

出國報告（出國類別：實習）

分散式控制暨資料收集系統 (DCDAS)設備更新研習

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：林佑勳 儀電工程監

派赴國家/地區：美國/休士頓

出國期間：113年7月7日至113日8月4日

報告日期：113年9月3日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：台中電廠新建燃氣機組計畫-分散式控制暨資料收集系統(DCDAS)
設備更新研習

頁數 35 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)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：林佑勳/台灣電力公司/核能火力發電工程處/儀電工程監/(02)2322-9527

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 開會 6 其他

出國期間：113年7月7日至113年8月4日

派赴國家/地區：美國/休士頓

報告日期：113年9月3日

關鍵詞：分散式控制暨資料收集系統(DCDAS)

內容摘要：(二百至三百字)

GE 公司於 1960 年代設計了 Mark I 控制系統，用於控制氣渦輪機，隨著製程控制要求及技術進步，Mark I 至現今 Mark VIe，歷經了多次系統演進，從以繼電器連接做簡單邏輯控制，至以微處理器軟體程序實現複雜邏輯控制，並逐步加入系統備援、監視、分析等功能，系統架構也從原先集中式控制架構設計演變至現代的分散式控制系統架構。

本報告記錄我於美國休士頓通用電力服務學習中心（GE Vernova Power Services Houston Learning Center, HLC）參加「台中電廠新建燃氣機組計畫」分散式控制暨資料收集系統(DCDAS 設備更新研習內容與心得；報告以研習內容為基礎，說明 GE Mark VIe 控制系統整體組成元件概述、各項硬體組件功用、軟體操作環境與程式編輯、系統備援及通訊網路架構。

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

目錄

一、研習目的與過程.....	1
(一) 目的.....	1
(二) 過程（研習日期、前往機構及研習內容）.....	1
二、研習內容.....	1
(一) DCDAS 控制系統概論.....	1
(二) Mark VIe 控制系統簡介.....	2
(三) Mark VIe 控制系統組成元件概述.....	2
(四) Mark VIe 控制系統硬體介紹.....	5
(五) Mark VIe 控制系統軟體介紹.....	11
(六) Mark VIe 控制系統備援架構.....	23
(七) Mark VIe 控制系統通訊架構.....	25
三、出國期間所遭遇之困難與特殊事項.....	33
四、研習心得、感想及對公司之具體建議.....	34
(一) 建廠初期提供雲端或本地模擬器的可行性.....	34
(二) 增加硬體維護實作與團隊學習.....	34
(三) 合約中增加廠商派駐專業人員及罰款條款.....	34
五、參考資料.....	35

一、研習目的與過程

(一) 目的

本次研習係依據台中電廠新建燃氣機組計畫 1 至 2 號機複循環發電機組設備及其廠房與相關設施採購帶安裝案合約技術規範第 16.4.1 節 Overseas Training 規定，EPC 廠商 GE 應辦理 DCDAS 海外研習項目，由台電公司派員赴 GE 休士頓學習中心參加分散式控制暨資料收集系統（DCDAS）設備研習。藉此研習，可實際參訪 GE 學習中心的先進儀控設備並與 GE 工程師進行交流，以深入瞭解發電機組 GE Mark VIe 分散式控制暨資料收集系統的規劃設計、功能特性、系統架構、組成元件、網路通訊以及人機界面操作…等各方面知識，期許對日後運轉廠區控制系統及未來設備的規格評估與引進能有所助益；藉此研習，可於模擬發電廠製程環境下操作控制系統以習得如下列技能：

1. 硬體和維護技能：設備維護、故障排除、更換和檢查電路及組件。
2. 軟體修改技能：DCDAS 系統設定、程式修改、應用邏輯及操作圖形界面。

(二) 過程（研習日期、前往機構及研習內容）

起 訖 日	機 構 名 稱 及 實 習 內 容
113 年 7 月 7 日	赴美國休士頓
113 年 7 月 8 日至 113 年 7 月 16 日	熱帶風暴貝羅（Beryl）襲擊休士頓，造成 GE Vernova Houston Learning Center 停電，GE 暫停授課課程； 7 月 15 日恢復電力，GE 進行內部安檢後再恢復授課課程。
113 年 7 月 17 日至 113 年 7 月 24 日	於 GE Vernova Houston Learning Center 進行 Control System-Mark VIe Maintenance(Extended)研習課程
113 年 7 月 25 日至 113 年 8 月 2 日	於 GE Vernova Houston Learning Center 進行 Control System-Mark VIe Distributed Control System 研習課程
113 年 8 月 3 日	返台灣台北

二、研習內容

(一) DCDAS 控制系統概論

分散式控制暨資料收集系統（Distributed Control and Data Acquisition System）簡稱 DCDAS，為一種在工業自動化領域廣泛應用的控制系統架構，其主要特點為控制功能和控制設備分散在製程系統的多個部分，而不是集中在單一的控制單

元中，控制系統之控制器可與現場連結模組分散在廠區不同區域，有助提高系統的可靠性和可擴充性，而系統的操作可集中在中央控制室，有集中監視、操作及管理、但控制器分散之特性。

(二) Mark VIe 控制系統簡介

Mark VIe Distributed Control System (DCS) 是由 GE (通用電氣) 推出的一種先進的分散式控制系統，主要應用於工業自動化、製程程序控制與保護，應用範圍涵蓋發電廠之蒸汽輪機、燃氣輪機、風力渦輪機、海水淡化、氣體壓縮以及其他設施系統至製造業等多個領域，以下是 Mark VIe DCS 的一些主要特點：

1. 分散式架構：Mark VIe DCS 具有分散式控制的架構，使得控制功能分布在多個控制單元上，可將 I/O 模組放置在更靠近受控設備位置及控制器和設備間提供高效能的傳輸數據，提高了系統的可靠性和可擴充性。
2. 高可靠性：系統設計考慮到系統備援和故障容忍，確保即使部分元件發生故障，系統仍能穩定運行，減少停機時間。
3. 靈活性和擴充性：Mark VIe 提供高度的靈活性，可以根據需要進行系統擴充和功能調整，以適應不同規模和類型的工業應用。
4. 先進的界面：配備了現代化的人機界面 (HMI)，使用戶可以直觀地監控和操作系統，提高了操作的便捷性和效率。
5. 強大的數據處理能力：Mark VIe DCS 能夠處理大量的即時數據，並提供高效的數據分析和報告功能，支持精確的控制和優化。
6. 系統整合：與其他系統和設備的整合能力強，支持多種通訊協定和標準，方便與現有的系統架構兼容。

(三) Mark VIe 控制系統組成元件概述

Mark VIe 控制系統主要由下列硬體、軟體元件組成，如下圖，硬體元件分別為：

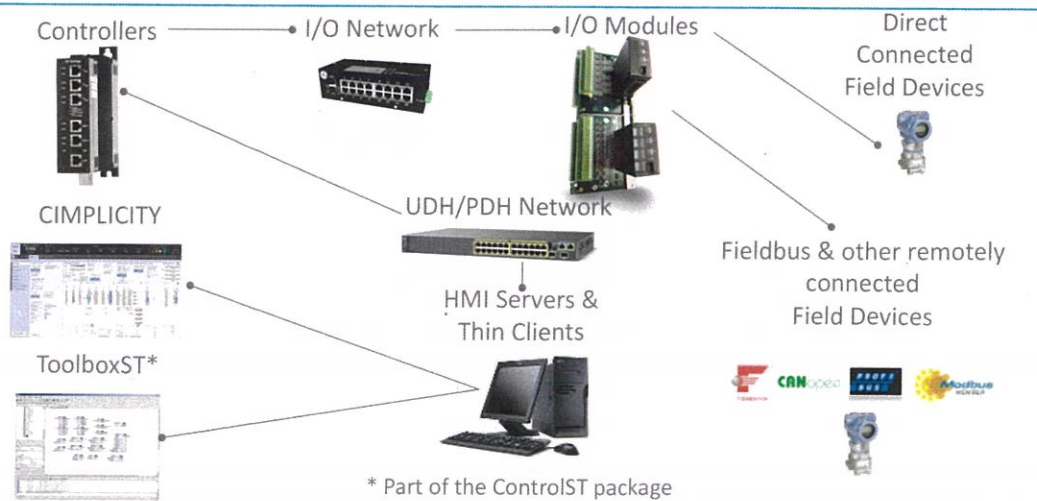
1. 控制器 (Controllers)
2. IONet 交換器 (IONet switch, I/O Network Switch)
3. I/O 模組 (I/O Modules)
4. UDH/PDH 交換機 (UPH/PDH Network Switch)
5. 現場設備 (Field Devices) 及人機界面 (HMI Servers & Thin Clients)

軟體元件分別為：

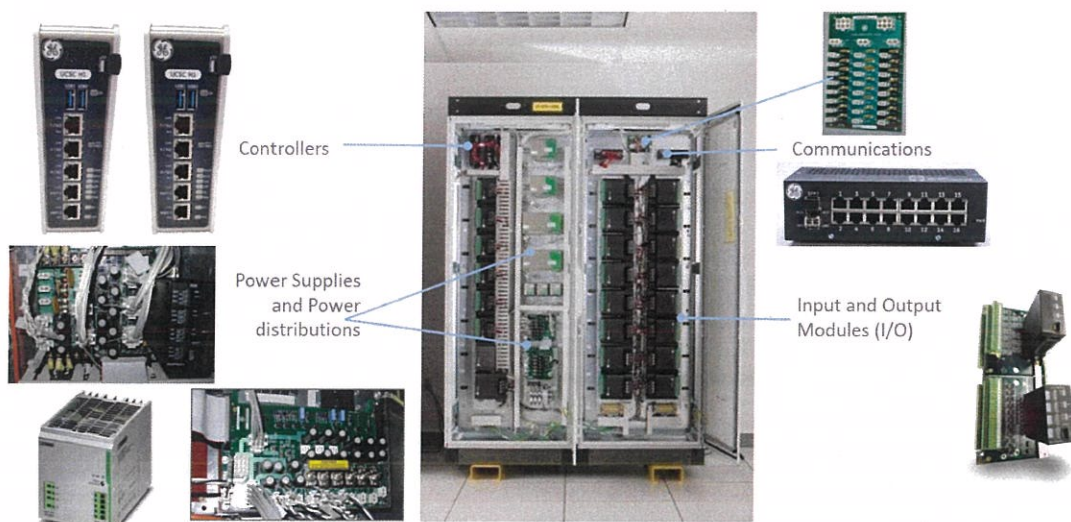
1. ToolboxST 應用程式
2. CIMPLICITY 套裝軟體

上述硬體、軟體元件組成控制系統架構，如下圖：

Overview Components



Mark VIe 硬體元件之控制器、IONet 交換器、I/O 模組及電源供應器（Power Supplies）通常一同置放於 Mark VIe 機櫃中，如下圖。

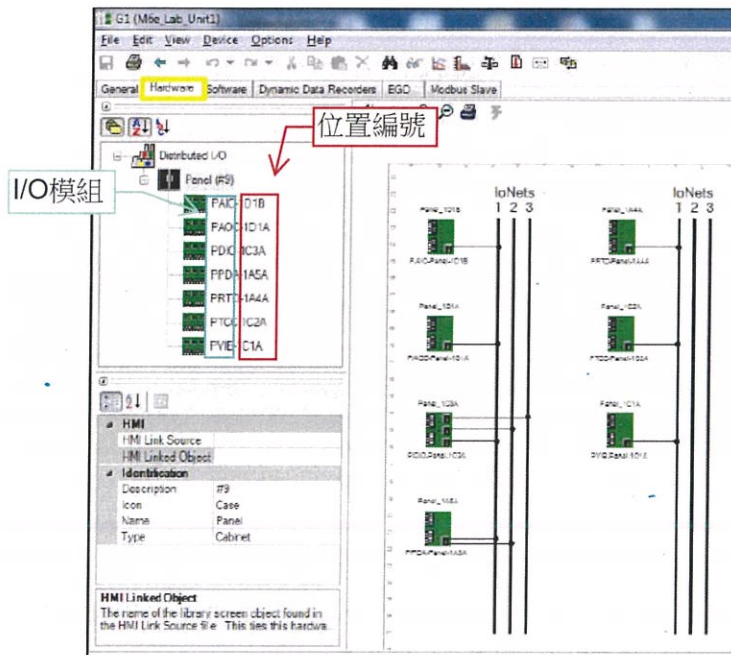


GE 為使 I/O 模組於 Mark VIe 控制盤內部容易識別及查找維修，將機櫃內部位置如同網格切分，以各位置編號命名，當 I/O 模組安裝機櫃時，I/O 模組旁均標示位置編號，且以電腦軟體設置該 I/O 模組時，I/O 模組編號後亦夾帶位置編號，其位置編號命名方法如下敘述及範例圖片：

第 1 個編號為數字，若為 1，代表 I/O 模組位於機櫃背板中的第 1 層。

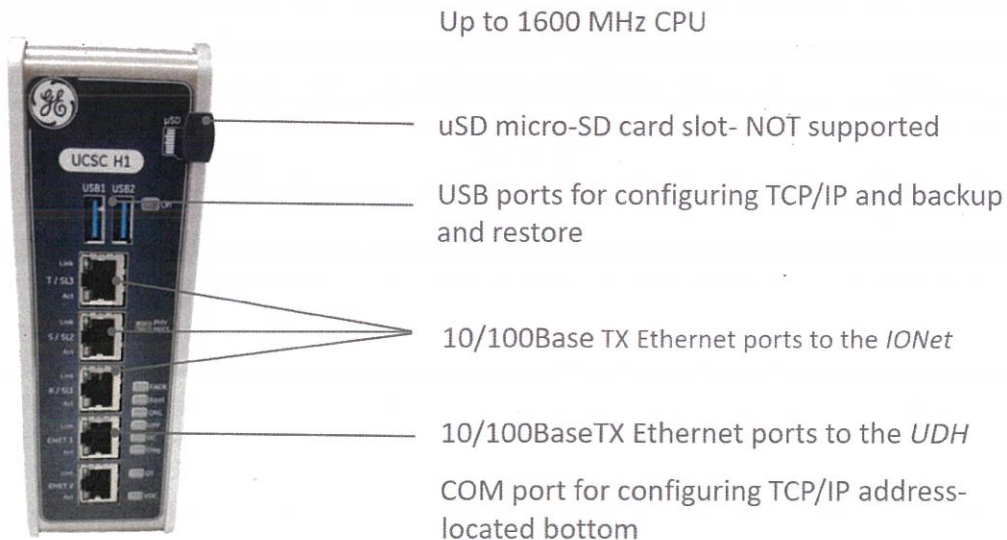
第 2 個編號為英文字母，若為 A，代表 I/O 模組位於機櫃直行（Column）中的第 A 行；若為 B，代表 I/O 模組位於機櫃直行中的第 B 行。

第 3 個編號為數字，若為 1，代表 I/O 模組位於機櫃橫列（Row）中的第 1 列；

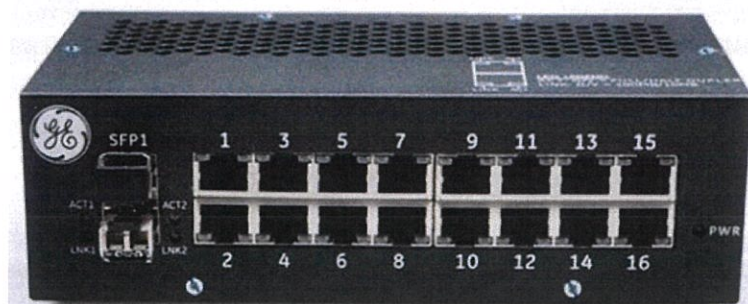


(四) Mark VIe 控制系統硬體介紹

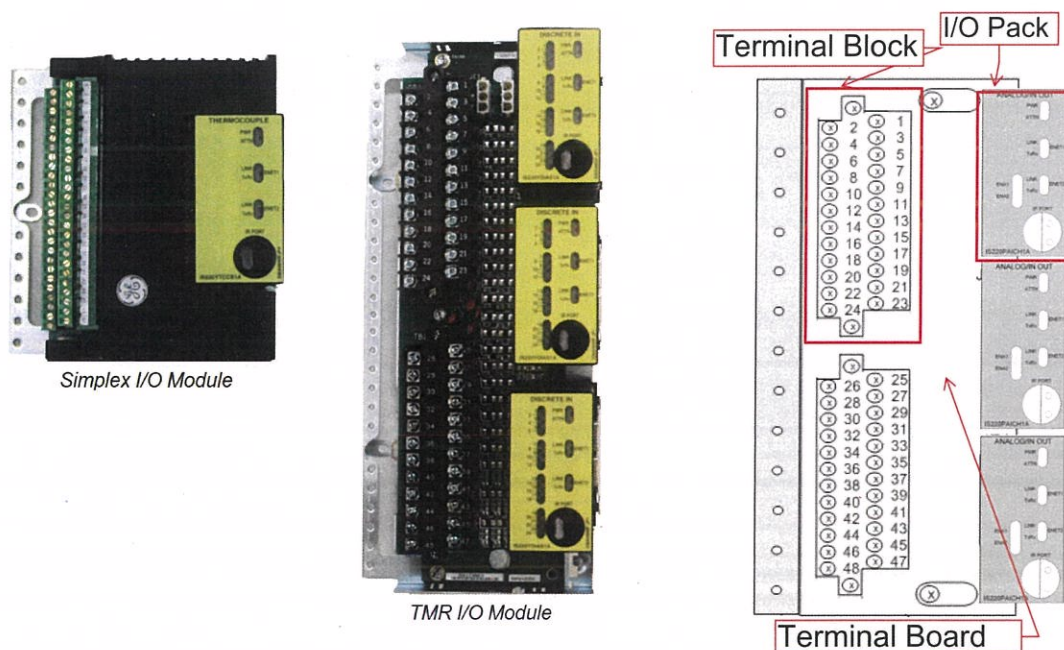
1. 控制器 (Controllers)：Mark VIe Controllers 負責執行控制邏輯程式，控制器透過執行 ControlST 軟體程式，為發電廠製程系統、渦輪機、發電機勵磁控制及其他設備提供通用的軟體環境，以簡化操作和維護。電廠製程數據透過 IONet 在控制系統資料庫和控制器之間傳輸，IONet 所傳輸的數據包括對 I/O Pack 的輸入/輸出數據，下圖顯示為 GE 公司的 UCSC 控制器外觀及其簡介：



2. IONet 交換器 (IONet switches)：為乙太網路，IONet 交換器傳輸 I/O 模組上的 IO Packs 和控制器之間的資訊。IONet 交換器外觀如下圖：



3. I/O 模組 (I/O Module)：包括 3 個基本元件接線端子板 (Terminal Board)、接線端子台 (Terminal Block) 和 I/O Packs，I/O 模組外觀如下圖：



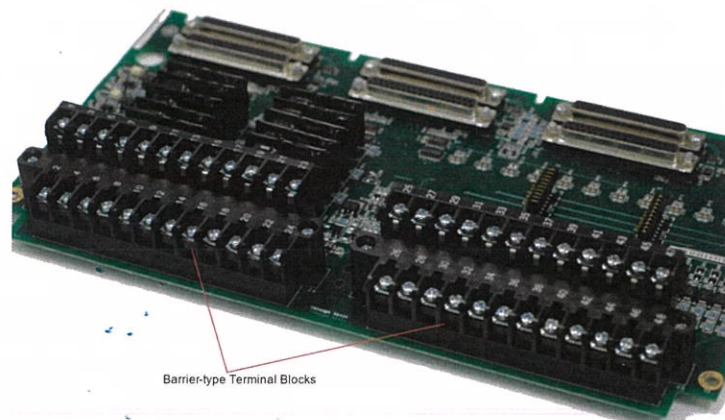
(1) 接線端子板 (Terminal Board)：功能為承載 I/O 接線的接線端子台、I/O Packs 及其他硬體 (如 Relay) …等，以提供輸入隔離和保護，現場設備藉由訊號線連接接線端子板上的接線端子台以傳輸訊號。

(2) 接線端子台 (Terminal Block)：GE 提供 2 種形式的接線端子台，分別為 T-type 接線端子板與 S-type 接線端子板；

T-type 接線端子台：

為隔離式端子台，每個端子台每點可接受兩條 3.0 公釐 (#12AWG) 導線，絕緣電壓為 300 伏，並帶有叉形或環形接線片。

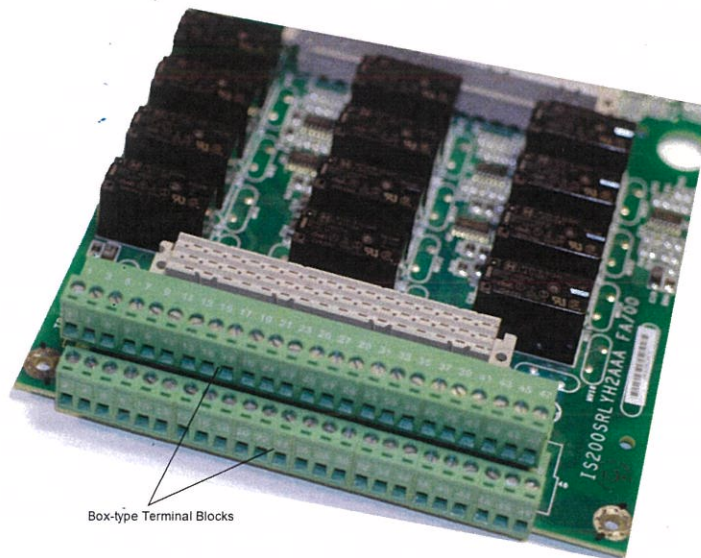
每個點可接受 2 根 12 號美國線規 (AWG) 線



T-type terminal board with Barrier-type terminal blocks

S-type 接線端子台：

為盒式端子台，每個點可接受 1 根 12 號美國線規（AWG）或 2 根 14 號美國線規線



S-type terminal board with Box-type terminal blocks

- (3) I/O Packs：功能為將實際輸入信號（電流、電壓或電阻）轉換成數位訊號。I/O Packs 有一個通用的處理器板和一個資料獲取板，每個接線端子板上的 I/O Packs 將 I/O 變數數位化、執行演算法並與控制器通訊。I/O Packs 通過資料獲取板上的特殊電路與中央處理器（CPU）板上運行的軟體相結合，提供故障檢測功能。故障狀態被傳送至控制器並供控制器使用；如果連接網路界面，I/O Pack 可在兩個網路界面上傳輸輸入和接收輸出。每個 I/O Pack 還會根據

要求向 Main Controller 發送識別資訊 (ID packet, ID 封包), 該封包資料包含 I/O 板的硬體目錄編號、硬體修訂版本、端子板條碼序號、韌體目錄編號和韌體版本。I/O Pack 有一個溫度感測器, 精度在 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ($\pm 3.6^{\circ}\text{F}$) 以內, 資料庫中可提供每個 I/O Pack 的溫度, 並可用於產生警報, I/O Pack 外觀如下圖。



每種不同型號的 I/O Pack 都有特定的功能, 例加 Analog Input, Analog Output, Discrete I/O, Thermocouple Inputs..., I/O Packs 型號及功能如下列表:

PAIC Analog I/O (10 inputs / 2 outputs)

PAOC Analog Outputs (8)

PDIA Contact Inputs (24)

PDIO Discrete I/O (24 contact inputs / 12 contact outputs)

PDOA Relay Outputs (12)

PFFA Interface to Foundation Fieldbus

PPRF Interface to Process Field Bus (Profibus)

PCNO Interface to Controller Area Network (CAN bus)

PSCA Interface to Serial Communications networks

PTUR Speed, Shaft voltage, shaft current & frequency, Gen & Bus voltage Inputs.

ETR Outputs

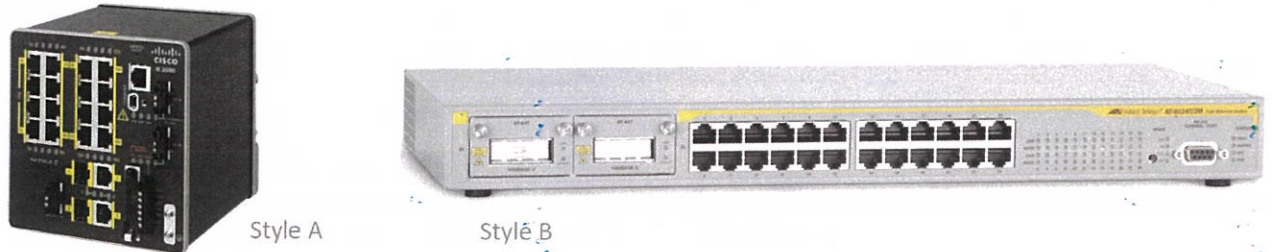
PPRO* Speed, Gen & Bus voltage, E-Stop, ETR Status Inputs

PTCC Thermocouple Inputs (12)

PVIB Vibration Inputs

4. UDH/PDH 交換機 (UPH/PDH Network Switch): UDH*和 PDH*網路使用 VLAN

(虛擬區域網路)的快速乙太網路交換機，兩個交換機可通過互連電纜實現備援，GE 提供 Style A 及 Style B 共 2 種交換器以滿足控制盤體內部空間設置需求，如下圖：



在控制系統 I/O Network 中只能使用經 GE 認證支援的乙太網路交換機，無支援的網路交換機將導致 I/O 模組無法接收控制器輸出。

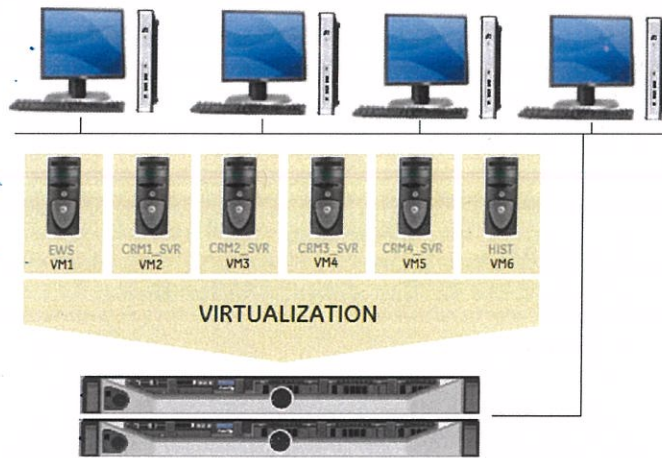
註*：

1. UDH (Unit Data Highway, 機組網路)：UDH 為乙太網路，是 GE 設備之間相互傳輸資訊的網路，用於連接發電廠控制系統的控制器、I/O 模組及監控站，UDH 使用乙太網路交換機以網狀架構連接，通常網路架構有設有 2 個 UDH 用於備援，以避免因單一網路設備故障無法取得資料對廠區進行監視及調控制程，進而導致整廠需強制關閉情形。其 UDH 網路中使用的網路協定之一為 EGD (Ethernet Global Data, 乙太網路全域資料)，UDH 上的 EGD 協定是一種用在控制系統各元件傳遞資料的機制，EGD 允許在不同元件之間透過乙太網路相互傳輸資料，這些元件包含控制器、I/O 模組、人機界面或其他系統元件。EGD 作為重要的通訊協定，廣泛應用於連接控制系統的各個組成部分，從而實現整體系統的協調運作和資料共享。
2. PDH (Plant Data Highway, 廠級網路)：PDH 為乙太網路，用於連接 HMI 伺服器、其他人機界面 (HMI)、印表機、歷史記錄器及非 GE 設備進行資訊通訊…等，其他網路安全管理設備也可以設置於 PDH 上。PDH 與 Mark VIe 控制器並沒有直接連接。
5. HMI (人機界面)：提供操作界面以查看 Mark VIe 控制系統資訊。Mark VIe 控制系統的操作界面透過使用 Windows 作業系統的電腦，使用 CIMPLICITY 圖形化使用者界面及 ControlST*應用程式，藉由透過乙太網路與 Mark VIe 控制器通訊，HMI 主要功能為提供：
 - (1) 動態圖形 (CIMPLICITY Active Point)
 - (2) 警報顯示

(3) 趨勢圖

(4) 人機界面訪問權限安全

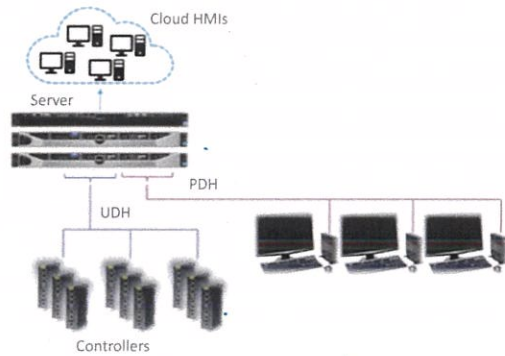
GE 為 HMI 架構提供一種簡化的架構，以滿足電廠 HMI 使用者和維護人員的需求，採用基於整合式伺服器之 Thin Client 解決方案，可輕鬆進行擴充，整合式伺服器省去了多台 Thick Client PC，可減輕發電廠的維護工作，簡化軟體配置管理，並降低與人機界面系統相關的生命週期成本，如下圖所示：



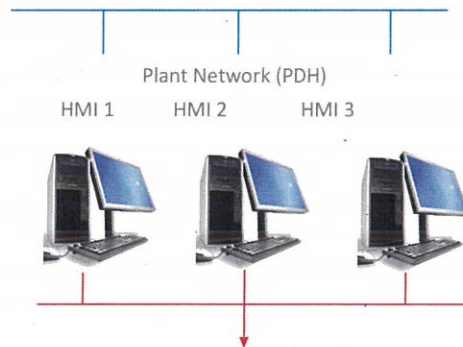
下圖提供簡化 HMI 配置 Thin Client 與傳統 HMI 配置 Thick Client 的架構比較

Thin Client vs. Thick Client

Thin Client



Thick Client



註*：

ControlST 套裝軟體是一套基於 Windows 作業系統的應用程式，可為 Mark VIe 控制系統提供軟體控制，適用於廣泛的應用場景，包括熱能發電、核能、石油和天然氣、風能、太陽能和水力發電等。這些多樣化的應用包括從渦輪發電機到整個工廠的控制、監控和保護。這些高性能應用程式和工具由操作員和維護人員用

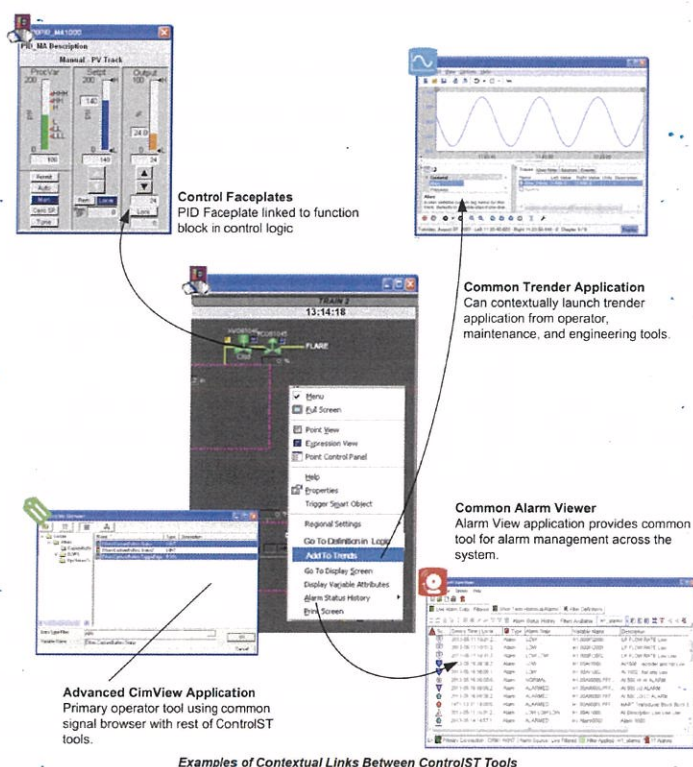
於通訊、監控和資產管理，包括：

- ToolboxST設置和診斷軟體
- WorkstationST人機界面（HMI）和歷史記錄管理
- Trender過程數據（趨勢圖）

使用ControlST及其用戶界面有下列優點：

- 工具之間的右鍵點擊上下文連結
- 共同的變數數據庫
- 設計、構建、測試和記錄使成為一個系統。

下圖為ControlST工具之間的上下文連結範例，單一畫面點選元件就可以連結元件相關資訊，如控制面板、趨勢圖、Alarm觀看圖及其他圖形畫面應用程式。



出處：GEI-100694_ControlST Software Suite Installation, Upgrade, and Compatibility Guide

(五) Mark VIe 控制系統軟體介紹

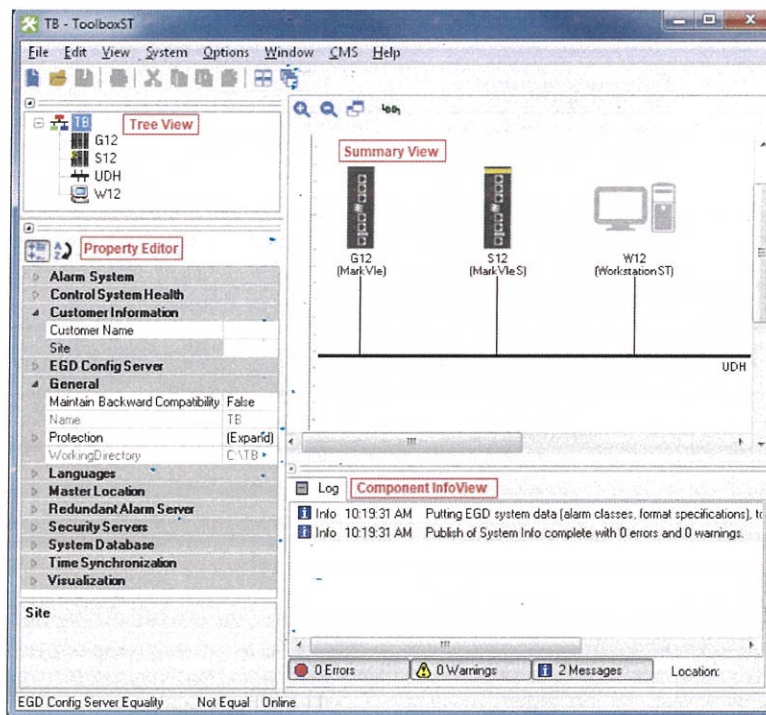
1. ToolboxST應用程式

Mark VIe控制器負責執行控制邏輯程式，控制器透過執行ControlST軟體程式提供全廠系統不同設備下，一個通用的軟體環境，而ToolboxST（ST, System Technology）為GE ControlST套裝軟體平台的一部分，用於從I/O模組和控制器到操作站和網絡配置硬體和控制軟體設定、程式設計和維護Mark控制系統及其他相

關產品，ToolboxST為簡化瀏覽程式碼，使用功能區塊（FB）、順序功能圖（SFC）和梯形圖（LD）來顯示控制軟體。邏輯圖顯示了功能區塊之間的整體連接、內部區塊計算的狀態以及進出區塊的外部數據。為了簡化閱讀，區塊之間的連接使用顏色編碼，並用實線和虛線標示來區分模擬信號或布林信號、數據狀態和強制數據指示。另提供搜索工具以查找文件、覆蓋、差異和變數，並提供超連結交叉引用。ToolboxST的功能包括：

- (1) 系統元件布置
- (2) 設定、編輯和查看即時Mark系統控制系統應用程式碼
- (3) EGD編輯器
- (4) 硬體診斷警報提示
- (5) 密碼保護
- (6) 產生趨勢圖並有多項監看功能

當開啟ToolboxST系統時，系統編輯器提供了以下區域中所有設置元件的概覽，如下圖：



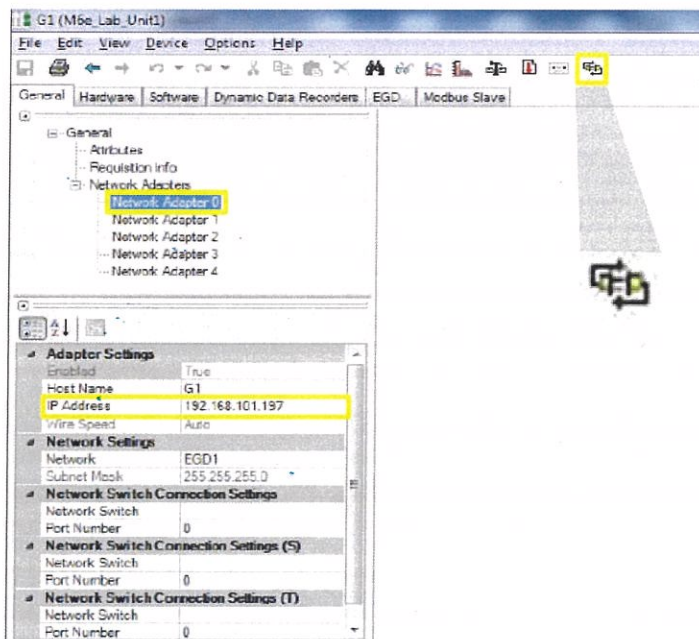
ToolboxST System with Configured Components

- (1) 樹狀視圖（Tree View）：列出系統中的所有組件和工具。
- (2) 屬性編輯器（Property Editor）：可在樹狀視圖中選擇進行系統後（例如G12控制器），設定所有系統屬性，網絡屬性也可以從屬性編輯器進行配置，元件屬性則在特定的組件編輯器中配置。
- (3) 摘要視圖（Summary View）：以圖形方式顯示系統中的所有元件和工具。
- (4) 元件訊息視圖（Component InfoView）：顯示特定的系統回饋信息。

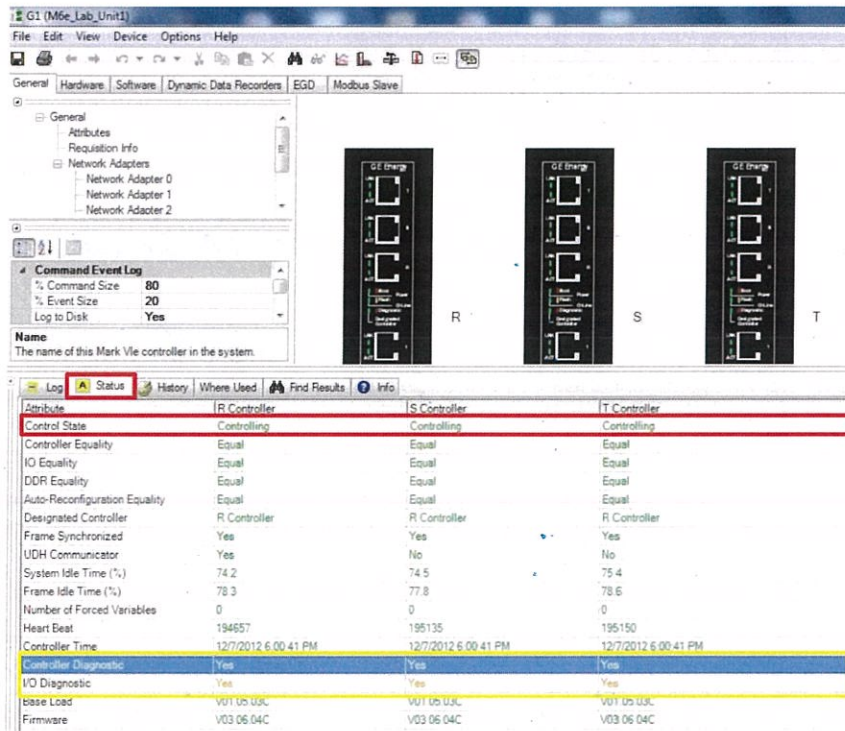
若需查看或編輯元件，可經由指向元件點擊滑鼠獲取元件相關數據，例如操作員欲得知G5控制器狀態，則點擊G5，如下圖：



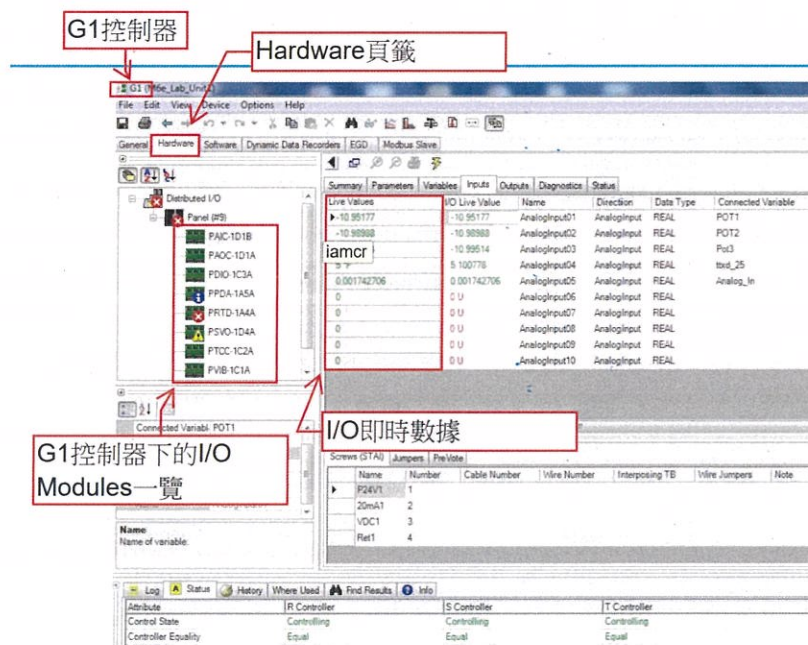
當進入ToolboxST應用程式時，程式為預設「Off Line」，與現場控制器是非連線狀態，為使ToolboxST與現場控制器連線以查看即時控制系統狀態，必須點擊「GO On/Off Line」圖示，如下圖：



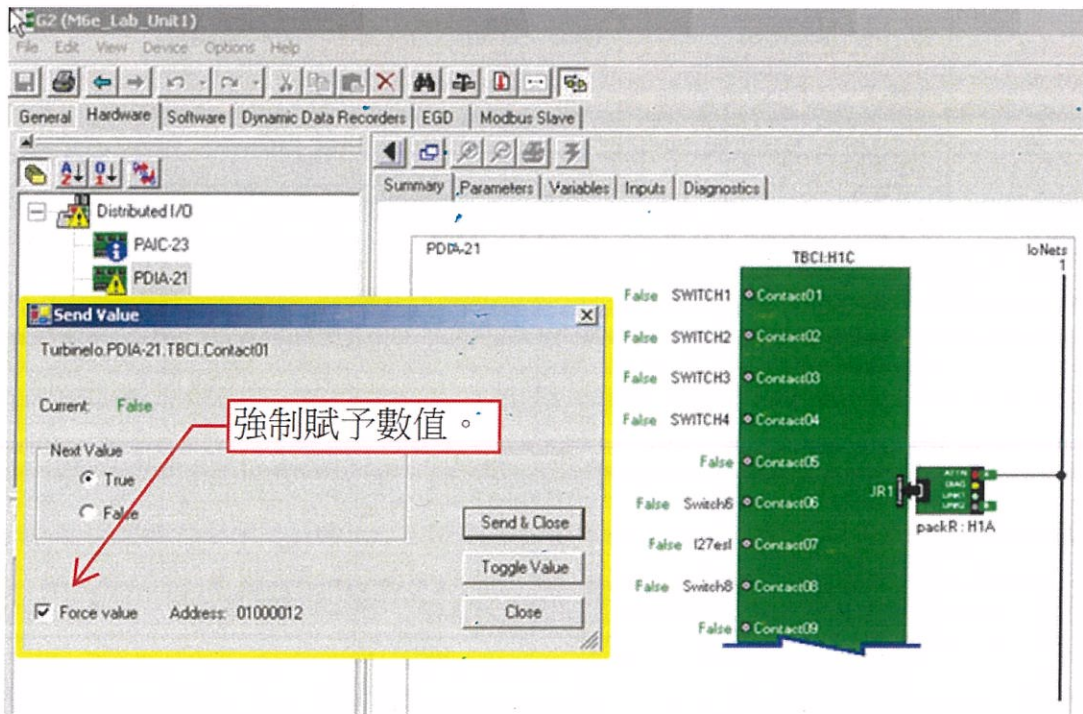
ToolboxST與現場控制器連線後，Component InfoView欄位即出現即時控制器狀態，如下圖：



若需得知控制器與那些I/O模組連線，則可點選Tab：Hardware頁籤，可出現與控制器連接的I/O模組一覽，也可知道I/O即時數據，如下圖：



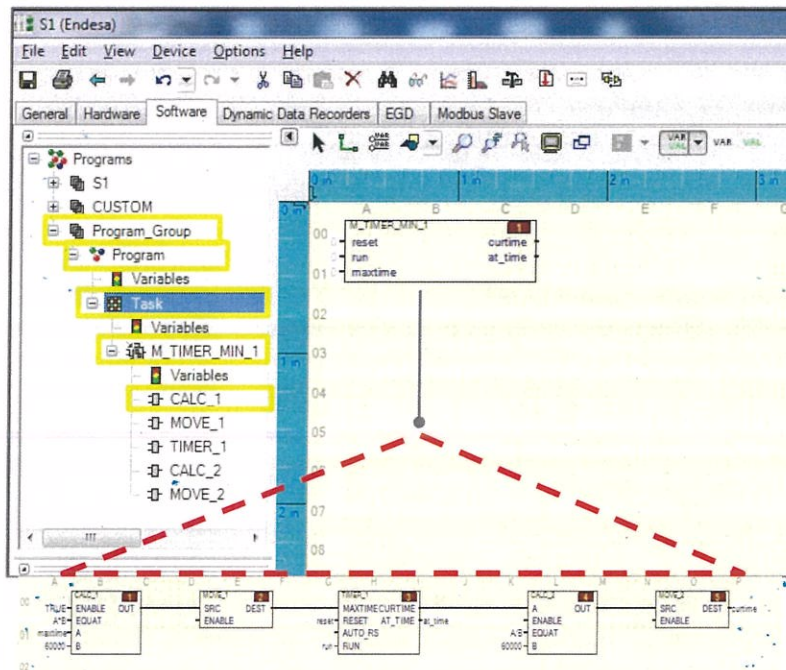
處於連線狀態下，ToolboxST亦可對I/O模組的即時連線數值作強制賦予數值（Force value）的動作，如下圖：



ToolboxST可進行軟體編輯以修改製程所需功能，在Mark VIe控制器中，program group, program, task, user block and function block構成了軟體配置的層次結構，從位階最基本元件至最高層級依序說明功能如下：

- (1)function block：function Block為編輯軟體的最基本元件，具有可輸入及輸出變數功能。多個Function Block可組成User Block以滿足更多使用者對功能要求。
- (2)user block：使用者定義的block稱為user block，user block是使用現有的function block以及其他user block所建立，user block存在於系統提供的Library Container中，使用者將現有function block預先編輯設定後，成為一個user block，user block的使用方法與function block相同，user block可被重複使用以減少軟體編輯時間。
- (3)task：由一個或多個function block和user block組成一個task，並依照順序執行程序。
- (4)program：由一個或多個task組成program，執行特定功能。
- (5)program group：為Program的集合，由多個program組成，program group建立於program之上的層級。

下圖即標示各層級於Tree View的排列，並顯示一個task是由多個function block組成。



在GE標準的GT、ST、BOP 或 DCS程式設計中使用程序組內的各種程序，每個程序執行一個功能，如下圖可看出：Boundary, FSRCompressor (FSR壓縮機), SensorModel (傳感器模型), SpeedLoadGrid_Custom (自定義速度負載網格), SpeedLoadIsland (速度負載島) 等程序，皆按照屬性編輯器中指定的順序執行，例如下圖中顯示的SpeedLoadIsland，就是program group “Core” 下，第5個執行的program。task和blocks在其program內部也遵循執行順序。

._Enable	BlockCPUticks	._Heartbeat	Execution Order
True	0	59718	1

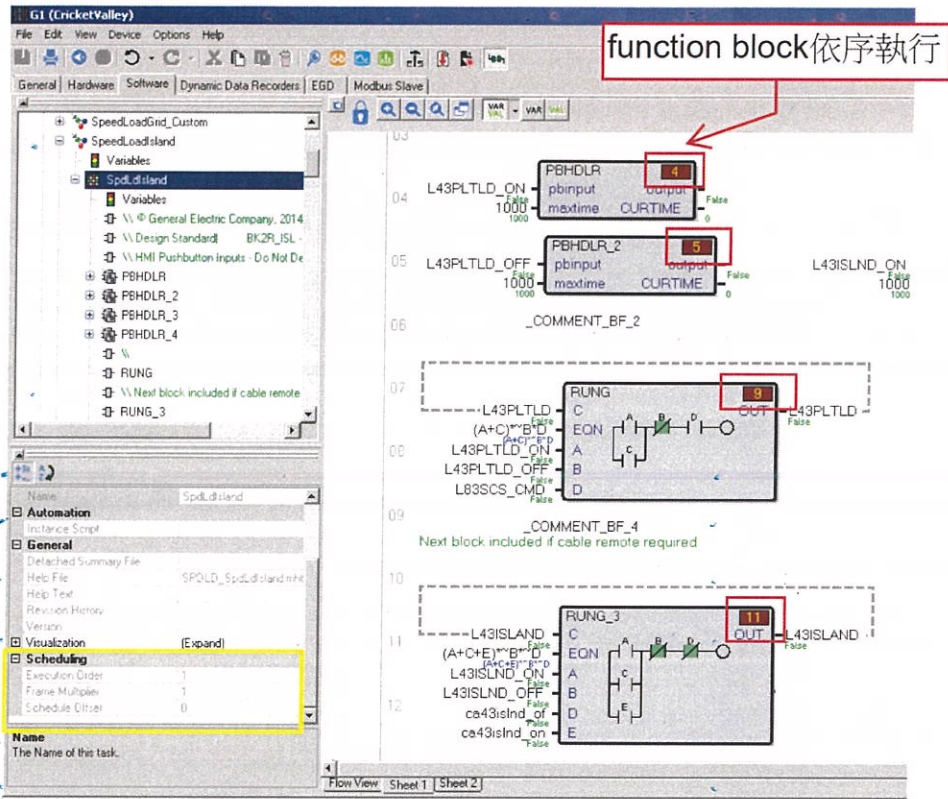
Access	
Unlink	False

Appearance	
Description	
Library Type	SpeedLoadIsland
Name	SpeedLoadIsland

General	
Help File	
Help Text	
Protection	(Expand)
Revision History	SpeedLoadIsland

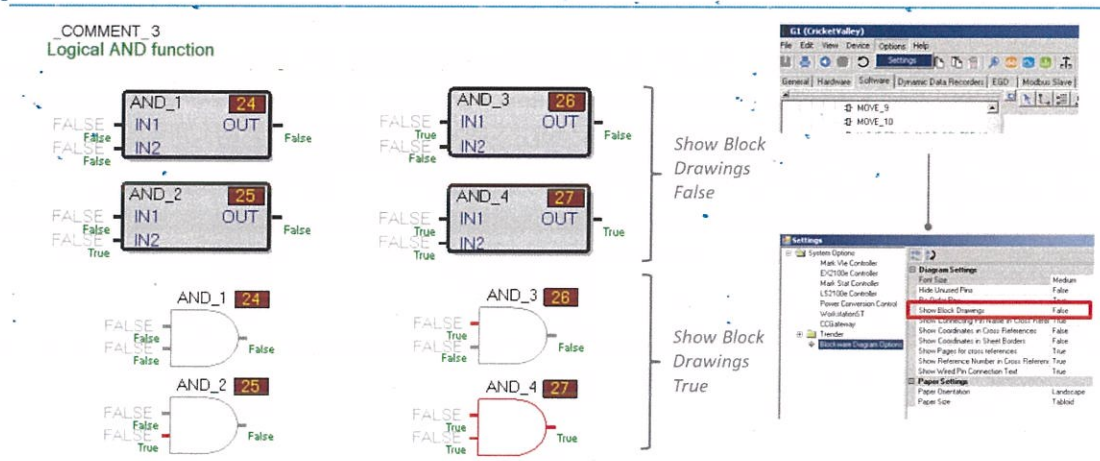
Scheduling	
Execution Order	5

★ This is the execution order for *Task SpdLdIsland*



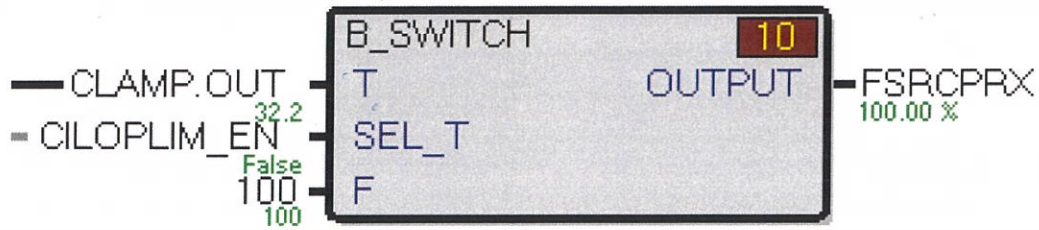
下圖顯示function block範例，說明ToolboxST可藉由功能設定以function block或以邏輯閘來方式顯示邏輯圖，以簡化使用者瀏覽邏輯圖及程式碼。

Software Configuration Common Function Blocks - AND



列舉2種常見function block，更多function block可參考GE原廠文件（GEI-100682_AM_Mark VIe Controller Standard Block Library及GEI-100691_Mark VIeS Safety Controller Block Library）：

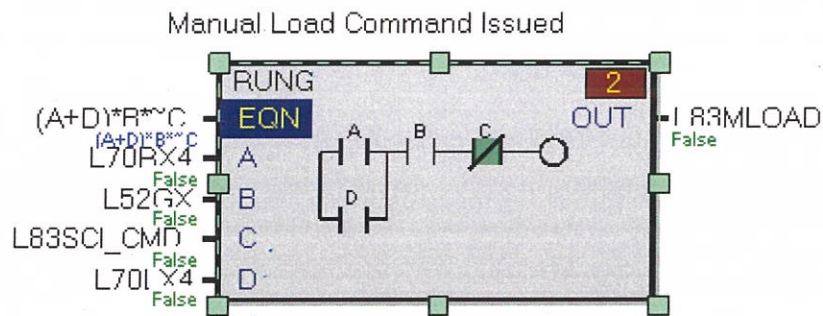
(1) B_Switch: 當SEL_T為True，則OUTPUT輸出T的資料；當SEL_T為False，則OUTPUT輸出F的資料。



(2) RUNG: 又稱RLD (Relay ladder diagram, 階梯圖)，RUNG最多可設計16個INPUT，解決最多有16個二進位輸入的布林方程式，並將結果放置在OUT。

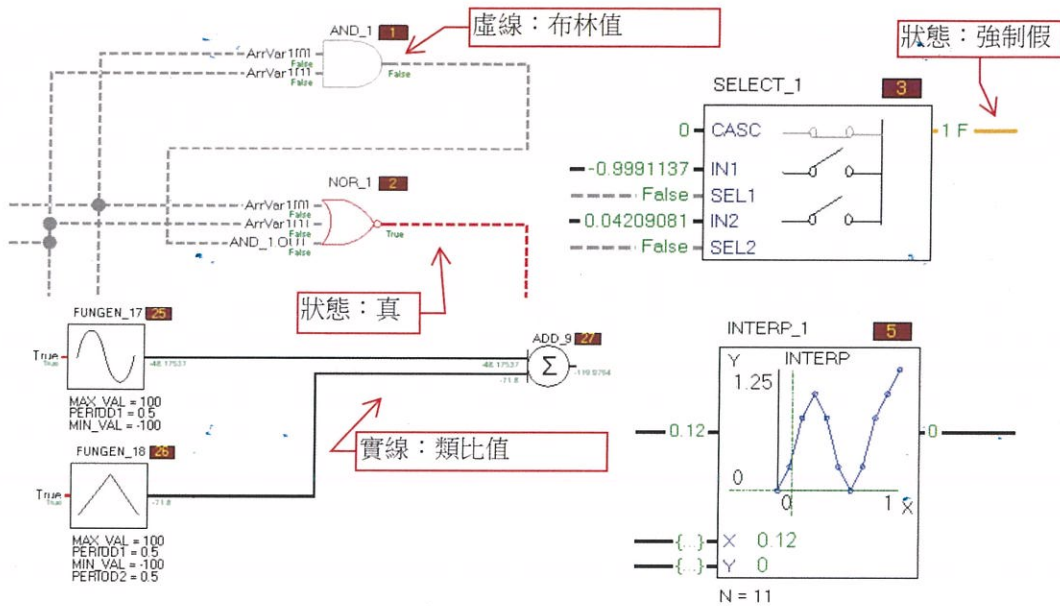
Binary equation below:

$$(A+D)*B*\sim C$$



Function blocks線條可提供值與狀態的表示，例如：布林function block使用虛線來指示它們是布林值；類比function block使用實線來指示它們具有類比值。function線條的顏色也用來指示線上狀態，如下表格及下圖範例：

方塊類型	線條類型	值	線條顏色	狀態
類比	實線	類比值	黑色	正常 (Normal)
			亮紅色	差 (Bad Quality)
數位	虛線	數位值	紅色	真 (True)
			灰色	假 (False)
			橙色	強制真 (Forced true)
			藍色	強制假 (Forced false)



出處：GEH-6700_AW_ToolboxST User Guide for Mark Controls Platform

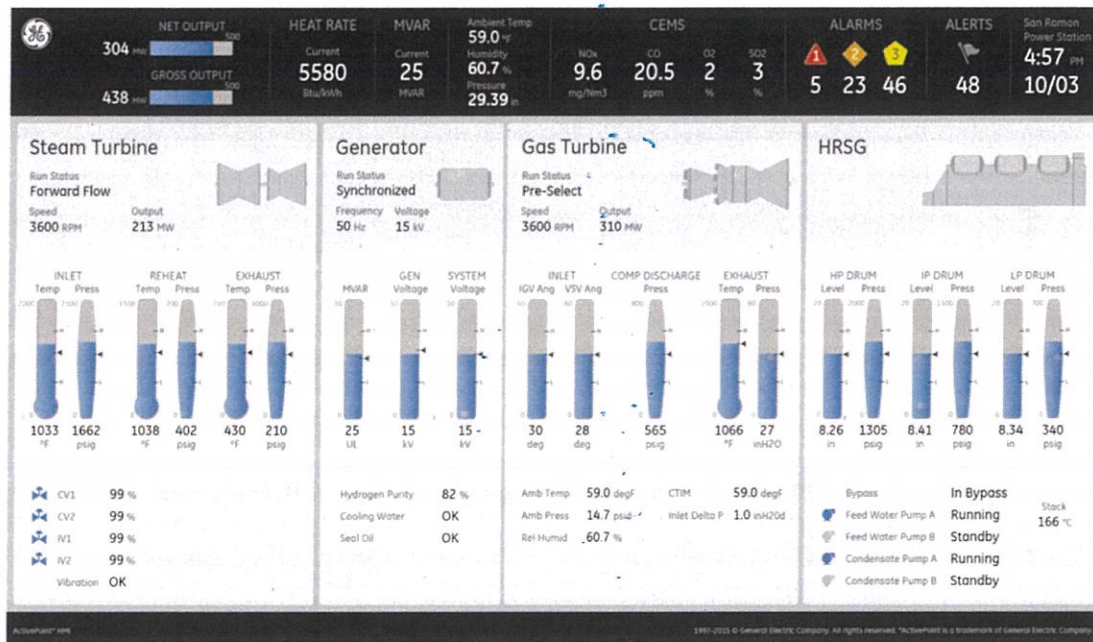
2. CIMPLICITY

CIMPLICITY是一款套裝軟體，能讓使用者建立圖形物件以表示程式碼或程式區塊，建立圖形界面來與Mark VIe控制器互動，並使用控制器中定義的變數，簡而言之，即為提供圖形化的操作界面，讓操作員可透過簡易的圖形即時監控運轉電廠，ActivePoint HMI是以CIMPLICITY為基礎的軟體，用於以圖形螢幕的方式將操作視覺化，可使用來控制渦輪機，ActivePoint HMI可接收來自控制器廣播到網路的變數，並以圖形方式呈現這些變數給使用者。

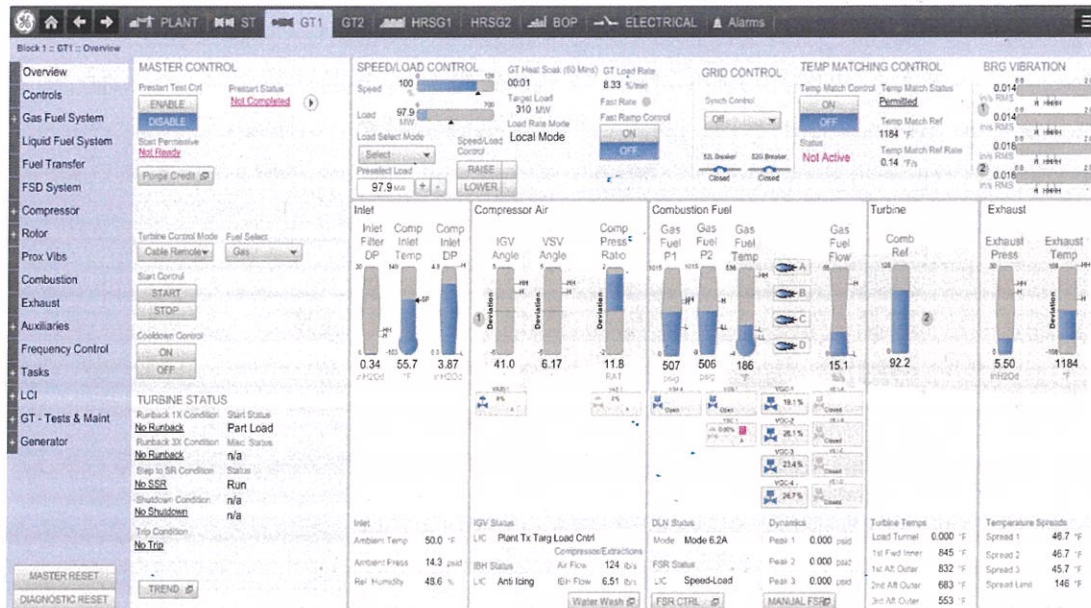
ActivePoint HMI主要功能如下：

- (1) 螢幕物件和階層分級：ActivePoint HMI螢幕包含各種物件，這些物件構成了HMI的階層結構。這些物件包括按鈕、感測器、設備和顯示設備狀態和值的視覺元素。下圖展示使用ActivePoint HMI監視整廠數據，可讓操作員以圖形方式監控及控制製程，提供對系統行為的洞察，並增強對警報和事件的管理。

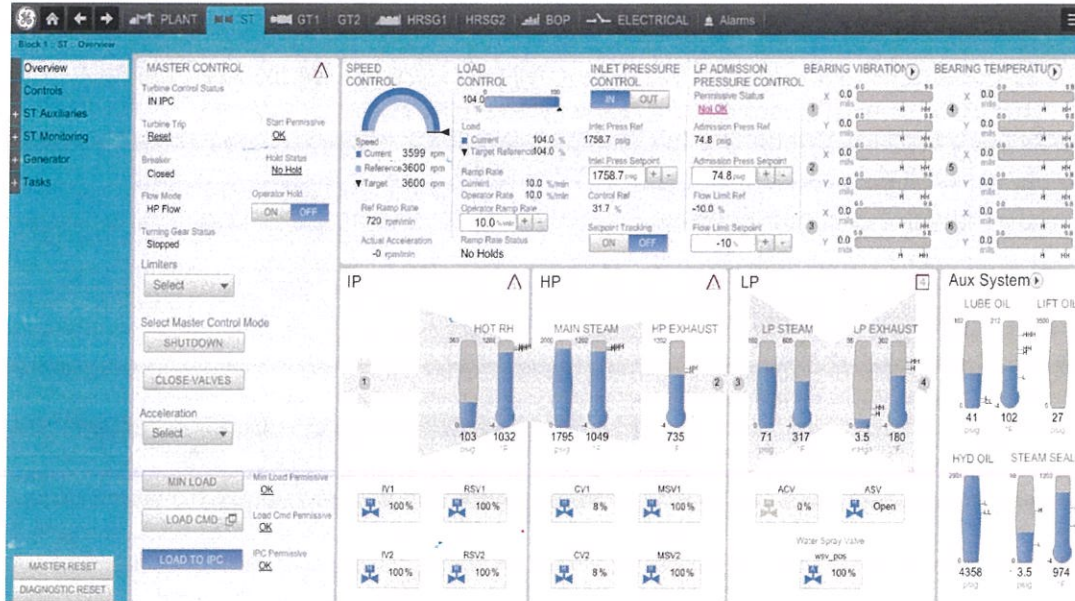
ActivePoint HMI Screen: Plant Overview



ActivePoint HMI Screen: Gas Turbine Overview



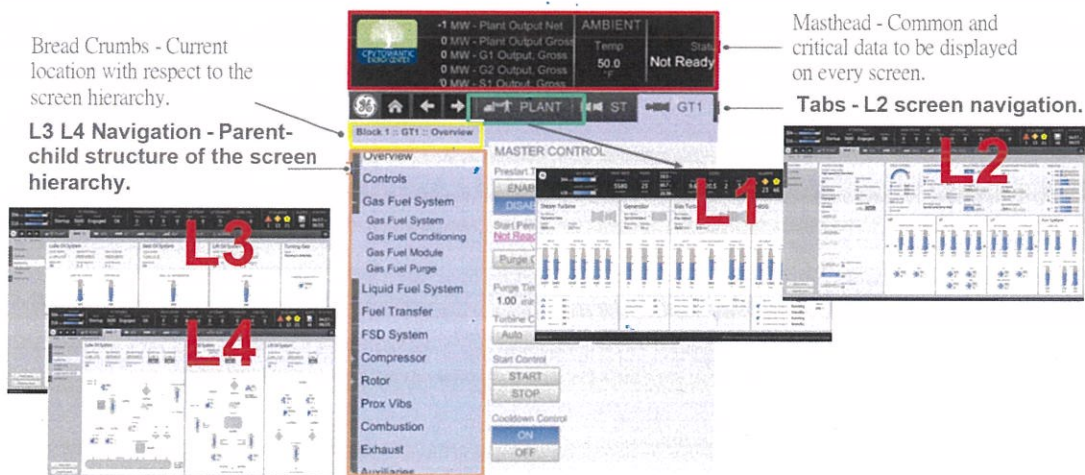
ActivePoint HMI Screen: Steam Turbine Overview



一個發電機組所有的HMI可能包含50個至200個以上螢幕畫面，為提高人員操作畫面導航的效率，GE ActivePoint HMI系統性的將螢幕畫面進行分類，階層分級，階層共分4級，從較高層級為顯示整廠重要資訊至較低層級的畫面逐步描述更多製程和/或設備細節，階層分級如下：

- 第1層 (Level 1)：顯示整廠資訊-用於牆面顯示，且不具有導航功能
- 第2層 (Level 2)：主要單元 (GT、ST、HRSG、BOP、電氣和發電機)
- 第3層 (Level 3)：各單元的主要系統/子系統
- 第4層 (Level 4)：子系統/單獨設備或裝置

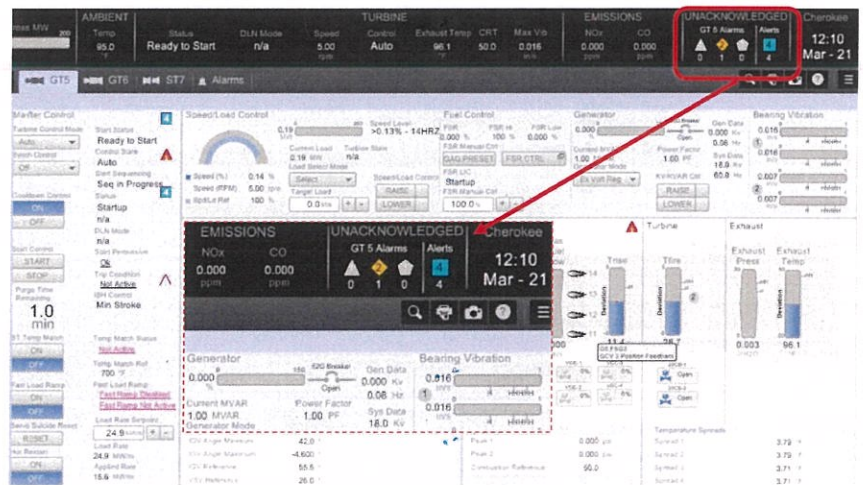
依下圖導航位置進行操作，可更直覺、快速索引所需資訊。



(2) 警報和警示：ActivePoint HMI使用警報分級來表示警報的重要程度，共分4級。各級警報皆以不同形狀及顏色表示，以通知操作員需要注意的整廠狀況變化。ActivePoint HMI提供各種警報檢視器顯示，以識別和處理警報，並允許操作員過濾和分析警報，警報級別如下列表示：

1. Level 1: High Priority，須立即採取行動。
2. Level 2: Medium Priority。
3. Level 3: Low Priority。
4. Alert: 不須採取行動（通常）

- Level 1 Alarm: 
- Level 2 Alarm: 
- Level 3 Alarm: 
- Alert: 




(3) 導航和搜尋：ActivePoint HMI允許操作員在不同的螢幕和功能之間導航，還提供搜尋功能來查找特定的變數和螢幕，下圖顯示從Alarm列表中直接聯結到Alarm相關製程圖。

ALARMS

File View Options Help

Acknowledge UnAcknowledge In Service

Symbol	Device	Description
	G5	Lube oil tank level low

All alarm features are available from the alarm entry (Right-click).

'Go to Display Screen' will navigate the user to the screen assigned to the alarm variable.

Configured using ToolboxST alarm variable properties.

Acknowledge All On Screen

Reset All On Screen

Silence All On Screen

Acknowledge

Unacknowledge

Lock

Reset

In Service

Out Of Service

Stop

Unlatch

Override

Remove Override

Stop

UnSilence

Silence Alarm Horn

Resound

User Comment

Go To Definition in Ladder

Go To Display Screen

Unshelve

Unshelve

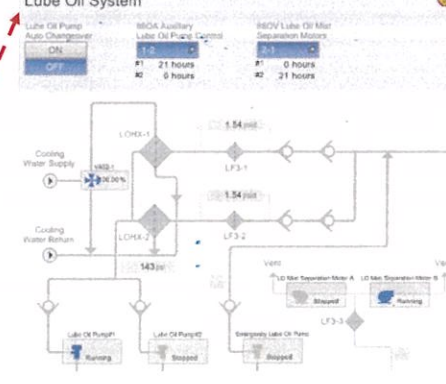
Unshelve

Alarm State

Display Variable Attributes

Alarm Attributes

Lube Oil System



The diagram shows a complex piping system with components like Lube Oil Pump, Lube Oil Filter, and various valves. A red dashed arrow points from the 'Go To Display Screen' option in the alarm context menu to the 'Lube Oil System' diagram.

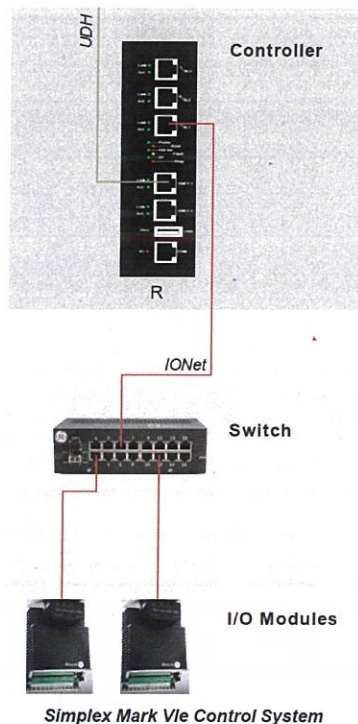
(六) Mark VIe 控制系統備援架構

Mark VIe控制系統提供可擴充備援功能。最基本系統是一個單一控制器帶有I/O模組及單一網路；雙備援系統有兩個控制器、單個或扇形TMR I/O和雙網路，可提供更高的可靠度和線上維修功能；TMR（Triple redundant controllers）系統有三個控制器、單個或扇形TMR I/O、三個網路及控制器之間的狀態表決，可提供控制系統最大的故障檢測和可用性。

控制器備援架構分下列3種：

1. 單工控制器架構（Simplex Controller）：

單工控制器架構包含一個控制器，透過IONet連接到乙太網路。不提供備援功能，也沒有提供關鍵功能的線上修復，但可以線上更換非關鍵I/O（即使失去這些I/O也不會停止製程運作的情況）。每個I/O Pack在其主網路的訊框開始時傳送一個輸入數據封包，控制器查看來自I/O模組的輸入，執行應用程式碼，然後為所有I/O模組提供輸出數據封包，下圖顯示典型的單工控制器架構。

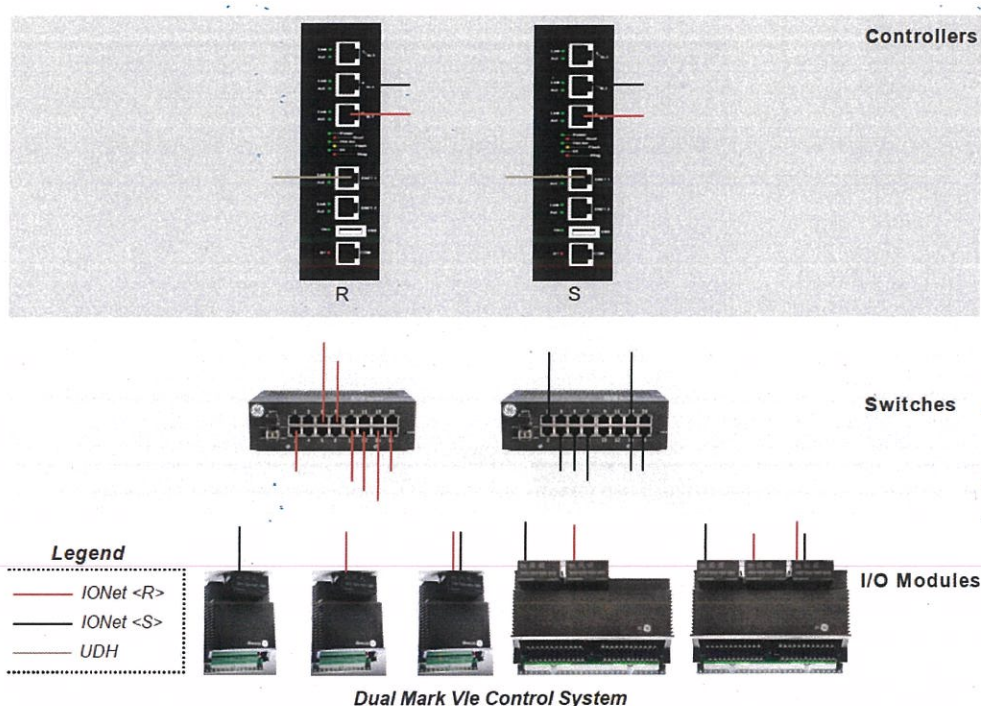


2. 雙控制器架構：

雙控制器備援架構包含兩個控制器、兩個I/O網路交換器和單個或扇形TMR I/O模組。下圖顯示一個雙備援配置的Mark VIe控制系統，雙控制器架構的可靠性明顯優於單工控制器，網路和控制器元件是備援的，可以進行線上修復，其I/O可靠性可藉由混合搭配，以滿足不同的需求。在雙控制器架構中，兩個控制器接收來自兩個網路上I/O模組的輸入，並持續在各自的IO Net上傳輸輸出，當控制器

或網路元件發生故障時，系統仍可繼續運行，I/O Packs接收來自兩個控制器的輸入，但優先選擇指定的控制器（designated controller），如果收到的唯一數據封包來自非指定控制器，則I/O Pack將使用該數據封包。使用雙控制器架構時，可以根據需求調整I/O模組的可靠性程度，因為並非所有I/O都必須有雙重備援功能。

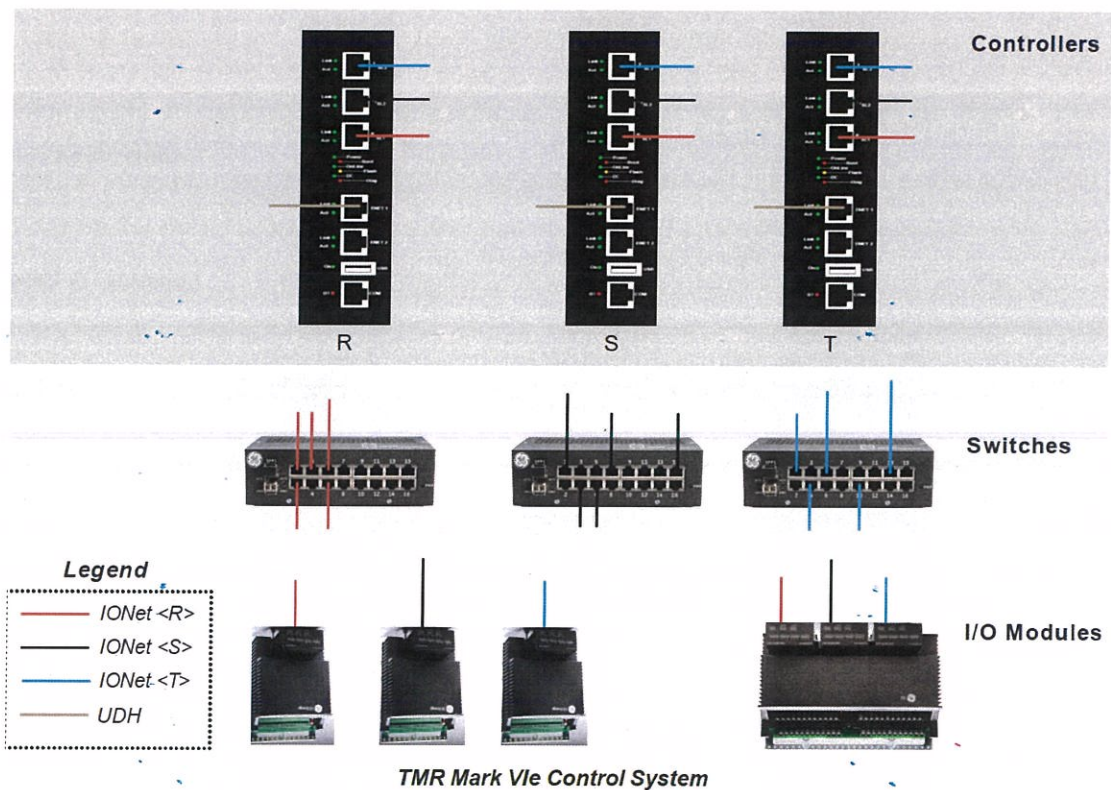
Mark VIe控制器在接通電源時，將同時監控兩個網路上的數據，傳輸第一個有效數據封包的通道成為首選網路（preferred network），只要數據傳送到該通道，控制器就會使用該數據。當首選通道在一個訊框（frame）中未傳輸數據時，只要提供有效數據，其他通道就會成為首選通道（preferred channel），這就避免了某個控制器在兩個數據來源之間來回切換。這也表示不同的控制器可能有不同的首選數據來源（preferred sources of data），但如果任何元件發生故障，也會出現這種情況。I/O模組通電時，會同時監聽兩個網路上的數據，如果接收到指定控制器數據封包，則該網路為首選網路。如果指定的控制器數據封包未在給定訊框中到達，只要提供有效數據，就會使用其他通道。



3. 三重備援控制器架構（TMR）

三重備援控制器架構包含三個控制器、三個IONet和單個或扇形TMR I/O模組，由於故障檢測能力增強，TMR控制器的可靠性和可用性要比雙控制器好得多，除了所有雙重備援功能外，TMR控制器還為所有TMR I/O模組提供三個獨立輸出，並且控制器之間的狀態變數可以表決（voted）。在TMR控制系統中，所有三個控制器都持續從所有網路上的I/O模組接收輸入訊號，並持續在各自的IONet上傳輸輸出訊號。如果某個控制器或網路元件故障，系統無需進行故障檢測或故障切換時間即可繼續運行，所有控制器在傳輸完輸出數據封包後，都會傳輸

各自的狀態變數副本，每個控制器接收到三組狀態變數並進行表決以獲得下一個運行週期的數值。



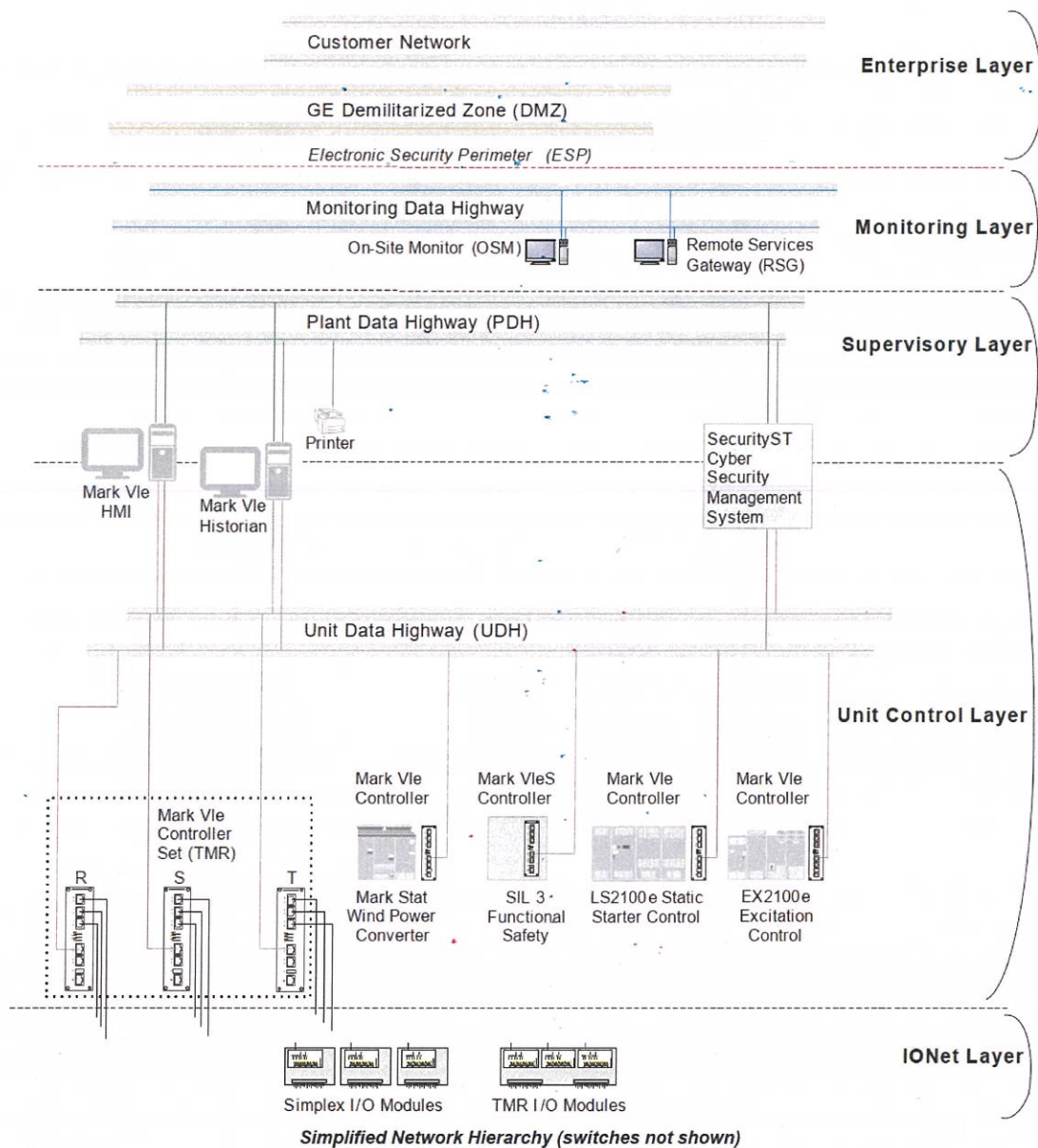
(七) Mark VIe 控制系統通訊架構

Mark VIe控制系統為基於乙太網絡的層次結構，用於互連各個節點或區域，這些網絡根據各自的功能將不同的通訊流量分為不同的層級。這一層次結構從 I/O模組和控制器（提供製程的即時控制）延伸到人機界面（HMI），再到整個設施的監控和外部網絡（網際網路）。

每個網絡層使用工業標準的元件和協定，以簡化不同平台之間的整合，並提高整體的可靠性和維護性，這些層次結構可分為共5層，如下列：

1. IONet層 (IONet Layer)
2. 機組控制層 (Unit Control)
3. 監督層 (Supervisory)
4. 監控層 (Monitoring Layer)
5. 企業層 (Enterprise)

以下圖顯示一個簡化的網絡層次結構。



1. IONet層 (IONet Layer)

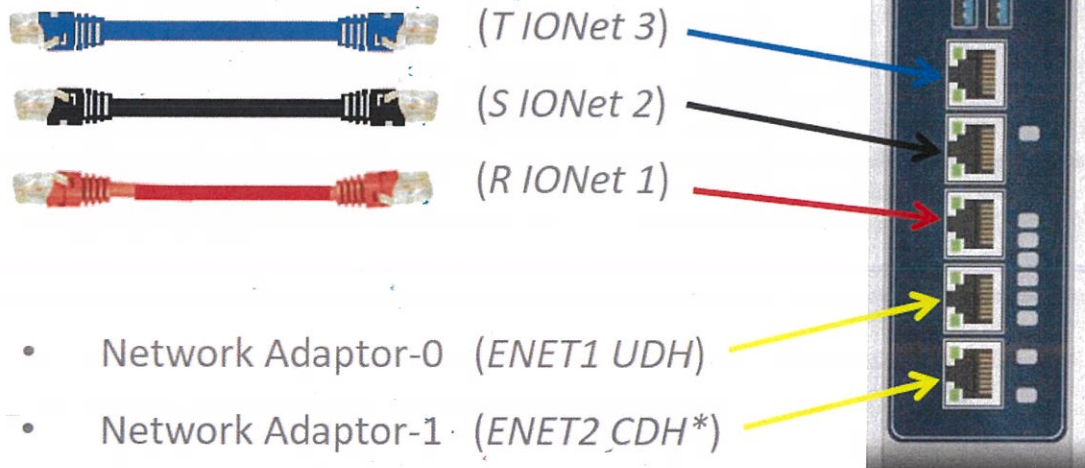
IONet層的通訊是控制器和I/O模組之間透過無網管型交換器 (Unmanaged Switch) IONet交換機進行內部通訊, IONet備援可以是一個、兩個或三個網絡, 與控制器備援相等。為了減少電纜交叉連接的可能性, 以下是用於RJ-45連接器的電纜顏色編碼:

注意: 在UCSx控制器上, 從上到下, 網絡分別是T、S、R。

- 藍色用於IONet 3 (T網絡)
- 黑色用於IONet 2 (S網絡)
- 紅色用於IONet 1 (R網絡)

如下圖:

See items in the Tree view of the General Tab



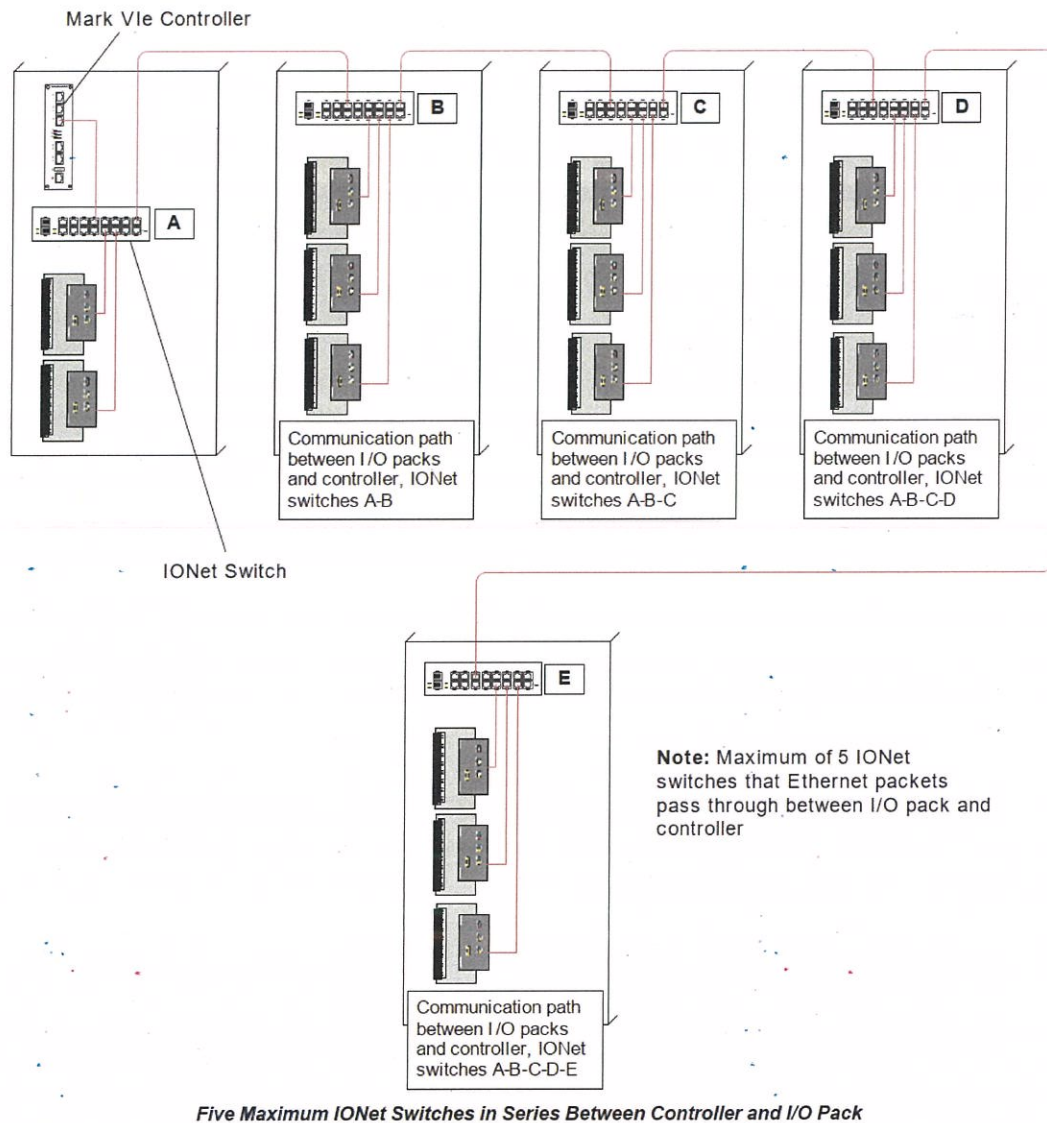
IONet提供了控制器和I/O模組之間的直接通訊，使用IONet EGD協定（與UDH EGD協定不同），I/O模組將其輸入發送到控制器，控制器每個訊框將其輸出發送到I/O模組，IONet數據的範例包括：

- 從I/O Packs到控制器的控制系統輸入數據狀態
- 從控制器到I/O Packs的控制系統輸出數據狀態
- 從ToolboxST應用程式到控制器到I/O Packs的I/O Pack設定數據
- 從I/O Packs到控制器的I/O Pack健康狀態數據
- 從I/O Pack到控制器的現場設備輸入數據

IONet交換機（IONet Switches）：

IONet交換機是無網管型交換器、完全交換的、全雙工的，為防止數據碰撞，交換機在關鍵的輸入掃描期間提供數據緩衝和流量控制，IONet交換機需符合工業應用的程式碼、標準、性能和環境標準的工業等級交換機。IONet在從I/O Packs到主控制器的傳輸過程中最多通過五台交換機，原因如下：

- IONet交換機不是管理交換機。
- 每個乙太網交換機都會引入延遲到乙太網數據包的傳輸中。
- 每個控制器訊框都分配一段時間來服務I/O數據。



Five Maximum IONet Switches in Series Between Controller and I/O Pack

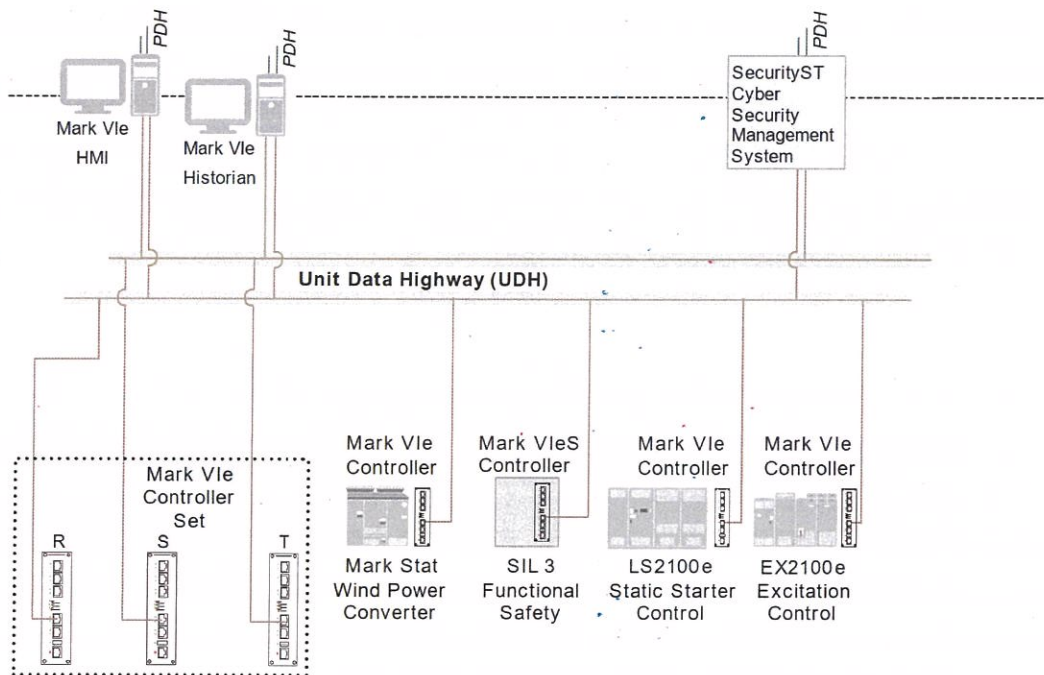
2. 機組控制層 (Unit Control Layer) :

機組控制層或機組網路 (UDH) 提供支持製程設備持續運行的網絡連接，包括控制器組 (通用型、安全迴路、專用於渦輪機的控制器、靜態啟動器、勵磁機) 和HMI。UDH是基於乙太網架構的網絡，提供控制器組與操作/維護界面之間的直接或廣播對等通訊，控制器以基本速率運行，稱為幀率 (frame rate)，該速率是可設置的，並取決於控制器處理器類型、運作的程式碼量以及其他負載，Mark VIe控制器和HMI使用EGD協定交換即時數據，這在UDH上是基於UDP/IP (用於數據交換) 和HTTP (用於頁面配置)。此外，ToolboxST應用程式使用SDI (System Data Interface) 協定透過UDH下載到控制器，警報和捕獲緩衝區上傳 (capture buffer uploads, 用於產生跳脫 [Trip] 記錄) 也通過SDI協定進行。

在雙重或三重備援 (TMR) 的Mark VIe控制器組中，會指定一個控制器來傳輸整個控制器組的即時數據和警報數據，這個控制器就是UDH通訊器 (UDH Communicator)，這些數據包括控制信號 (使用EGD協定) 和警報 (使用SDI協定)。

由於每個控制器都有獨立的實體連接到UDH，因此如果發生UDH網絡故障導致某個控制器與其伴隨的控制器隔離，該隔離控制器將承擔該網絡片段的UDH通訊器角色。基於這個原因，一個控制器組只有一個指定的控制器，但可能有多個UDH通訊器。指定的控制器始終是UDH通訊器。UDH命令數據會被UDH通訊器複製到備援控制器，允許備援控制器組同步，當一個控制器未能從其UDH連接接收到外部EGD數據時，它可能會請求將數據通過IONet從另一個UDH通訊器轉發過來。一個或多個通訊器提供數據，所請求的控制器使用最後接收到的數據集。僅轉發控制器在序列中使用的外部EGD數據。

連接到控制器和HMI的UDH使用從邊緣交換機（Edge Switches）到無屏蔽雙絞線（UTP）Cat 5e。這種備援的網狀架構即使在一條電纜或一個交換機故障的情況下也能保持網絡連接，備援網絡仍然構成一個邏輯網絡。下圖展示數個控制器和HMI的UDH網絡連接。



Unit Data Highway Example

其圖上設置於UDH的控制系統設備應用介紹如下：

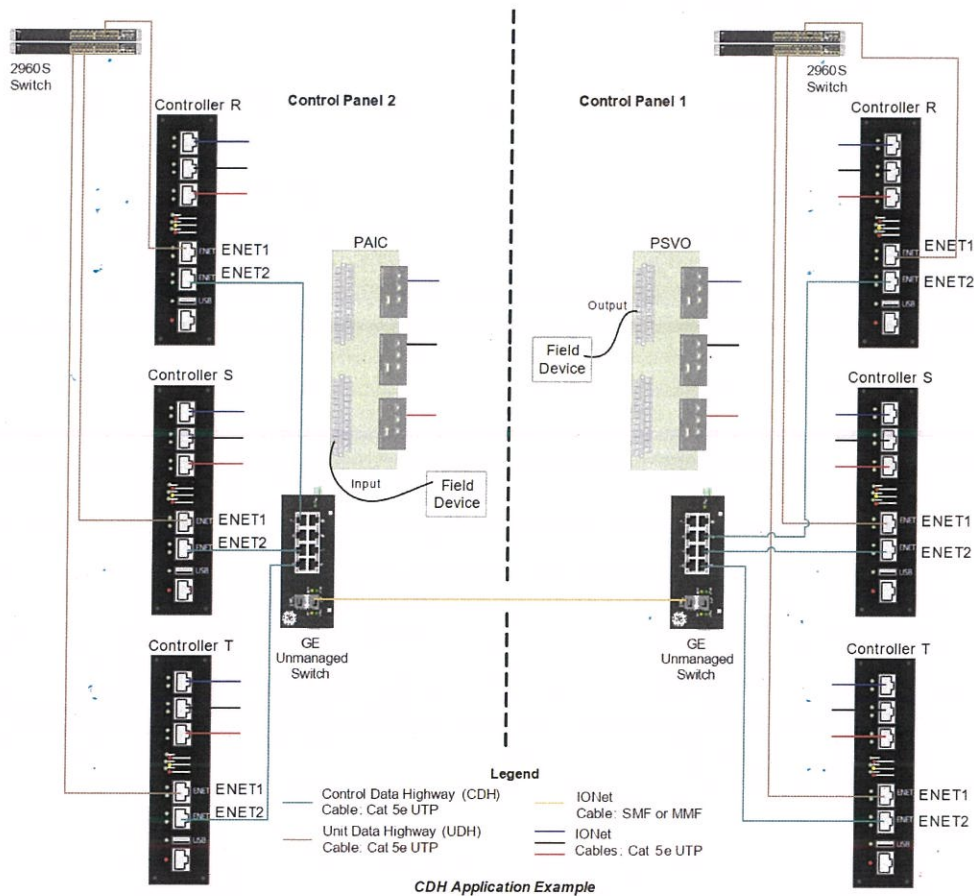
- (1) Mark VIe控制器應用於各種工業控制應用中。
- (2) Mark VIeS安全控制器用於安全關鍵的SIL應用。
- (3) EX2100e勵磁控制器為同步發電機的磁場提供直流電源，並通過磁場電流控制發電機的交流端電壓和/或無功伏安。LS2100e靜態啟動器控制器用於透過運轉發電機作為啟動電機來啟動燃氣渦輪機。靜態啟動器控制、Mark VIe控制和勵磁控制系統組成了一個整合式靜態啟動系統，Mark VIe控制提供運行、扭矩和速度設定點信號給靜態啟動器控制，靜態啟動器控制在閉環控制模式下操作，為發電機定子提供變頻電源，勵磁控制系統由靜態啟動器控制調節，以在啟動過程中調節磁場電流。

- (4) Mark Stat控制器用於控制GE風力發電機功率轉換系統。
- (5) 人機界面（HMI, Human-machine Interface）：人機界面是Mark VIe控制系統的主要操作員界面。目前的Mark VIe HMI是採用Windows 7作業系統，具有多種通訊驅動程式，用於備援數據高速公路、WorkstationST*和ToolboxST應用程式，以及用於圖形用戶界面（GUI）的CIMPLICITY Advanced Viewer，操作員通過即時圖形顯示來發出命令，並查看即時製程數據和警報，詳細的I/O診斷和系統配置透過ToolboxST應用程式以執行診斷，完成設定。
- (6) 歷史記錄器（Historian）：Mark VIe歷史記錄器電腦為運行ControlST軟體，ControlST軟體包括歷史記錄報告、WorkstationST應用程式和Trender，並且可設置進行PI或Proficy資料交換到外部資料庫伺服器。歷史記錄器是基於用戶端-伺服器技術的資料存檔系統，用於資料收集、存儲和顯示製程資料，操作員能透過執行應用程式以快速產生自訂的趨勢圖和報告，從存檔的製程資料中獲取資訊，歷史記錄器的資料來自Mark VIe控制器的高解析度數位事件資料與製程類比資料，結合兩者資料創造出一個用於調查因果關係的先進工具。歷史記錄器透過UDH接收來自控制器的數據，HMI和其他操作界面設備通過PDH與歷史記錄器通訊。Windows作業系統提供的網路技術允許網路電腦使用歷史記錄器用戶端工具進行交流，包括查詢和查看功能。界面選項包括將資料匯出到試算表應用程式的能力。

註*：

1. WorkstationST應用程式（WorkstationST Application）
WorkstationST為ControlST軟體中的一款應用程式，WorkstationST應用程式用於管理HMI、歷史記錄和警報查看器，WorkstationST結合圖形工具，可進行管理警報、事件、日誌、實時和歷史數據、網絡、軟體安全、網頁界面及其他ToolboxST軟體功能，操作員可以右鍵單擊顯示功能選單以導航到相關邏輯圖、趨勢、觀察窗口、變數和警報歷史，並提供與第三方設備的連接界面，功能如下：
 - (1) 警報顯示和管理
 - (2) 過程變數趨勢
 - (3) 控制面板右鍵功能選單附加功能可於故障排除期間進行檢視趨勢和監視變數
 - (4) 確保進入HMI安全性
 - (5) 用於與OPC、Modbus和其他客戶端通訊的服務器數據連接界面
2. 控制資料高速公路（CDH, Control Data Highway）：第二個UDH或稱為控制資料高速公路（CDH）的備援乙太網通訊允許兩個獨立的控制器彼此通訊。第二個CDH乙太網可以設置至當前使用其他UDH以太網端口的控制系統中。若要配置CDH，可參閱ToolboxST使用者指南for Mark Controls Platform（GEH-6700 或 GEH-6703），授課講師說明此網路架構配置少

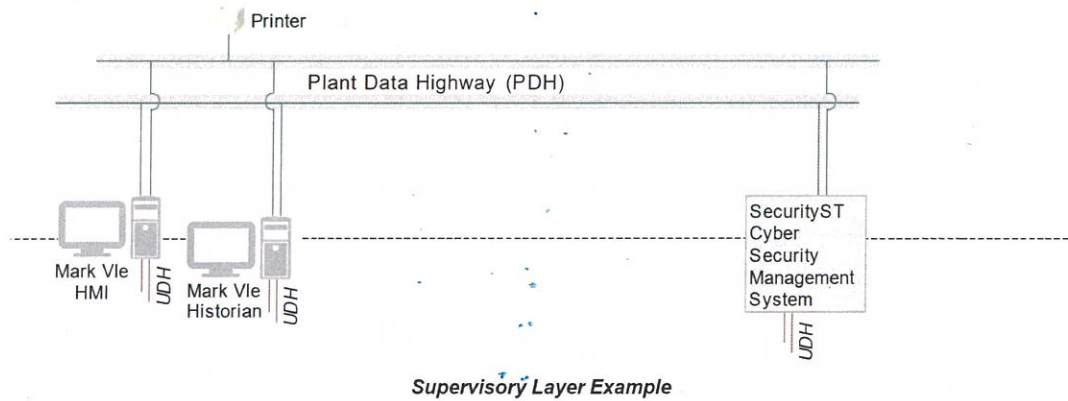
用，僅留下上述說明及下圖連線架構供參閱用。



3. 管理層 (Supervisory Layer)

管理層包含廠級網路 (PDH)，PDH用來連接WorkstationST伺服器* (WorkstationST servers)、警報檢視器、印表機、歷史記錄器和其他HMI，額外的網路安全管理設備也可以設置在PDH上。PDH與Mark VIe控制器沒有直接連接，控制器是透過UDH進行通訊而非PDH。PDH網路用於進一步劃分設備並限制訪問或防止對Mark VIe控制器的干擾 (控制器忙於在UDH上廣播資料)，PDH應用於從HMI與HMI之間的複製或傳輸大型檔案 (例如 CIMPLICITY專案)。

PDH使用備援電纜形成單一邏輯網路，其網狀架構與UDH相同，硬體包括具有單模光纖主幹連接到根交換機的邊緣乙太網交換機，然後透過標準Cat 5e輸出連接到HMI和其他設備。備援乙太網交換機和電纜可以防止單一元件故障導致的完全網路故障，PDH和UDH實際上是相同的交換機網路，但使用不同的埠 (ports) 進行特定的資料高速公路通訊。

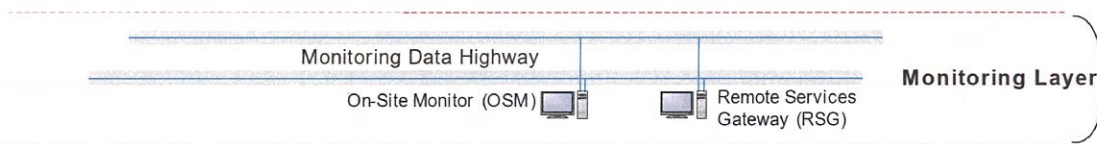


註*：

1. WorkstationST伺服器：WorkstationST伺服器是系統的中樞，在UDH和PDH之間傳遞數據，並提供數據支持和系統管理，該伺服器還負責內部和外部數據交換的設備通訊，WorkstationST伺服器在UDH上收集數據，並使用PDH與HMI Viewer通訊；系統配置伺服器（Configuration servers）、歷史數據伺服器（Historian servers）和警報伺服器（Alarm servers）用於大型系統，多個伺服器可以用來提供備援，以便即使一個伺服器故障，也能繼續與HMI Viewer通訊。HMI可以安裝軟體設置為伺服器或查看器、工具和其他應用程式。

4. 監控層（Monitoring Layer）

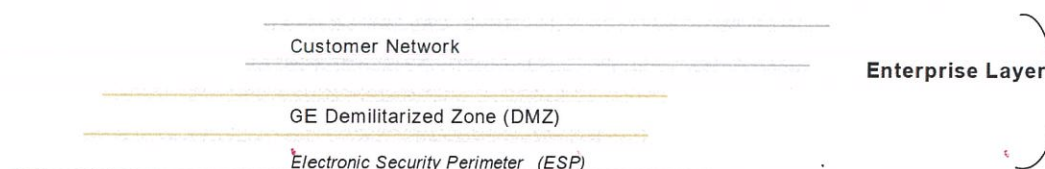
監控數據通道（MDH）用於進一步劃分數據流至各個設備，並可連接至GE 監控及診斷（M&D）設備：現場監控器（the On-Site Monitor, OSM）或遠程服務網閘（Remote Services Gateway, RSG）。允許在MDH上傳輸的數據由兩台專門配置的 Cisco 2901 路由器進行管理，相同的網狀架構和主幹提供了從根節點到邊緣交換機的 MDH，然後從邊緣交換機上的特殊配置端口到OSM或RSG。其他設備也可以設置在MDH上以滿足客戶及特殊需求，連接至RSG和OSM的設計是在工廠要求階段（the plant requisition phase）進行設計的，因此MDH並不是唯一可用的GE M&D設備實施方式，如下圖



5. 企業層（Enterprise Layer）：

企業層允許對特定控制系統數據或通訊來源進行訪問，用於設施範圍內或群組資產管理系統。企業層可以包含以下功能：

- (1) 額外的防火牆、路由器和安全功能
- (2) 與客戶網絡連接的界面
- (3) GE非軍事化區域 (DMZ)：用於托管從客戶端設備進行外部訪問的GE設備；由於任何外部通訊對控制系統的完整性和安全性構成重大風險，因此建議建立一個DMZ，終止外部網絡，然後僅允許經過身份驗證的特定流量從DMZ流向DMZ背後的特定主機。
- (4) 其他GE廣域網 (Wide Area Network, WAN)、亞特蘭大數據高速公路 (Atlanta Data Highway, ADH) 的界面，用於GE監控及診斷 (M&D) 設備服務



三、出國期間所遭遇之困難與特殊事項

本次受訓，我於7月6日（星期六）從台灣出發，前往美國休士頓。在抵達休士頓機場後，前往住宿旅館的路途中，與計程車司機隨意交談得知，颶風貝羅（Beryl）即將登陸德州，休士頓將受到颶風影響。GE的首席培訓專家 Jim Lin 發來簡訊通知，由於颶風的來襲，海外研習課程將暫時停課。初次抵達美國便遇上天災，我同時收到了駐休士頓台北經濟文化辦事處經濟組倪伯嘉先生的關心，提醒我注意天災資訊，讓我倍感溫暖。

入住旅館後，隨即前往附近超市備好食物，以應對颶風的到來，果不其然，7月8日至7月9日間，風雨猛烈，親身感受颶風威力，從旅館窗戶向外望去，大雨傾盆而下，隔壁住戶的庭院裡，大樹在強風中劇烈搖晃，樹幹已經明顯傾斜，彷彿隨時可能被連根拔起。這樣的惡劣天氣持續了兩天，休士頓飽受颶風的摧殘。根據新聞報導顯示，強風暴雨引發了洪水，導致超過200萬戶住家與商店停電。7月8日早晨，旅館的電力也中斷了，由於旅館房間的窗戶無法打開，如果不打開房門，房間將變成密閉空間，而沒有電力意味著沒有空調，室內悶熱潮濕，讓人難以忍受。

在颶風過後，雨勢稍歇，即迫不及待地走到戶外呼吸新鮮空氣，並前往市區尋找未停電且提供 Wi-Fi 和充電插座的商家，如星巴克或速食餐廳，以便為筆記型電腦與手機充電，並保持與 GE 的聯絡，及時接收有關颶風的最新消息。

進入市區後，我發現只有少數商家未停電並持續營業，輕軌電車與部分大眾運輸工具停駛，交通號誌也有部分失靈。然而，令人印象深刻的是，即便在交通號誌失效的情況下，每輛車都自動在交會路口停下，車流井然有序，交通秩序維持得非常良好。途中，我經過了休士頓著名的 Hermann Park 和萊斯大學，由於

園區內綠地廣闊，且有高大的橡樹和松樹，颶風的影響尤為明顯。街道上隨處可見大樹被連根拔起或攔腰折斷，電線桿倒塌，以及嚴重的積水。然而，清理人員已經開始使用電鋸進行清理，恢復工作進展迅速。

直至 7 月 13 日晚上，旅館的電力才恢復正常，而 GE 學習中心則是在 7 月 15 日才全面復電。初次來到美國便遇到這樣的大型天災，讓我深刻體會到恢復基礎設施正常運作的困難。對於美國和台灣在風雨天氣中辛勤維護治安、交通、環境及供電等基礎設施的工作人員，我深感敬佩與感謝。

四、研習心得、感想及對公司之具體建議

此次參加 GE 安排的研習，地點位於美國 GE 休士頓學習中心，每位學員皆配備了一台電腦，授課模式為上午由授課講師講授 GE Mark VIe 基本知識及控制系統架構，下午則進行實作練習，透過電腦雲端連接至 Mark VIe 模擬器進行解題。若遇到不理解之處，學員可隨時發問，講師會即時解答，補充學員在課堂上吸收不足的部分。實作課程主要集中在雲端 Mark VIe 模擬器的操作，部分練習則是連接教室內的控制器進行操作。課程期間，經與授課講師討論交流，我提出以下幾點建議：

(一) 建廠初期提供雲端或本地模擬器的可行性

在課程中，我們使用雲端模擬器進行操作，經詢問授課講師得知，模擬器對硬體設備的要求並不高，也可在本地端（Local 端）執行，但需要額外的費用。若未來建廠時，電廠運轉維護人員或監工人員需先行瞭解電廠的 DCDAS 控制系統操作環境及模式，建議公司可以與廠商洽談，在建廠初期提供雲端或本地端模擬器，這樣一來，本公司人員可以儘早熟悉控制系統操作環境，及早發現並反映控制系統可能存在的錯誤或不符合電廠運轉維護需求的部分，進而縮短系統建置與排除問題的時間。

(二) 增加硬體維護實作與團隊學習

此次課程缺乏硬體維護實作，建議向廠商要求增加實作課程；另對於像我和施工處的同仁這樣缺乏電廠運維經驗的人來說，難以針對電廠運維過程中可能遇到的硬體或軟體問題，提出具體的問題與講師討論。建議下次安排海外研習課程時，可與電廠同仁同行參加課程，這樣可以透過腦力激盪和相互學習，取得更多收穫；增加硬體維護實作部分，將有助於學員更全面瞭解控制系統的運作和維護。

(三) 合約中增加廠商派駐專業人員及罰款條款

根據大潭電廠人員的經驗，操作員在電腦上點擊指令後，往往需等待一段時間系統才能做出反應，這樣的延遲不符合電廠運維人員的期望。之前已向 GE 現

場人員反映此問題，但長時間未得到解決。由於 GE 設計 DCDAS 控制系統的工程師大多在海外，僅能透過視訊進行諮詢，無法即時處理問題，這往往對工程進度造成影響。DCDAS 控制系統龐大，各廠商的操作環境也各不相同，資料繁多且難以統合。為加速處理問題，建議在合約中增加要求廠商於建廠時派駐 DCDAS 專業人員在現場，及時解決控制系統相關議題，並且設立罰款條款，督促廠商在限定期限內解決問題。

此次研習，我向授課講師提出是否可通過增加伺服器數量來改善反應時間的問題，不同講師的回答略有不同：

第一位講師表示，他第一次聽到這樣的反映，無法確定增加伺服器是否能改善此問題，但建議在合約保固期內要求現場人員進行改善。

第二位講師建議將多數不影響電廠運轉的訊號移至 EGD 訊號設定中的低優先級頁籤，這樣可以降低網路頻寬的負擔，但他也不確定這樣是否能改善反應速度的延遲問題。

第三位講師表示，目前已有幾家廠商反映過此問題，根據他的瞭解，僅能透過升級伺服器硬體改善，雖然反應時間較長，但對機組運轉不會造成影響。如果需要改善，可能需要支付額外的費用。不過，他指出本公司台中、興達計畫所使用的伺服器採用的是新硬體，應該不會發生這種情況。

五、參考資料

12604175952 TRAINING MANUAL

12922846088 TRAINING MANUAL

GEH-6721_Vol_I_BR_Mark VIe and Mark VIeS Control Systems System Guide

GEH-6721_Vol_II_BV_System Guide for General-purpose Applications

GEH-6721_Vol_III_BT_System Guide for GE Industrial Applications

GEI-100694_ControlST Software Suite Installation, Upgrade, and Compatibility Guide

GEI-100682_AM_Mark VIe Controller Standard Block Library

GEI-100691_Mark VIeS Safety Controller Block Library

GEI-100681P_Mark VIe Controller Legacy Block Library