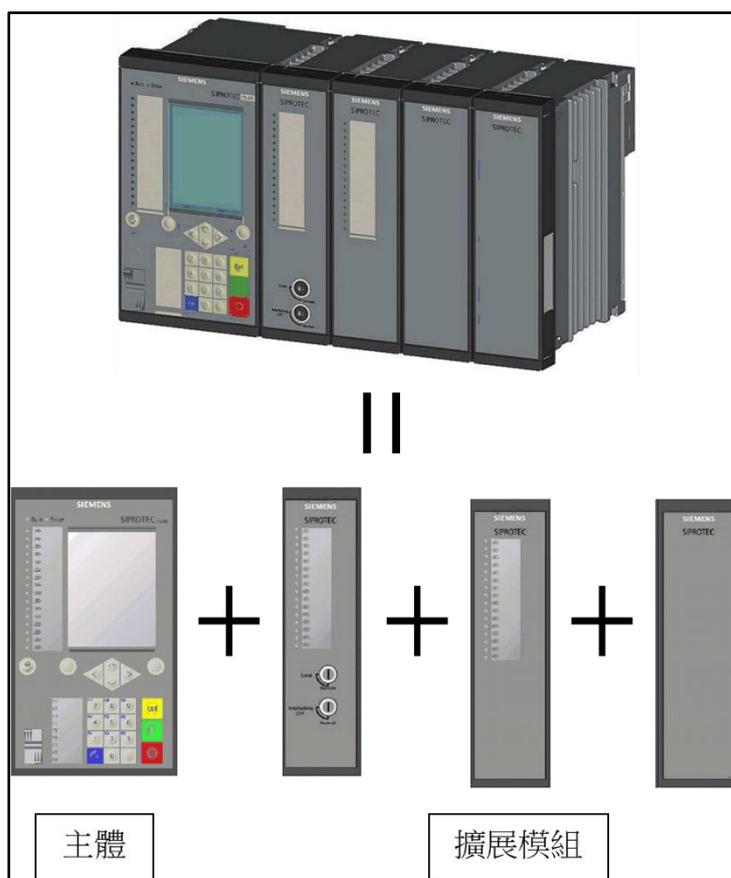


圖 3.3.1.1 SIPROTEC 5 模組化系統結構示意圖

在提升操作效率方面，SIPROTEC 5 取消了傳統的跳線設置，用戶可通過電子方式調整額定電流範圍（如 1A 或 5A）及二進制輸入的閾值，而無需打開設備進行操作，這大大縮短了調試時間。此外，其預先接線的端子設計，允許用戶在安裝過程中先完成配線，後期更換設備時可直接拔插，大幅提高了維護效率。通訊模組與測量轉換模組則可在外部直接進行安裝或更換，簡化了操作流程。

在通訊與集成能力方面，SIPROTEC 5 支援 IEC 61850 通訊協議，實現與數位化變電站及智慧電網的無縫對接。其插拔式通訊模組設計可支援多種通訊協議，確保與中央控制系統的良好兼容性。

SIPROTEC 5 也提供了適用於多種應用的硬體選項，用戶可選擇模組化系統（如 7SA86）應對高需求應用，或選擇非模組化系統（如 7SJ82）以滿足對成本效益和緊湊結構的需求。無論選擇何種設備，都具有堅固的設計，能夠適應多種安裝環境，例如嵌入式或表面安裝。

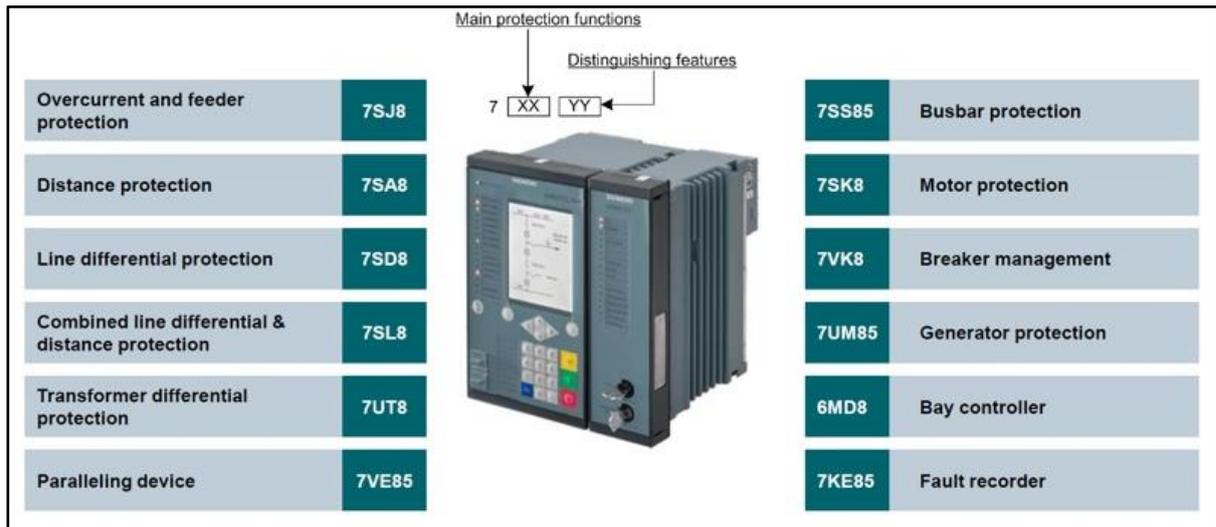


圖 3.3.1.2 SIPROTEC 5 型號功能對照圖

7	XX	YY	
Main Protection			
7	SA		Distance protection
7	SD		Differential protection
7	SL		Distance and differential protection
7	SJ		Overcurrent protection
7	VK		Circuit-breaker management
Essential Differentiating Characteristics			
7		82	<ul style="list-style-type: none"> Exclusively 3-pole tripping 2 hardware variants available
7		86	<ul style="list-style-type: none"> Exclusively 3-pole tripping Hardware quantity structure flexibly configurable
7		87	<ul style="list-style-type: none"> 1-pole and 3-pole tripping Hardware quantity structure flexibly configurable

圖 3.3.1.3 SIPROTEC 5 模組化系統結構示意圖

(二) 設備簡介：

1. 7SJ80：

多功能保護繼電器，專為中低壓電力系統中的配電網、電機和小型變壓器設計。其核心原理是通過高靈敏度的數字測量系統，實現對電壓、電流、頻率等關鍵參數的實時監控和分析，並在檢測到異常情況時迅速觸發對應的保護動作，以保障系統的安全運行。

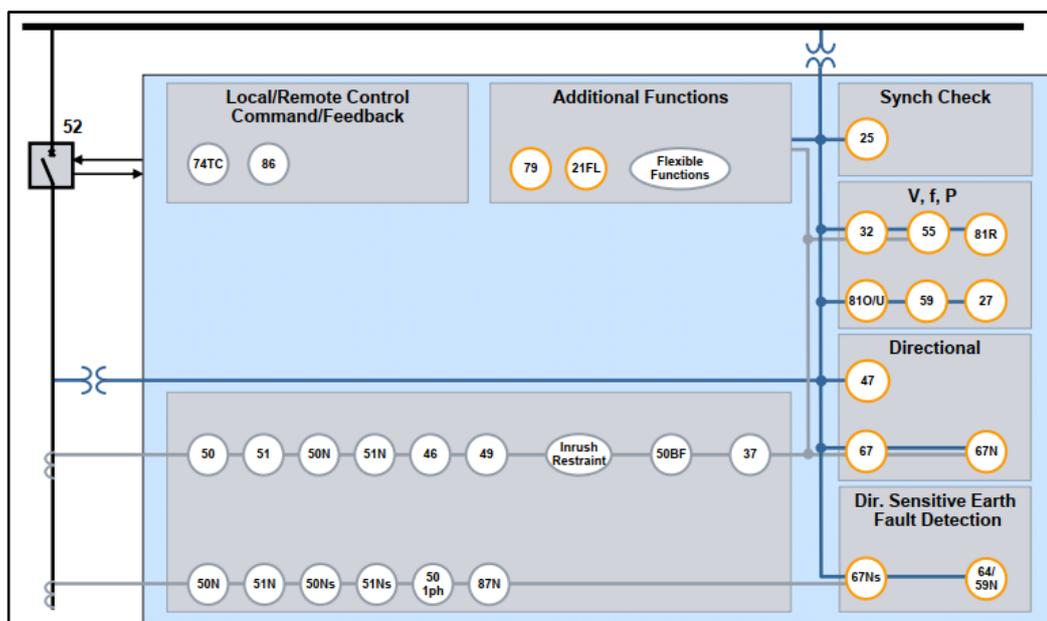


圖3.3.2.1 7SJ80 繼電器功能架構與保護配置示意圖

2. 7UT85、7UT87：

SIPROTEC 7UT85 和 7UT87 是 Siemens 為變壓器保護提供的兩款高性能設備，均具備卓越的差動保護功能（87T），可快速檢測變壓器內部故障，抑制啟動湧流並處理過激磁問題。這兩款設備均提供補充功能，包括過電流保護、熱過載保護和限制接地故障保護，確保對變壓器的全方位保護，適用於各類變壓器和電抗器。

數位化能力是另一大亮點。該設備全面支持 IEC 61850 通訊協議，能夠與現代數位化變電站無縫集成。其內建的故障記錄與波形分析功能，結合 SNTP、IEEE 1588（PTP）或 IRIG-B 時間同步技術，為維護人員提供了精準的故障分析與診斷支持。

7UT85 的設計注重靈活性，採用模組化結構，支援基礎模組與擴展模組配置，最多可提供 40 個類比通道，適用於如 1½ 斷路器佈局等複雜系統。7UT87 則是在模組化的基礎上進一步強化了多端口功能和複雜應用的適應性，例如大容量變壓器或多饋線保護需求。此外，7UT87 提供更多的電流和電壓輸入選項，適合多饋線和

多變壓器的保護應用。

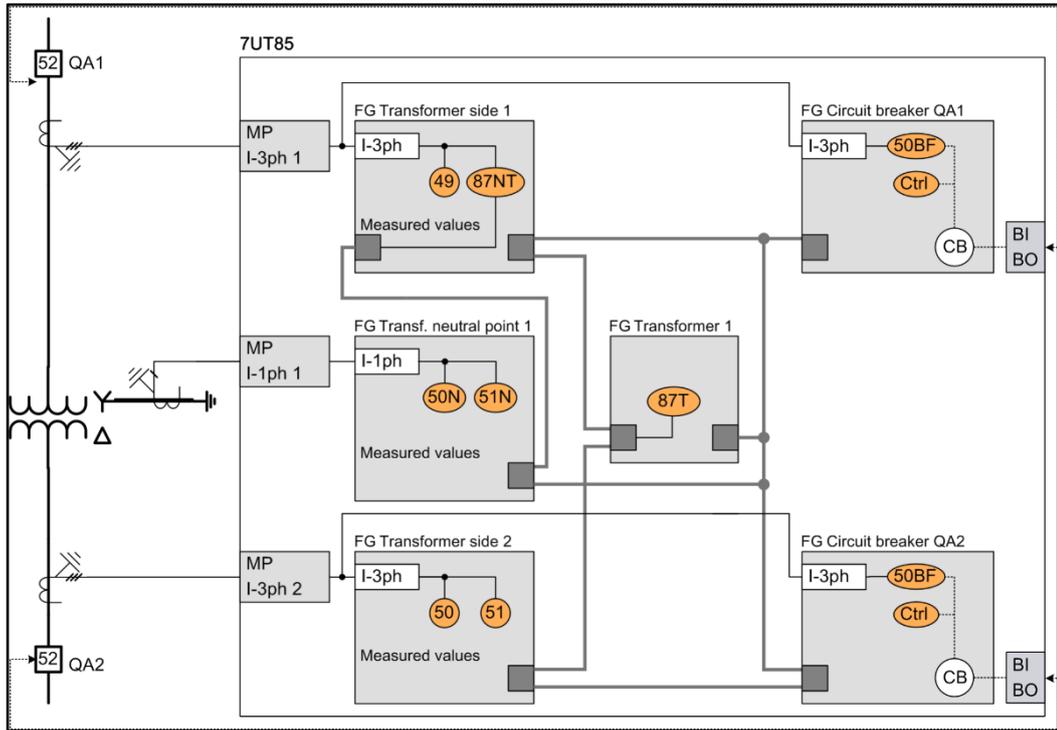


圖 3.3.2.2 7UT85 雙繞組變壓器保護功能框圖

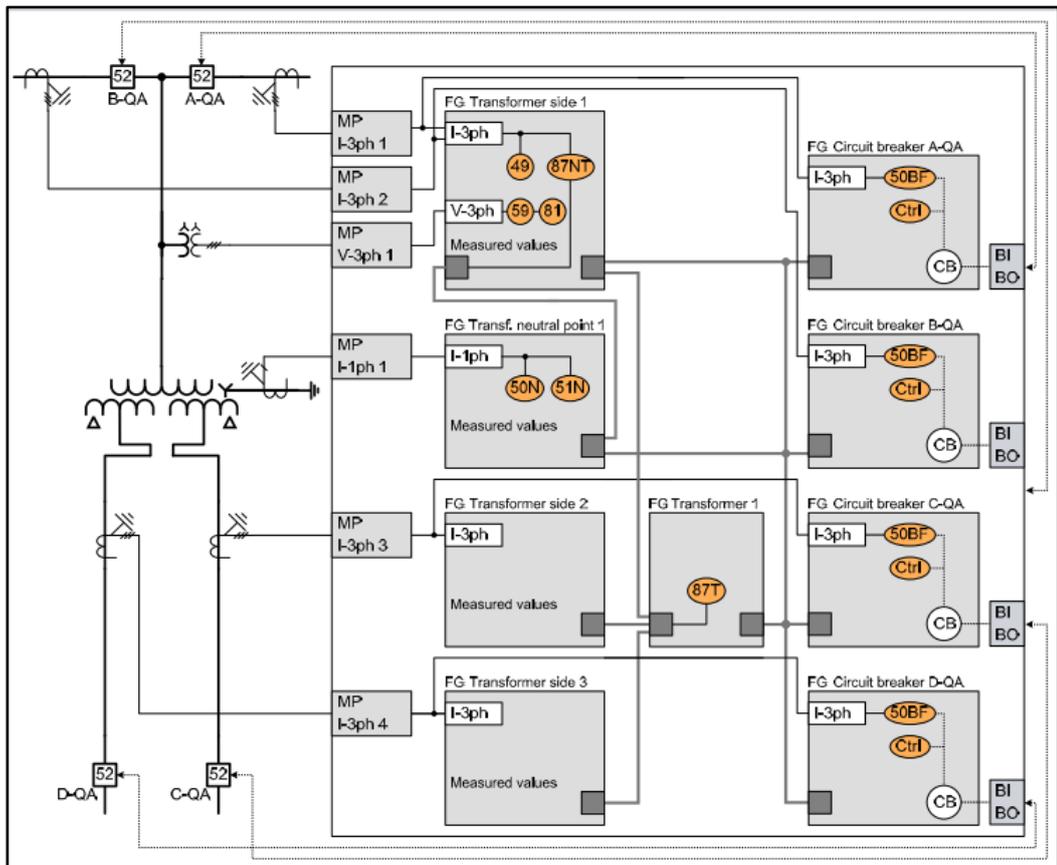


圖 3.3.2.3 7UT87 雙繞組變壓器保護功能框圖

在選擇使用時，可根據需求決定。若變壓器保護情況較為單一且注重性價比，7UT85 是理想選擇；若需處理多端口或複雜電力系統應用，如多台變壓器或多饋線保護，7UT87 的高功能適配性更為適合。總之，7UT85 強調靈活性和性價比，7UT87 則專注於滿足高要求場景的保護需求。

(三) 小結：

相較於 SIPROTEC 4，SIPROTEC 5 在模組化設計、數位化程度、操作便利性與通訊能力上均實現了顯著提升。特別是預接線端子和模組化設計的應用，顯著降低了設備更換的時間和成本，滿足了現代電力系統對高效維護的需求。

然而，SIPROTEC 5 的高性能設計也意味著更高的初期投資成本。因此，其使用場景主要集中在需要高度靈活性、高性能保護和數位化整合的場合，如大型變電站或需要實現複雜保護邏輯的應用場景。對於較為簡單或成本敏感的應用，SIPROTEC 4 仍然是經濟而可靠的選擇。

總而言之，SIPROTEC 5 為電力系統保護提供了一個強大且靈活的平台，不僅滿足了現代化變電站的需求，還為智慧電網的發展奠定了堅實的基礎。

四、SIGRA 4

(一) 系統簡介：

SIGRA 4 是 Siemens 開發的一款專業故障分析軟體，廣泛應用於電力系統中故障診斷的場景。其主要功能是解析來自保護裝置（如 SIPROTEC 系列設備）生成的故障記錄數據，提供全面的故障分析和事件處理能力，從而協助工程師提升電網的可靠性與運行效率。

SIGRA 4 的一大特點在於其高度直觀的圖形化界面。透過軟體，用戶可以快速查看和分析電流、電壓波形數據，並以圖表形式呈現保護裝置記錄的故障事件。在圖形界面上，用戶可以自由放大、縮小或疊加波形數據，藉此快速定位故障點和分析故障原因。此外，SIGRA 4 還提供精確的數據標記功能，使得用戶能夠量測波形中任何時間點的電壓或電流數值，從而為進一步的數據分析提供依據。

功能方面，SIGRA 4 支援多種格式的記錄文件（如 COMTRADE），並內建多樣化的數據處理工具，包括頻率分析、諧波分析和能量計算等。其內置的傅立葉變換功能可以幫助用戶快速識別故障數據中的諧波成分，這對於評估電網質量和診斷故障根源尤其重要。此外，SIGRA 4 還支援模擬功能，允許工程師測試保護裝置的設置值是否合理，以及預測系統在特定條件下的反應。

在現代電力系統中，SIGRA 4 的價值尤為突出。當電網發生故障時，該軟體可以快速解析 SIPROTEC 設備記錄的數據，幫助工程師定位故障點、分析故障成因並制定修復方案。同時，其事件記錄與分類功能可協助用戶追蹤歷史故障，為長期優化電網性能提供決策依據。

SIGRA 4 與 Siemens SIPROTEC 系列設備的緊密集成，進一步增強了其應用價值。在保護裝置的調試與維護中，SIGRA 4 不僅能檢查設置的準確性，還能透過模擬來驗證設置值的有效性，確保系統在實際應用中的可靠性。這使其成為維護工程師的必備工具，特別是在智能電網和現代化變電站的建設與運維中。

總結來說，SIGRA 4 是一款集故障記錄、數據分析和系統模擬於一體的專業工具。它不僅能協助用戶快速應對突發故障，還能為電網的長期優化提供堅實的技術支持。對於電力工程師而言，SIGRA 4 不僅是提升工作效率的利器，更是實現智慧電網目標的重要工具之一。

(二) SIGRA 故障分析流程：

1. 資料準備：

- 確認 SIPROTEC 保護裝置已正確啟用故障記錄功能。
- 從 SIPROTEC 裝置中提取故障波形數據檔案，通常格式為 .cfg 或 .comtrade，確保文件完整。

2. 打開 SIGRA 軟體：

- 啟動 SIGRA 軟體，點擊 "File" 選項。
- 選擇 "Open File" 或 "Import COMTRADE File"，載入提取的故障數據檔案。

3. 檢視數據：

- 在載入後，SIGRA 會自動生成波形圖，顯示故障時期的電壓和電流波形。
- 使用工具欄上的 縮放工具 和 平移工具，檢視關鍵的故障波形細節。

4. 數據分析：

● 波形分析：

分析各相的電壓與電流波形，確定故障發生的相別（如 A、B 或 C 相）。

● 保護特性分析：

確認裝置的動作時序，例如過流保護（50/51）或差動保護（87）的動作是否符合預期。

● 事件觸發分析：

使用事件列表功能，檢查故障時刻的時間戳，確認故障事件的觸發順序。

5. 數學計算與相量分析：

● 使用 SIGRA 提供的數學工具：

- 計算 RMS 電壓和電流值，確認故障期間的負載情況。

- 執行諧波分析，檢查是否有諧波失真影響系統運行。
- 使用相量圖功能，檢查三相電壓與電流的相角關係，確定是否存在非對稱性或短路。

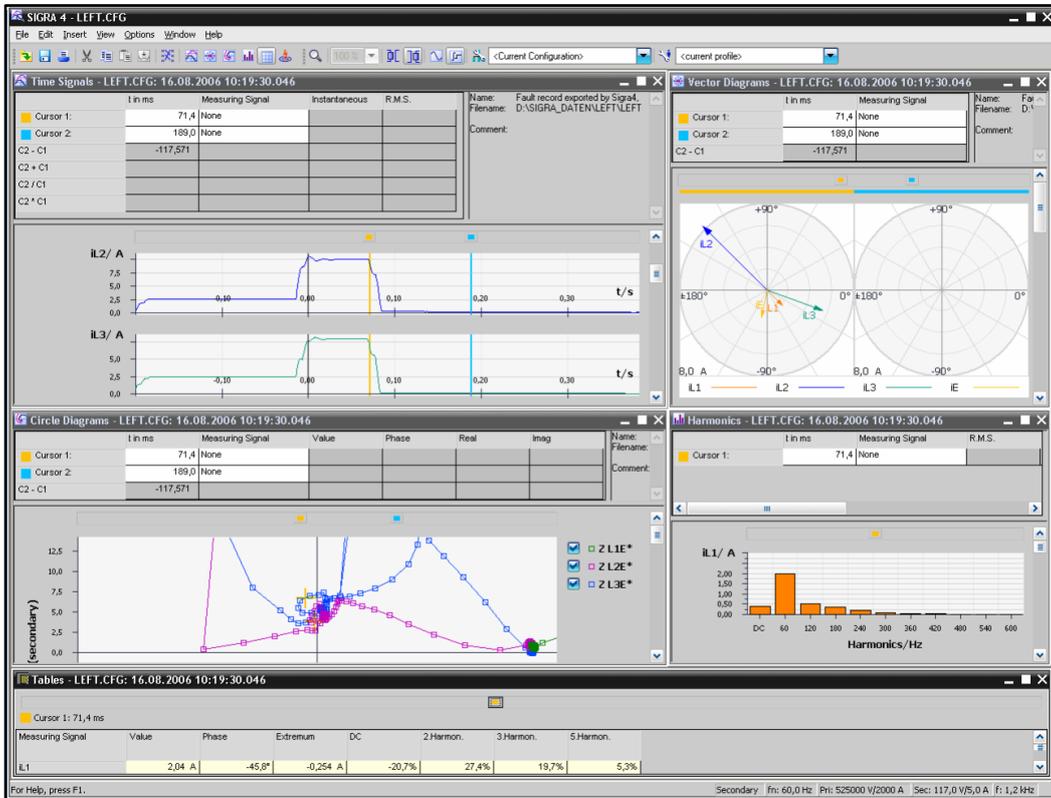


圖 3.4.2.1 SIGRA 4 故障記錄與分析界面總覽圖

6. 故障類型判斷：

- 根據波形和相量特性，判斷故障類型，例如：
 - 單相接地短路
 - 相間短路
 - 三相短路
 - 負載超載等。

7. 結果保存：

- 使用 SIGRA 的 報告生成工具：
 - 匯出分析結果為 PDF 或 Word 報告。
 - 保存分析數據，以供後續記錄和比較。

8. 修正建議與系統調整：

- 根據故障波形和保護動作分析結果，對保護定值進行調整（如必要）。

- 將分析結果與運行數據比對，檢查系統是否需要硬體或邏輯改進。
- 透過以上步驟，SIGRA 能夠快速定位故障並提供詳細的分析，協助技術人員釐清問題根源，確保系統的安全與穩定運行。

(三) 故障定位器的功能描述與工作原理概述：

故障定位器在電力保護系統中扮演著至關重要的角色，能夠快速準確地確定短路故障的位置。其核心目的是透過準確的故障定位，縮短停電時間，加快故障清除速度，從而提高電力網絡的可用性，優化系統的穩定運行。

故障定位是一個獨立且自主的功能，可透過輸入的線路參數精確定位混合型線段上的故障。在雙端供電的線路中，SIGRA 支援雙向故障定位，這對於雙端供電線路、接地故障或高阻抗故障的定位具有顯著的優勢。

- 單向故障定位：適用於所有情況，基於單端的電壓和電流測量來估算故障距離。
- 雙向故障定位：通過雙端的測量數據進行計算，通常比單向方法更精確，特別是在高阻抗故障或複雜線路中。

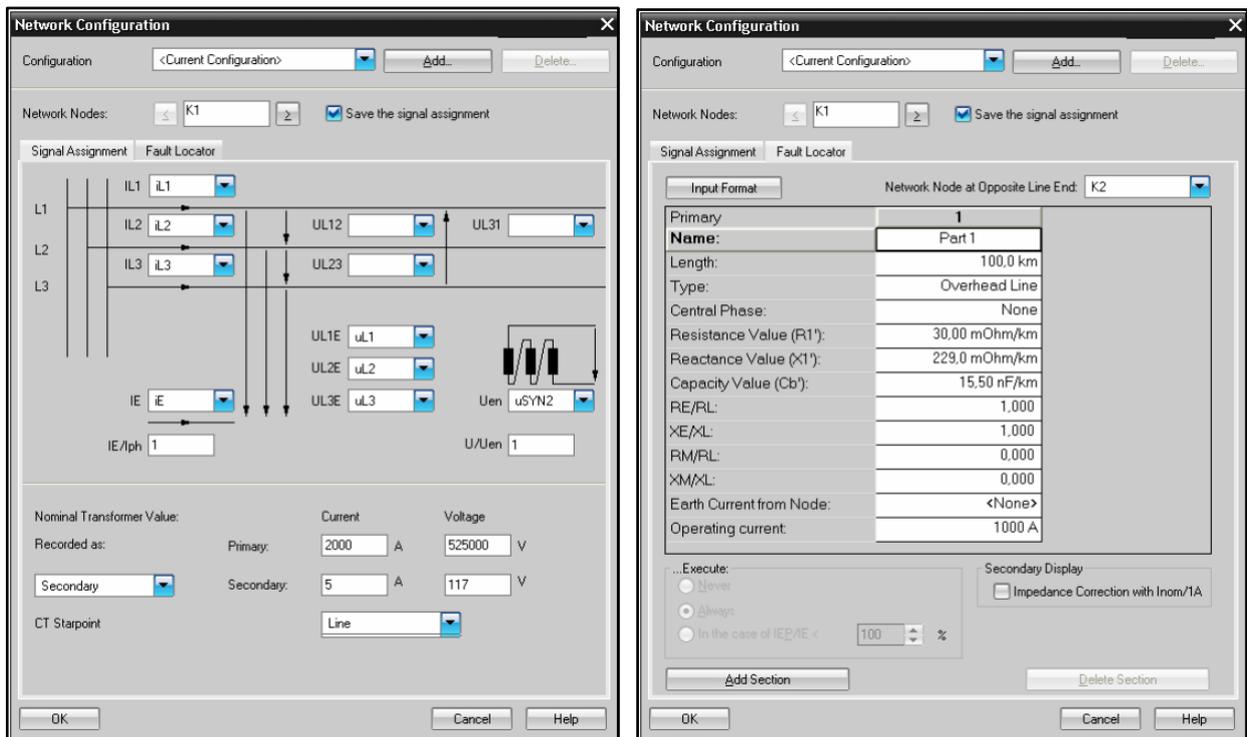


圖 3.4.3.1 線路配置、線路類型及阻抗參數設定圖

工作流程：

1. 故障記錄數據被分為不同的階段進行分析（如故障前、故障中和斷開）。

2. 利用阻抗法計算故障距離，並考慮不同線段的特性（例如電纜與架空線的混合段）。
3. 對於雙向方法，計算線路兩端的電壓曲線，故障點位於兩條曲線交叉的地方。

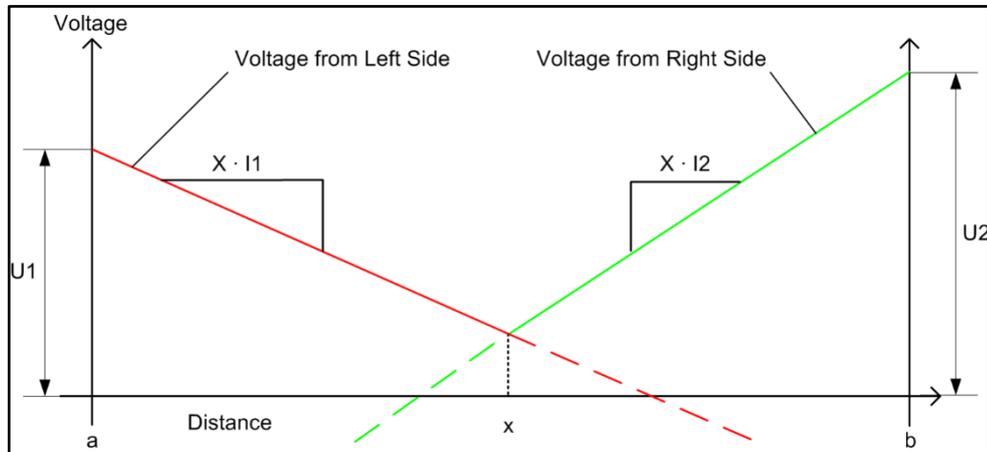


圖 3.4.3.1 故障點雙向電壓曲線示意圖

雙向故障定位的優勢：

- 適用於帶功率流動的線路以及高阻抗故障。
- 不依賴於精確的接地阻抗設定。
- 能夠考慮線路的非對稱性，提高定位準確度。

限制與注意：

- 當線路的測量誤差或非對稱性過大時，雙向故障定位結果可能被忽略，此時僅顯示單向定位結果。
- 雙重故障、非線路故障或源端故障的定位僅能使用單向方法。

肆、心得與建議：

隨著電力市場的轉型與能源結構調整，天然氣複循環機組已成為當前電力系統的核心設備。這些機組不僅以基載運行為主，還需應對尖峰負載的挑戰，其運行的穩定性與可靠性對系統供電安全至關重要。在這樣的背景下，如何利用數位化技術提升設備的保護與維護能力，成為當前發電廠亟待解決的關鍵問題。

本次實習重點在於學習 Siemens SIPROTEC 5 系統的保護功能與數位化維護應用，特別針對複循環機組中常見的電驛保護需求，如過電流保護、差動保護、頻率保護等核心功能。這些技術的應用大幅提升了設備在故障發生時的快速響應能力，透過即時故障檢測功能，系統能在毫秒內精確判斷故障類型與位置，並觸發相應的隔離措施，有效避免故障擴大。同時，詳細的故障記錄與波形捕捉功能，為後續故障原因分析提供了技術支持。此外，實習中對 SIPROTEC 5 系統的高擴展性和模組化設計有了深入了解，這些特性不僅滿足現有機組的運行需求，也能靈活應對未來設備更新與擴建的挑戰。

同時，此次實習也讓我見識到德國工業在精密技術與標準化執行方面的卓越表現，尤其是 Siemens Karlsruhe 工廠作為工業4.0自動化生產的典範，展示了先進的智能製造流程與高效的生產管理。然而，唯一感到惋惜的是，因工廠涉及產線與產品生產過程的機密性規定，無法進行攝影紀錄，未能完整保存此次參訪的資料。

特別感謝公司與長官們的栽培與支持，讓我有這次寶貴的機會參與國外的技術實習課程。不僅讓我學習到先進的設備技術與保護理念，也開拓了我的視野與眼界，讓我對數位化保護技術在現代電力系統中的應用，有了更深層的認識。此外，此次實習也讓我深刻體會到德國在工作上，所展現的嚴謹態度與追求卓越的精神。他們對每一個細節都秉持高度負責的態度，堅持精準與標準化的執行，不僅提升工作效率，也有效降低了因疏忽而可能導致的意外與風險，這樣的工作態度值得我們學習與借鑒。

在未來的工作中，我將以此次實習所得，應用於設備運行與維護之中。同時，我也努力將這種嚴謹務實的態度融入日常工作，與團隊共同推動機組的安全運行，進一步提升公司整體運作的穩定性與專業形象。

建議方面，公司應考慮以下幾點：

- 針對未升級設備進行更新規劃：發電機保護電驛 7UM6225 的功能已顯得相對落後，建議逐步升級至 SIPROTEC 5 系列，以統一系統架構，提升保護功能的數位化水平。
- 加強保護電驛相關技術培訓：隨著 SIPROTEC 5 的應用逐步擴大，操作與

維護人員需具備更多數位化設備的操作能力與故障處理技能。

- 鼓勵同仁精進外語能力：在現代化的電力技術領域，許多技術文獻與操作手冊以原文（如英文或德文）撰寫，掌握外語能力有助於更快吸收原文資源與掌握最新技術動態。建議公司鼓勵同仁提升外語能力，並適時提供相關的培訓課程或資源支持，幫助員工縮短與國際技術接軌的距離。

- 支持出國學習並加強人才培養：出國學習不僅能讓員工掌握先進技術，也能開拓國際視野，提升整體競爭力。建議公司持續提供員工參與國外技術交流或實習的機會，並針對表現優異的員工，提供更多專業培養與成長計畫，以塑造高效且專業的技術團隊。

雖然此次實習提供了深入學習 SIPROTEC 系統的機會，但部分內容仍需與現場情況進行匹配與驗證，特別是在實際運行中，各項參數設定需要根據現場條件進行調整，希望未來通過現場實務與理論學習的結合，能讓機組可靠度提升達到穩定供電的宗旨。

伍、參考文獻：

- (一) SIEMENS, " SIPROTEC Fault Record Analysis SIGRA 4"
- (二) SIEMENS, " Training_Manual_Hsinta "
- (三) SIEMENS, " SIP 5_Operating_Manual-V4"
- (四) SIEMENS, " SIPROTEC 5 Description Hardware"
- (五) SIEMENS, " SIP 4_SYSTEM_MANUAL"
- (六) SIEMENS, " 7SJ80, 7UM62xx, 7UT8x, 7VE6xxx Manual"