

行政院及所屬各機關出國報告
(出國類別：研究)

奇異汽力機組運轉維護條件及方法之比較應用

(
裝
訂
線
)

服務機關：台灣電力公司台中發電廠
出國人職稱：主辦測儀員
姓 名：翁勝欣
出國地區：美國、日本
出國日期：92年11月19日至93年1月17日
報告日期：93年2月25日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：奇異汽力機組運轉維護條件及方法之比較應用報告書

頁數 含附件：☐是☒否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

翁勝欣/台灣電力公司台中發電廠/儀控課/主辦測儀員/(04)26302123-3421

出國類別：☐1考察☐2進修☒3研究☐4實習☐5其他

出國期間：92年11月19日至93年1月17日 出國地區：美國、日本

報告日期：93年2月25日

分類號/目：G3/ 電力工程

關鍵詞：

汽機控制系統

GE Speedtronic Mark VI

TMR (Triple Module Redundant)

Toshiba D-EHC

內容摘要：（二百至三百字）

本文包含美國奇異(General Electric)公司、日本東芝(Toshiba)公司歷史沿革與營運現況，並介紹兩家公司主要產品及研究發展領域。另以介紹台中發電廠一號機即將更新的汽輪機控制系統 GE Speedtronic Mark VI 與新裝設試運轉中的九號、十號機組汽輪機控制系統 Toshiba DEHC 之設計與應用為重點，包含硬體架構、應用軟體、系統規劃、維護操作介面等要項，最後並以研習人員參訪行程與受訓心得作為總結。

報 告 內 容

一、國外公務之內容與過程：

（一）、公務任務

（二）、內容與過程

二、國外公務之心得與感想：

（一）、美國奇異公司簡介

（二）、喬治亞州 Georgia Power Company 與 Wansley 電廠簡介

（三）、GE Speedtronic Mark VI 控制系統介紹

（四）、日本東芝公司簡介

（五）、Toshiba DEHC 控制系統介紹

三、研習之感想與建議

一、 國外公務之內容與過程：

(一)、公務任務：

觀摩GE、Toshiba 汽輪機、發電機等設計生產，研習控制系統軟硬體設計、操作及設備維護技能。

(二)、內容與過程：

1. 前言：

台中發電廠目前運轉中的機組共有八部美商奇異公司 550MW 汽力機組、四部 72MW 氣渦輪機，使用的控制系統分別為中一～中四機：Mark IIA、中五～中八機：Mark V 以及氣渦輪機的 Marl IV，其中 Mark IIA 系統為傳統舊式類比電路卡片，缺乏系統規劃與診斷介面工具，且該系統奇異公司已停產多年，備品除價格非常高外，取得也相當困難，因此利用中一機大修汽機進行效能提升計畫的同時，將控制系統更新為 Mark VI，汰換的卡片則留用為其他三部機組之備品。

裝機中的中九、中十機則為日本東芝公司產品，因東芝公司與奇異公司有技術合作關係，不論汽機機械本體或控制系統都有很多相似之處，但基本上日系與美系工業產品仍各有特點，Toshiba 汽機的控制系統為其自家產品—DEHC (Digital Electronic Hydraulic Control)，基本架構與設計原理與 GE Speedtronic 系列類似，最大不同為輔助功能與操作介面圖控軟體，以下本文中將分別介紹其主要特點。

2. 實習日期及前往機構：

起 訖 日	機 構 名 稱
92年11月19日	啟程赴美國紐約
92年11月20日～ 93年1月13日	美國奇異公司參訪與汽機控制系統 Speedtronic Mark VI 研習
93年1月4日	啟程赴日本橫濱
93年1月6日～ 93年1月16日	日本東芝公司參訪與汽機控制系統 D-EHC研習
93年1月17日	返回台北

二、國外公務之心得與感想：

(一) 美國奇異公司簡介

1. 公司沿革：

奇異公司的前身為愛迪生 (Thomas Edison) 先生於 1896 年創立的 Edison Electric Co.，為美國道瓊工業指數成立時列選參考公司中目前唯一存在者，截至 2002 年止，共有 13 個事業部門在全球超過 100 個國家營運，員工超過 31 萬 5 千人，2002 年營業額為 1,320 億美元 (國外佔 530 億)，盈餘 151 億，成長率約 7%。

2. 主要事業包含：

航空引擎、能源系統、工業系統、運輸系統、金融保險、民生用品、醫療器材、塑膠工業及 NBC 廣播公司。

3. 能源部門：

為奇異公司眾多事業體系中與本公司關係最密切者，其總部設於喬治亞州的亞特蘭大 (Atlanta, GA)，員工 33,800 人，主要分支機構有能源產品、能源服務、油氣、核能、行銷五個部門，共有 24 個製造生產中心、130 個行銷據點、58 個服務中心。2002 年營業額 229 億美元，成長率約 14%。

4. 能源部門最新研發領域：

- A. 汽力發電機組：最新設計之機組容量可達 1100 MW，機組效率及可靠度研究，ADSP 專案計畫研究等。
- B. 氣渦輪機及複循環機組：FA、FB 系列 (本廠四部氣渦輪機為早期 FE 系列) 燃燒技術發展與高效率複循環機組研發 (2002 年推出之 H 系列複循環機組效率可達 60%)。控制氣渦輪機發電機以馬達模式運轉起動機組之 Static Start Load Commutated Inverter 控制系統之持續研究。(已普遍安裝於 FA 系列氣渦輪機，取代過去 FE 系列採用 Torque Converter 方式)
- C. 風力發電機組：GE 預估 2002~2006 年全世界將增加約 7000MW 之風力發電機組，故該公司亦致力於新技術之研究，目前 GE 製造之最大風力機組容量為 3.6 MW，葉片直徑達 100 公尺。
- D. 核能機組：新一代進步型 BWR 反應爐與整廠升級方案研究。
- E. 水力機組：動力閘門、水輪機、發電機及 100 BAR 以上壓力機件研製。
- F. 航空動力引擎：快速起動引擎之容量提升與效率改善。
- G. Oil & Gas：原油與天然氣傳輸系統設備研發。

5. GE Power System Monitor & Diagnostic Center：

原創設於紐約州 Schenectady (汽輪發電機組研發中心)，1996 年遷至喬治亞州亞特蘭大 GE Power System 總部。於汽機或氣渦輪機控制系統加裝通訊介面，經電話線進行遠端資料收集，機組穩定時採定時傳送，當機組異常時即以最快速度傳送資料，藉之監視 GE 客戶新裝設機組與簽有 M&D 合約機組，由專職小組 24 小時監視機組狀態，並提供定期與不定期振動分析、診斷，機組異常追蹤與解決方案等服務，目

前監視世界各地約 800 部機組。(如附圖一)

6. 美國能源與電力發展情形：(GE 提供，原始資料來源：美國能源部，US Department of Energy)

美國為世界上最大能源生產與消耗的國家，雖然本身天然資源豐富，但基於政治、經濟及其他因素，仍有部分能源係由其他國家進口，為有效控制與預期能源供需，其能源部 (DOE) 每年除定期向國會提出能源會報外，並發表很多能源方面的研究論文，且致力於再生能源與新能源之研究，值得借鏡。(參考附圖二)

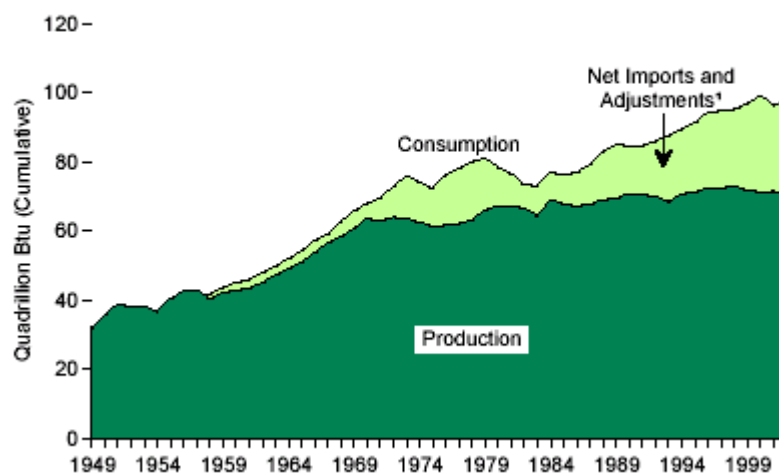
美國電力事業自 1949 年 (開始發表正式統計資料) 起持續發展，至 2002 年每年淨發電量已接近 4 兆 Kwh，主要提供發電的能源有煤、核燃料、天然氣、水力及其他能源 (燃油、其他燃氣、廢棄物燃燒、地熱、太陽能、風力等)，電力使用方面，民生用電 36.5%、商業用電 31.9%、工業用電 28.4%、其他 3.2%，平均售電價格為 6.5 美分/度 (新台幣 2.22 元)，備載容量夏季約 20 %、冬季約 32 %。

廢氣排放方面，自 1990 年至 2002 年電力成長約 36 %，但廢氣排放量除二氧化碳增加約 25 % 外，硫氧化物與氮氧化物均大幅下降 (燃煤發電持續成長)，值得進一步研究探討。(各項分析圖表參考附圖三～五)



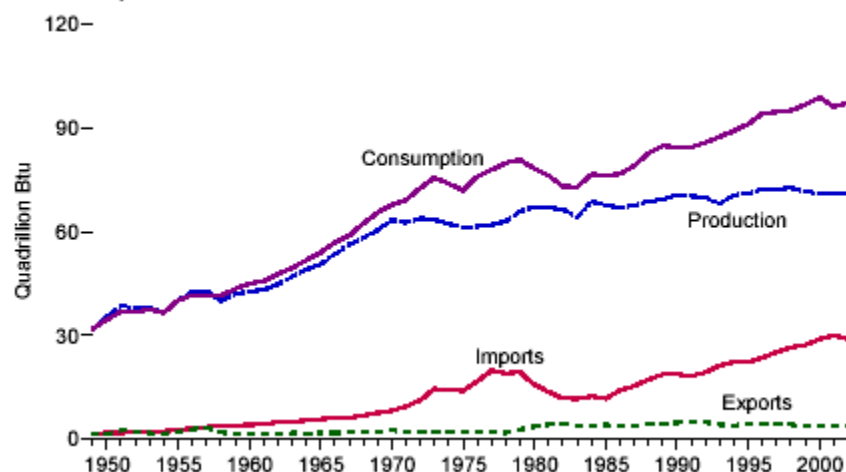
附圖一：GE Monitor & Diagnostic Center

Overview, 1949-2002



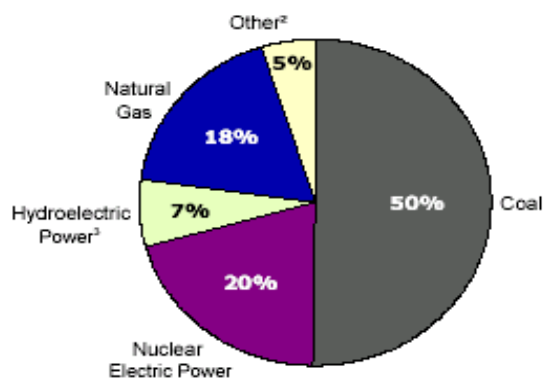
附圖二：美國電力發展情形

Overview, 1949-2002

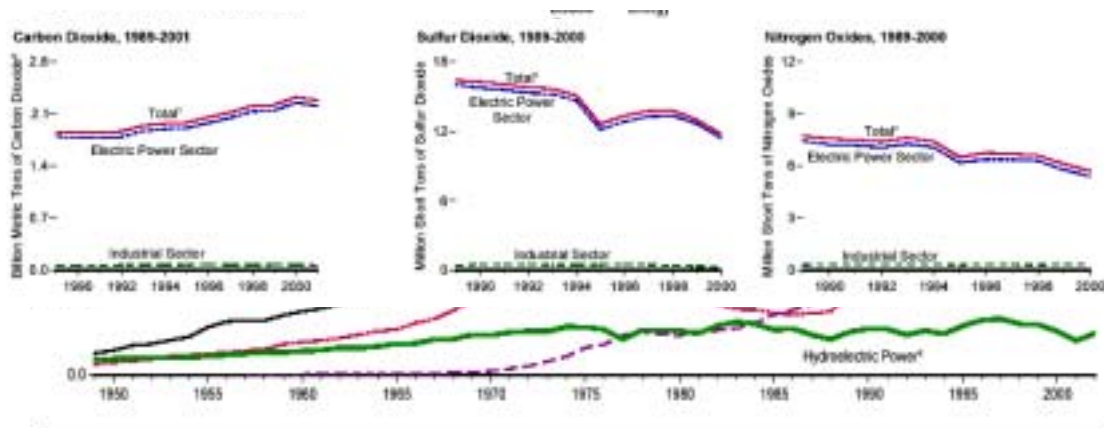


附圖三：美國能源生產與消耗成長

Total by Source, 2002



附圖四：美國各種發電事業比例及成長情形



附圖五：美國發電事業廢棄排放量統計圖

(二) 喬治亞州 Georgia Power Company 與 Wansley 電廠簡介

參觀 Georgia Power Company Wansley 電廠：

請 GE Power System Headquarter 人員聯繫後，由 GE 公司 Mr. Simon Huang 陪同參觀位於 Atlanta 市區的 Georgia Power Co. 簡報後並安排隔日的電廠參觀行程。

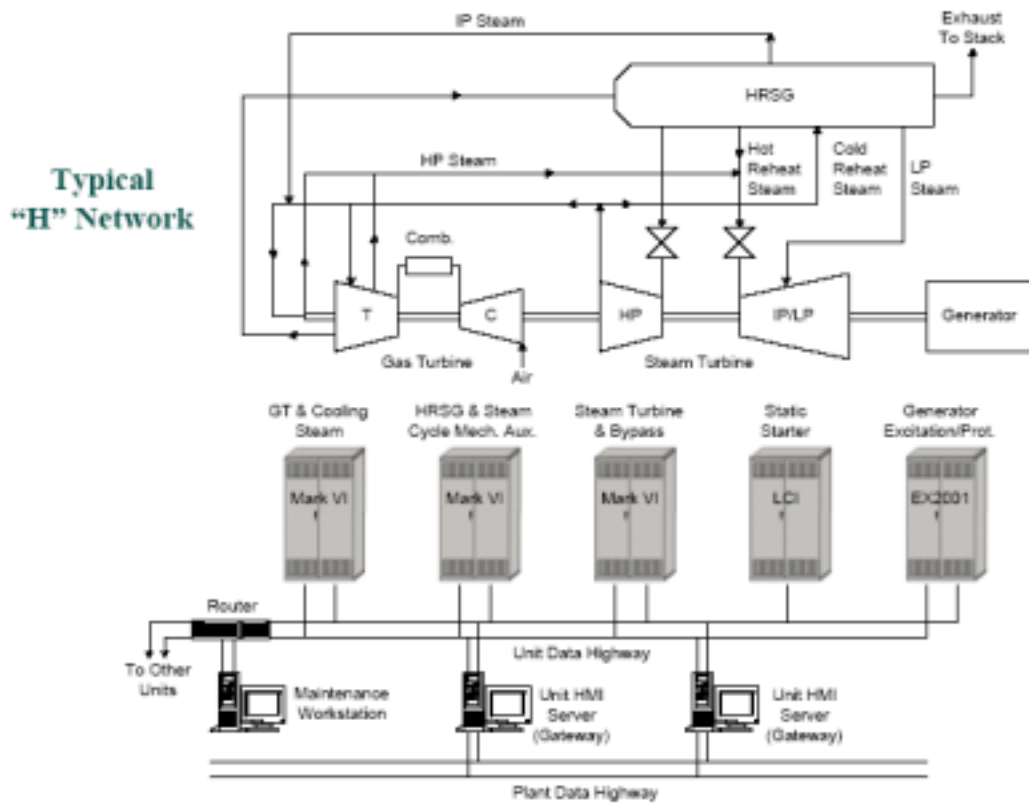
Wansley Power Plant 目前有 8 組複循環機組運轉中，九號機組正在試運轉，因該機組氣渦輪機為最新型 GE FA 系列且控制系統為 Mark VI TMR（與本廠一號機將改裝之控制系統相同），故選擇現場參觀該機組，由 GE Facility Manager Mr. Mike Whelan 介紹機組各項設備與控制系統，並觀摩試運轉工作之進行。

◆研習心得：

Wansley 為天然氣電廠，現場管理非常嚴格，各工作區域劃分及標示很清楚，一般區域採攝影監視，重要或危險區域則有警衛管制，非經授權人員絕對禁止進入（識別證有不同區分），因嚴格禁止攝影，故無法留存可供參考照片。

Wansley Unit #9 為兩部 GE Frame 7FA Gas Turbine（120~150MW）加上一部 GE Steam Turbine（250MW）之複循環機組，控制系統主要包括：Mark VI TMR（G/T、S/T Control）、EX2100（Digital AVR）、MUST II-E（Generator Protection）及 SSL（Gen. Motoring Start for G/T）等（參考附圖六）。因該機組正進行試運轉工作，特別要求 Mr. Whelan 同意實地觀摩（參考附圖七）。對以下幾項特點印象深刻，值得本廠參考：

- I. 控制室試運轉流程及進度標示非常清楚，包括各設備負責人的每日註記事項及緊急連絡方式。
- II. 控制室與電子室或重要控制設備處皆裝設專用有線電話，除可避免無線通訊干擾外，控制室可完全掌握工作狀況。
- III. 控制系統處圖面、說明資料完整並清楚標示工作流程、進度與注意事項。



附圖六：Wansley 電廠九號機控制系統架構



附圖七：Georgia Power Co. Wansley 電廠

(三) GE Speedtronic Mark VI 控制系統介紹

1. 汽機控制系統主要功能：

汽機於發電流程中的功能是將鍋爐產生蒸氣的熱能轉換為帶動發電機的動能，再由發電機轉換為電能，而汽機控制系統主要功能就是控制汽機驅動能量的多寡，在機組並聯前控制汽機轉速，並聯後即決定機組發電量。

為顧及汽機機械特性上的限制及其壽命，控制系統另一個重要功能就是保護汽機，尤其是防止汽機超速。透過軟體控制邏輯與硬體電路控制汽機運轉並隨時監視汽機狀態，以達成下列各項功能：

- a. 依手動或自動模式控制汽機運轉於設定目標。
- b. 計算汽機轉子熱應力以提供運轉人員參考或決定自動控制程序進行。
- c. 接受其他系統之運轉參考信號並提供汽機狀態訊息。
- d. 定期測試功能。
- e. 保護與跳脫功能。

2. Mark VI 系統概要：

Mark VI 為 GE 公司於 2001 年正式推出最新一代的汽機控制系統，從早期的 EHC (Electronic Hydraulic Control) 到 Mark IV、DCM、Mark V 到 Mark VI，GE 累積了多年的經驗，加上電腦與積體電路技術的快速發展，控制系統也隨之推陳出新，過去由類比電路卡片組成的龐大線路結構已由數位式系統所取代。其優勢為藉快速數位信號處理器降低取樣掃描與運算時間，網路連結使操作維護工作更有效率，配合系統軟體工具更可達到自我診斷功能。

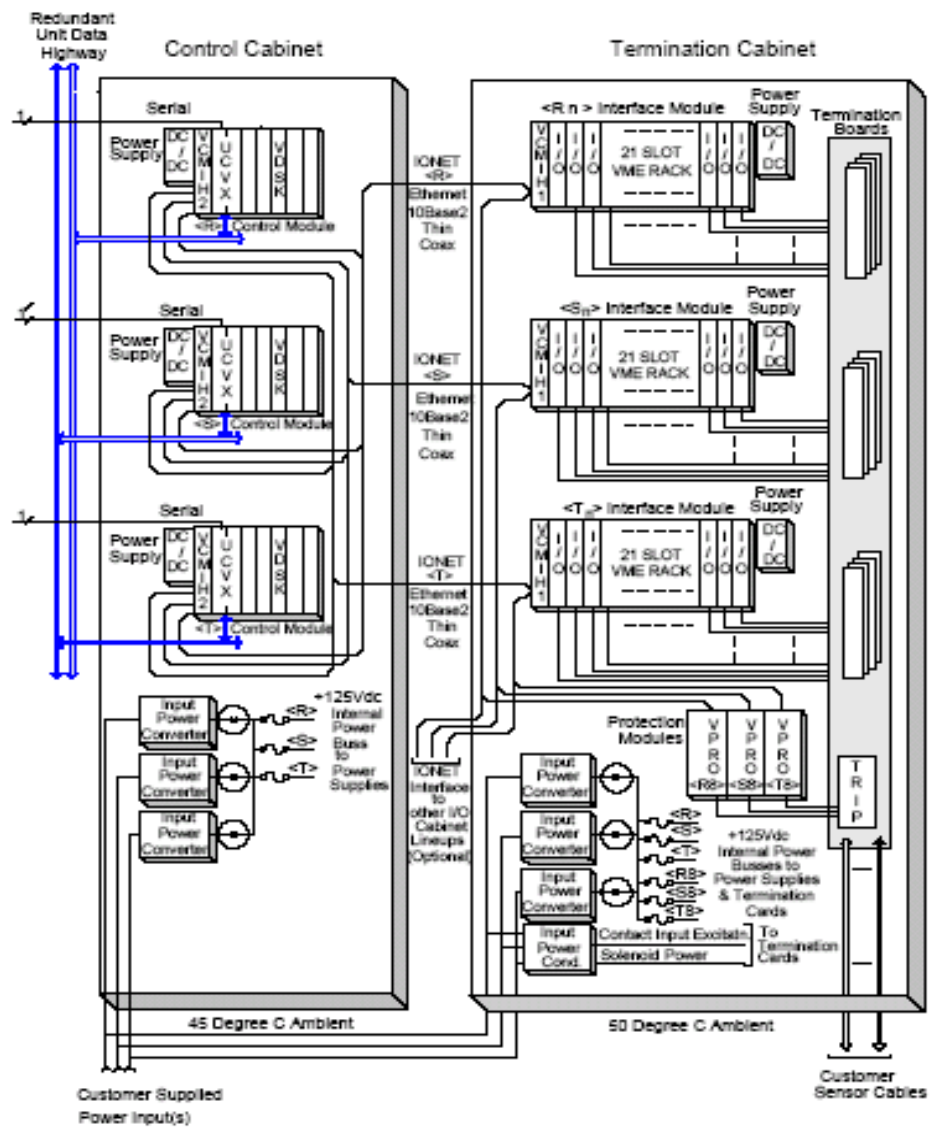
GE 的汽機或氣渦輪機控制系統，自 Mark IV 起即為 Triple Redundant 架構，使系統可靠度大為提升，Mark VI 沿襲這種設計架構，並把 Mark V 系統中使用的 Arcnet 網路改為較通用的 Ethernet，速度更快、擴充彈性也較大。

3. Mark VI 硬體 Layout 及 設計特點：

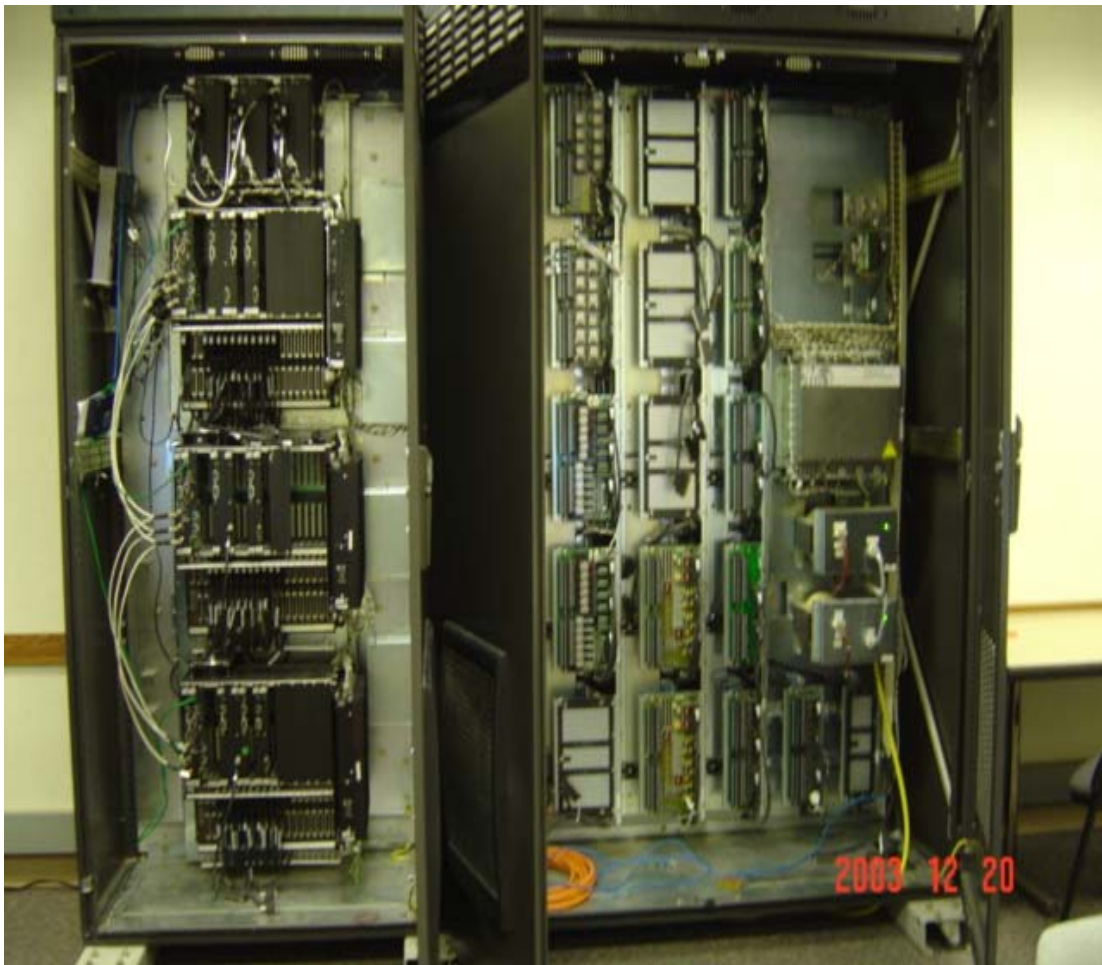
Mark VI 的硬體主要由電源供應器、控制器、I/O 介面卡、保護模組與通信網路所組成(參考附圖八、九)：

a. 電源供應器：

Mark VI 控制盤輸入電源可為 120 Vac (內部轉換為 125Vdc) 或 125Vdc，通常配有 Redundant 雙電源以求穩定，輸入電源經 Power Distribution Module 再送至各控制器，各控制器配備一獨立電源供應器，將輸入之 125Vdc 電源轉換為 24Vdc、±15Vdc、5Vdc 等電源。



附圖八：Mark VI 硬體架構



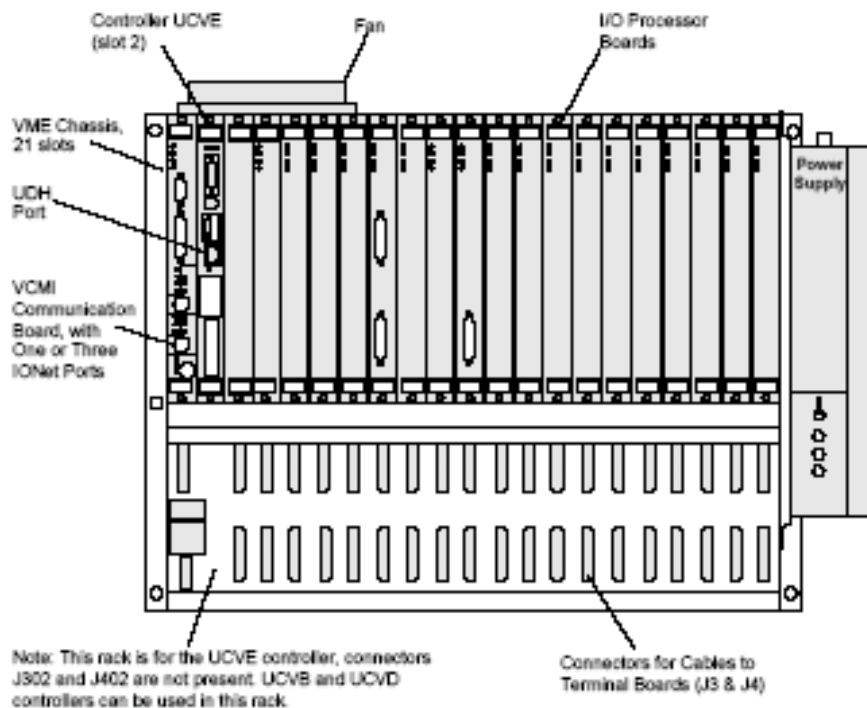
附圖九：Mark VI Control Panel 實體外觀

b. 控制器、保護模組與 I/O 介面卡：

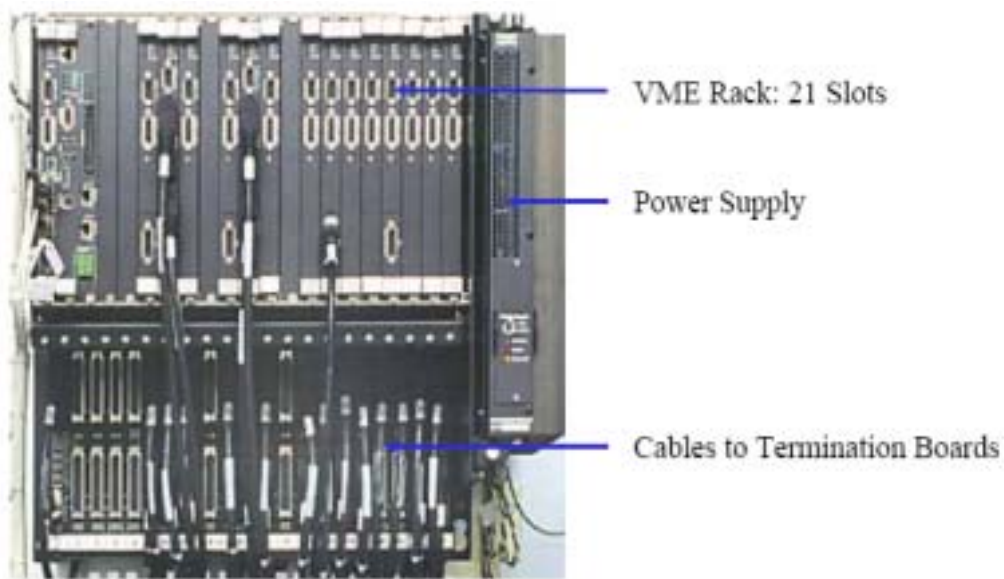
Mark VI 有 Simplex 與 TMR (Triple Redundant Module) 兩種架構，Simplex 只有一個控制器<R>，通常用於 Non-Critical 控制或監視系統，TMR 系統則包含<R>、<S>、<T> 三組相同控制器，輸入、輸出與內部處理信號均採三選二邏輯（視信號重要程度有不同規劃），當一組控制器故障時，可維持系統正常控制功能，並隔離故障控制器進行維修。

控制器由包含 21 槽（或 13 槽）之 Rack 組成（參考附圖十、十一），各控制器配有獨立電源供應器，提供卡片工作電源，並裝設通風扇加強散熱。

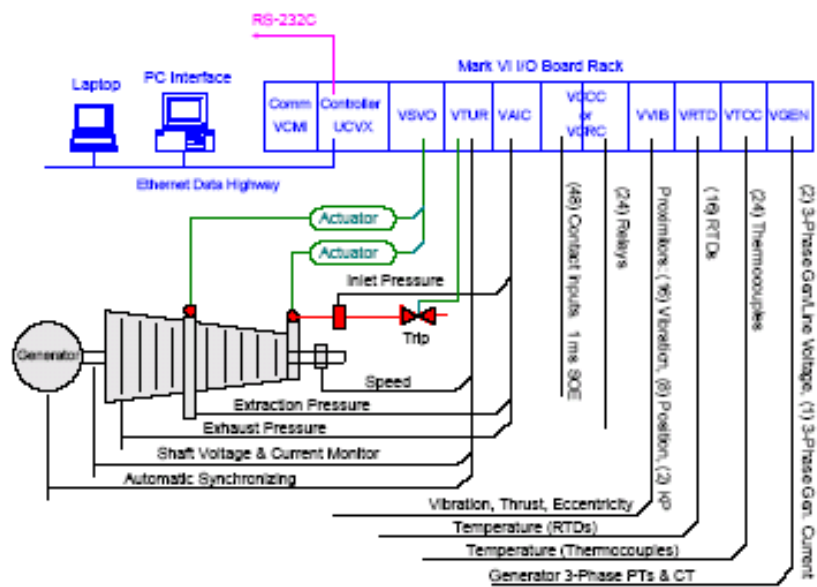
除第一槽固定為 VCMi 通信卡、第二槽為主控制卡 UCVE Card 外，其他槽位可依需求選擇不同功能的各型卡片，但硬體卡片安裝需與 Control Toolbox 規劃的定義符合，且透過 I/O 設定與邏輯規劃才能正常執行控制功能。附圖十二為一典型應用範例。



附圖十：Mark VI 控制器架構



附圖十一：Mark VI 控制器實體外觀

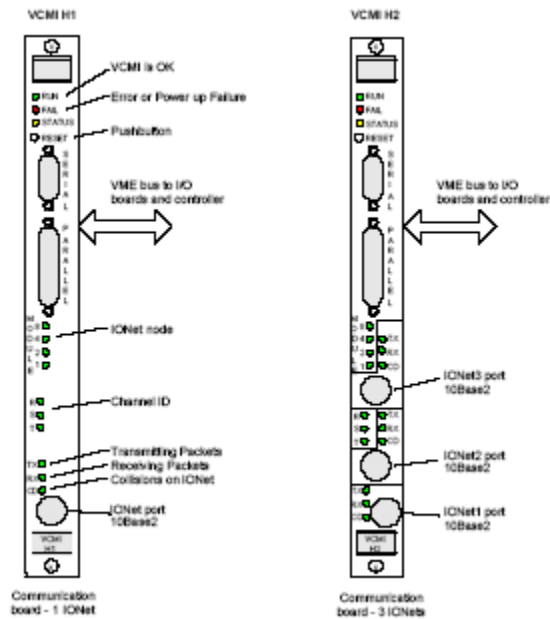


附圖十二：Mark VI Module Rack 應用範例

各種主要控制卡片介紹：

(1) 通信控制卡 VCMi Card

VCMi 卡為每個 Control Module Rack 或 Remote I/O Rack 必備的卡片，其功能為管理整個 Rack 中各 I/O 卡片的識別 ID 與控制系統的通信網路介面，共有兩種版本：使用於 Simplex 系統的 VCMi H1 及使用於 TMR 系統的 VCMi H2（如附圖十三）。



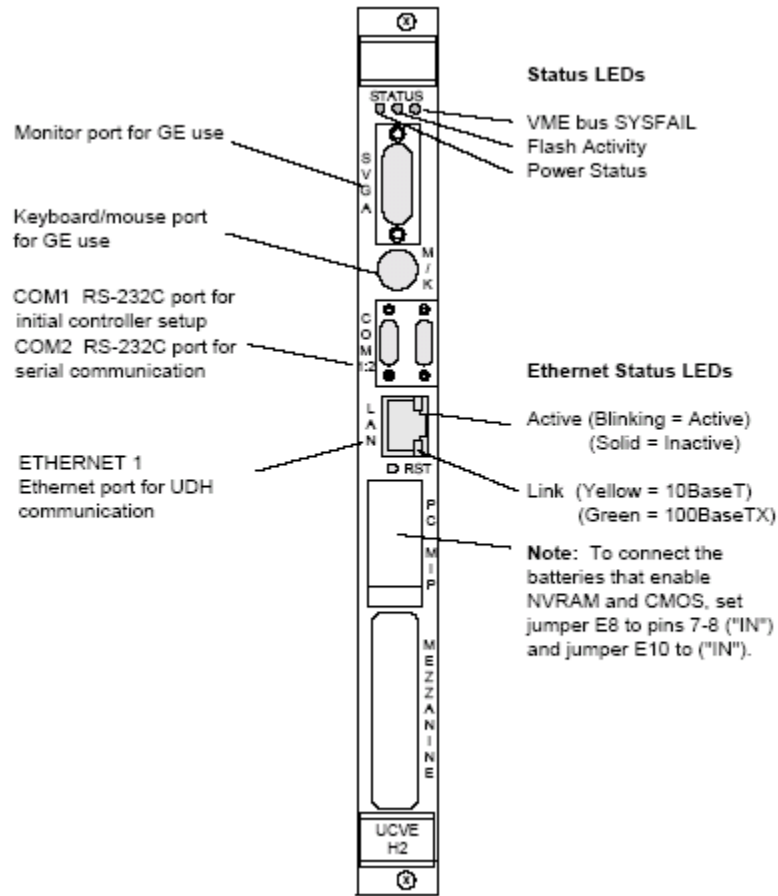
附圖十三：VCMi 通信控制卡

VCMi Card 採用德州儀器（TI）TMS320C32 32-bit 數位信號處理器，提供一個 RS232C Series Port、一個 Parallel Port、一或三個 Ethernet Port，除做為 Rack 與 Rack 之間的通信介面外，亦提供人機介面電腦（HMI）之連線，並執行各信號點三選二功能，再將結果送至各 Rack 之主控制卡，使控制信號不受單一控制元件或 I/O Card 故障影響，皆能保持三選二後之正確結果。該卡片具自診功能，在卡片上有狀態指示燈以提供維護人員快速之故障判斷。

(2) 主控制卡 UCVE Card

UCVEH2（如附圖十四）為標準的 Mark VI 主控制卡片，主要功能係執行系統控制邏輯，使用 Intel Celeron 300MHz 處理器，內建 16Mb Flash Memory 及 32Mb DRAM，透過 10BaseT/100BaseTX (RJ-45) Ethernet port 與 Unit Data Highway 通信，利用 HMI Server Control System Toolbox 以 Relay Ladder

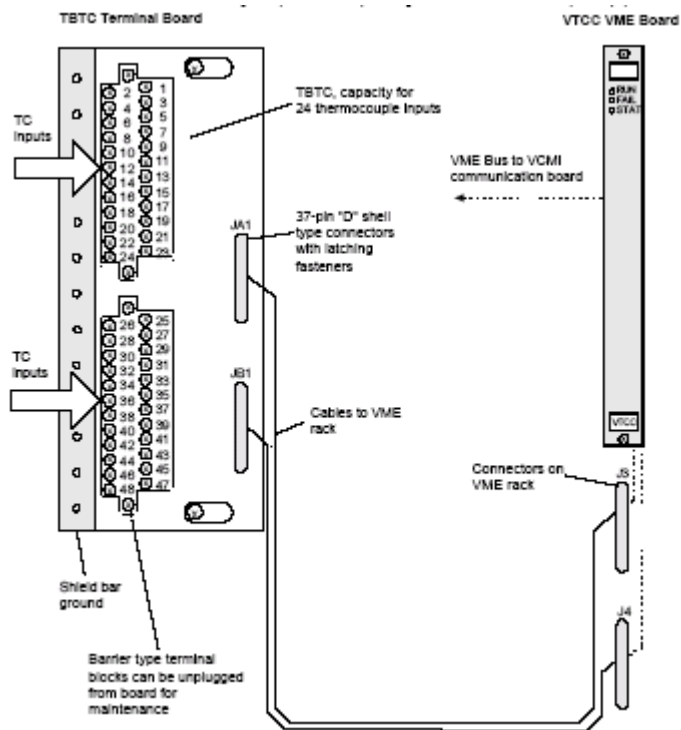
Diagram 方式規劃控制邏輯。



附圖十四：UCVE 主控制卡

(3) 熱電偶信號處理卡 VTCC Card

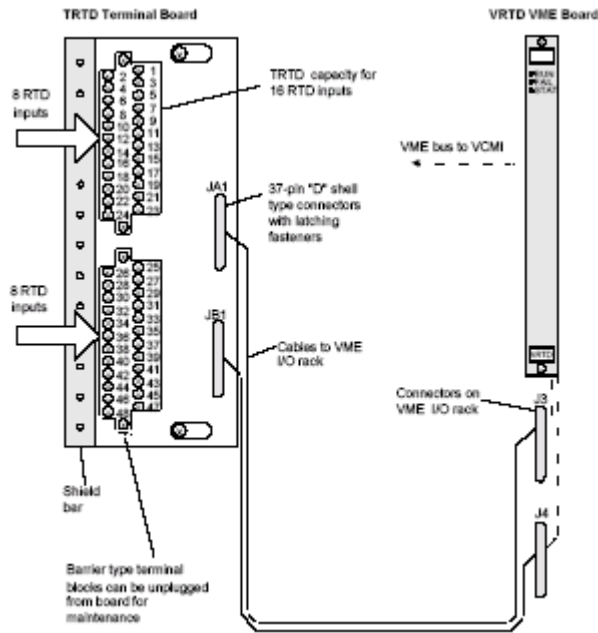
VTCC Card (如附圖十五) 可處理 24 組 E、J、K、S、T 等各種 Type 熱電偶輸入信號，選用時需搭配 TBTC (分為使用於 Simplex 系統之 TBTC1C 與使用於 TMR 系統之 TBTC1B 兩種) 接線端子卡，輸入信號經 TBTC Card 補償後，由 VTCC Card 依規劃使用之熱電偶形式作線性轉換，以正確讀取偵測溫度值，再透過 Rack 背板連線將信號送給主控制卡。



附圖十五：VTCC 熱電偶信號處理卡與 TBTC 接線端子卡

(4) RTD 信號處理卡 VRTD Card

VRTD Card (如附圖十六)可處理 16 組三線式 RTD 信號，選用時需搭配 TRTD (分為使用於 Simplex 系統與使用於 TMR 系統兩種版本)接線端子卡，輸入信號經 TRTD Card 濾除雜訊後，由 VRTD Card 依規劃使用之 RTD 形式作線性及數位轉換，以正確讀取偵測溫度值，再透過 Rack 背板連線將信號送給主控制卡。



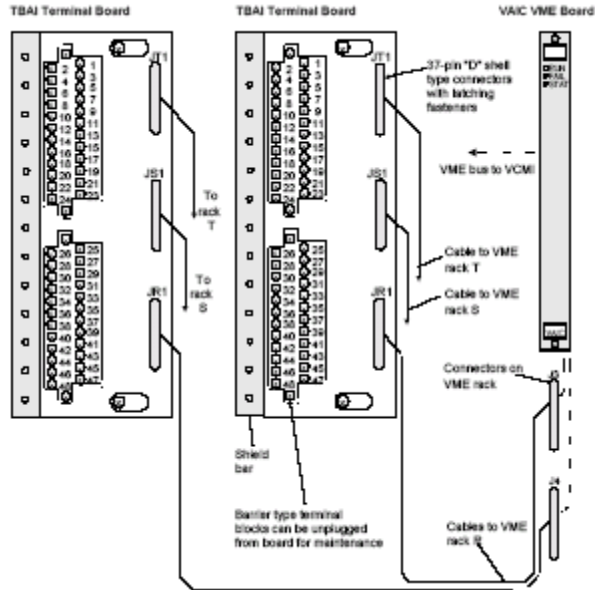
附圖十六：VRTD 信號處理卡與 TRTD 接線端子卡

(5) 類比信號處理卡 VAIC Card

每張 VAIC 卡搭配兩張 TBAI 接線端子卡（如附圖十七）可處理 20 組類比輸入（ $\pm 1\text{mA}$ 、 $4\sim 20\text{mA}$ 、 $\pm 5\text{V}$ 、 $1\sim 5\text{V}$ 、 $\pm 10\text{V}$ ）與 4 組類比輸出信號（ $4\sim 20\text{mA}$ 、 $0\sim 200\text{mA}$ ），輸入信號經 TBAI Card 濾除雜訊後送至 VAIC Card 轉換為數位信號，由 Rack 背板線路傳送至 VCM 通信卡，再由主控制卡讀取進行控制邏輯運算。輸出信號則依反方向進行，控制卡的運算結果經三選二 Vote 處理後再由 TBAI Card 輸出。

(6) 類比信號處理卡 VAOC Card

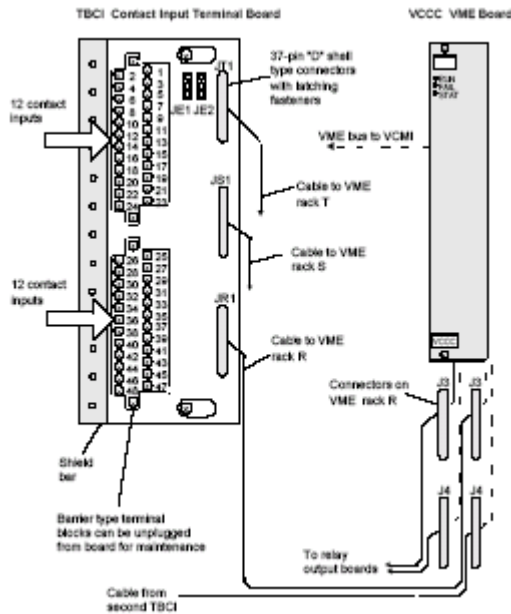
其信號處理方式與 VAIC Card 輸出部分相同，但每張 VAOC Card 可提供 16 組類比信號輸出，當類比信號輸出需求較多時可選擇 VAOC Card。



附圖十六：VAIC 信號處理卡與 TBAI 接線端子卡

(7) 接點輸入信號處理卡 VCCC Card

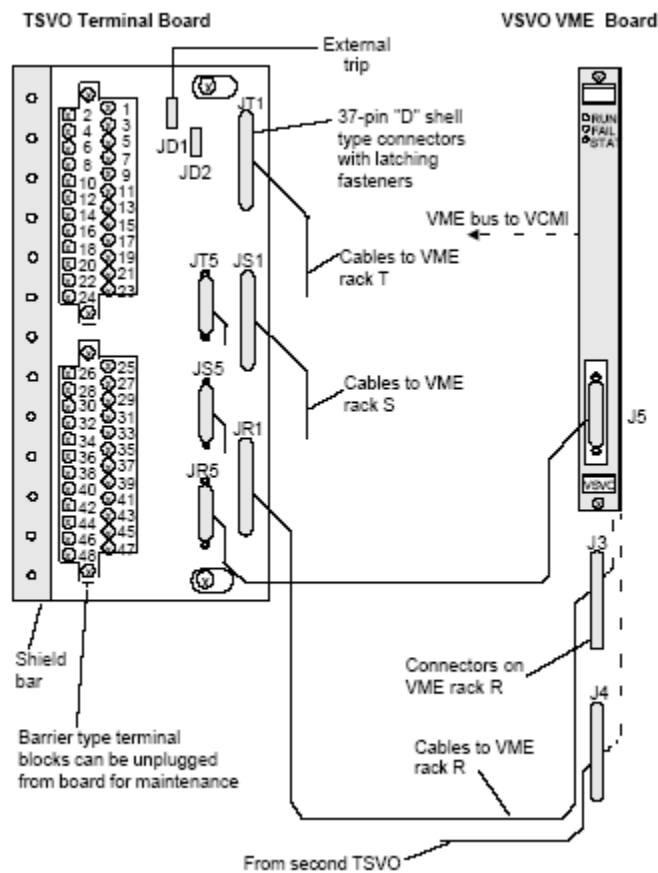
VCCC Card 須配合 TBCI 接線端子卡使用（如附圖十七），由 TBCI Card 送出 125Vdc 或 24Vdc 電壓偵測接點，經線路處理後的信號送至 VCCC Card，再供控制器使用，每張 VCCC Card 共可接受 48 組接點輸入信號。此外另有兼具接點輸入/輸出的 VCRC Card，可自行依需要搭配 TBCI 或 TRLY 接線端子卡，將之定為接點輸入或輸出介面。



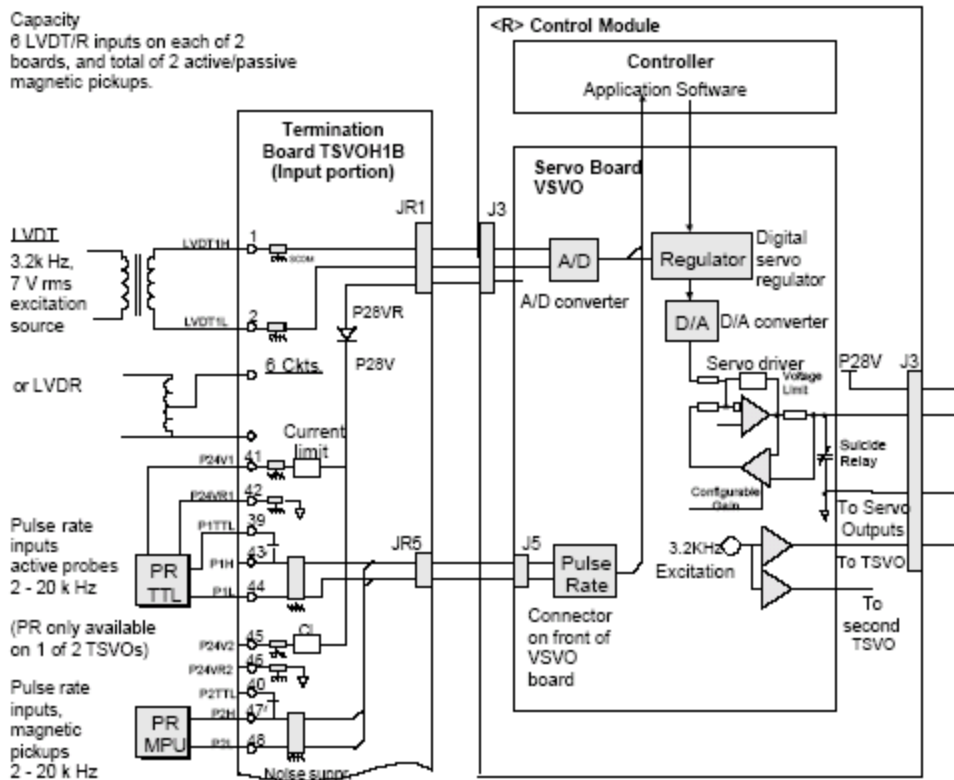
附圖十七：VCCC 信號處理卡與 TBCI 接線端子卡

(8) 伺服閥控制卡 VSVO Card

汽機控制系統最重要的功能為控制各蒸汽閥並藉之控制汽機轉速或負載，Mark VI 即由 VSVO Card 搭配 TSVO Card 接線端子卡（如附圖十八）輸出電流至伺服閥，由伺服閥控制高壓液壓油來操作各蒸汽閥，因 Mark VI 本身為 Triple Redundant 系統，故選用三組線圈之伺服閥，由 <R>、<S>、<T> 三個 Module Rack 各控制一組線圈，亦即 <R>、<S>、<T> 須安裝相同數量之 VSVO Card，而每張 VSVO Card 有四組伺服閥驅動線路及四組 LVDT 回授信號輸入電路。（線路如附圖十九所示）



附圖十七：VCCC 信號處理卡與 TBCI 接線端子卡



附圖十九：VSVO 控制卡與 TSVO 接線端子卡線路

(9) 汽機控制卡 VTUR Card

VTUR Card (線路如附圖二十) 的功能有：

a. 汽機超速跳脫保護：

汽機超速跳脫保護分為 Primary 及 Backup 兩組，Primary Over Speed Trip 由三支 Speed Sensor 經 <R>、<S>、<T> 控制邏輯做三選二控制，Backup 則是由三張保護模組卡片之韌體電路做三選二控制控制，兩者之一動作即跳脫汽機，且兩者之間亦有 Cross Trip 設計，以提供更嚴密的保護功能。

b. 軸電壓監視：

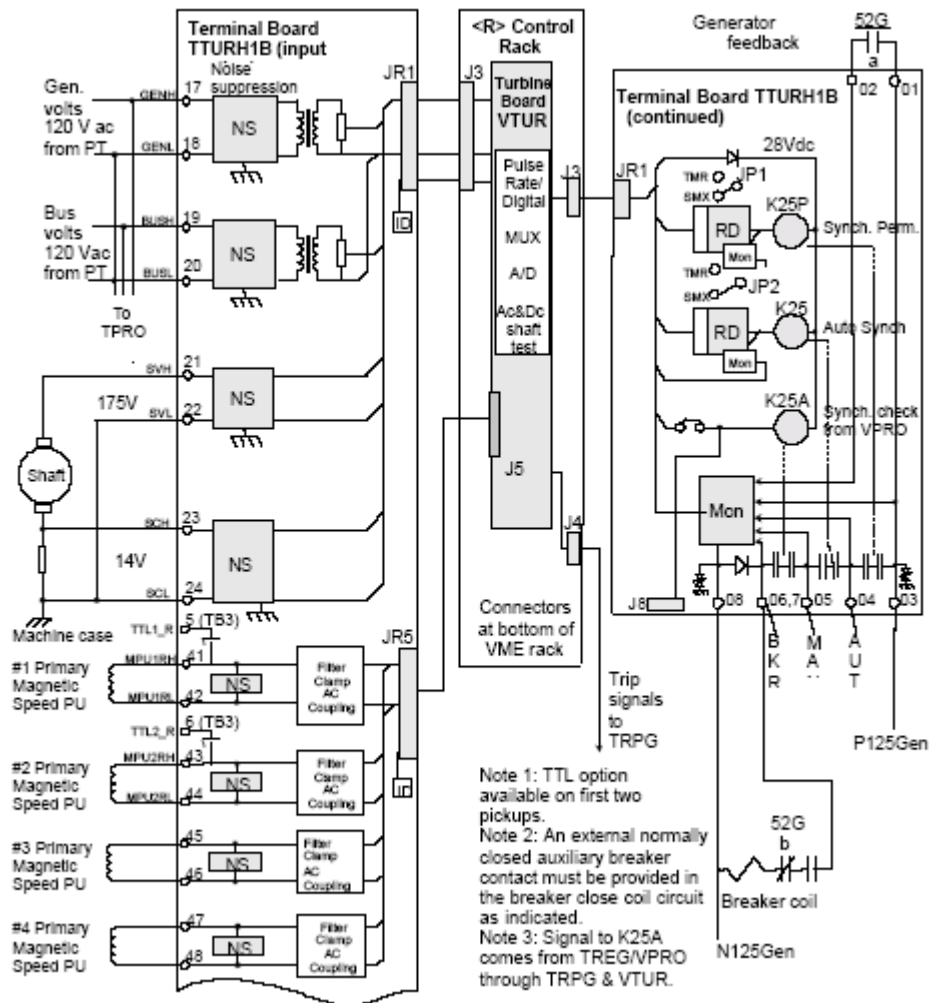
專為監測軸電壓設計的電路提供 DC、AC 軸電壓偵測與警報，並提供測試功能。

c. 發電機自動併聯：

由發電機與系統電壓 PT 提供的信號送至 TTUR 接線端子卡，再經 Cable 連至 VTUR Card，基本併聯條件如電壓大小、頻率等由 VTUR 控制邏輯判斷並提供 Speed Matching、Voltage Matching (透過 AVR) 功能。

相角差偵測與併聯接點輸出為避免軟體 Scan Rate 之限制，另由 VPRO Card 硬體線路達成該功能。發電機併聯

除手動、自動模式外，另一種選擇為 Check 模式，即由 Mark VI 提供同步條件確認功能並送出允許併連接點，但須以手動開關完成併聯動作。Mark VI 為求精確控制併聯時機，具備自動修正功能，偵測由併聯命令輸出至發電機 Breaker Close 信號回授時間，修正合乎 Synch. Window 條件之前置時間，以決定最佳併聯命令時間點。發電機自動併聯可有效縮短併連操作時間，並可減少人為誤操作之可能，為 Mark VI 非常實用之重要功能。

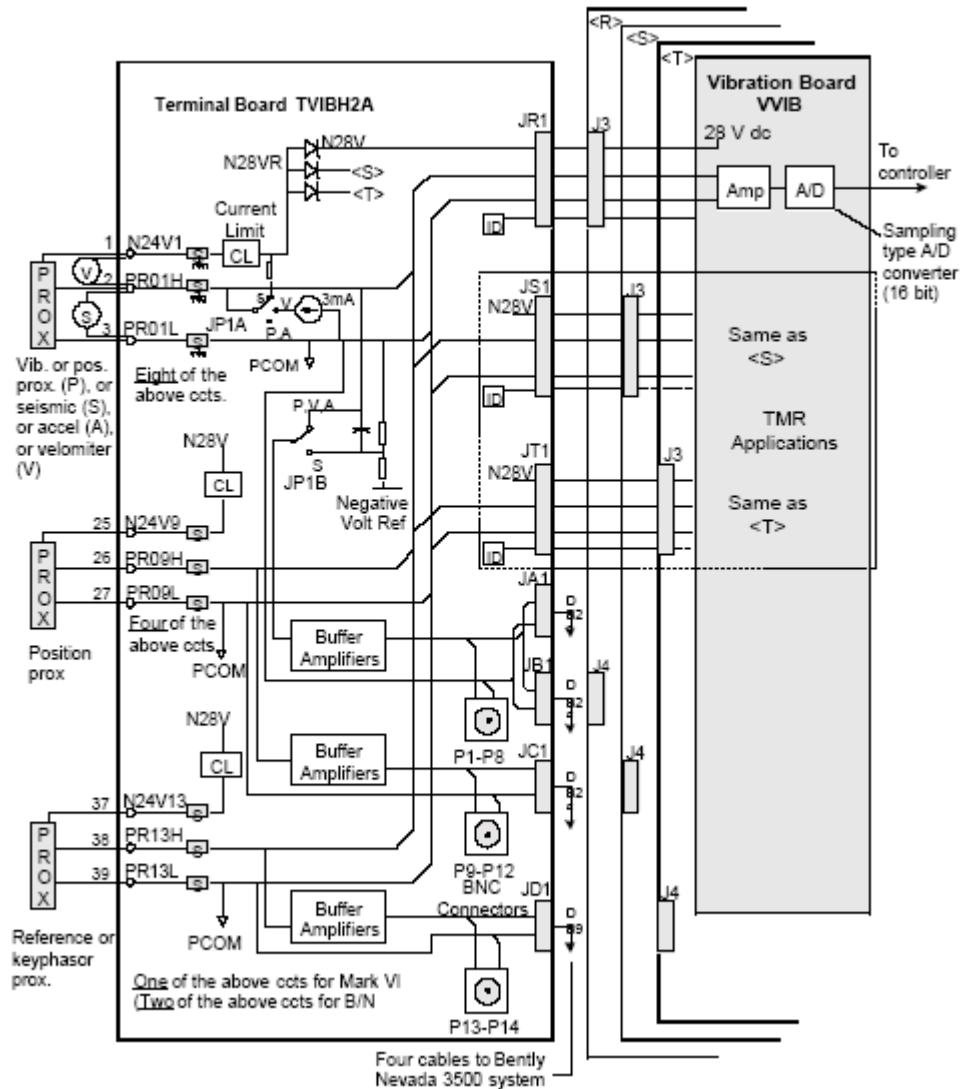


附圖二十：VTUR 控制卡與 TTUR 接線端子卡線路

(10) 振動監測卡 VVIB Card

Mark VI 使用 Bently Nevada 振動偵測器監測汽機軸承振動，每張 VVIB Card 可接收 14 組振動信號，由接線端子卡 TVIB

Card 提供偵測近接器 (Proximitors) -24Vdc 電源，並接收回送之 DC Gap 電壓與代表振動信號的 AC 電壓，再送至 VVIB Card 計算振動值以供指示與控制器跳脫保護邏輯之用（如附圖二十一）。當 DC Gap Voltage 超過設定值時即送出 Probe Fault 警報並將振動跳脫保護邏輯 Disable，以防止誤信號跳脫機組。

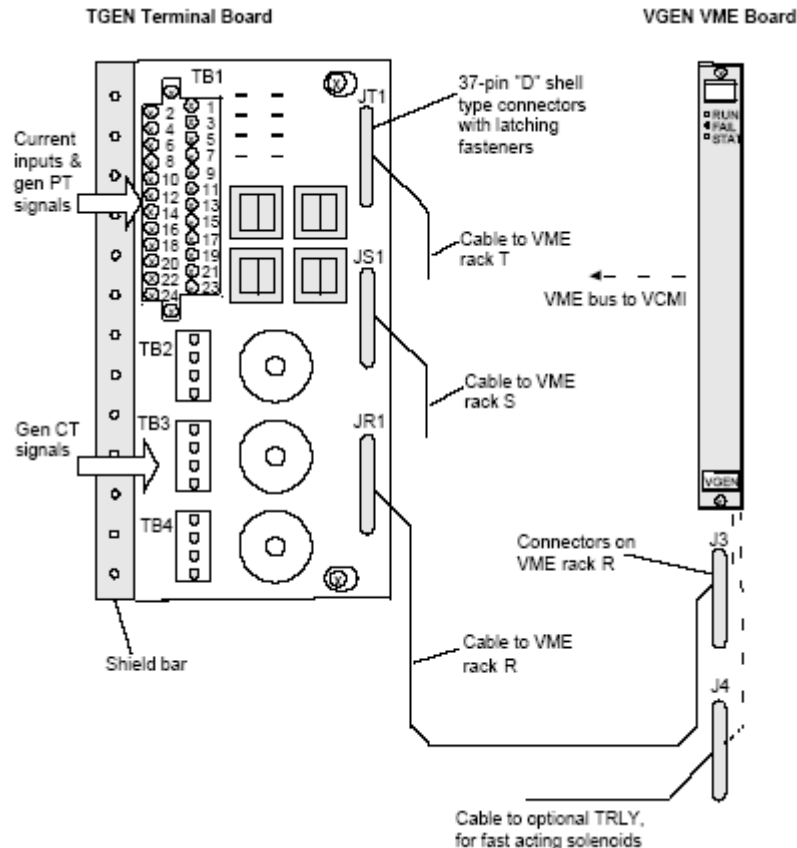


附圖二十一：VVIB 振動監測卡與 TVIB 接線端子卡線路

(11) 發電機監視卡 VGEN Card

VGEN Card 與 TGEN 接線端子卡（如附圖二十二）提供發電機重要信號監測功能，除接受來自發電機 PT、CT 信號監視發電機電壓、電流外，並計算機組負載、功率因素。此外亦負責防止

汽機超速之 PLU (Power Load Unbalance) 與 EVA (Early Valve) 功能，在機組負載大於額定負載 40% 時，若發生發電機電流消失率大於 133%/Sec.之卸載情況，則動作 CV (Control Valve) 之快速動作閥，洩除高壓液壓油使 CV 快速關閉，以防止汽機超速。如於機組負載大於額定之 70%下發生上述卸載情況，則除 CV 外亦動作快速動作閥關閉 IV (Intercept Valve) 以快速移除來自再熱蒸汽之能量，防止汽機超速。



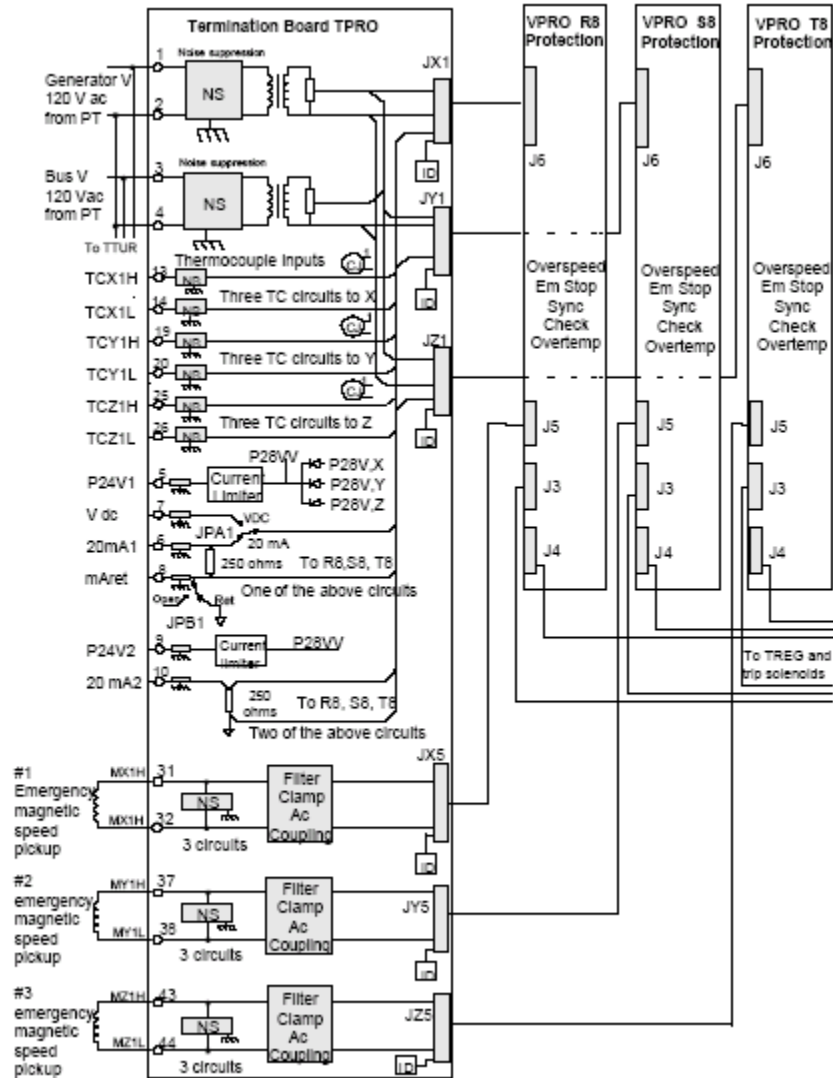
附圖二十二：VGEN 發電機監視卡與 TGEN 接線端子卡線路

(12) 保護模組卡 VPRO Card

GE Speedtronic Mark VI 控制系統為求高可靠度採三重多餘裕之設計，而保護功能更增加了 Backup Protection 第二道保護，尤其是足以造成汽機嚴重損害的超速保護，基本上 Primary Protection 是由軟體控制邏輯執行，而 Backup Protection 則由硬體電路負責，以求零失誤的完整保安功能。

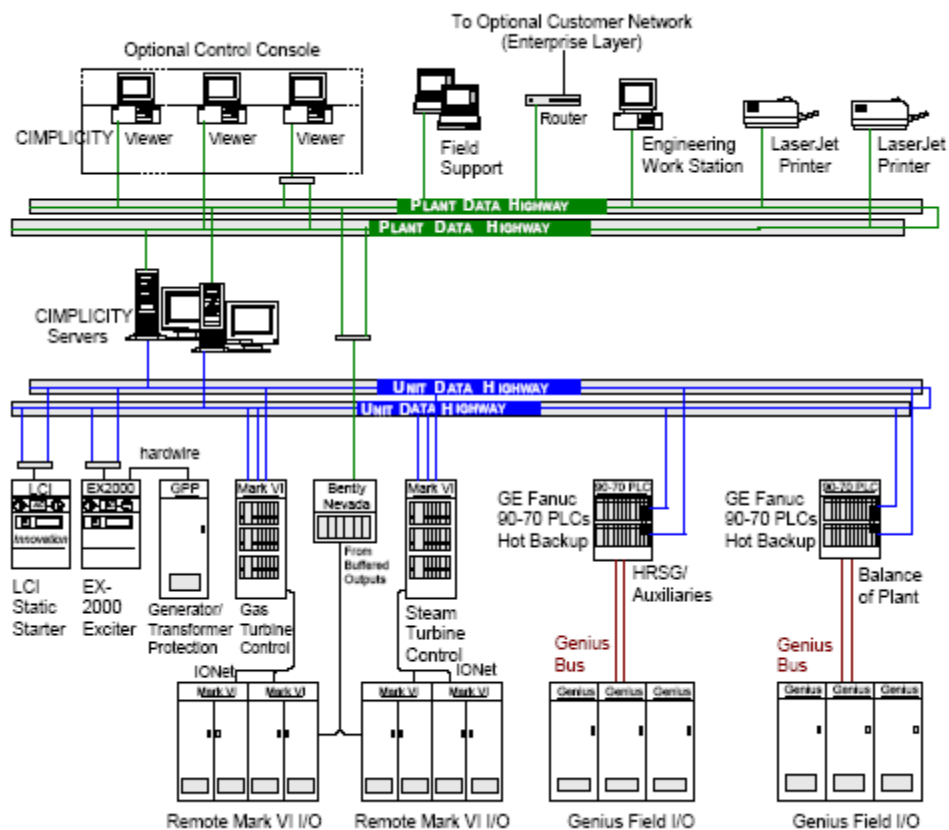
VPRO 保護模組卡搭配 TPRO 接線端子卡（如附圖二十三）除提供前述自動併聯同步偵測與併聯接點外，另一項功能為監視第二組三選二速度偵測器信號，執行速度信號消失、速度變化率異常、超速等狀態之跳脫功能，<R>、<S>、<T> 控制器保護模式為

控制 125Vdc 機械跳脫電磁閥（正常為失磁），後備緊急跳脫則為三張 VPRO Card 三選二控制 24Vdc 電氣跳脫電磁閥（正常為激磁），以防電源或線路異常而喪失保護功能。



附圖二十三：VPRO 保護模組卡與 TPRO 接線端子卡線路

c. 通信網路：



附圖二十四： Mark VI 通信網路架構

如附圖二十四所示，Mark VI 的網路架構主要由 Unit Data Highway 與 Plant Data Highway 組成，Unit Data Highway 為光纖 Ethernet 網路，連接 Mark VI 或其他 GE 控制盤與 HMI（Human Machine Interface）Server 電腦，Mark VI 的每個 Control Module Rack（<R>、<S>、<T>）皆安裝一張 VCM I 通信卡，而每張 VCM I Card 都連接到 Unit Data Highway 網路，透過該網路交換資料，若要獲得較高的可靠度亦可採用如圖中之雙迴路 Redundant 規劃方式。

Plant Data Highway 則連接遠端操作介面（HMI Viewer）、網路印表機或其他控制系統，與 Unit Data Highway 同樣為光纖 Ethernet 網路，亦可規劃雙迴路 Redundant 方式。

4. HMI（Human Machine Interface）電腦

HMI 電腦依其安裝之軟體與在網路架構中的位置，可分為 Server 與 Viewer 兩種，Viewer 只安裝操作圖控軟體（Cimplicity），只能供操作及監視使用，而 Server 電腦則除了 Cimplicity 圖控軟體外，另加裝系統規劃軟體（GE Control System Toolbox），可透過 Unit Data Highway 與控制盤連接，兼具操作與系統規劃功能。

5. Mark VI 硬體、軟體規劃

Mark VI 的硬體及軟體規劃須由與 Unit Data Highway 連線之 HMI Server 進行，HMI Server 所安裝之 Control System Toolbox 工具程式可對整個 Mark VI 控制系統做完整的規劃，其步驟如下：

a. Cabinet Hardware Rack 定義：

Toolbox 程式提供了硬體卡片資料庫，由資料庫中選取各種控制卡片組成與實際控制盤相同之硬體架構。

b. I/O 點定義：

依控制需要定義各卡片提供之 I/O，包含硬體位置、Scale 形式及點名。

c. 定義 I/O 之外的其他內部數位邏輯與類比點。

d. 定義控制常數。

e. 控制邏輯規劃：

Toolbox 程式中已內建所有控制邏輯方塊，可依控制功能需求選取再定義方塊輸出與輸入點，再配合邏輯階梯圖即可完成規劃。

f. 建立控制邏輯資料庫。

g. 定義警報點。

h. 定義圖控畫面所需之所有點，以供操作與監視畫面使用。

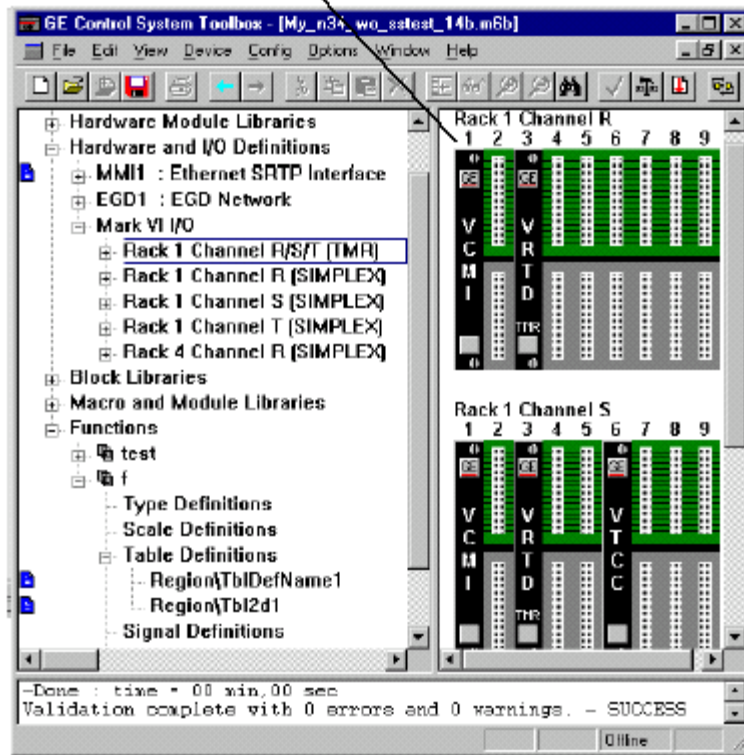
i. 規劃方案組譯。

j. 規劃方案下載。

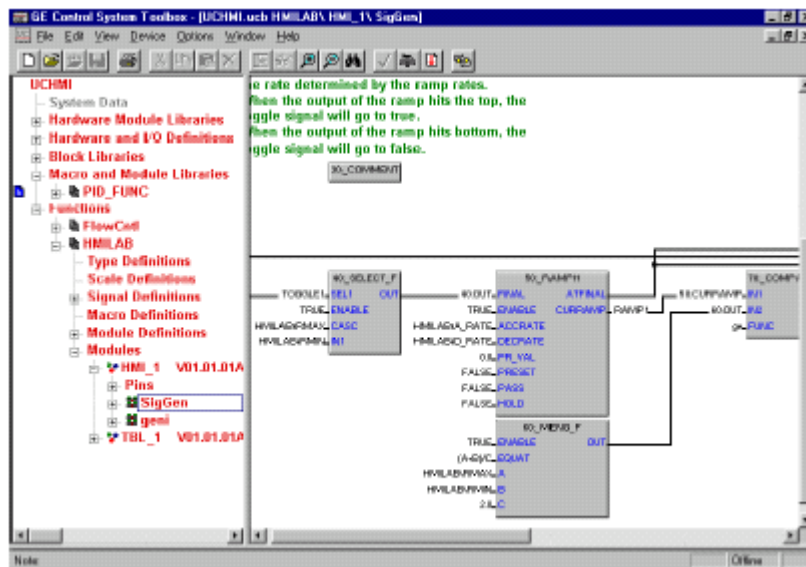
Toolbox 規劃作業畫面如附圖二十五、二十六所示。

Click on the TMR rack in the Outline View (Rack 1 in this example) to view all the channels at the same time in the Summary View.

The Summary View displays a graphic of each rack and all the boards they contain.



附圖二十五：硬體規劃畫面



附圖二十六：控制邏輯規劃畫面

(四) 日本東芝公司簡介

1. 公司沿革：

東芝公司的前身為 1875 年 Hisashige Tanaka 先生於東京創設的電報設備工廠，1890 年正式成立 Hakunetsu-sha & Co., Ltd 製造了日本的第一顆燈泡，隨後陸續生產多項在日本領先的機電產品(包括第一部水輪發電機—60KW)，1939 年 Tokyo Electric Company 與 Shibaura Engineering Works Co.合併成立了後來的 Toshiba 公司。

2. 公司現況與主要事業：

Toshiba 公司總部設於東京，2002 年營業額為 5 兆 6 千 5 百餘億日圓，稅後盈餘 185 億日圓，員工共有 16 萬 5 千多人，主要經營的事業包含旗下的六家子公司：

- a. 行動通信公司。
- b. 數位媒體網路公司。
- c. 個人電腦與網路公司。
- d. 半導體公司。
- e. 工業與電力系統公司。
- f. 民生用品公司。

3. 東芝府中事業所 (Toshiba Corporation Fuchu Complex)



附圖二十七：東芝府中事業所

a. 概要：

東芝公司於 1940 年在東京都府中市成立府中事業所，占地 74 萬平方公尺，共有員工約 2700 人。

b. 主要產品：

- I. 電廠監視與控制系統。
- II. 新能源與節能系統。
- III. 核能儀器設備。

- IV. 數位媒體產品。
- V. 電路元件產品。
- VI. 大樓、鐵路、機場監控系統。
- VII. 電梯系統。

4. 東芝京浜事業所 (Toshiba Keihin Operations)





附圖二十八：東芝京浜事業所

a. 概要：

1925 年先設立鶴見工場，陸續擴建後於 1979 年正式成立京浜事業所，共有京浜本工場、西分工場、入舟分工場三個廠區，皆位於橫濱市鶴見區，佔地共 53 萬 5 千平方公尺，共有員工約 2500 人。

b. 主要產品：

- I. 火力、核能及水力發電設備：汽輪機、水輪機、氣渦輪機、發電機等。
- II. 新能源設備：燃料電池、核融合試驗設備等。
- III. 超導體應用設備與超導體發電機。
- IV. 工業材料研究開發。
- V. 核子加速器。
- VI. 環保設備。
- VII. 太空實驗設備。

（五）Toshiba D-EHC 汽機控制系統

1. 系統架構

Toshiba D-EHC (DIGITAL ELECTRO-HYDRAULIC CONTROL) 外觀如附圖二十九，其架構採用階層式組織，由雙重系統控制器 (SYSTEM CONTROLLER) 連接三重主控制器 (MASTER CONTROLLER)、操作電腦，以執行汽輪機各項控制功能（如附圖三十）。



附圖二十九：D-EHC 系統外觀

系統主要元件簡介如下：

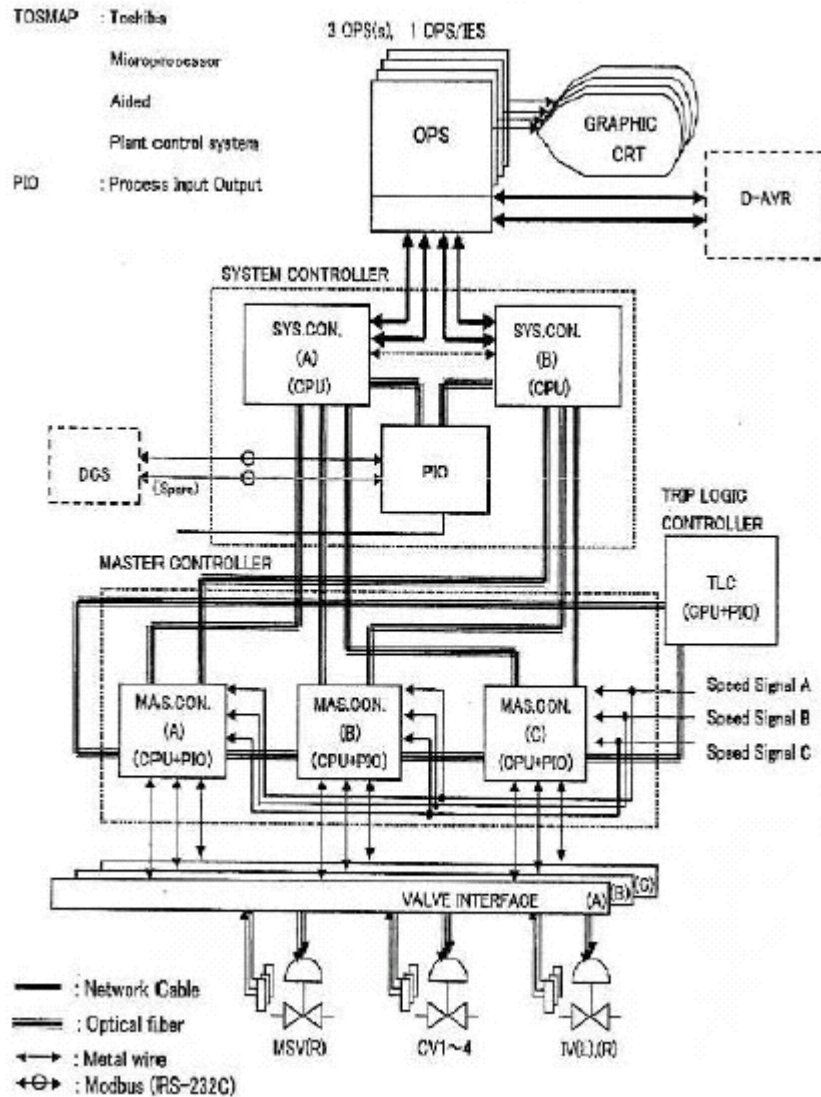
系統控制器 (SYSTEM CONTROLLER) —

D-EHC順序控制，系統控制器單元本身沒有I/O處理器，需外接I/O處理器。藉由I/O處理器連接電廠分散式控制系統 (DCDAS)，以取得汽機其他輔機運轉狀況資訊，及跳脫連鎖保護。亦可藉由網路連接卡，控制發電機自動電壓調整器系統。

汽機控制功能，如自動負載調整、自動起動等功能，係由系統控制器進行控制。

主控制器 (MASTER CONTROLLER) —

D-EHC 初始回饋控制 (PRIMARY FEEDBACK CONTROL)，主控制器單元內含I/O處理器，可執行速度控制、負載控制、初始進汽壓力控制、蒸汽進汽閥之閥位控制等主要項目。



附圖三十：D-EHC 系統架構

◎ OPS (OPERATION STATION) —

D-EHC 控制系統中操作及監視之介面，主要由三組工業級電腦所組成。

◎ IES (ENGINEERING STATION) —

D-EHC/人機介面之規劃、維護，主要執行控制程式編輯、資料庫數據處理等工作。雖亦可提供緊急控制之功能，但以中九機實際運用上因安裝位置離控制室太遠，不適合運轉人員操作之用。

◎ VALVE/COMMON INTERFACE —

主控制器與汽機蒸汽進汽閥（包含 MAIN STOP VALVE/CONTROL VALVE /INTERCEPT VALVE /REHEAT STOP VALVE）控制介面轉換單元，共有三組，每組均獨立處理信號與三組主控制器交叉聯繫，達到三

重多餘裕控制目的。

⊙ Hard Wired Unit

類比介面信號/固態邏輯信號連接，重要控制信號採用 HARDWIRED 連接方式，避免因通信處理介面失效，而無法執行控制功能。

⊙ TLC (TRIP LOGIC CONTROLLER) —

各項汽機跳脫保護邏輯運算與執行單元，與主控制器以光纖電纜進行信號聯繫，以因應跳機時，通知主控制器進行各項進汽閥關閉之動作，以確保汽機之安全。

2.操作選項結構：

採用視窗介面之操控軟體，視窗系統使用微軟公司WINDOWS 2000 PROFESSIONAL。操控軟體主要分為主選單（MAIN MENU）、次選單（SUB MENU）及跳出式視窗（POP-UP WINDOW），結構如附圖三十一。

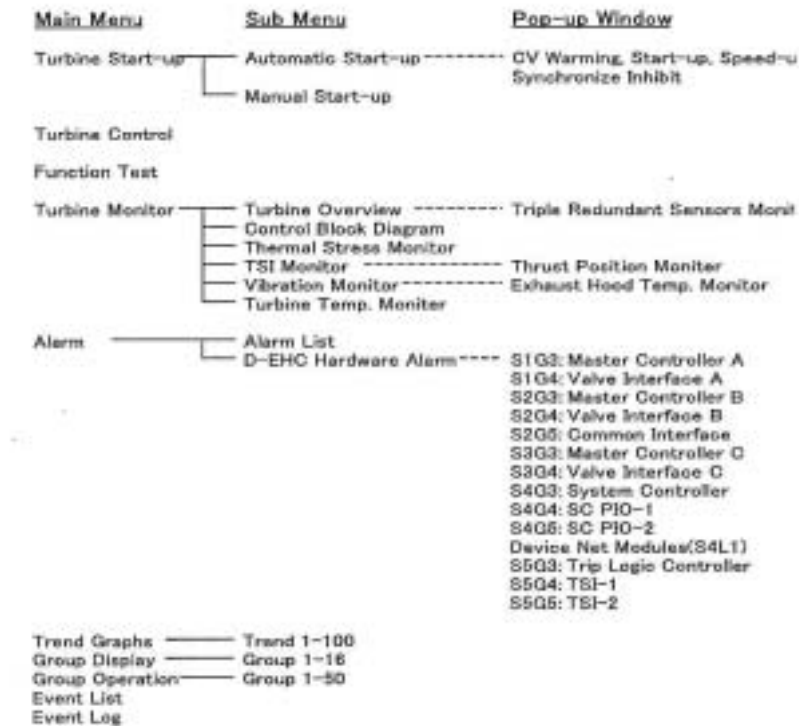


Fig. 6.17 Menu Configurations

附圖三十一：D-EHC 系統操作選項結構

3. 電源需求：

本系統控制盤內各控制組件之電源供應，由內部電源供應器統一供給，而電源供應器電源分別由不斷電系統及直流配電盤供應，以維持電源之穩定。而操作電腦之電源供應也是經由控制盤內斷路器供應，來源是上述之不斷電系統供電。

4. 操作站

由三台工業級計算機、三台HUB、一台TIME SERVER、一台雷射印表機所組成。本操作站電腦可執行控制系統運轉、控制監視等工作。操作電腦經由HUB連接系統控制器。三台電腦可經任一HUB連接D-EHC控制盤內之HUB再連接雙重系統控制器，確保連結之安全性與穩定性，不因單一電腦、網路線、HUB故障，而失去系統之控制功能。可經由第三台HUB連結雷射印表機執行列印工作。TIME SERVER接收GPS之CLOCK，藉此將D-EHC之TIMING與廠內其他系統同步，達到控制系統Time Synchronizing，有利爾後事故原因分析與判斷。

5. 工程師工作站

由一台工業級電腦、一台雷射印表機所構成。藉由網路線連結操作站之第三台HUB與網路雷射印表機連線。另一迴路網路線連結D-EHC控制盤內HUB，再連接系統控制器，確保可執行程式編輯、資料庫數據之收集與運用

6. 系統控制器

系統控制器由兩組控制器單元及一組 I/O 處理器所構成，達成雙重控制系統功能。系統控制器經由二台 HUB 連接操作站、工程師操作站，經由控制器本身之網路連接卡連接 AVR 控制盤，建立控制系統之連結。汽機一般之順序控制由系統控制器執行，譬如汽機自動起動、負載自動調整。接收/處理一般監視信號、與電廠分散式控制系統取得聯繫均是藉由 I/O 處理器。

7. 主控制器

主控制器單元內含I/O處理器，由三組處理器單元構成，建立「三選二」之控制目的，在一組處理器單元故障情形下，控制系統仍可正常運作。增加系統穩定性及達成系統運轉中維護之可行性。每一組主控制器可連接三組蒸汽閥介面，操作蒸汽進汽閥。MSV (R)、CV1-4、IV (L)、IV (R) 連接之進汽閥控制信號為三重信號（即現場之伺服閥有三組線圈，回授信號則為三組獨立之LVDT）。其他全開全關蒸汽閥是經由共同介面，藉由主控制器內含之I/O 處理器單元接收回授信號。

8. 共同介面

MSV(L)、RSV(L)、RSV(R)之單一閥位信號回授處理介面。

9. 蒸汽閥介面

MSV(R)、CV-1、CV-2、CV-3、CV-4、IV(L)、IV(R)之三組LVDT位置回授及單一伺服閥三組動作線圈之處理介面。

10. 跳脫邏輯控制器

連接電廠分散式控制系統與 D-EHC 主控制器取得外部跳脫信號。汽機監視系統 (TSI) 跳機信號與 D-EHC 之汽機跳機監視信號均連接至此，進行跳機邏輯運算與處理，如果達成跳機信號條件，則通知主控制器關閉蒸汽進汽閥，通知系統控制器進行停機程序。

11. 汽機監視系統 (TSI)

汽機監視系統信號顯示器與處理器裝設於D-EHC控制盤內，再將信號顯示於操作電腦。跳機信號輸出則是連接至跳脫邏輯控制器，進行跳機邏輯運算。

12. 系統操作功能邏輯

D-EHC 可執行之控制功能，分為三大項目，分別為負載控制、速度控制、閥位控制，相互之間關聯性如附圖三十二。

(1) 汽機起動控制 (START-UP CONTROL)：

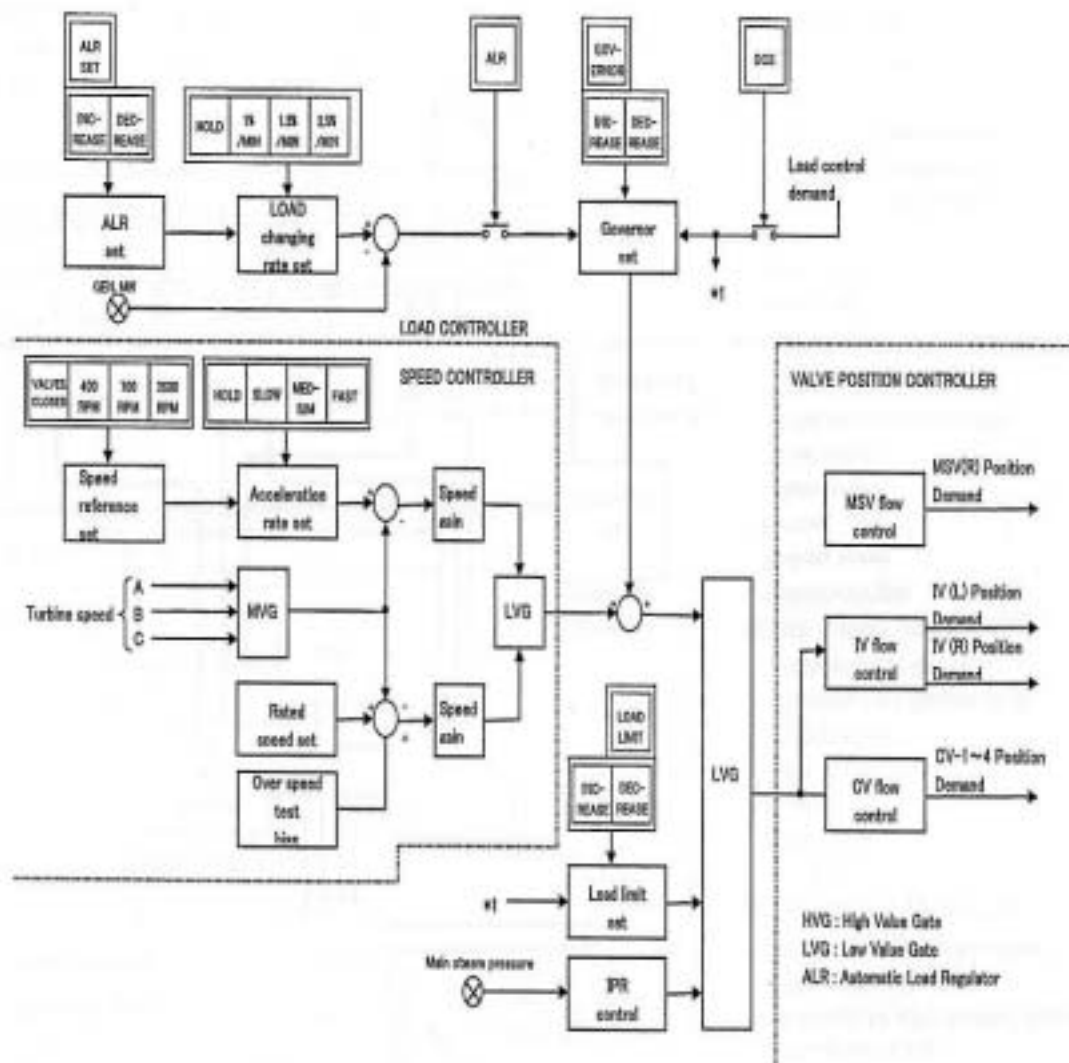
可控制範圍非常寬廣，從慢車速度到機組併聯。汽機速度上升或下降，藉由改變速度目標設定值。控制器在設定升速率下計算實際速度與目標設定值差，輸出汽機起動控制命令。

(2) GOVERNOR CONTROL

控制器 (GOVERNOR) 設定值加上實際速度與目標設定值差當成輸出控制信號值。本項功能為蒸汽進汽閥閥位控制，以防止汽機超速。而控制閥與中間閥在汽機超速度下，閥位關閉曲線與控制器 (GOVERNOR) 設定值相關聯，設定值愈大，進汽閥開始關閉點之汽機速度愈高。

(3) GOVERNOR SETTER

功能是輸出負載要求控制信號進行負載控制，而 GOVERNOR SETTER 設定值之改變，可在 DCDAS 或在控制面板上操作。



附圖三十二：D-EHC 控制邏輯方塊

(4) 自動負載調整 (AUTOMATIC LOAD REGULATING, ALR)

在控制面板上改變 GOVERNOR SET 或負載限制器 (LOAD LIMITER) 設定值，積分器輸出負載上升或下降之信號。如果接收到 PLU 之信號，負載需求輸出會歸零。

(5) 負載限制器設定 (LOAD LIMIT SETTING)

除了經由 GOVERNOR SETTER 進行負載控制外，也可以在控制選單上之按鈕改變負載限制器設定進行負載控制。

在 GOVERNOR SETTER 控制負載之情形，是經由速度控制系統進行速度調節；在 LOAD LIMITER 進行負載控制時，是無法經由速

度控制系統進行速度調節。

(6) LOAD CONTROL

汽機負載控制是經由控制蒸汽進汽控制閥與中間閥之蒸汽流量來達成。而蒸汽流量之控制是依據蒸汽流量需求 (FLOW DEMAND) 信號, FLOW DEMAND 是依據控制器需求 (GOVERNOR DEMAND) 負載限制需求 (LOAD LIMIT DEMAND) 初始蒸汽壓力需求 (IPR DEMAND) 三者中最小值。

(7) 熱應力計算 (THERMAL STRESS CALCULATION)

汽機轉子熱應力計算是依據第一段汽機內部金屬溫度進行計算, 結果輸出供分散式控制系統參考。

(8) 初始蒸汽壓力調節器 (INITIAL STEAM PRESSURE REGULATOR, IPR)

本項功能是防止溼蒸汽進入汽機, 藉由偵測 MSV 前之主蒸汽壓力來決定控制閥之關閉程度。當主蒸汽壓力低於設定值 10% 時, 控制閥開始關閉, 低於 20% 時, 控制閥完全關閉。

(9) PA (PARTIAL ARC) /FA (FULL ARC) TRANSFER

蒸汽進汽方式之轉換, 在 PA MODE 與 FA MODE 下控制閥開度調節方式不相同, 在 PA MODE 下, 控制閥是依特性曲線開啟。在 FA MODE 下, 控制閥則保持相同開度。

(10) CONTROL VALVE WARMING

汽機起動前, 打開 MSV(R)旁通閥預熱控制閥, 以預熱汽機, 防止汽機起動時因熱應力損傷機組。

(11) 功率不平衡 (POWER LOAD UNBALANCE) 保護

當發電機輸出電流以 40%/10ms 以上之速率快速降低或汽機出力與發電機輸出兩者間不平衡超越 40% 時, 本項保護動作將執行。控制閥與中間閥在汽機卸載後將關閉以避免汽機發電機因迅速加速, 導致汽機超速。

(12) 中間閥流量控制 (IV FLOW CONTROL)

本項功能是藉由調整中間閥之開度, 控制蒸汽流量, 避免汽機

在超速，在執行 CRV 閘桿測試時，關閉順序為 IV-RSV，復原開啟順序則相反。

(13) 汽機保護 (TURBINE PROTECTION)

當控制系統偵測到汽機有問題發生，自動將汽機安全停止。本項功能是將快速動作閘失磁，洩放控制油壓，以完全關閉所有蒸汽進汽閘 (MSV/CV/RSV/IV)。

(14) GOVERNOR (GOV) LOAD LIMIT (LL) AUTO CHNGE

本項功能在 FLR (FOLLOW UP LOAD REGULATOR) 模式下才會動作。在 FLR 模式下，負載控制方式自動在 GOV MODE 與 LL MODE 之間切換。

(15) GOVERNOR AUTO FOLLOWING (GOVERNOR FOLLOWING UP LOAD REGULATOR, GOV FLR)

在發電機併聯發電後，如果發電機負載控制是在 FLR 與 LL 模式下時，GOVERNOR SETTER 自動跟隨 CV 流量需求信號在一定量之較高負載。萬一發生卸載時，藉由 GOVERNOR 功能允許快速閘動作。

(16) LOAD LIMIT AUTO FOLLOWING

(LOAD LIMIT FOLLOW UP LOAD REGULATOR, LL FLR)

在發電機併聯發電後，如果發電機負載控制是在 FLR 與 GOV 模式下時，LOAD LIMITER 自動跟隨 CV 開度需求信號在一定量之較高負載。可防止 CV 突開之控制命令。維持負載控制穩定性

(17) 負載改變率限制 (LOAD CHANGE RATE LIMIT)

在 LL FLR 模式下時，改變率限制器可以限制 GOV FLOW 需求增加率，以防止汽機轉子熱應力損傷。但是對於 CV 關閉需求之改

變率，不會加以限制。

(18) 超速試驗 (OVER SPEED TEST)

本項功能只能在發電機併聯前執行。主要功用是在測試緊急跳脫功能是否正常及其動作點是否正確。

(19) 汽機自動起動

汽機起動程序由 D-EHC 自動執行。起動程序依序為：CV WARMING → TURBINE SPEED UP → SPEED HOLD FOR RUB CKECK → HEAT SOAK → INITIAL LOAD CONTROL → FA/PA TRANSFER → LOAD UP，操作人員選擇自動起動控制時，可由畫面上監視起動程序、目前執行階段與各項重要訊息，如附圖三十三。

(20) 汽機手動起動

相對於自動起動，手動起動是在 D-EHC 執行完每一步驟後，會閃爍下一步驟之按鍵，告知運轉人員進行下一道程序。

13. 系統維護工具

為使維護工作人員更有效掌握系統狀態，D-EHC 提供類似 Mark VI 系統之自診功能，當設備信號異常時即將異常發生時間與故障情形紀錄於 Error Log，以作為維護之參考，此外並提供 Logic Chart Window、Analog Trend Window 協助維護人員判斷分析故障原因，若屬於控制卡片之故障，更可由 Hardware Alarm Page 迅速獲知故障點，如附圖三十四。

ST AUTOMATIC START-UP

LINE FREQ. 60.000 Hz
GEN. FREQ. 60.000 Hz

ZERO SPEED OFF
TURNING GEAR MOTOR STOP
TURNING GEAR CLUTCH DE ENGAGED

AUTO START → CV WARMING CONDITION → CV WARMING → TURBINE START CONDITION → TURBINE START → 400 rpm SPEED UP → SPEED UP CONDITION → RUB CHECK FINISH → 3600 rpm SPEED UP → LOW SPEED HEAT SOAK → SPEED UP CONDITION → 3600 rpm SPEED UP → HIGH SPEED HEAT SOAK → SYNCHRONIZE CONDITION → SYNCHRO. NOTE → INITIAL LOAD HEAT SOAK → LOAD UP CONDITION → LOAD UP → FA/PA TRANSFER → START-UP COMPLETE

MAIN STEAM PRESS.	3000.0 Psig
1ST STAGE STEAM PRESS.	2500.0 Psig
MAIN STEAM TEMP.	500 degF
MSV(Q) OUTER METAL TEMP.	500 degF
MSV(B) OUTER METAL TEMP.	500 degF
1ST STAGE INNER METAL TEMP.	500 degF
IP UPPER(EXT) TEMP.	500 degF
MSV(Q) POSITION	100.0 %
MSV(B) POSITION	100.0 %
CV(Q) POSITION	100.0 %
CV(B) POSITION	100.0 %
CV(Q) POSITION	100.0 %
CV(B) POSITION	100.0 %
RSV(Q) POSITION	100.0 %
RSV(B) POSITION	100.0 %
ICV(Q) POSITION	100.0 %
ICV(B) POSITION	100.0 %

MAX VIBRATION(X)	10.0 milsP-P
MAX VIBRATION(Y)	10.0 milsP-P
ECCENTRICITY	10.00 milsP-P
HP DIFF. EXPANSION	1.000 inch
LP DIFF. EXPANSION	1.000 inch
SHELL EXPANSION	1.000 inch
THRUST POSITION	10.0 milsP-P

THERMAL STRESS

HP SURFACE	10.0 kPsis
HP BORE	10.0 kPsis
IP SURFACE	10.0 kPsis
IP BORE	10.0 kPsis

MISMATCH PATTERN

COLD-COLD COLD WARM HOT

ACCELERATION RATE (rpm/min)

120 180 360

LOAD CHANGING RATE (%/min)

0.5 1.0 2.0 5.0

MISMATCH TEMP. 200.0 degF

INITIAL LOAD SET POINT 10.00 MW

HEAT SOAK TIME

LOW SPEED HEAT SOAK 1: 00: 00 / 1: 00: 00

HIGH SPEED HEAT SOAK 1: 00: 00 / 1: 00: 00

INITIAL LOAD HEAT SOAK 1: 00: 00 / 1: 00: 00

START-UP MODE

MANUAL START AUTO START MISMATCH TEMP. HIGH DON'T START

TURBINE RESET CANCEL EXECUTE

CV WARMING

CV WARMING TIME 1: 00: 00 / 1: 00: 00

CV OUTER MTAL TEMP. 250 degF / 280 degF

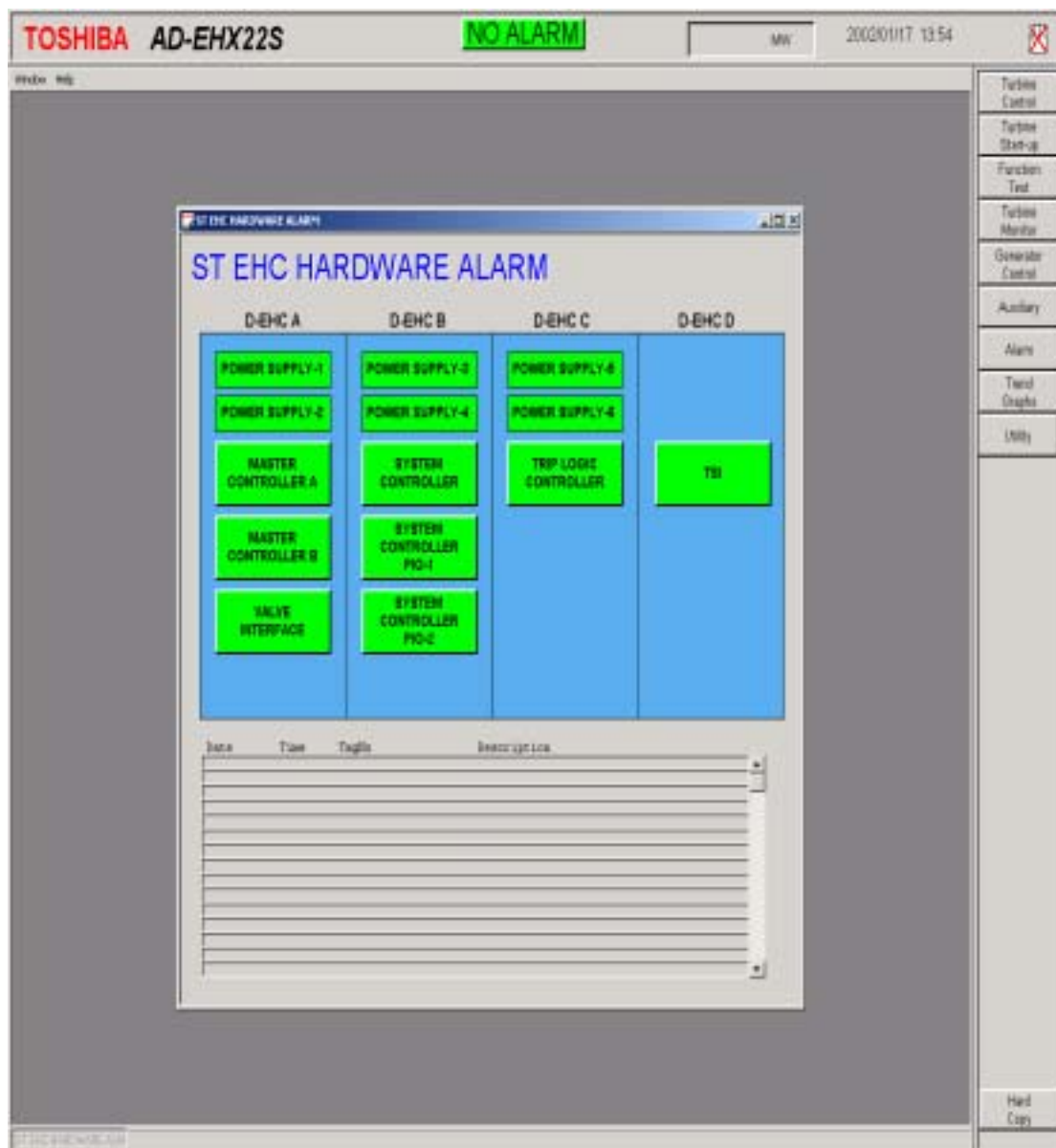
FA/PA TRANSFER TIME 15: 00 / 15: 00

☒ TURBINE START-UP
☒ VIBRATION(X)
☒ VIBRATION(Y)

☒ TSI
☒ THERMAL STRESS

ST AUTOMATIC START-UP

附圖三十三：汽機自動起動操作畫面



附圖三十四：硬體卡片故障監視畫面

三、研習之感想與建議

奇異公司在汽機控制系統的發展過程中，各階段產品不論硬體卡片與軟體工具均有很大不同，從 Mark IIA(本廠中一～中四機汽機控制系統) Mark IV(本廠 G/T#1 4 氣渦輪機控制系統) DCM(大林電廠六號機汽機控制系統) Mark V(本廠中五～中八機汽機控制系統)到中一機正開始升級改裝的 Mark VI 系統，以維護人員的角度可明顯感受到電子資訊產業的快速進步，應用於控制系統使得其功能更趨強大，但相對亦增加其複雜度。東芝公司因與奇異公司有技術合作關係，並在該公司京浜事業所合資設立生產汽機與氣渦輪機之 TGTC (Toshiba-GE Turbine Company)，所以兩家公司所生產的汽機有很大的相似之處，但汽機控制系統卻有很大差異，各有特色。GE Mark VI 硬體架構較為簡潔，Toshiba D-EHC 的跳脫保護功能則較有彈性。

感謝各級長官給予機會得以參觀美、日兩大先進國家之大型企業集團，從任務過程中感受不同企業文化與經營理念。亦感謝奇異公司免費提供參與該公司開授之 Multi-Customer Training Course Mark VI 訓練課程，研習中不僅可學習新系統之維護技能，同時也可與來自美國各電廠的維護人員相互交流。以下並簡述本廠維護上許多問題，在與奇異公司人員、參加研習學員相互討論之心得與建議。

1. 發電機逆向電驛 (32 Relay) 多次無法正常動作與 59/81 電壓/頻率保護電驛異常：

傳統電驛雖已發展非常成熟，但在不同運轉條件下如虛功或相角即可能影響電驛之動作，再加上暫態與機械動作元件因素，更可能失去保護功能。奇異建議考慮新型數位化的保護系統 Generator Protection System，可避免上述因素影響，提高保護系統之可靠度。

2. 中一～中四機主汽機閥桿試驗引起軸承高振動：

GE 公司認為在無證據顯示該低頻 (0.5Hz) 振動將造成汽機損害前，建議可增設濾波電路將低頻成份濾除 (中五～中八機 Mark V I/O 卡片即具此功能)，進一步之分析則待該公司 Monitor & Diagnostic Center 專家研究分析。

3. 不同類型伺服閥特點與維護對策：

在美國使用 Abex jet pipe type、Moog nozzle flapper type 各有相當比例，jet pipe type 確實較不易受些微差異的液壓油油質所影響，但成本卻較高，建議配合機組大修時程採定期送原廠維護與定期更換並行方式兼顧成本與效果。

4. 中五～中八機 Mark V 閥桿試驗失敗：

依所收集的數據分析，中五～中八機 Mark V 閥桿試驗失敗可能原因為控制系統功能方塊計算錯誤，相同問題未曾在其他同樣使用

Mark V 系統的機組發生，建議更換控制卡片上的 PROM Chip，再重新 Download Control Sequence。

5. 鍋爐、汽機、發電機 Cross Trip 迴路中之 Turbine Trip 信號：

目前使用之交互跳脫迴路中 Turbine Trip 信號取自於兩只 MSV Close Limit Switch 接點串接，確實具誤動作危險，尤其是執行定期閘桿測試時，更容易發生（各電廠已發生多次該類事故）。建議採汽機控制系統常開接點、常閉接點與 MSV Close Limit Switch 接點交叉迴路，以降低風險。

6. 發電機 Runback 邏輯：

本廠為避免使用於保護邏輯條件之溫度開關、壓力開關、流量開關誤動作造成機組事故，各型開關均增設一只，改採二選二邏輯，奇異認為如此雖降低誤動作風險，但是當其中一只開關故障時，卻可能造成失去保護功能，因此建議加強為三選二邏輯，且使用之開關應有兩組以上接點，一組用於 Runback 動作迴路，另一組則可提供警報功能。