

行政院及所屬各機關出國報告

(出國類別：實習)

台中九、十號機汽輪發電機系統設計、  
安裝、運轉、維護相關技術研習報告書

(裝訂線)

服務機關：台灣電力公司核火工處

出國人職稱：電品股長

姓名：黃啟力

出國地區：日本

出國日期：94年11月15日至11月26日

報告日期：95年1月18日

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：汽輪發電機系統設計、安裝、運轉、維護相關技術研習報告書

頁數 27 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：

黃啟力/台灣電力公司核火工處/工品課/電品股長/(02)23229571

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：94 年 11 月 15 日至 94 年 1 月 26 日

出國地區：日本

報告日期：95 年 1 月 18 日

分類號/目：G3/ 電力工程

關鍵詞：汽機發電機、保護協調

內容摘要：(二百至三百字)

台中九、十號機發電計畫為台電近年重要之火力燃煤發電工程，燃煤機組成本較其他火力發電機組低廉，惟相關設備也較複雜，而汽輪發電機 (Turbine Generator)，係發電系統之重要設備。一般設備製造廠家為求能提供高效率且可靠性高之機組設備，均不斷研發，期能在技術上持續改良。基於汽輪發電機組性能之差異及其可靠性之優劣對電廠營運成本有很大影響，台中九、十號機汽輪發電機合約中明確規定，要求汽輪發電機 (Turbine Generator) 廠家 TOSHIBA 公司須提供本公司人員之訓練。為充分掌握該公司之最新發展技術，有必要派員赴日接

受專業訓練，研習設備之設計、製造、安裝、運轉及維修等先進技術，吸收實際經驗，期能加強規畫設計、開立規範與審查標書之能力，協助解決裝機和試運轉及效率試驗時所可能衍生之問題，以掌控工程進度及確保工程品質。並進而提升日後新建電廠計畫之技術能力。

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

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)、台中第九、十號機汽輪機重要設計數據

(二)、台中第九、十號機汽輪機主要組件及輔助系統

(三)、台中第九、十號機汽輪發電機概述

(四)、台中第九、十號機汽機發電機保護

(五)、台中第九、十號機汽機發電機維護檢查

(六)、台中第九、十號機汽輪機控制系統

(七)、台中第九、十號機組保護協調功能

三、出國期間所遭遇之困難與特殊事項

四、對本公司之具體建議

一、國外公務之內容與過程：

(一)、公務任務：

台中九、十號機汽輪發電機系統設計、安裝、運轉、維護相關技術研習。

(二)、內容與過程：

前言：

汽輪發電機組由高中低壓段汽輪機、發電機、勵磁機、潤滑油系統、汽封系統、及控制系統等所組成，為火力電廠之重要設備。汽輪發電機組之設備製造廠家(Toshiba)為求能提供高可靠性且兼具高效率之機組，均不斷研究發展，期能在技術上尋求突破，來改善機組之性能。由於汽輪發電機組性能之優劣及其可靠性之高低對電廠營運成本之影響深遠，台中九、十號機汽輪發電機合約中規定設備供應廠家(Toshiba)公司必需提供本公司工程人員之訓練。為充分掌握與瞭解該公司之最新發展技術，確有必要派員赴日接受汽輪發電機組相關專業訓練，研習該設備之設計、製造、安裝、運轉及維修等先進技術，吸收實際經驗，期望能加強本公司同仁設計規畫、開立規範、審查標書及測試程序書之能力，並協助解決裝機和試運轉與效率試驗所可能衍生之問題，以掌控工程進度及確保工程品質。

實習日期及前往機構：

起 訖 日	機 構 名 稱
94 年 11 月 15 日	赴日本
94 年 11 月 16 日至 94 年 11 月 25 日	東芝公司實習汽輪發電機系統設計、安裝、運轉及維護
94 年 11 月 26 日	返 國

## 二、國外公務之心得與感想：

本次研習之主要任務內容為「台中第九、十號機汽輪發電機系統設計、安裝、運轉、維護相關技術研習」，台中第九、十號機汽輪發電機由日本的 Toshiba Corporation 所承製。

### (一)、台中第九、十號機汽輪機重要設計數據

1. 型式：三缸串聯複合式單級再熱冷凝衝動式汽輪機
2. 額定出力：55 萬瓩
3. 轉動方向：逆時針方向（面向汽輪機機頭）
4. 額定轉速：3,600 RPM

#### 蒸汽條件：

5. 主關斷閥之蒸汽壓力：16.55 Mpa G
6. 再熱關斷閥之蒸汽壓力：3,726 Kpa A
7. 排汽壓力：7.45 kPa A
8. 主蒸汽溫度：537.8
9. 再熱蒸汽溫度：537.8

#### 葉片級數：

10. 高壓汽輪機 6 級
11. 中壓汽輪機 6 級
12. 低壓汽輪機 6 級 × 4 流

### (二)、台中第九、十號機汽輪機主要組件及輔助系統

汽輪機的主要組件及輔助系統包括有：高壓及中壓(HIP)汽機、汽輪機葉片、轉子與軸承、主關斷閥、控制閥、結合式再熱閥、緊急跳脫系統、超速跳脫裝置、慢車迴轉齒輪、格蘭汽封系統、及潤滑油系統等，茲簡述如下：

#### 1. 高壓及中壓(HIP)汽機：

(1)高壓及中壓皆為內外缸式，但二者之外缸合為一體，內外缸之結

構可以減少應力及溫度梯度。高壓蒸汽經過兩只主關斷閥及四只控制閥進入高壓汽機，高壓上下汽缸各有兩個蒸汽入口，使汽缸能均勻受熱以減少扭曲變形，控制閥之開度依負載之高低而有不同。

(2)高壓汽機是座在汽機端的機頭座板 (front standard) 及發電機端的高壓座板 (HP standard) 上，兩端之座板皆有固定鍵作為橫向之定位，使汽機在運轉狀況下皆能保持正確之對準。

## 2. 低壓汽機 (LP-A & LP-B):

兩個雙流低壓段在構造上是相似的，但有獨立的外缸，均以四塊支持墊片架於外缸之上，並以鍵固定，以防止其軸向和橫向移動。

## 3. 汽輪機葉片:

(1)汽輪機葉片的級數依高中低壓分別為高壓 6 級，中壓 6 級，低壓 6 級×4。汽輪機葉片的材質為 12 鉻-鐵合金鋼，有絕佳的強度和疲勞 (fatigue) 特性，同時對蒸汽的侵蝕與沖蝕有高度的對抗性能。

(2)動葉片環：動葉片是由鉻鉬合金鋼車製加工製成，有足夠之強度抵抗蒸汽之高度衝擊，並有極佳之抗腐蝕性。最後一段之動葉片因葉片之端點速度極高，蒸汽含水量很高，所以葉片要多一層保護的硬化遮蔽片，以防止溼蒸汽之腐蝕。

(3)靜葉片環：蒸汽流經靜葉片環後以適當之角度及速度流進動葉片作功、靜葉片環有上下兩半，以螺栓結合，再嵌合於內汽缸。

## 4. 轉子與軸承:

(1)轉子本體是由合金鋼鍛造車製而成。HIP 轉子之材質為高溫及疲勞 (fatigue) 強度甚佳之鉻-鉬-鈮合金鋼。LP 轉子之材質為可對抗低溫脆性 (brittleness) 之鎳-鉻-鉬-鈮合金鋼。

(2)轉子分成 HIP、LP-A & LP-B 三段，以剛性聯軸器聯結，每段轉子皆由兩個軸承支撐，LP-B 段低壓轉子再與發電機轉子聯結。

(3)支撐 HIP 汽輪機轉子的兩個軸頸軸承 (No.1 及 No.2) 為雙傾斜襯墊型 (double tilting pad type) 軸承，分別座於前控基座 (front

standard) 和中間基座 (middle standard)。雙傾斜襯墊型軸承的優點在於軸承壓力減輕時的穩定性，故適用於軸承負荷變化較大的 HIP 轉子。

- (4) 支撐 LP 汽輪機轉子的四個軸頸軸承 (No. 3~No. 6) 為橢圓型 (elliptical type) 軸承，皆位於低壓汽輪機機殼的錐形區段。橢圓型軸承可以支承較重之負荷，所以用來支承較重的 LP 轉子和發電機轉子。橢圓型軸承也有球形座的設計，自動維持與軸頸正確的對心。

#### 5. 主關斷閥：

- (1) 主關斷閥有兩個，位於鍋爐與高壓汽輪機之間的蒸汽管線，出口管直接焊到控制閥汽櫃，蒸汽從高壓管線進入閥殼，經由過濾器、主關斷閥後即達控制閥汽櫃。
- (2) 主關斷閥之動作只有全開全關，汽機準備起動之前及在正常運轉狀況下為全開，當停機、及在緊急狀況下譬如失去負載而控制閥無法關閉時，立即快速關斷以阻止蒸汽流入汽輪機，為保護汽輪機的第二道防線。

#### 6. 控制閥：

控制閥有四個，與兩個主關斷閥焊接在一起，結合成一體，稱為汽櫃。蒸汽從主關斷閥流入控制閥後在控制閥殼汽櫃中平均分配，其開度由 EHC 來控制。

#### 7. 結合式再熱閥：

結合式再熱閥實際上是由再熱關斷閥與中間遮斷閥結合在同一個閥殼上，但有各自獨立的操作及控制機構。再熱關斷閥則在緊急狀況時，立即快速關斷以阻止再熱管線中的蒸汽驅動汽輪機導致汽輪機超速，為保護汽輪機的第二道防線，正常狀況下為全開。中間遮斷閥的主要功能在提供汽輪機的預警保護，同時於緊急跳脫系統作動時關閉，第二個功能為控制蒸汽流量。

#### 8. 緊急跳脫系統：

包括電氣跳脫與機械跳脫，二者相互串聯，當其中任何一個動作或二者同時動作均會使機組跳脫，關閉所有的蒸汽進汽閥，以防止汽機超速。

#### 9. 超速跳脫裝置：



是由機械跳脫機構與一個不平衡環所組成，當汽機速度超過 3600 RPM 時，所產生之離心力將克服彈簧之力量，造成不平衡環之偏心撞擊超速片，作動機械跳脫機構使汽機跳脫，並關閉所有的進汽閥。

#### 10. 慢車迴轉齒輪：

慢車迴轉齒輪的主要功能是在機組停機時，持續而緩慢的轉動汽輪發電機的轉軸，直到轉子的溫度達到穩定狀態，機殼完全冷卻為止，以免轉子扭曲變形。發電機與 LP-A 低壓汽機之間有馬達帶動的慢車迴轉齒輪，以齒輪組和汽輪機轉軸上之齒輪契合，其轉速為 5 RPM。機組在停機期間轉子由於本身的重量而有彎曲的現象，因此在機組起動時亦必須先起動慢車迴轉齒輪，使轉子得到均勻的加溫預熱，同時在檢修期間也可以用來微量轉動汽輪機轉子。

#### 11. 格蘭汽封系統：

汽封系統主要目的是為了防止蒸汽沿轉軸經機殼洩漏至大氣並防止同一機殼內相鄰段的內部蒸汽由一段洩漏至另一段。對於低壓汽輪機而言，其功能則為防止空氣進入，以控制真空度。

#### 12. EHC 液壓系統：

本液壓系統根據 EHC 控制系統所提供的訊號直接供給高壓油到 MSV/CV、CRV 之液壓缸以開啟或關閉蒸汽閥，液壓油具防火特性。

#### 13. 潤滑油系統：

潤滑油系統負責供應潤滑油到發電機的油封系統，以及汽輪機和發電機的軸承。該系統具備調節油壓、油溫之功能，並回收軸承之洩油。此外，藉由去除雜質和水份來調節潤滑油的油質。

### (三)、台中第九、十號機汽輪發電機概述：

汽輪發電機其主要規格如下：

型式	水平圓筒式轉子、靜態或勵磁系統
額定出力	550MW

額定容量	650MVA
功率因數	0.85lag
額定電壓	19kV
額定電流	19752A
頻率	60Hz
極數	2
額定轉速	3600 RPM
相數	3
冷卻系統	定子(水冷卻) 轉子(氫氣冷卻)
勵磁系統	有刷式
絕緣等級	F 級 (B 級溫升)
定子引線數	6

## 1. 氫氣冷卻式發電機：

### (1)轉子：

發電機轉子鐵心主要部分是以整塊高強度合金剛料鍛造而成，可承受高速迴轉所產生之機械應力，汽輪機與發電機之間的耦合裝置為收縮安裝型，轉子線圈兩端鐵心外之部分以高強度合金鋼（18Mn-18Cr）壓縮環來承受高速迴轉產生的離心力，壓縮環先加熱至相當溫度，套進溫熱的轉子線圈端，冷卻後產生一強大的收縮力壓在線圈端上，整個轉子由兩端軸承支撐，軸承封油與轉子接觸部分全部予以絕緣，避免轉子鐵心感應之電壓經兩端任何部位構成回路。

### (2)冷卻系統：

氫氣冷卻式發電機的冷卻方式係以經由氣-水熱交換器的再循環氫氣來冷

卻，位在轉子末端的風扇將冷氫送進轉子的通風道，使繞組和鐵心大體上都能獲得均一性的冷卻效果。冷氫氣進入轉子線圈徑向或軸向通風管吸熱後排至氣隙，通過發電機後則再回到氣-水熱交換器循環使用。

### (3) 氫氣及二氧化碳氣體控制系統：

本系統主要功能為：

- a. 保持發電機氫氣壓力在設計值內。
- b. 使用二氧化碳作為媒介，以便發電機安全地灌入及排出氫氣。
- c. 隨時提供發電機氫氣壓力及濃度情況給運轉人員參考。
- d. 保持氫氣乾燥及移除任何自油封處進入發電機內的水蒸氣，發電機內若有水氣存在則出示警報於發電機控制盤。

### 2. 封油系統主要功能：

- (1) 於發電機內部氫氣壓力及油壓之間保持一定的壓力差，並連續監視及提供警報。
- (2) 提供密封環及封油以防止氫氣自發電機逸出及引入過量的空氣和水汽至發電機。

### 3. 發電機容量曲線：

同步發電機之有效及無效電力輸出能力受該機組之設計及結構條件所限制，故其運轉點必須維持在某一範圍內才不致危及機組甚或電力系統之安全。而影響同步發電機壽命及運轉特性最大的因素不外乎溫度過高破壞絕緣及穩定度差而導致失步兩項。同步發電機於運轉中因電阻性功率消耗而產生熱量的地方有（1）磁場線圈（2）電樞線圈（3）定子鐵心端受磁力線切割，因磁滯及渦流損而產生高溫。由此三項構成的溫升限制曲線稱為容量曲線，如圖（1）所示。

# ESTIMATED REACTIVE CAPABILITY CURVES

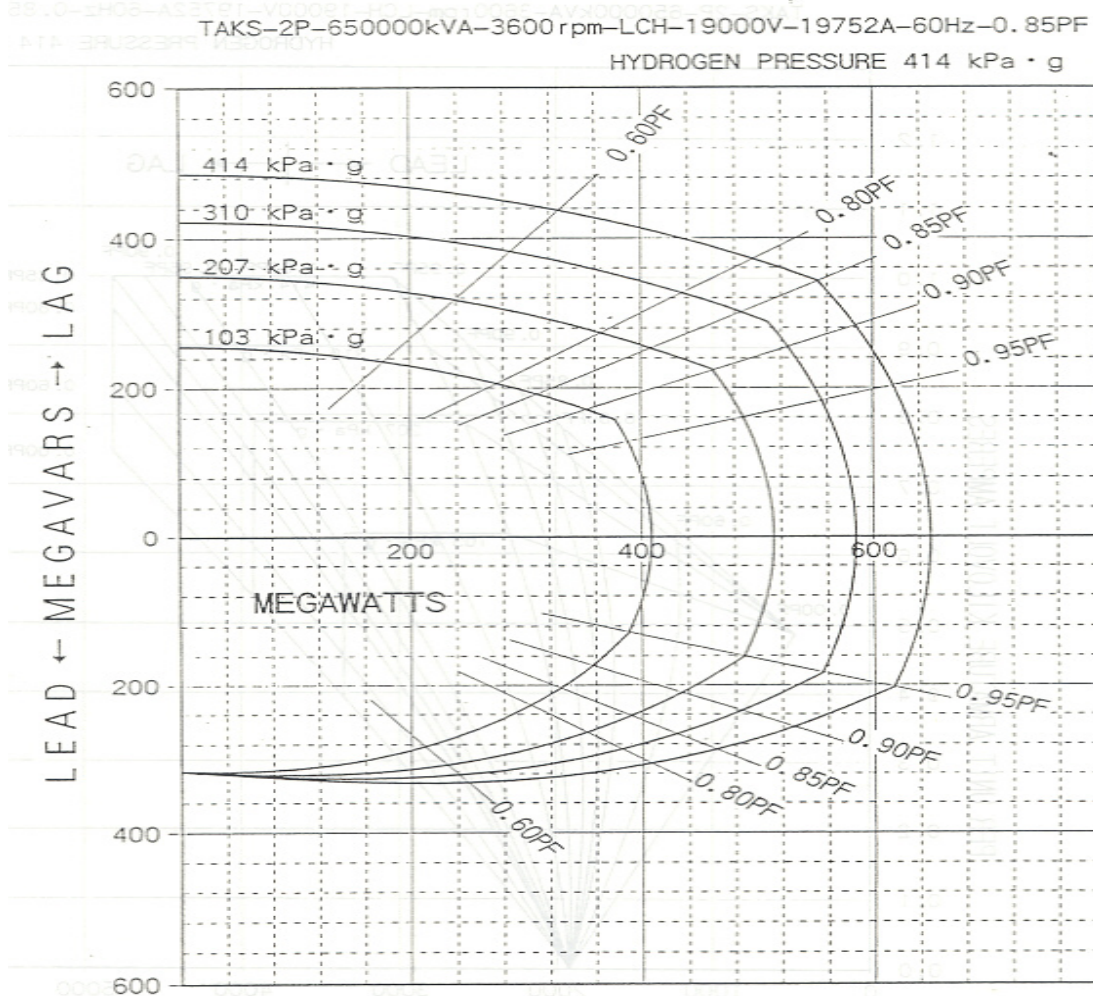


Fig. C

圖 (1) 發電機容量曲線圖

(1) 磁場電流之限制：

由發電機所供給之無效電力完全受激磁電流之控制，即在定值 MW 輸出及定值電壓的條件下，激磁電流愈大則輸出無效電力愈多，且功率因數愈落後，而發電機之激磁能力則受轉子線圈溫度所限制，亦即受磁場電流之大小所限制。

(2) 電樞電流之限制：

發電機運轉於額定電壓時，無論其功率因數多少，負載只要不超過額定值，則其電樞電流亦不致過高而使電樞線圈溫升過高，但實際上發電機之輸出容量因磁場線圈及定子鐵心端之熱極限而被削減。

(3) 定子鐵心端之熱限制：

由於發電機定子繞組線圈端負載電流所產生之磁通及在轉子磁場兩端所構成之磁力線回路與定子鐵心兩端之疊片互相垂直，當此部分磁力線增強時，渦流損將急速增加。發電機端電壓之大小依定、轉子間氣隙之磁通強弱來決定，而氣隙磁通則為由定子電樞電流所產生磁通與由轉子磁場所產生磁通的向量和，當發電機運轉於落後功因時會有減磁作用，而運轉於超前功因時則有加磁作用，因此若負載不變而欲維持定電壓時，超前運轉所需之激磁電流必較落後運轉所需之激磁電流還小，但此時在定子鐵心兩端之淨磁通量則因加磁作用而相對的提高，使渦流損急速增加，且因熱量產生於一局部範圍內，即使在一極短時間內亦會使溫升達到一危險值。

(4) 發電機容量曲線只能提供操作人員作為運轉範圍之依據，實際上負責監視及保護發電機熱極限者，乃是埋入發電機中之 RTD 及自動電壓調整器 (AVR)，於 AVR 中之過激磁限定器及最低勵磁限定器即為達成此一功能而設。

4. 勵磁系統：

本計畫汽輪發電機採用有刷式勵磁系統，由激磁變壓器、整流控制箱等組成，激磁變壓器連接到隔離母相匯流排，經整流箱及電刷提供發電機轉子磁場所需激磁電源，整流控制箱包含閘流體模組及磁場斷路器等。

5. 數位式自動電壓調整器：

數位式自動電壓調整器 (D-AVR) 主要由高速中央處理器 (CPU)、輸入/輸出處理單元、脈衝產生器、限制器、補償器等組成，具有控制準確、穩定性良好、電壓設定範圍廣、可靠度高及維護容易等優點。

(1) 有下述主要功能：

a. 自動電壓調整功能：

維持發電機端電壓於設定的數值。

b. 過激磁限制 (OEL) 功能：

抑制發電機磁場繞組溫升低於容許值。

c. 最低激磁限制 (MEL) 功能：

防止發電機脫離進相運轉的安全範圍。

d.自動功率因數調整 (APFR) 功能：

可藉由調整電壓設定器而使功率因數保持於一定值。

e.線路壓降補償 (LDC) 功能：

補償因主變壓器、輸電線路等本身之阻抗成分所導致的電壓降。

f.自動無效電力調整 (AQR) 功能：

藉由調整電壓設定器可使發電機輸出之無效電力保持於一定值。

g.電壓/頻率比限制 (VFL) 功能：

限制電壓對頻率的比值低於一定值，以防止發電機、主變壓器等過激磁。

h.電力系統穩定器 (PSS) 功能：

偵測發電機輸出電力變化，即時控制激磁數值，以迅速抑制電力擺盪。

(2)D-AVR 系統架構如圖 (2) 所示：

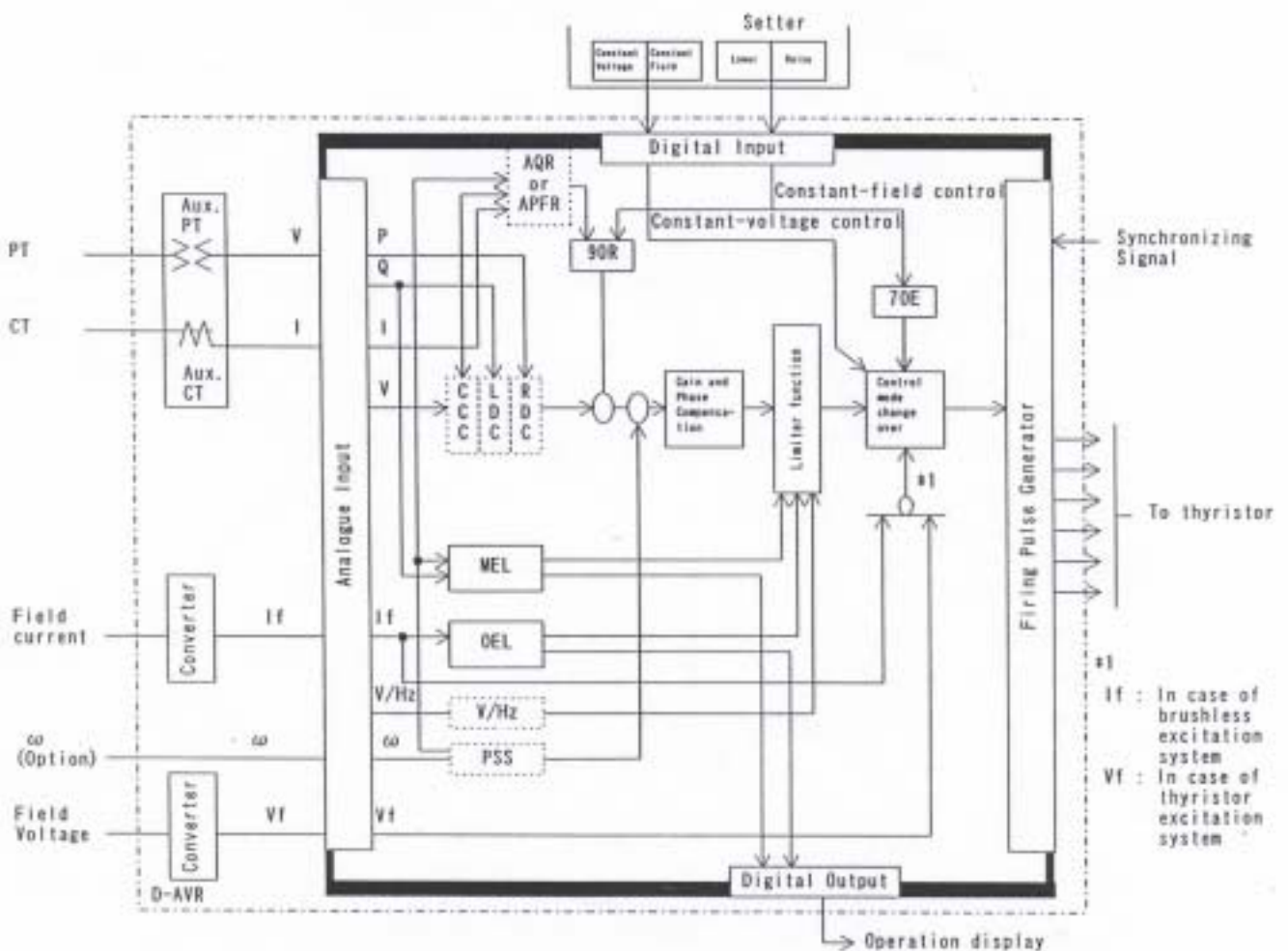


圖 (2) D-AVR 系統架構圖

### (3) D-AVR 系統控制模式：

#### a. 場電壓（電流）控制模式：

此種控制模式和傳統 AVR 的手動運轉模式相同，若發電機採用閘流體勵磁系統，則以發電機磁場電壓回授信號來控制發電機場電壓保持定值；若發電機採用無刷式勵磁系統，則以勵磁機場電流回授信號來控制勵磁機場電流保持定值。其操作原理為場電壓（ $V_f$ ）或場電流（ $I_f$ ）經由 A/D 轉換器轉換為數位信號，並與手動電壓設定器（70E）設定值比較後，把差異信號送至觸發脈衝產生器，藉由觸發脈衝產生器依據此差異信號大小送出的相位控制脈衝信號以控制閘流體之輸出。

#### b. 發電機端電壓控制模式：

此一模式和傳統的 AVR 自動運轉模式具有相同的功能，即藉由控制發電機磁場電流來使端電壓達到並維持由電壓設定器（90R）所設定之數值。其操作原理為發電機端電壓和電流經由三相 PT 及 CT、輔助 PT 及 CT、類比濾波器擷取後進入 A/D 轉換器轉換為數位信號，同時分別計算出有效功率（ $P$ ）、無效功率（ $Q$ ）、端電壓（ $V_t$ ）及電流（ $I_a$ ）等數值供運用，當系統比較出端電壓數值與電壓設定器（90R）設定值之差異後，此差異信號即經由增益/相位補償器及限制器等調整元件送到觸發脈衝產生單元，並依據此差異信號大小送出所需的相位控制脈衝信號以控制閘流體之輸出。

#### c. 控制模式運用原則：

由於數位式自動電壓調整器之電壓調整範圍相當寬廣，因此在正常運轉情形下採用發電機端電壓控制模式即可滿足需求，至於場電壓（電流）控制模式一般只在下列狀況下運用：

(a) 比壓器熔絲熔斷。

(b) 調整控制常數用的測試運轉。

### (四)、台中第九、十號機汽機發電機保護：

發電機可能承受不同類型之故障，如過載、接地故障、線圈故障、超速、過熱、磁場事故或失磁、電動機運轉、單相或電流不平衡運轉、失步等，上述故障有些並不會立即對發電機造成損害，如能於短時間內經適當處理後恢復正常，保

護裝置就不需自動跳脫機組僅提供警報即可，但有些故障一出現便非常嚴重，如線圈短路或接地事故，就必須儘速跳脫機組，使與系統隔離。

#### 1. 過載保護：

當線路發生故障時，線路電驛應動作，發電機內部發生故障時，差動電驛應動作，如果這些電驛失靈，則由過載電驛來保護。過載電驛一般使用過流電驛（CO），但有時因其他原因致短期間過流，為避免誤動作，以低電壓元件來控制過流元件，兩元件合併為一種電驛稱為 51V，此電驛動作則跳脫機組。

#### 2. 接地故障保護：

發電機接地故障雖可由 87G 保護，但有時因接地故障點電阻頗高，故障電流很小，尤其在發電機重載時，87G 難以偵測很小的接地電流，為改善此缺點乃於中性點接地變壓器二次側加裝接地電驛（64G），以提供更靈敏的保護，此電驛一動作立即跳脫機組。

#### 3. 過熱保護：

造成發電機過熱有許多原因，一般是利用埋設於線圈間 RTD 或裝設於定子冷卻水口之 TC，接至溫度記錄器加以監視，如溫度超過設定值即發出警報，提醒運轉人員注意。

#### 4. 線圈故障保護：

主要是保護發電機線圈因絕緣破壞而引起之相與相間短路及相對地故障，其保護裝置是採用差動電驛 87G，並以 87GT 作為後備保護，87G 或 87GT 動作後跳脫發電機主斷路器、磁場斷路器等，使機組解聯

#### 5. 磁場接地保護：

同步發電機磁場接地保護是很重要的，雖然只有一點接地時對運轉並無影響，但如有兩點接地，可能使部分磁場線圈短路，導致不平衡及振動，使發電機受損。磁場接地探測裝置是利用惠斯登電橋原理，一般磁場接地保護裝置（64F）只發出警報未接入跳脫回路。



## 6. 失磁保護：

引起發電機磁場全部消失或減弱之原因有 AVR 動作失靈致勵磁機失磁、磁場開關誤動作跳脫、磁場回路短路、誤操作等，一但發生失磁故障，則可能發生系統電壓降低與轉子過熱而導致嚴重後果。發電機失磁時無效功率便無法產生，如系統無能力供給該無效電力，系統電壓將顯著降低，如是將引起系統之不穩定。當同步發電機失去激磁，發電機以超同步速度運轉，定子電流將使轉子上感應一電流，使其成為感應發電機運轉，如繼續運轉可能會使轉子及定子兩端鐵心因過熱而損壞，定子線圈也會因過大的電流而發熱損壞。一般失磁保護電驛（40）均先提供警報，經延時後跳脫機組。

## 7. 不平衡故障保護：

系統如有單相運轉、甚為不平衡的負載或發生二相短路等情形，則發電機供給之電流將非常不平衡，含有甚大之逆相序電流，此種因不平衡產生之逆相序電流使轉子感應一兩倍頻率大電流流經轉子鐵心表面、線圈以及非磁性轉子槽楔與壓縮環，其熱損失迅速提高轉子溫度，如故障時間持續過久，轉子可能會因過熱而燒損，為保護不平衡電流對轉子造成之損害，發電機裝有逆相序電驛（46），一經動作即跳脫機組。

## 8. 逆電力保護：

發電機會變成電動機運轉係由於原動機輸出不足，無法推動發電機所致，當原動機輸出不足以供應全部損失時，則從系統吸收有效電力彌補之，如磁場激磁維持不變，發電機可以輸出跟未變成電動機前相同之無效電力，因此發電機變成電動機運轉後將從系統輸入有效電力，無效功率則可能為正或負，端視當時激磁情況而定。這種情況對發電機本身而言並不會造成損害，但會對原動機造成損害。逆電力電驛（32）設有可調整延時裝置，以避免於同步併聯時可能發生之短暫逆電力衝擊而動作。

## 9. 低頻電驛（81）：

一般僅作為警報，但在電力系統上則用於低頻卸載。

## 10. 過電壓電驛（59）：

主要用在過電壓保護，且具反時間特性。

#### 11. 電壓/頻率比值電驛 (59/81)：

偵測發電機的電壓/頻率比值，用以保護變壓器，防止因鐵心飽和而受損。

#### 12. 電壓平衡電驛 (60)：

當兩組 PT 電壓不平衡達設定值時動作，代表 PT 熔絲燒斷或 PT 故障而不是發電機三相不平衡。

### (五)、發電機維護檢查

#### 1. 緒言

大型發電機電氣檢查其範圍含激磁系統、發電機轉子及定部之電路、磁路、支持固定、通風散熱及保護裝置等。其檢查之性質可分為(1)檢修、大修工作規劃檢查 (2)表面目視部份之標準測試及檢查(3)發電機初期之檢查(4)已知狀況之週期性檢查(5)運轉事故；迅速排除恢復運轉狀況評估。

檢查之時機則有：(1)運轉中(2)解聯轉動中(3)停機未開蓋(4)停機部份開蓋(5)停機開蓋及(6)停機抽轉子等。一般運轉中之資料收集，狀況監測分析已成為發展趨勢。檢查之目的：支援發電機延長壽命工作及維持可靠性、有效性運轉。

#### 2. 激磁系統之檢查

激磁系統之檢查項目有以下幾項：(1)激磁電源、交流激磁機、自動電壓調整器、整流設備、旋轉整流器組(無刷式)、刷架滑環(有刷式)、匯流排端子、永久磁式發電機(PMG)及斷路器等部份。

##### (1)方法：

##### a.電路/磁路/支持固定：

- (a)目視檢查
- (b)直流電阻之量測
- (c)絕緣電阻之量測
- (d)交流阻抗/極平衡測試

b. 自動電壓調整器/電子元件特性檢測

c. 旋轉整流器組檢測(無刷式)檢測

d. 永久磁式發電機(PMG)檢測

(2) 激磁系統探討:

a. 直流電源產生方式:

(a) 無刷式: 交流機(高頻)(勵磁機)

交流電經旋轉整流器組整流, 與同軸耦合之發電機轉子主磁極軸向端子引入。

(b) 有刷式: 副, 主勵磁機(高頻/同步機)

於外部整流後, 再經碳刷及滑環引入發電機轉子。

b. 控制

勵磁機整流後直流電力經滑環(有刷式)/另有方式藉旋轉整流器組整流(無刷式)引入發電機轉子主磁極繞組控制, 機組製造完成後; 電壓之調整僅能以改變磁通, 即控制磁場電流之方式以進行調整。

### 3. 發電機轉子之檢查

發電機轉子之檢查有下列幾項: 轉子線圈絕緣性能、銅帶導體接續、支持固定、扣環、槽契及鑄體等部份。

(1) 電路部份之方法:

a. 轉子線圈絕緣性能特性

(a). 絕緣電阻.

(b). 極化指數 PI 值.

(c). 直流電阻,  $R=R(234.5-75)/(234.5-t)$

(d). 極間轉接點電壓/交流阻抗.

(e). 極平衡.

(f) 匝間電壓 .

(g). 迴返波 TDR(Time Domain Reflectorometry)

基本原理:以 12V 所產生之電流脈衝波送入轉子線圈,其傳輸及反射以雙  
波道示波器記錄,由電壓波形分析線圈特性阻抗評估其故障狀況。

b. 轉子線圈運轉狀況之評估分析:

運轉中由特性曲線下導出之磁場電流值和運轉時之數值差異百分比。

(2) 磁路/支持固定部份之方法:

a. 轉子整體狀況檢測,使用影相探測系統 (video scope.)

b. 扣環缺陷檢測,使用自動化超音波檢測 AUT.

c. 轉軸 UT、PT 表面粗度量測

d. 槽齒 ET 檢測

(3) 轉子之探討:

發電機轉子具有三維性、複雜性及非線性等特性。

a. 電路:主磁場繞組為單一迴路多層線圈所串接而成,引入勵磁直流電流用以形成一旋轉磁場。具有下列特性:

(a) 銅粉效應:慢速運轉時,時間過長、銅帶摩擦壓擠造成線圈間之短路與轉子本體短路而接地,線圈層間之短路繞組短路易引起旋轉磁場不平衡及局部過熱等現象。是造成振動異常之最主要因素。

(b) 機械力及熱之效應:起停熱機循環頻繁之機組(如 DSS 運轉);系統故障影響,易使引線接頭,焊點開斷龜裂。

b. 磁路/支持固定:轉軸部份是用來支撐磁場繞組線圈提供主磁場磁路之低阻抗路徑,形成旋轉磁場。扣環部份是磁極繞組線圈端部之固定,以抗離心力之作用,此部份是發電機設備應力最大之處。槽楔部份是磁極繞組線圈直部於槽部之固定,以抗離心力之作用。

4. 發電機定子之檢查:

發電機定子之檢查有下列項目:線圈絕緣劣化位置、鐵心疊片缺陷及發電機狀況等。

(1) 電路部份之方法:

#### a. 電磁探測 RIV 找絕緣劣化位置

原理:絕緣劣化位置所產生之高頻電流經一次側單線圈及二次側多線圈耦合劣化位置所產生之高頻電流脈波，經濾波放大輸出接 Quasi Peak Meter(準峰值表)顯示放電之大小。

- (a)線圈加電壓(額定相電壓)。
- (b)藉高頻鐵粉蕊探頭耦合槽部線圈。
- (c)絕緣劣化位置所產生之高頻電流。
- (d)檢測於鐵心兩端之槽部線圈。
- (e)記錄;分析其劣化位置。

#### b. 監測發電機狀況

原理:發電機線圈，於熱機循環下銅帶疲勞繃斷或開焊電弧產生高頻脈波經中性點接地，以高頻鐵粉蕊 CT 耦合號，分析(a)頻率特性分佈(b)信號大小強度(c)傾向分析。

#### c. 定子線圈轉位電阻之測試

原理:定部線圈通過大之交流電集膚效應顯著，以轉位方式改善檢測時，通以直流電流則其端匝轉位電壓大小呈現極性規則，用以分析銅帶焊接品質;或劣化開焊位置。

#### d. 定子線圈支持固定槽楔緊度測試

原理:槽楔用以固定線圈，減少徑向之電磁力振動引起絕緣之磨損槽楔之鬆動影響設備之壽命。

### (2)發電機定子之探討:

- a. 繞組線圈多採用重疊繞Y接/多重接，以中性點串電阻/電抗接地;保護絕緣處理較易，採用中性點接地位置，做為狀況監測之方式較為安全。
- b. 繞組線圈，採用扁銅帶;絕緣後併列減輕導體內渦流損。大容量機組，使用單匝半線圈，於大電流下集膚效應顯著，需用轉位法於槽內/槽外;或兩者皆施用。如轉位焊接位置施工不良，或運轉後受電磁力，熱機循環影響

開釐;或銅帶疲勞繃斷，產生電弧造成事故。

c. 鐵心疊片與軸心成周向排列，提供轉子主磁極的旋轉磁場低磁阻路徑。鐵心疊片槽齒部損失大，如有磨損、短路，嚴重時渦流損形成之局部過熱將減短線圈絕緣壽命或導致破壞。

d. 線圈支持固定，如能保持完整;徑向、週向固緊軸向可繞性避開自然共振則可延長設備之壽命。

#### 5. 冷卻通風系統之檢查:

冷卻通風系統之檢查項目有:激磁、發電機定/轉子鐵心疊片、線圈溫度之監測系統、冷媒(空氣/氫/水)之(入/出口)溫度、通道、通風孔、擋風板、風扇、支持固定等部份。

(1) 電路部份之方法:激磁、發電機定子/轉子(有刷式)溫度監測迴路(熱電藕、RTD 直流電阻)、絕緣電阻檢測、校驗。

(2) 磁路部份之方法:熱電藕 RT 等線路之直流電阻、絕緣電阻檢測。

(3) 支持固定:定子擋風板、轉子端匝通風孔墊塊及風扇。

(4) 冷媒(氫/水)洩漏試驗:冷卻循環系統之檢查及發電機本體氫氣壓力洩漏。

(5) 熱機試驗 (IEEE Std115):測發電機設備溫昇。

#### 6. 保護裝置之檢查 :

保護裝置之檢查項目有:軸電壓/軸流、軸絕緣、保護電驛 CT PT GPT、保護設備、軸封系統、監測系統、接地保護。

(1) 電路部份之方法:保護設備、監測迴路、直流電阻及絕緣之量測。

(2) 磁路部份之方法:支持固定，支架墊塊及絕緣檢測等。

(3) 熱劣化/熱效應部份，採用熱影像測試。

(4) 軸電壓之探討:

發電機磁路異常，導致小磁通與軸交鏈產生電動勢於軸端。一般軸電流於轉軸汽輪機側轉軸予以接地有下列效果:

a. 接地用以防止軸之循環電流造成局部過熱。

- b 防止靜電壓之建立防經由油膜放電損及軸承。
- c. 使勵磁漣波電流旁路軸承接地。
- d. 軸壓上升至 100 V 則軸承很容易造成電的蝕孔;現出蝕刻或霜柱面 (frosted) 使軸承損壞，軸對地電壓，降低時軸承壽命將延長，使軸對地電壓保持於 10V 以下則不致於受軸流損壞。
- e. 絕緣墊塊之絕緣劣化則予置換或檢修。

## (六)、台中第九、十號機汽輪機控制系統：

### 1. 硬體架構：

汽輪機控制系統為日本東芝公司產品，稱為 D-EHC(DIGITAL ELECTRO-HYDRAULIC CONTROL)，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、跳脫邏輯控制器、汽機監視系統等，以遂行汽輪機各項控制 (如圖 3)。系統主要元件簡介如下：

#### (1)系統控制器 (SYSTEM CONTROLLER) —

系統控制器單元本身沒有 I/O 處理器，需外接 I/O 處理器，主要負責 D-EHC 順序控制。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。並且可藉由網路連接卡，控制發電機自動電壓調整器系統。汽機控制功能，如自動起動、自動負載調整等功能，係由系統控制器進行控制。

#### (2)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，可執行負載控制、速度控制、主蒸氣進汽壓力控制、蒸氣進汽閥位控制等主要項目，

#### (3)操作站 (OPERATION STATION) —

汽機正常操作位置於操作站主要由三組工業級計算機所組成，D-EHC 控制、汽機監視 及 CRT 其他功能。

(4)工程師操作站 (ENGINEERING STATION) —

工程師操作站依 D-EHC/人機介面之規劃、維護，其主要執行控制程式編輯、資料庫數據處理等工作。亦可提供緊急控制之功能，但實際運用上因為位置離主控制室太遠，緊急時是不可能到工程師操作站操作。

(5)閘門/共同介面 (VALVE/COMMON INTERFACE) —

主控制器與汽機蒸氣進汽閘門 (包含 MAIN STOP VALVE/CONTROL VALVE /INTERCEPT VALVE /REHEATER 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，及每組主控制器收到/處理三組介面信號。達到三重控制目的。

(6)跳脫邏輯控制器 (TRIP LOGIC CONTROLLER-TLC) —

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閘關閉之動作，將汽機安全地帶至停機狀態。

(7)光纖電纜 (OPTICAL FIBER) —

控制盤內各項控制單元間之信號傳輸，採用光纖電纜，取其同時可傳輸大量資料特性。

(8)HARDWIRED 單元 —

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，避免因信號處理介面失效，而無法控制汽機。



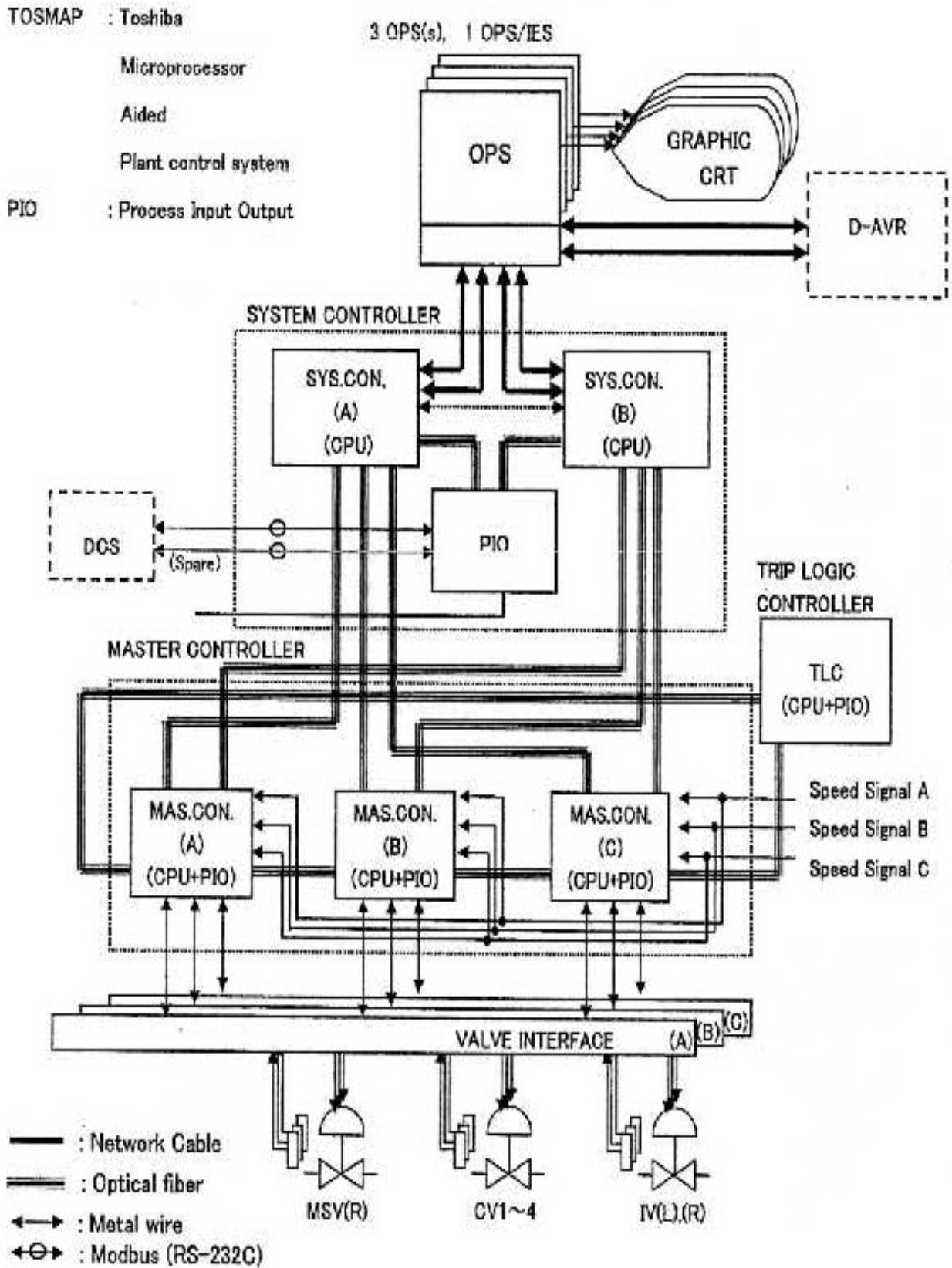


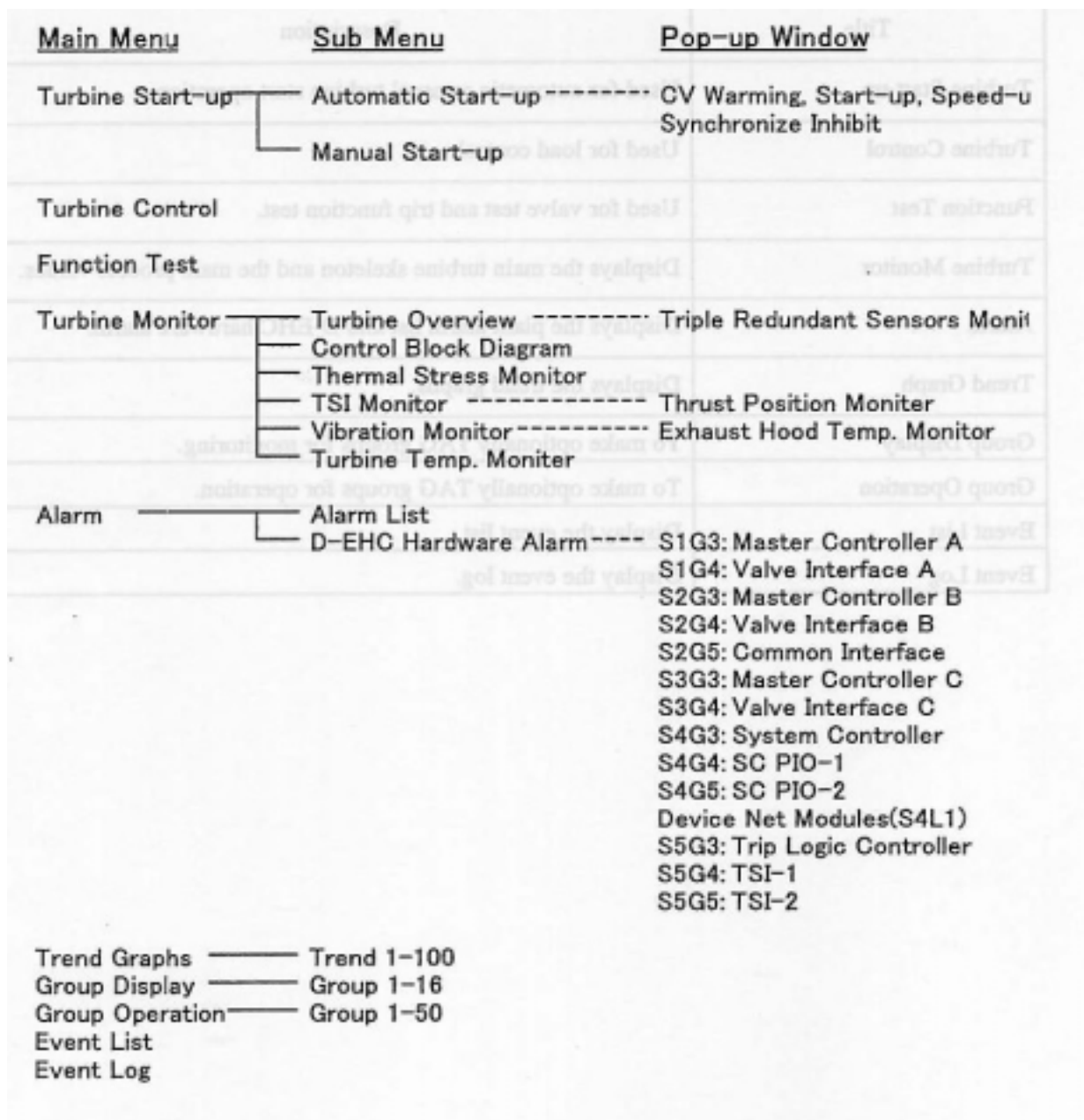
圖 3 汽輪機各項控制

2. 軟體架構：

本系統採用視窗介面之操控軟體，視窗系統使用微軟公司 WINDOWS 2000

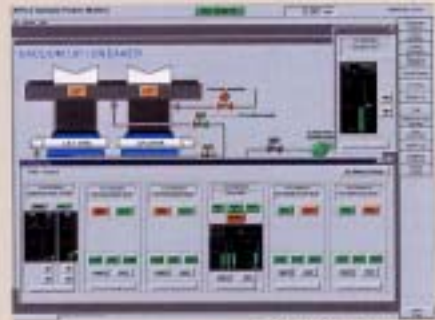
PROFESSIONAL。操控軟體主要分為主選單 (MAIN MENU)、次選單 (SUB MENU) 及跳出式視窗 (POP-UP WINDOW)。結構說明如下：

有關 D-EHC 硬體、軟體，如圖 4



### Standard Functions

- Schematic display
- Group display
- Group operation
- Sequence display
- Trend graph
- X-Y plot
- Event list
- Log service
- Historical data storage
- Data summary
- Alarm list
- Operator guidance
- TAG information



Group operation display



Multi-Window display



Graphic display with Face Plate & TAG information

## Digital Electro-Hydraulic Control System(D-EHC)

### Features

- High speed control to enable fully digitized control
- Redundant system
- Easy connection to DCS
- Easy maintenance with logic loader
- CRT based operation(option)
- Open interface to other systems:RS232C/Modbus,etc.(option)

### Functions

- Turbine speed control
- Load control
- Load limiting
- Line speed matching
- Automatic turbine start-up
- Back-up overspeed governor
- Turbine overspeed test
- Initial pressure regulation(option)
- Load limit/reference follower(option)
- Automatic frequency control(option)
- Automatic load regulator(option)
- Turbine bypass valve control(option)
- Hard wired logic emergency trip system(option)
- Auxiliary equipment control(option)
- Turbine valves test(option)



D-EHC CUBICLE

圖 4 D-EHC 硬體、軟體

### 3. 運轉模式：

D-EHC 運轉模式分為三種

#### (1)DCDAS 模式：

在本項模式下，汽機負載交由 DCDAS 控制，控制系統遵循 DCDAS 之負載需求，控制汽機負載輸出。

#### (2)自動負載調整模式：

在本項模式之下，發電負載輸出由控制系統自動穩定在操作員所輸入之設定值，而汽機之轉速、負載輸出之控制由控制系統自動調整。

#### (3)手動模式：

在本項模式之下，是由操作員藉由操作站電腦進行手動汽機起動與負載控制。

### (七)、台中第九、十號機組保護協調功能：

機組保護協調功能用以確保機組整體安全運轉，為提高機組之可靠度，機組保護系統由硬體邏輯接線組成，所有偵測器均為雙重備份。

#### 1. 汽輪機保護：

在下列情況發生時汽輪機將執行跳機動作：

- (1)汽輪機超速達 111%。
- (2)汽機控制系統故障。
- (3)軸承震動值過高。
- (4)冷凝器真空度過低。
- (5)冷凝器熱井水位過高。
- (6)所有氣渦輪發電機主斷路器開路。
- (7)緊急跳機按鈕被按下。
- (8)潤滑油壓力過低。
- (9)推力軸承故障。
- (10)廢熱回收鍋爐高壓汽鼓水位過高。
- (11)廢熱回收鍋爐中壓汽鼓水位過高。
- (12)廢熱回收鍋爐低壓汽鼓水位過高。

(13)電氣保護裝置動作。

(14)開關場斷路器開路

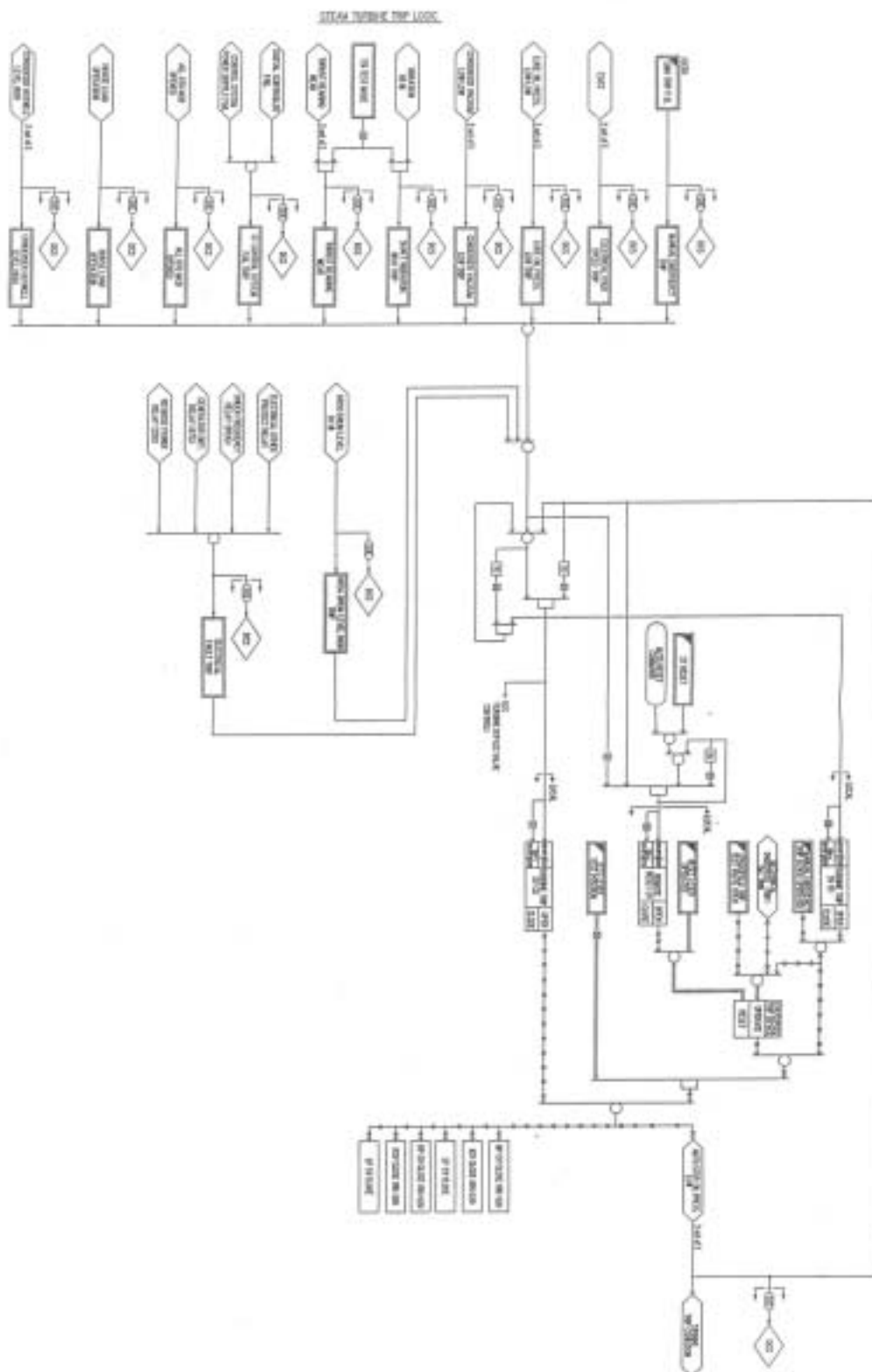


圖 (5) 汽輪機保護邏輯圖

### 三、出國期間所遭遇之困難與特殊事項：

現今是知識經濟的時代，並且科技進步日新月異，適時配合進修以充實自己專業知識及提升本職學能，唯有如此工作才能勝任愉快。本次職能夠赴台中九、十號機汽輪發電機（Turbine Generator）製造廠家日本東芝(Toshiba)公司實習實為個人最大榮幸，感謝上級長官給予職這次學習成長之機會。經由赴台中九、十號機汽輪發電機製造廠家學習大型發電機組系統設計、安裝、運轉、維護相關技術後，對個人專業知識及技術之提升有絕對之助益，也對個人目前擔任之傳統火力發電機組等技術規範會審、效率試驗及工程驗收等工作將有極大幫助。在研習這段期間，對於日本東芝(Toshiba)公司之技術人員的敬業精神有深刻的體驗，諸如授課講師對於課程內容用心的規劃；但因在日本是非英語系國家，授課人員英語表達能力稍欠流暢，同時本人對於日語又不熟悉，在溝通略有影響，因此，若具備日語溝通能力，則與廠家技術人員溝通將更有效率，對研習技術亦更加有所助益。

### 四、對本公司之具體建議：

- (一)、為因應本公司人員對新建發電機組相關設備製造技術及安裝、測試、運轉程序有所瞭解，配合工程進度辦理相關技術研習課程並派員赴製造廠家學習、吸收相關知識確有必要，尤其現代科技發展日新月異，發電機組進步快速，為使未來機組採購規範制定能更加符合現代電廠規劃、設計潮流，新機組裝機、試運轉及效率試驗工作等能迅速、順利，應持續辦理相關技術研習課程。
- (二)、本公司為了因應未來電力需求及汰舊換新發電機組，除了傳統大型發電機組外，目前亦積極引進高效率之超臨界燃煤發電機組，為使未來機組採購規範制定能更加嚴謹，並符合現代電廠規劃、設計潮流，建議經常邀請廠家至本公司介紹新產品及新技術。此外，本次研習時間僅有 12 天，時間及課程的安排較為匆促，建議能將相關研習課程酌增，將有助於前往研習的人員能更深入地瞭解整體系統。