

行政院及所屬各機關出國員報告書

(出國類號：實習)

核能電廠汽輪發電機勵磁機施工管理 技術研習報告

服務機關：台灣電力公司龍門施工處

出國人職稱：電機工程師

姓名：顏慶亭

出國地點：日本 三菱公司

出國日期：91.11.04 至 91.12.03

報告日期：92 年 01 月 02 日

出國計劃：91 年度第 233 號

93/c09105688

C09105688

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：核能電廠汽輪發電機勵磁機施工管理技術研習報告

頁數 13 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司龍門施工處

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

顏慶亭/台灣電力公司/龍門施工處/電機工程師/(02) 24902401 轉 2322

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：91. 11. 04-91. 12. 03

出國地區：日本神戶

報告日期：92. 01. 02

分類號/目

關鍵詞：

- 1、汽輪發電機：Turbine Generator, 利用蒸汽推動發電機以產生電能之機電設備。
- 2、勵磁變壓器：Excitation Transformer, 核四發電機組為靜態式勵磁發電機，在其系統中經降低電壓以提供發電機磁場用之電源之專用變壓器。
- 3、flash Transformer：核四發電機組為靜態式勵磁發電機，在其系統中，專用於發電機起動初始之瞬間電源，其電源來自 480V MCC (馬達控制中心)。
- 4、DC 匯流排：核四發電機組中，提供磁場用之直流電源專用電氣設備，起至勵磁控制箱 (Excitation control cubicle)，終點接發電機滑環室【Slip Housing】。
- 5、勵磁控制箱：Excitation control cubicle, 整合 Flash Transformer 回路、勵磁變壓器回路、AVR 控制器組及電腦控制傳輸系統等設備於一控制箱中。
- 6、AVR：Auto Voltage Regulator, 一自動控制系統，利用電腦控制及傳輸回路，將來自勵磁變壓器及 Flash Transformer 之電源經控制及整流後，提供 DC 電

源於發電機之磁場電力。

摘要：

龍門計畫所興建之核四電廠共二部發電機組，每部機組額定容量為 144 萬仟瓦，其汽輪發電機採用靜態式勵磁系統為日本三菱電機公司設計、製造及組裝測試後裝箱，再船運抵龍門工地安裝。而其勵磁控制系統由三菱電機公司負責架構設計後，委由瑞士的 ABB 公司製造，再交由三菱電機公司整合測試，最後送交龍門工地安裝。因其靜態勵磁式發電機及 ABB 公司產製的 AVR 控制器 UNITRL® P 與本公司現有運轉中之核、火力等大型發電機組之旋轉式整流器型勵磁系統有極大之差別。且該系之控制、限制、保護等功能均由 PLC 及電腦設備整合，再配合快速網路傳輸，將汽機監視系統及流程偵測加以分析，再與核島區數位控制連結，如此可快速處理運轉中所衍生資料。惟其獨特的控制系統及運轉方式，對本公司從事相關電機設備安裝施工或維護者而言均為一神秘而令人期待一探究境的設備。

本次實習是為充分瞭解該系統之成套設計理念及對製造測試等有完整概念，將有助於日後勵磁系統安裝工程進度推展，並確保施工品質。

獲致成果：

接受三菱電機公司有關汽輪發電機、勵磁變壓器、DC 匯流排、勵磁機系統等設備之基本構造、運轉起動原理、安裝施工及電腦網路傳輸等技術訓練。對核四廠發電機各部份結構及相關知識有更深入之了解，相信對於核四廠發電機的施工程序、測試方法及品質要求均有極大益助。

摘要：

龍門計畫所興建之核四電廠共二部發電機組，每部機組額定容量為 144 萬仟瓦，其汽輪發電機採用靜態式勵磁系統為日本三菱電機公司設計、製造及組裝測試後裝箱，再船運抵龍門工地安裝。而其勵磁控制系統由三菱電機公司負責架構設計後，委由瑞士的 ABB 公司製造，再交由三菱電機公司整合測試，最後送交龍門工地安裝。因其靜態勵磁式發電機及 ABB 公司產製的 AVR 控制器 UNITRL®P 與本公司現有運轉中之核、火力等大型發電機組之旋轉式整流器型勵磁系統有極大之差別。且該系之控制、限制、保護等功能均由 PLC 及電腦設備整合，再配合快速網路傳輸，將汽機監視系統及流程偵測加以分析，再與核島區數位控制連結，如此可快速處理運轉中所衍生資料。惟其獨特的控制系統及運轉方式，對本公司從事相關電機設備安裝施工或維護者而言均為一神秘而令人期待一探究境的設備。

本次實習是為充分瞭解該系統之成套設計理念及對製造測試等有完整概念，將有助於日後勵磁系統安裝工程進度推展，並確保施工品質。

獲致成果：

接受三菱電機公司有關汽輪發電機、勵磁變壓器、DC 匯流排、勵磁機系統等設備之基本構造、運轉起動原理、安裝施工及電腦網路傳輸等技術訓練。對核四廠發電機各部份結構及相關知識有更深入之了解，相信對於核四廠發電機的施工程序、測試方法及品質要求均有極大益助。

目 錄

項目	內 容	頁 次
一.	引言	2
二.	核四汽輪發電機及相關設備	3
	2-1 汽輪發電機	
	2-1-1 核四汽輪發電機原廠組裝情形	
	2-1-2 發電機組及其附屬設備	20
	2-1-2-1 發電機規範	
	2-1-2-2 發電機組件	23
	2-1-2-3 發電機容量曲線	27
	2-1-2-4 發電機儀控設備	29
	2-1-3、旋轉磁場整流器式發電機	31
	2-1-4、核四發電機：靜態勵磁式汽輪發電機	33
	2-2 電壓調整器 AVR	35
	3-2-1、旋轉磁場整流器式 AVR	
	3-2-2、核四發電機 AVR：ABB UNITRL® P	37
	3-3、SF ₆ 勵磁變壓器	50
	3-4、勵磁控制系統	55
	3-5、DC 匯流排	59
三.	出國報告參考文件	60
四.	我所見到的『工安在日本』	61
五.	結論：心得與感言	65
六.	成果及建言：	66
七.	三菱公司參訪相片	67

一 引言：

龍門計畫所興建之核四電廠共二部發電機組，每部機組額定容量為 144 萬仟瓦，其汽輪發電機採用靜態式勵磁系統為日本三菱電機公司設計、製造及組裝測試後裝箱，再船運抵龍門工地安裝。而其勵磁控制系統由三菱電機公司負責架構設計後，委由瑞士的 ABB 公司製造，再交由三菱電機公司整合測試，最後送交龍門工地安裝。因其靜態勵磁式發電機及 ABB 公司產製的 AVR 控制器 UNITRL® P 與本公司現有運轉中之核、火力等大型發電機組之旋轉式整流器型勵磁系統有極大之差別。且該系統之控制、限制、保護等功能均由 PLC 及電腦設備整合，再配合快速網路傳輸，將汽機監視系統及流程偵測加以分析，再與核島區數位控制連結，如此可快速處理運轉中所衍生資料。惟其獨特的控制系統及運轉方式，對本公司從事相關電機設備安裝施工或維護者而言均為一神秘而令人期待一探究境的設備。

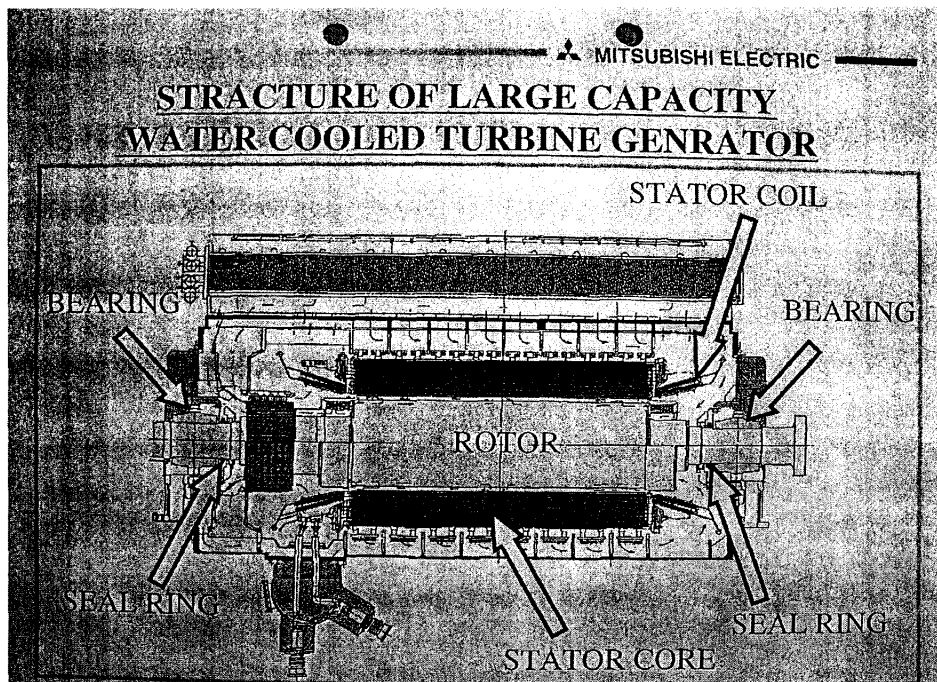
本次實習是為充分瞭解該系統之成套設計理念及對製造測試等有完整概念，將有助於日後勵磁系統安裝工程進度推展，並確保施工品質。

二. 核四汽輪發電機及相關設備：

2-1. 汽輪發電機

2-1-1.核四汽輪發電機原型機組圖-1

三菱公司製造核四機組：大容量，水冷式



*、中空的定（靜）子線圈內通循環冷卻水。

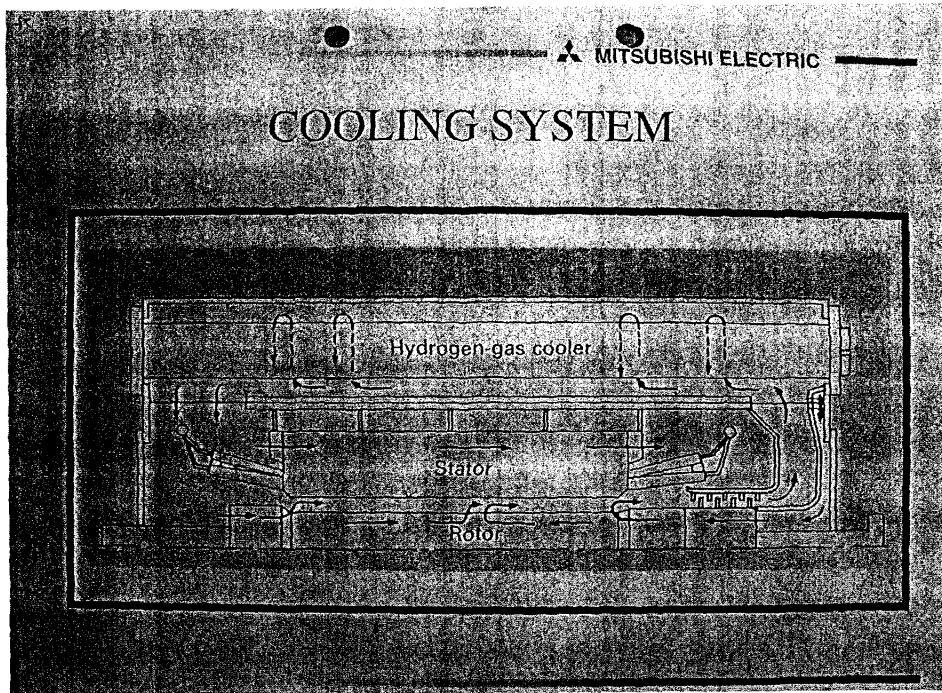
*、黃色：軸承。

*、紅色：定（靜）子線圈。

*、紫色：氫器熱交換器。

2-1-1. 核四汽輪發電機原型機組圖-2

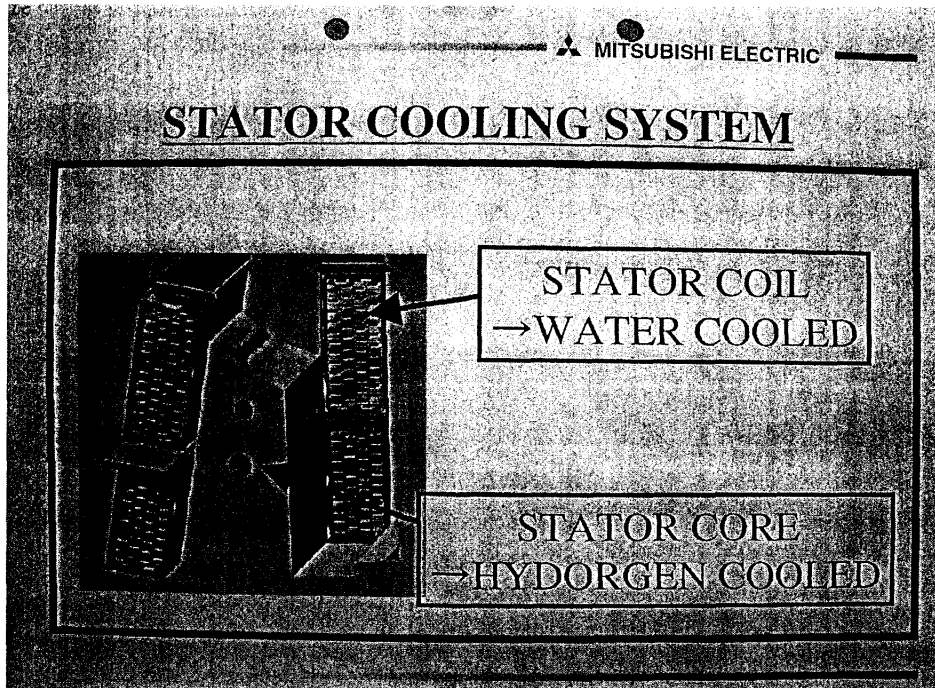
三菱公司製造核四機組：氫氣冷卻系統



*、Blower 與轉子同步轉動使發電機內部氫氣如箭頭所示方相循環，並在上方氫器冷卻器中將熱量交由熱交換器的冷卻水帶走。

2-1-1. 核四汽輪發電機原型機組圖-3

三菱公司製造核四機組：定子冷卻系統

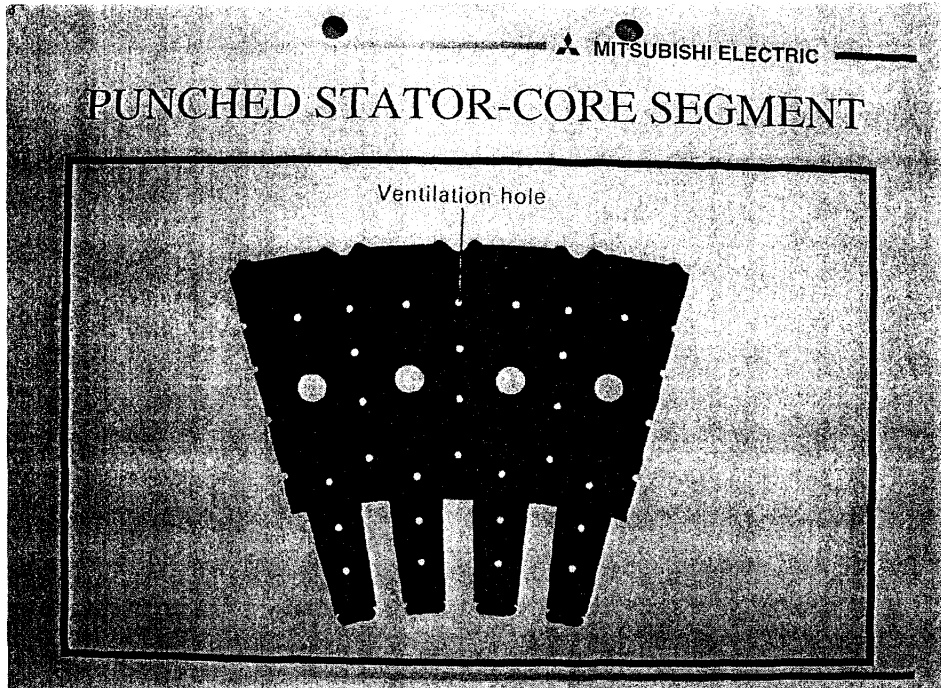


*、冷卻水由中空之定子線圈內流過。

*、氫氣自矽鋼片中散熱孔通過。

2-1-1. 核四汽輪發電機原型機組圖-4

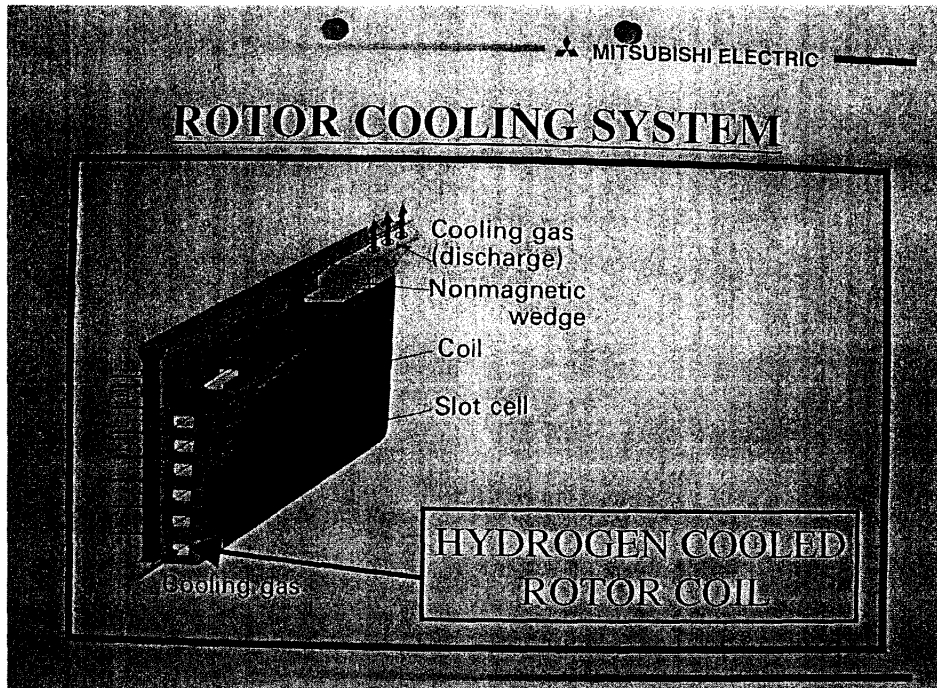
三菱公司製造核四機組：定子矽鋼片組



定子矽鋼片之小孔即為其氫氣散熱孔分佈情形

2-1-1. 核四汽輪發電機原型機組圖-5

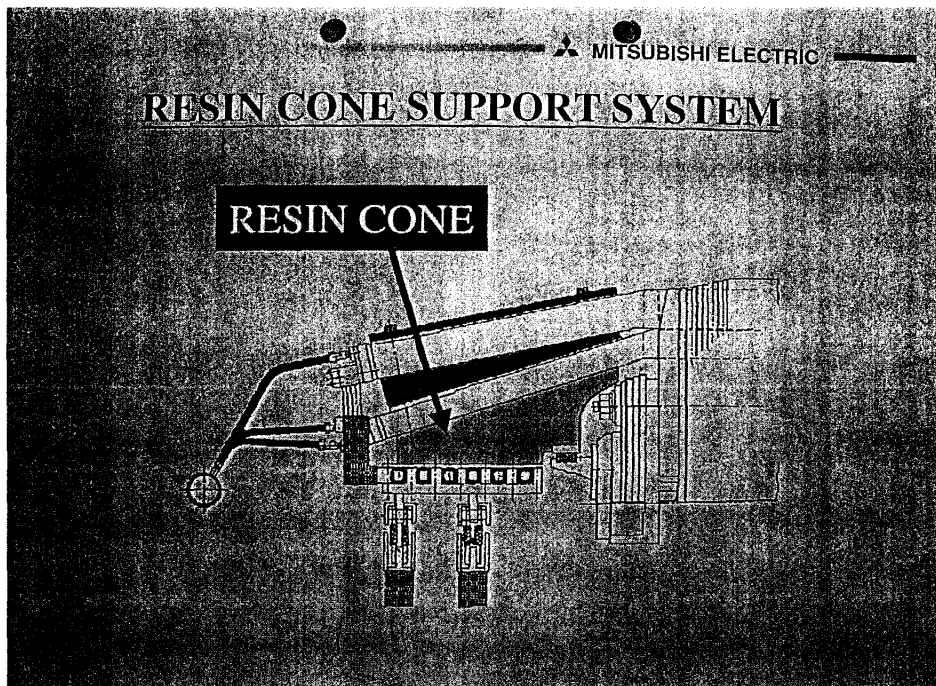
三菱公司製造典型機組：轉子冷卻系統



氫氣自中空轉子線圈內通過，再由線槽上方非磁性材料散熱孔流出。

2-1-1. 核四汽輪發電機原型機組圖-6

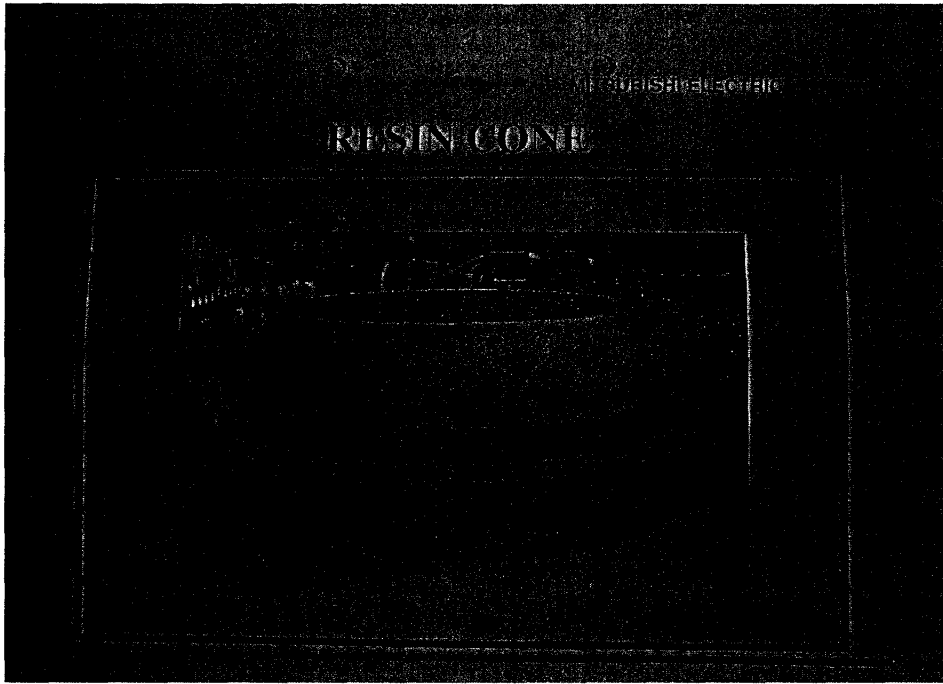
三菱公司製造典型機組：樹脂錐支撐系統



樹脂錐支撐二端定子線圈

2-1-1. 核四汽輪發電機原廠組裝圖-7

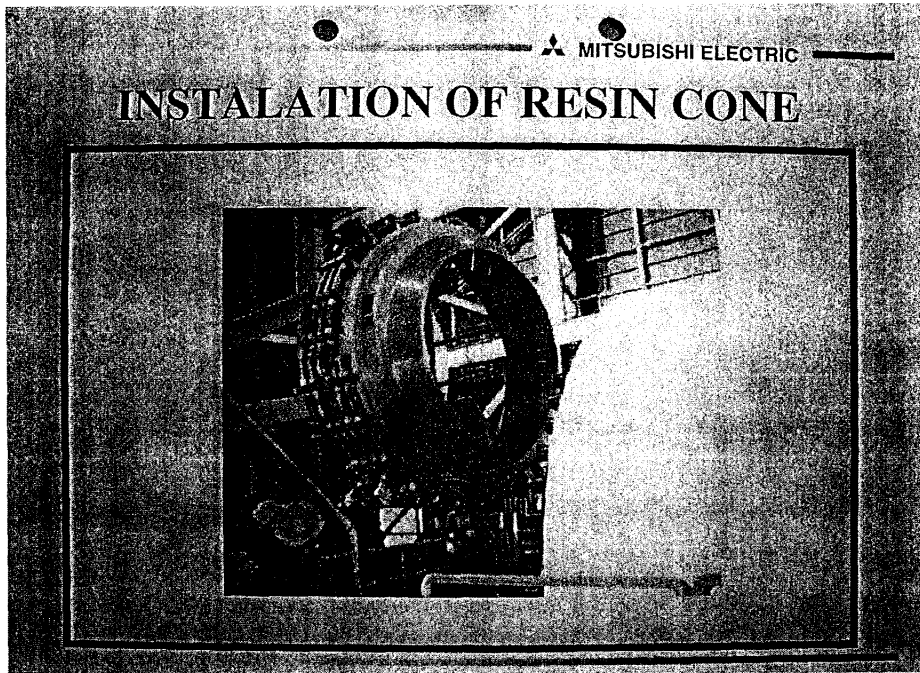
三菱公司製造核四機組：樹脂錐



預鑄完成之樹脂錐

2-1-1.核四汽輪發電機原廠組裝圖-8

三菱公司製造核四機組：樹脂錐安裝施工



樹脂錐安裝定位情形

2-1-1.核四汽輪發電機原廠組裝圖-9

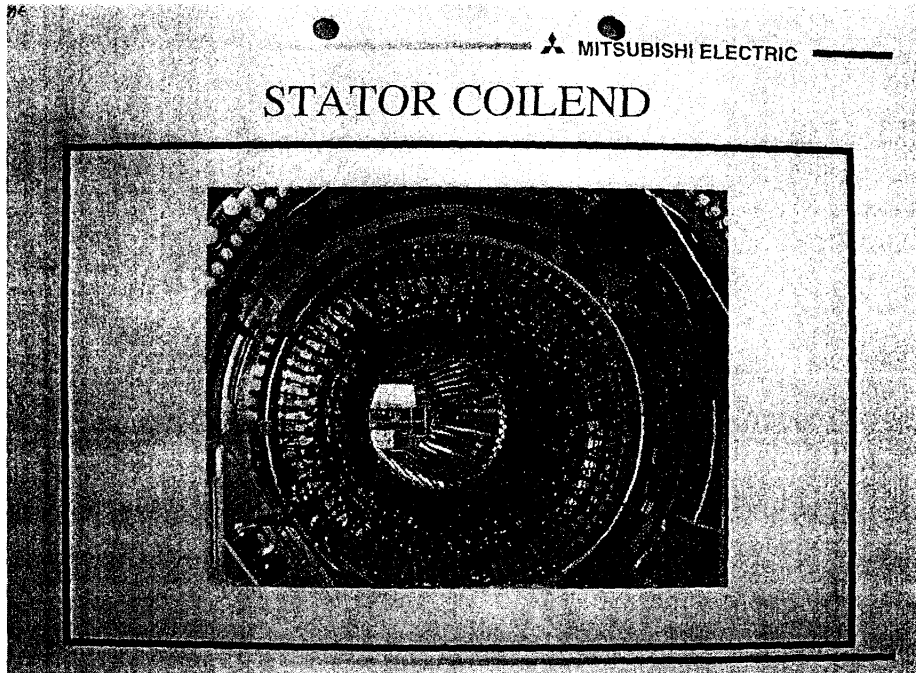
三菱公司製造核四機組：定子線圈施工



定子線圈安裝施工中

2-1-1.核四汽輪發電機原廠組裝圖-10

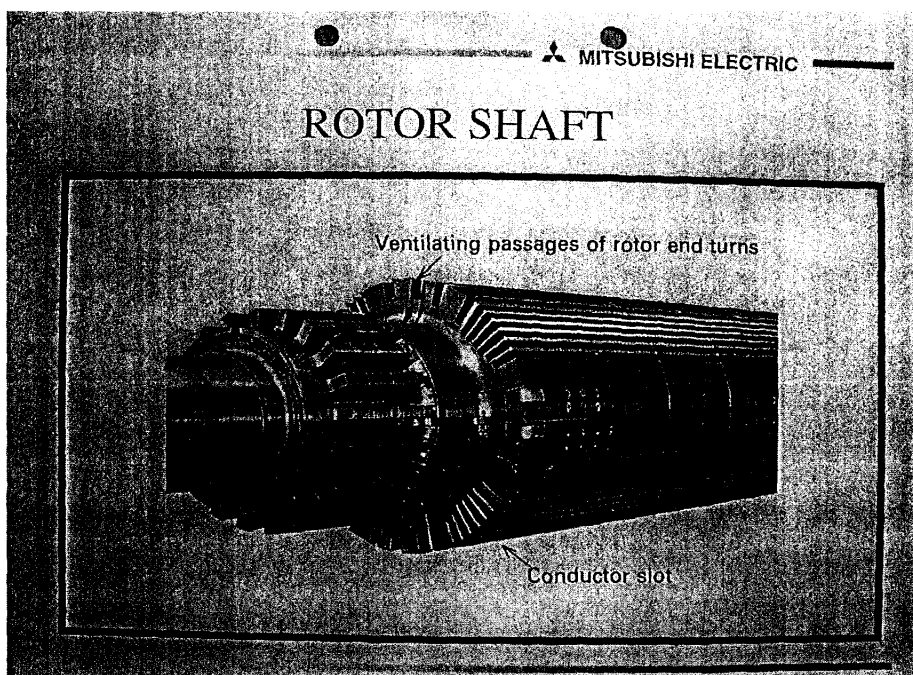
三菱公司製造核四機組：定子線圈施工



定子線圈安裝施工中

2-1-1. 核四汽輪發電機原型機組圖-11

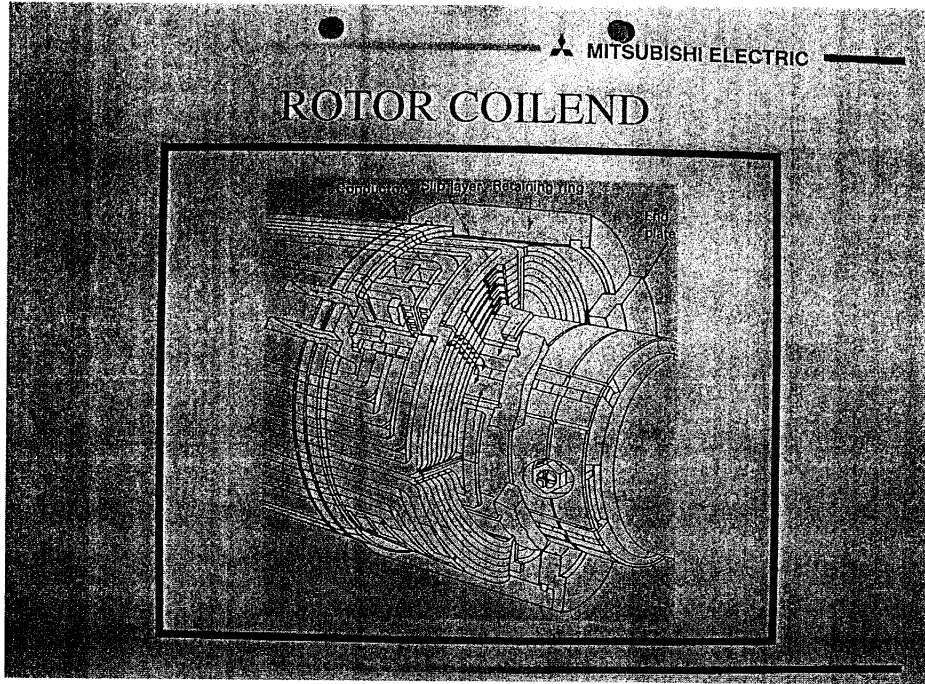
三菱公司製造核四機組：轉軸



轉子及其散熱槽

2-1-1.核四汽輪發電機原廠組裝圖-12

三菱公司製造核四機組：轉子線圈



轉子線圈配置圖

線圈

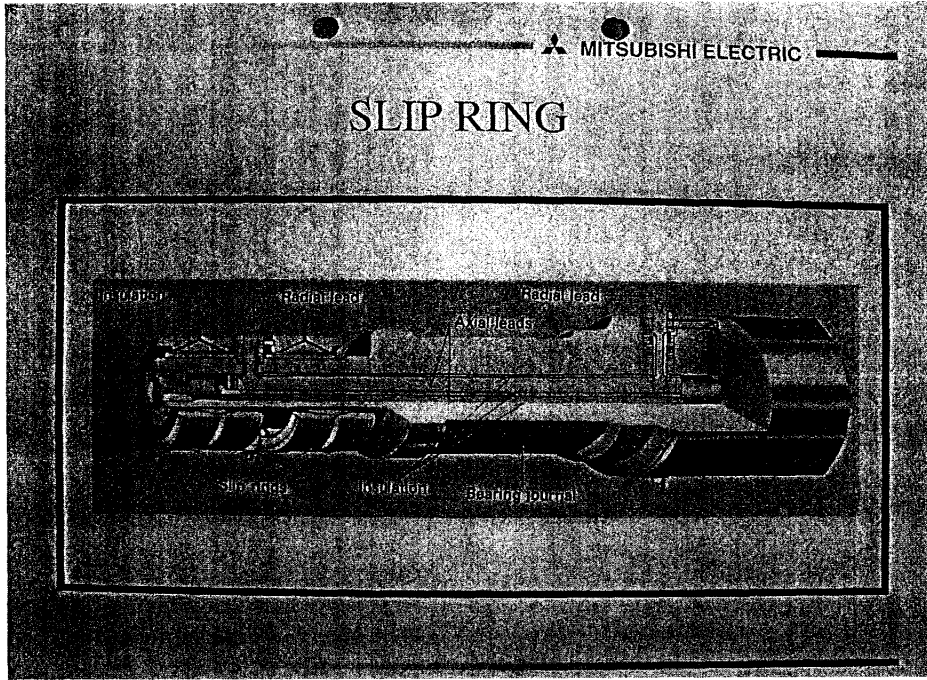
端環 (Retaining Ring)

滑環層 (Slip Layer)

端板 (End Plate)

2-1-1.核四汽輪發電機原廠組裝圖-13

三菱公司製造核四機組：滑環



滑環結構：絕緣層

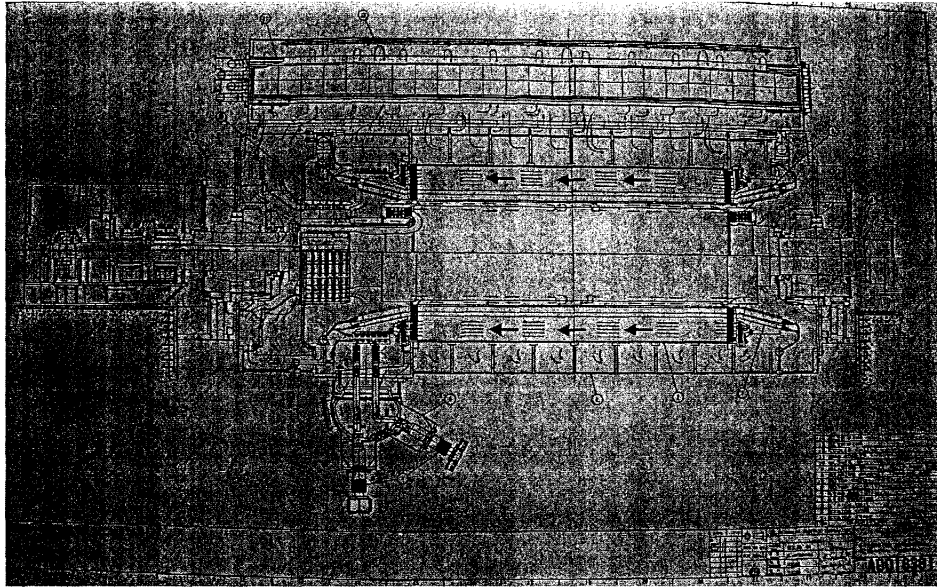
滑環

導體層

軸承面

2-1-1.核四汽輪發電機原廠組裝圖-14

三菱公司製造：核四發電機組結構及氫氣流程圖

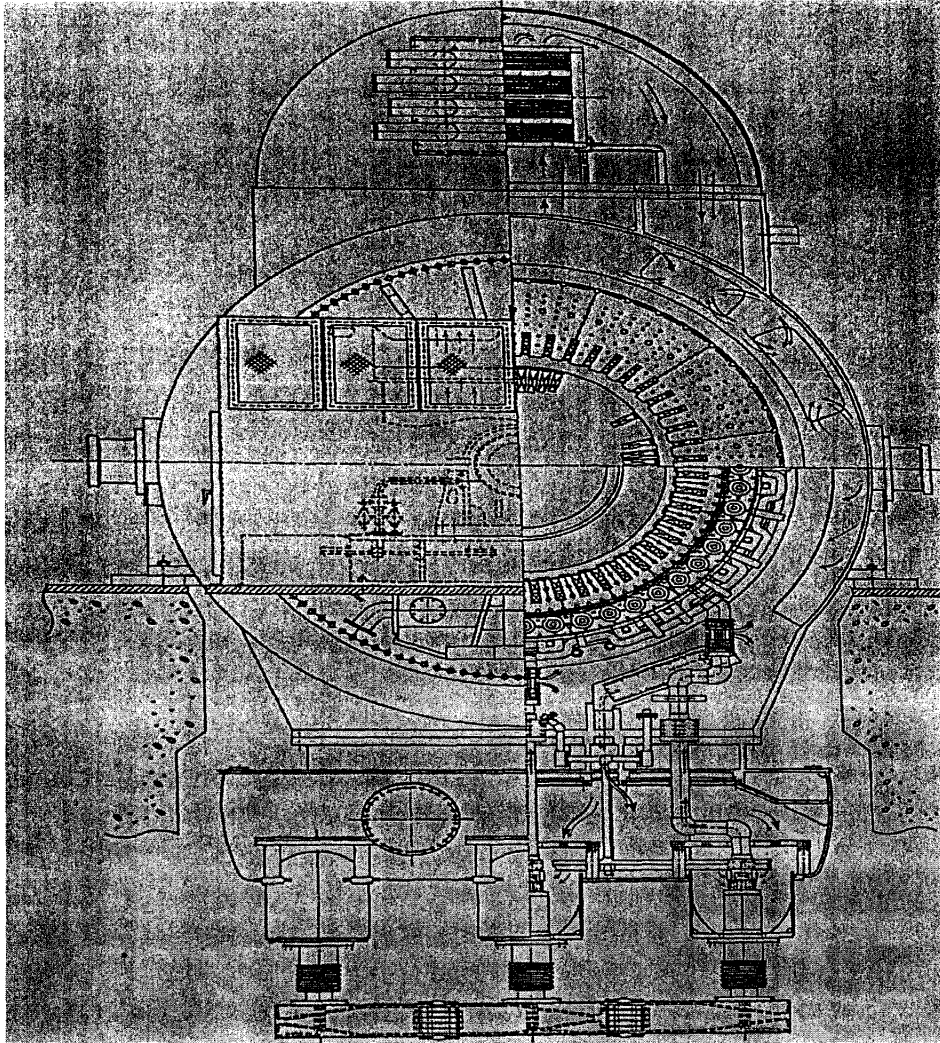


發電機組結構：

- | | | |
|-----------|--------------|-------------|
| 1. 定子框架 | 6. 轉子 | 11. 氫氣冷卻器 |
| 2. 定子矽鋼片 | 7. 轉子線圈 | 12. 氫氣冷卻器外框 |
| 3. 定子導線 | 8. 軸承托架(汽機側) | 13. 滑環 |
| 4. 定子導線套管 | 9. 軸承托架(滑環側) | 14. 滑環室 |
| 5. 定子導線箱 | 10. 鼓風機 | |

2-1-1. 核四汽輪發電機原型機組圖-15

三菱公司製造核四機組：冷卻系統



- a. 核四發電機定子線圈是水冷卻式，轉子及定子矽鋼片均為氫內冷卻式，氫氣自汽機側的定子矽鋼片散熱氣孔以軸向通過達滑環側來吸收定子矽鋼片內部熱量。另一方面；氫氣在轉軸及安裝在端板間的端環（Retaining Ring）經由環狀空隙的徑向導槽（Radial Ducts）、經軸向的導槽空間來吸收轉子線圈的熱量。當氫氣經由中空線圈導孔達到位在轉子內的徑向導槽後流出到二者間空隙。定子線圈及套管是水冷卻式；冷卻水自滑環側進入定子線圈經軸向，由汽機側定子線圈流出。
- b. 氫氣充滿在定子框架內並行於定子矽鋼片及轉子線圈中循環。
- c. 氫氣的封油系統是雙流型（Double-Flow Type）。
- d. 發電機是靜態勵磁方式。

2-1-2.核四發電機組及其附屬設備：

2-1-2-1 核四發電機規範：

型式	水平安置之轉子，旋轉磁場式
額定輸出	1440 MW
額定容量	1600 MVA
功率因素	0.9
額定電壓	29kv
額定電流	31854 A
頻率	60 HZ
極數	4
額定轉數	1800 rpm
相數	3
冷卻方式	
定子線圈	水冷式
定子矽鋼片	氫內冷式
轉子線圈	氫內冷式
氫氣壓力	5 Kg/cm ² (0.5 Mpa g)
運轉因素	連續運轉
短路比	>0.64 at 1600 MVA

定子線圈	雙星型 (Double star)
原動機連接方式	直接 (Direct)
勵磁方式	靜態勵磁式
絕緣等級	定子線圈、轉子線圈：Class F, B Rise
定子導線數	6
噪因等級	85 dB 距發電機 1 公尺
氬氣冷卻器數量	一組合 4 區段 (1set of 4 coolers)
氬氣冷卻器型式	鰭管型 (Fin-tube type)
進口冷卻水溫	36.6°C
慣量 (Inertia constant)	1241.6 ton-m ² (含汽輪機、發電機及滑環)
定子槽數	48
感抗及時間常數	感抗值以額定 MVA 為基楚
直軸 (Direct axis):	飽和 / 未飽和
Xd：同步感抗	150.2% / 163.6%
X'd：暫態感抗	30.4% / 34.8%

X''_d ：次暫態感抗	23.8%	/	27.2%
T'_{do} ：暫態開路時間常數			3.64S
T''_{do} ：次暫態開路時間常數			0.019S
T'_d ：暫態短路時間常數			1.41S
T''_d ：次暫態短路時間常數			0.15S
橫軸 (Quadrature axis)：	飽和	/	未飽和
X_q ：同步感抗	95.3%	/	159%
X'_q ：暫態感抗	45.6%	/	51.9%
X''_q ：次暫態感抗	23.7%	/	27.1%
T'_{q0} ：暫態開路時間常數			0.515S
T''_{q0} ：次暫態開路時間常數			0.028S
T'_q ：暫態短路時間常數			0.237S
T''_q ：次暫態短路時間常數			0.015S

2-1-2-2 發電機組件：

a. 定子：

定子包括框架 (Frame)、定子線圈、托架 (Brackets)、定子矽鋼片組等。

定子線圈是水冷卻式、定子矽鋼片組是氫內冷卻式。

定子矽鋼片組件是由高品質、低鐵損特性之矽鋼片沖壓成形，經絕緣膠 (Varnish) 處理後堆沏而成。

為使其在欠激運轉 (Underexcited Operation) 時在矽鋼片端熱量能最小化，端遮避板 (End Shields) 被安裝在定子矽鋼片組二側。

每一定子線槽有二定子線圈棒 (Stator Winding Bars)，並使用環氧樹脂做為其間絕緣。

b. 轉子：

轉子包括轉軸、轉子線圈、鼓風機 (Blower) 及端環 (Retaining Ring) 等。端環是以 18Mn-18Cr 製成。

鼓風機 (Blower) 材質與轉軸相同是以 Ni-Mo-V 鋼製成，被安裝在轉軸上用來使氫氣在發電機內部循環。

轉子導體是以含 Cu 及 As 之鍍銀銅導體以冷抽方式製成。

雙 U 通道型銅棒 (Two U-channel shaped Bars) 組成一圈線

圈，及其矩形空間形成一氫氣冷卻式的線圈。

接地絕緣是用 Glass-Epoxy-Nomer 製成。層間絕緣用 Glass Epoxy 薄片纏繞在導體上製成。

特別絕緣材料及銅阻尼棒插在轉子線圈上方，最後再打入非磁性高強度墊片 (Nonmagnetic High-Strength Wedges)。

端環、阻尼棒及墊片 (Wedges) 等形成一完整的阻尼回路 (Damper Circuit)，如此即可吸收在轉軸表面因非平衡短路故障 (Unbalanced Short-Circuit Fault) 產生的渦流 (Eddy Current)。

c. 滑環：

滑環直接安裝在汽機側的另外一邊，勵磁電流由開流體勵磁系統整流後，經滑環及碳刷導入轉子線圈。

滑環安置在滑環室與發電機隔離，滑環室內是空氣而非氫氣。

d. 氫氣冷卻器：

一組『氫氣冷卻器』含「四段冷卻器」均為水平安裝在發電機的頂部，每一段冷卻器均有獨立的冷卻水供應系統。

e. 軸承：

軸承是套管 (Sleeve) 式的，軸承托架以絕緣座 (Insulated

Seat) 與板面及螺栓隔離。

軸承分上半面及下半面，二部分以絞刀螺栓 (Reamer Bolt) 精確的結合組成。

f. 封油系統：

封油系統是雙流式，用以內部阻隔氫氣及空氣的混流 (Inter-Exchange)，在油封環的空氣側及氫氣側，均有各別獨立的供油路徑及設備供油。

g. 導線接線盒 (Lead Box)：

導線接線盒用以導出發電機產生的電流，其包括六組套管及比流器 (CTs)。

三組套管用於中性點側 (Neutral Side)，另三組用於電力輸出側 (Line Side)，比流器安裝在套管上用以保護發電機及量測發電機輸出電流。

導體接線箱利用隔相匯流排 IPBD (Isolated Phase Bus Duct) 將發電機輸出電力傳輸至發電機斷路器及主變壓器等相關設備。

h. 轉軸接地及偵測：

發電機轉軸利用安裝在汽機側的銅帶 (Copper Braid) 接地，並利用安裝在汽機側的碳刷及滑環來監測發電機軸電壓。

i. 發電機及其附屬設備被設計為 40 年運轉壽命，惟需依維護手冊維護及更新相關零組件，其中包括碳刷及氫器冷卻器的犧牲陽極（Galvanic Anode）等。

j. 氫氣及二氧化碳系統：

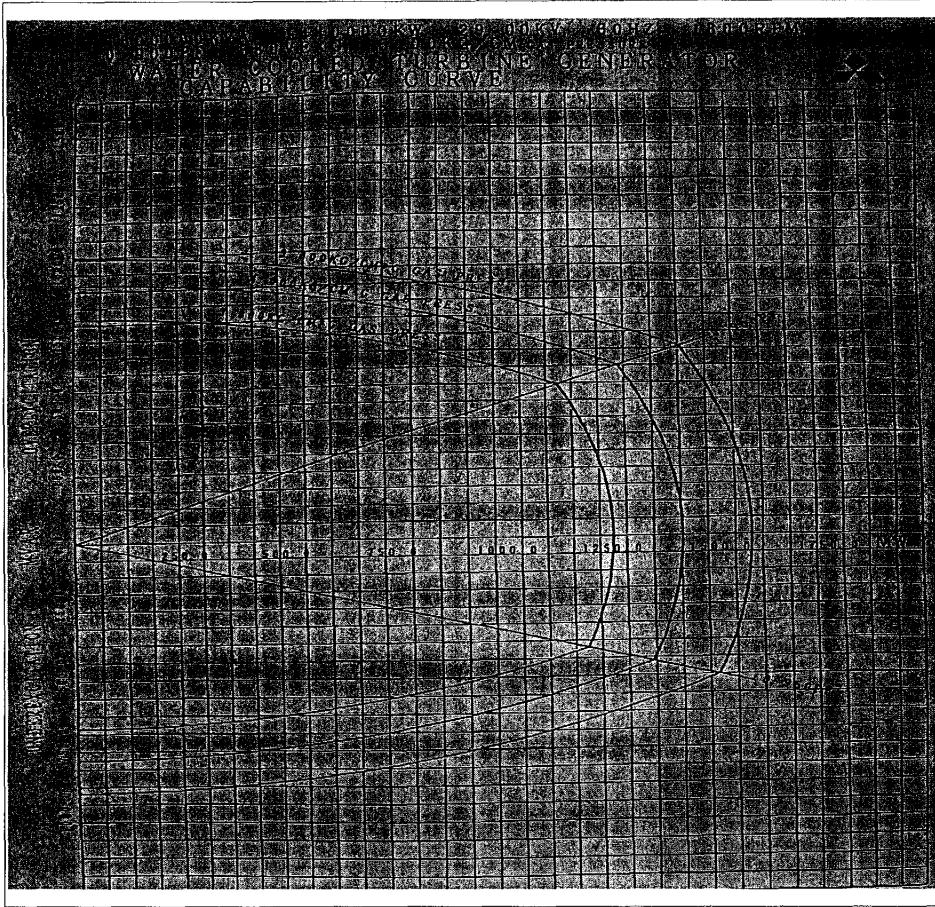
氫氣系統用以充填發電機內部冷卻氫氣。二氧化碳用以清除發電機內部氫氣之媒介氣體。

k. 冷卻水系統：

發電機氫氣冷卻器的冷卻水及定子線圈冷卻水是由冷卻水系統供應。

定子線圈內部冷卻循環水系統是用高純度水流經中空的定子導體以達成移除，因定子線圈損失（銅損）產生的內部熱量。

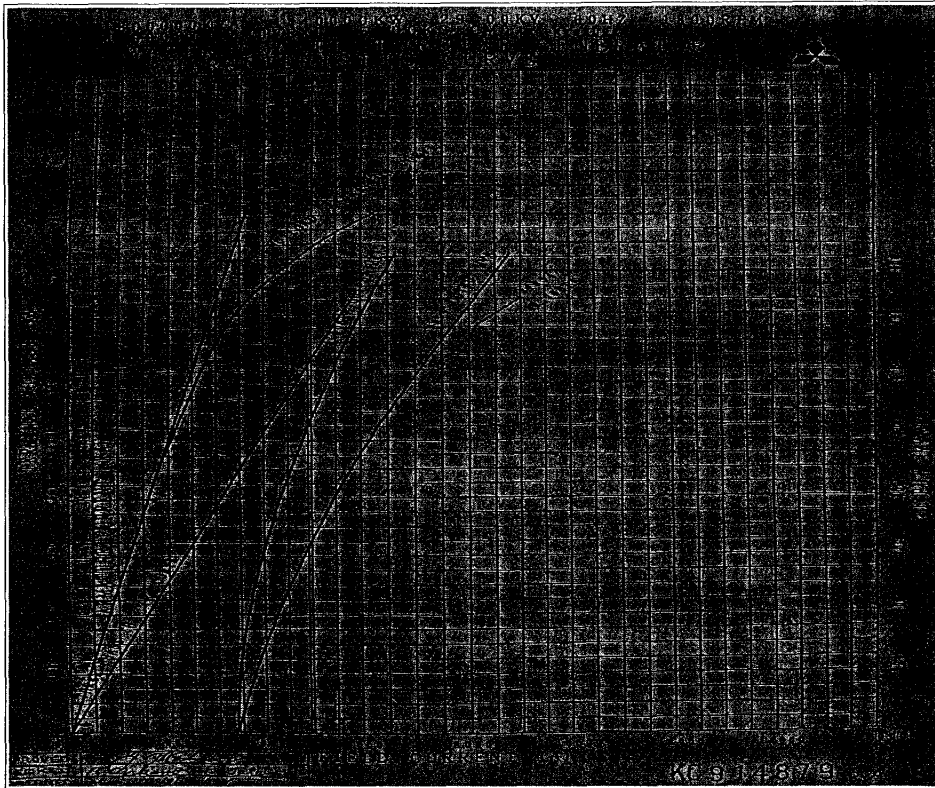
2-1-2-3 發電機容量曲線圖：



核四機組 1600MVA,1440MW,29.00KV,60HZ,1800RPM,0.900PF

,580V EXC.,水冷式汽輪發電機特性曲線圖：

- 1、 正常運轉範圍在 0.900PF 滯後 (Over excitation) 及 0.950PF 越前 (Under excitation) 之間。
- 2、 三弧型曲線分別代表：氫氣在 $5.0\text{KG}/\text{CM}^2$ 、 $4.0\text{KG}/\text{CM}^2$ 及 $3.0\text{KG}/\text{CM}^2$ 時之容量曲線。



核四機組：

1600MVA,1440MW,29.00KV,60HZ,1800RPM,0.900PF,580V EXC.,
氫壓 5.0KG/CM² 水冷式汽輪發電機特性曲線圖：

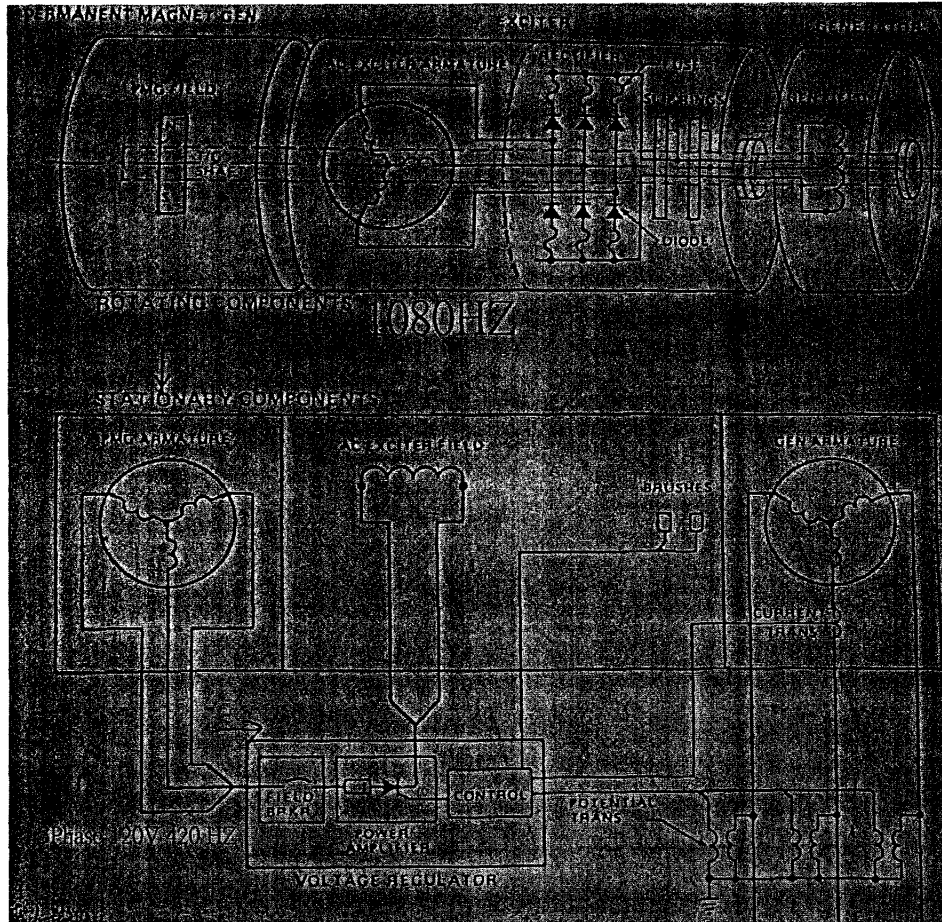
- 1、原點為起點之曲線：為發電機輸出三相開路時之無載特性曲線。
- 2、場電流 3400A 為起點之曲線：分別為功率因素在 1.0、0.98 及 0.9 時之曲線，最右側小段曲線為滿載電流 31854A，額定功率因素 0.9 時之特性曲線。

2-1-2-4 發電機的儀控設備：

- a. 定子鐵心：12 只溫度偵測器來監視定子鐵心的溫度。
- b. 定子線圈：1 只溫度偵測器來監視定子線圈的溫度。
- c. 氫器冷卻器：每組氫器冷卻器入口含 2 只溫度偵測器來監視氫器入口的溫度。
- d. 冷卻水：1 只溫度偵測器來監視冷卻水的出口溫度。
- e. 軸承油溫：1 只溫度偵測器來監視軸承潤滑油的洩油口油溫。
- f. 發電機場溫 (Field Temperature)：發電機場溫是以發電機輸出場電流 (Field Current) 及場電壓 (Field Voltage) 來換算其溫度。
- g. 高溫警報：氫氣溫度、定子線圈冷卻水溫及轉子線圈之溫度偵測器均含有高溫警報。
- h. 發電機鐵心偵測系統 GCM (Generator Core Condition Monitoring System)：偵測鐵心狀況。
- i. 發電機亦含一冷卻水或油洩漏偵測裝置。

- j. 露點 (Dew Point) 偵測：發電機內部氫氣裝置一露點偵測器。
- k. 氫氣溫度控制 GTC (Gas Temperature Control)：發電機內部冷氫溫度是以自動控制氫氣閘口開度用以控制氫氣流量來達成。

2-1-3 旋轉磁場整流器式發電機或稱無刷式勵磁系統發電機



*、在轉子上共有三發電機組同步旋轉「永久磁場發電機 PMG」、「勵磁機 AC EXCITOR」及「主汽輪發電機」。

*、主發電機勵磁電流來源：

PMG 定子 → AC 勵磁機轉子 → 旋轉整流器 → 轉子磁場

*、旋轉磁場整流器式發電機優點：

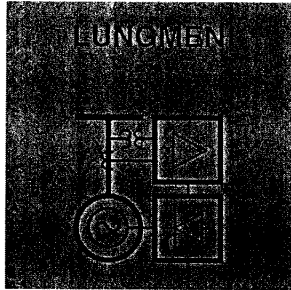
- 1、 無需其他勵磁系統提供勵磁電源，當汽輪機轉速建立後，即可自行建立所需的勵磁電源。
- 2、 利用勵磁機產生電力經旋轉整流器（與轉子同步轉動）整流後提供給主發電機做為勵磁電源用，故無需「滑環 Slip Ring」及「碳刷 Brush」等裝置，可避免因碳刷磨擦產生火花及運轉中因碳刷磨損而需更換碳刷的麻煩。

※、旋轉磁場整流器式發電機缺點：

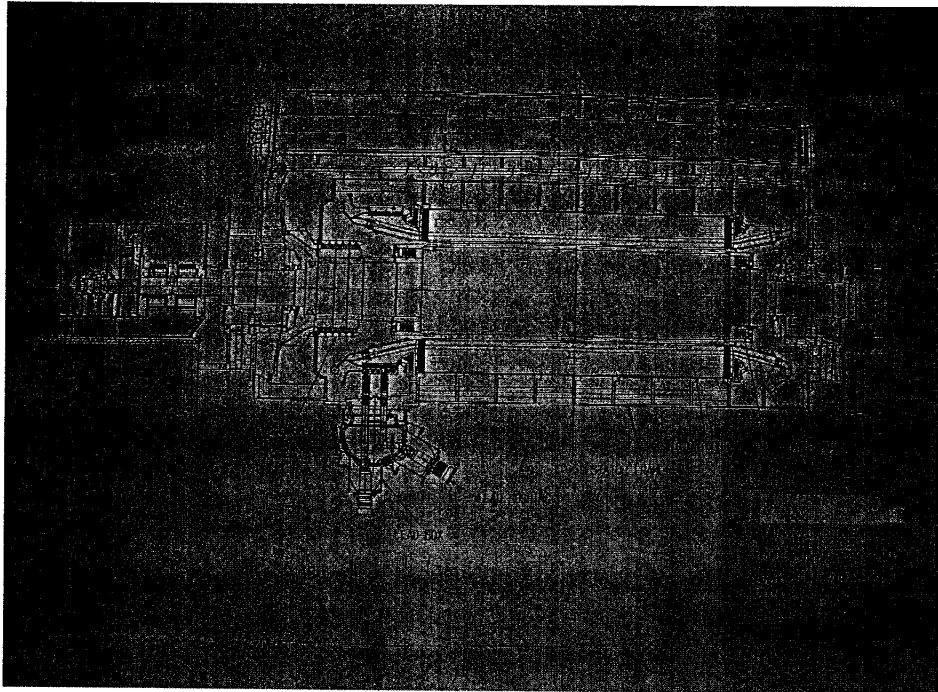
運轉中，由於旋轉整流器及其保險絲等裝置與轉子高速同步旋轉，容易因機械應力及振動而故障，更因故障偵測技術上的一些盲點及檢修時需停機等因素，均影響發電。

2-1-4 核四發電機：靜態勵磁式汽輪發電機

靜態勵磁式汽輪發電機簡圖

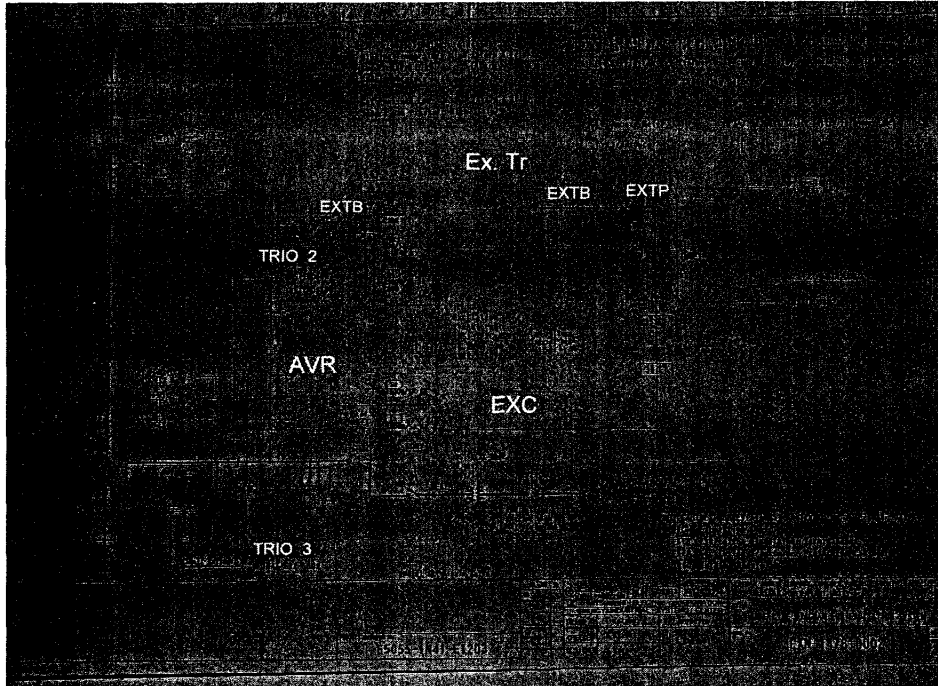


靜態勵磁式汽輪發電機結構圖



2-1-4 核四發電機：靜態勵磁式汽輪發電機單線圖

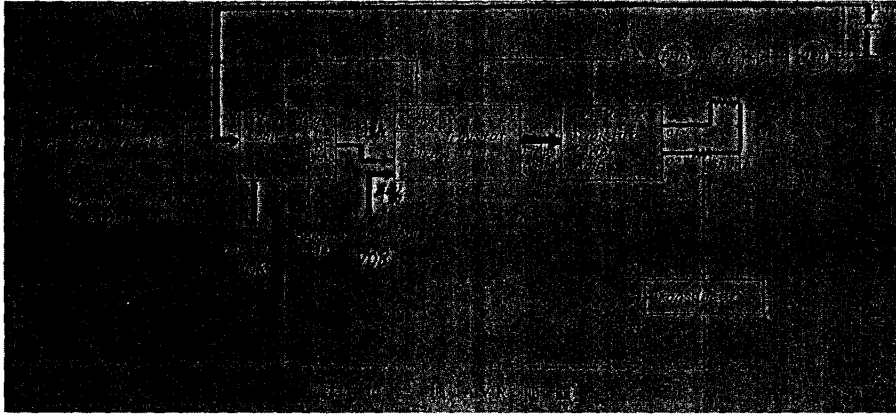
One Line Diagram for Excitation System



- * 發電機起動初期由外部 AC 480V 電源經起動變壓器 (Flashing Transformer) 39.4KVA，480v/34v 提供勵磁電源，經變壓器降壓及整流器整流後，由發電機之滑環導入發電機，供應發電機起動時之勵磁電流。
- * 發電機起動後，改由勵磁變壓器經 AVR 系統提供勵磁電流。

2-2 電壓調整器 AVR

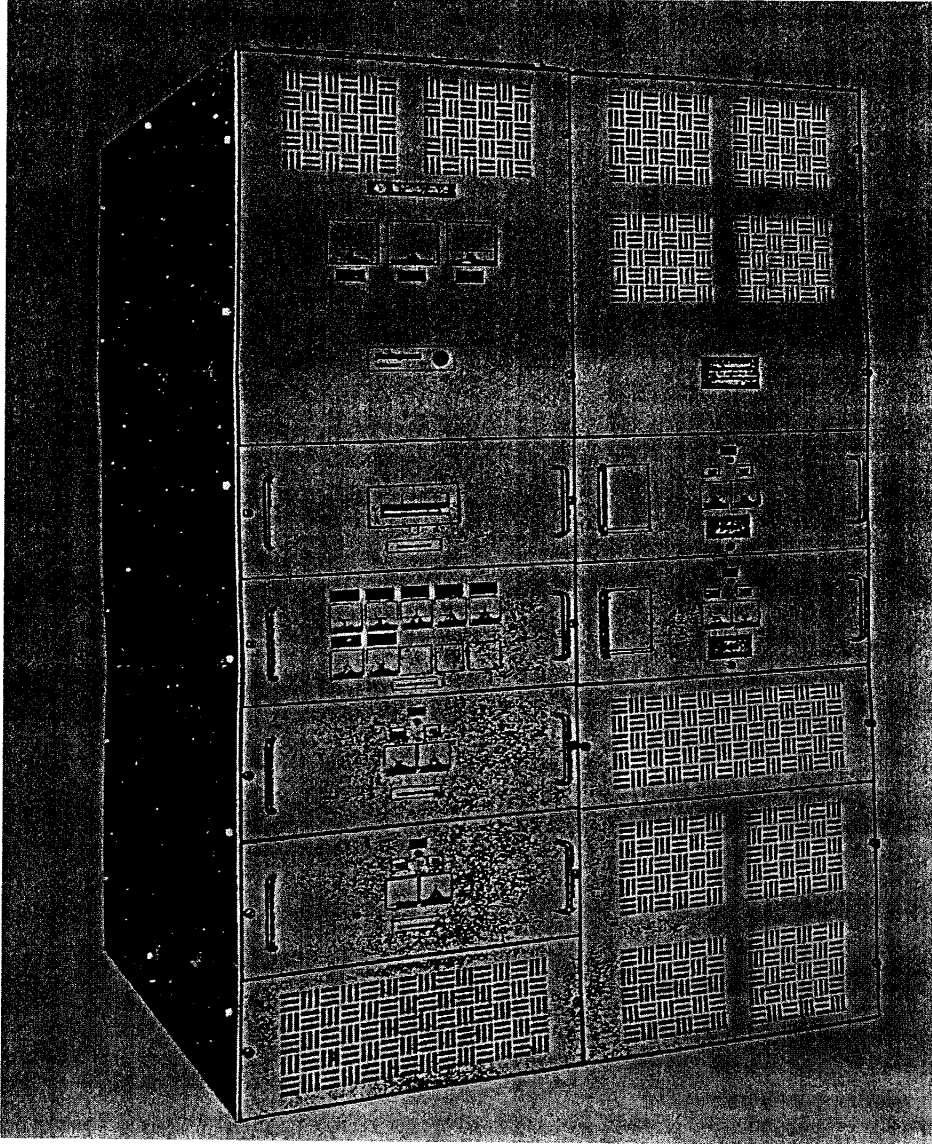
3-2-1 無刷式勵磁發電機電壓調整器 AVR 簡圖-1



無刷式勵磁發電機電壓調整器 AVR 是由下列模組組成：

1. 電力放大器組 Power Amplifier
2. SCR 激發電路組 Firing Circuit Drawer (二組併聯)
3. 控制電路組 Logic Drawer
4. 保護電路組 Protective Drawer
5. 勵磁機及發電機接地偵測器
6. 回授信號輸入盤 Input Intelligence Panel
7. 隔離轉換器 Isolation Transducer (二組)
8. 基值設定器 Base Adjuster
9. 電壓設定器 Voltage Adjuster
10. 磁場斷路器 (41) 等

2-2-1 無刷式勵磁發電機電壓調整器 AVR 外觀圖-2



模組型的裝置：維修時可依各別模組抽換更新是其優點。

2-2-2 核四發電機的 AVR：ABB UNITROL® P

ABB UNITROL® P 系統圖-1



簡介：

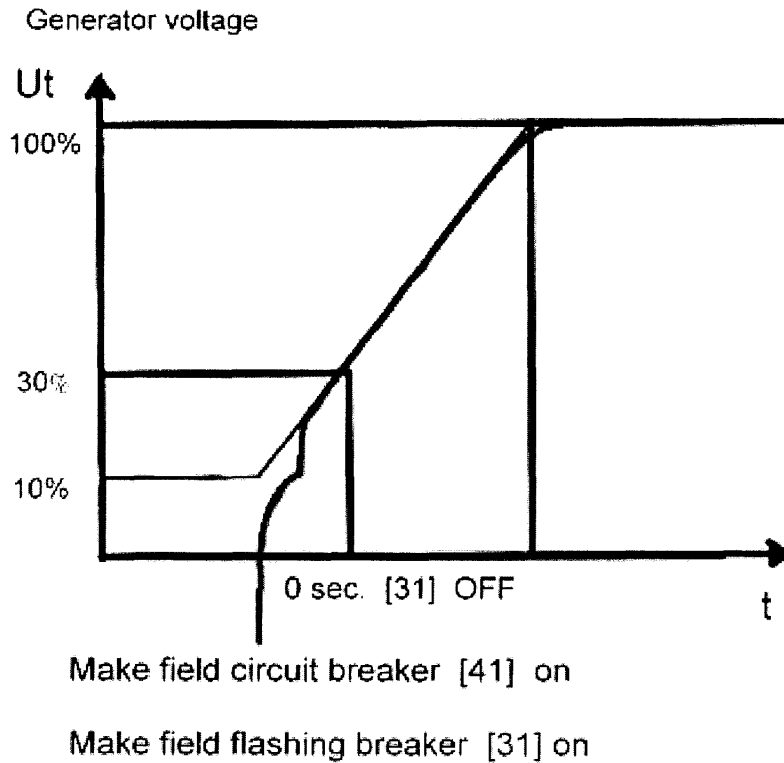
- 1、 UNITROL® P 是 ABB UNITROL® 的第四代產品；處理器，以可程式高速控制器 PSR2 為基礎。
- 2、 主要設備包括：勵磁變壓器 (Excitation Transformer)、控制單元 (Control Unit 1ER)、啟動磁場及其抑制設備 (Field Flashing and Field Suppression Equipment 2EE, 3ES, 4ES)。

- 3、 主要功能是以電壓調整器及靜態勵磁系統 Static Excitation System 來提供同步發電機的勵磁電源。
- 4、 勵磁原理：靜態勵磁系統又稱並激式 (Shunt Excitation) 或自激式 (Self Excitation) 其勵磁機電能是來自發電機的輸出端電壓，磁場電流自同步發電機流經勵磁變壓器 (Excitation Transformer)，經 Power Converter 5EG，5GA，----5GH 及磁場斷路器 Q02，激磁變壓器將發電機輸出端電壓降至適當電壓後經 Converter 提供給發電機勵磁用 DC 端電流 I_f 。

發電機在啟動初期由於靜態勵磁系統無法提供足夠的剩磁電壓來建立發電機的輸出電壓，故需一稱啟動磁場及其抑制設備來建立初始發電機之輸出電壓，該 Field Flashing 可產生約 15 至 30% 之同步發電機端電壓，但當發電機端電壓達 10% 時，靜態勵磁系統即能自己供給足夠的勵磁電壓。當發電機端電壓達 30% 時，即自動「Open」開啟磁場起動 (Field Flashing) 回路。

2-2-2 ABB UNITROL® P 系統圖-2

Filed flashing BKR 31 及 Filed circuit BKR 41 切換動作曲線圖



磁場抑制設備 (Field Suppression Equipment 2EE, 3ES, 4ES) 有二功能：隔離磁場線圈 (Field Winding) 及勵磁系統、快速釋放磁場能量。

其回路包括：Q02 (Field Circuit Breaker)、R02 (Field

Suppression Resistor) 、'CROWBAR's Thyristors F02 及一單投負極隔離開關 (A Single Disconnection on the Negative Pole) 。

基本上電子控制回路建構成雙通道；每一組件包括一 PSR2 處理器單元、一混合 I/O 卡 (Combi I/O)、一架構在閘流體觸發控制卡 (Thyristor Triggering Control Card) 的處理器、一 DC/AC 電源組件 (Power Pack) 等形成一獨立的處理節點。

每一控制通道包括一軟體來控制端電壓、磁場電流、勵磁機顯示/保護功能及一可程式控制卡。

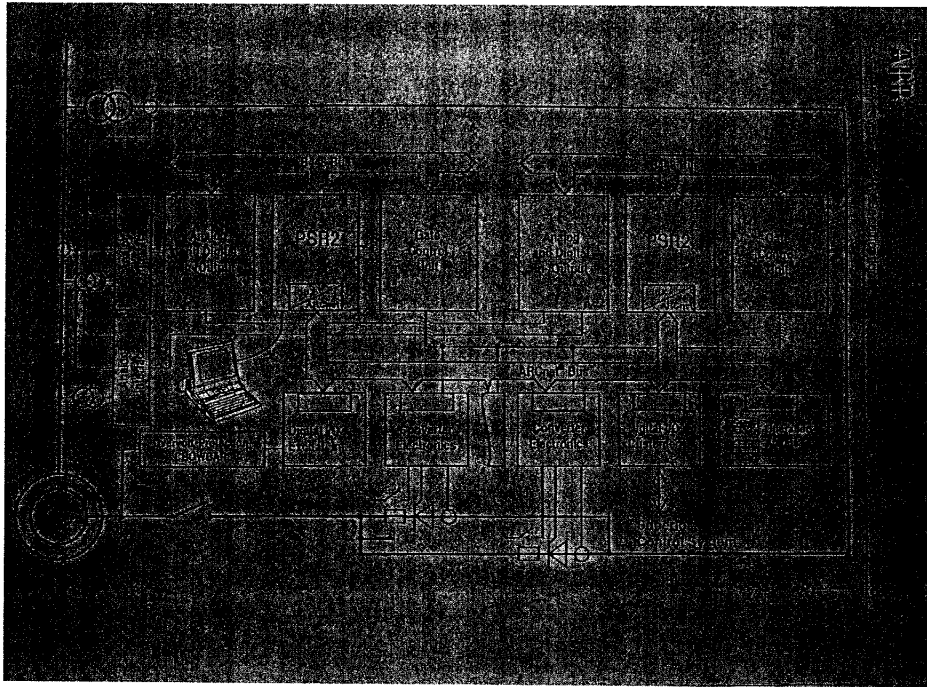
周邊控制介面同時提供給二通道。

本勵磁系統通信是建構在一 ARCnet 介面匯流排。

磁場斷路器的跳脫 (Trip) 回路又加了一硬體接線。

5、PSR2 處理器單元 (第二代 Programmable High Speed Controller) :

2-2-2 ABB UNITROL® P 系統圖-3：雙通道系統架構



- *、以 I/O 觀念來建立整個系統。
- *、每一處理單元均包含：I/O 卡、閘控制模組 (Gate Control Module)、DC/DC 電源組件 (Power Pack) 及多層印刷電路板 (Multi-Layer Printed Circuit Boards)。
- *、經由自身的 B448 並聯匯流排達成信號傳輸 (Communicate)。

- *、每一處理單元即組成一處理器節點（Processing Node）或稱一組通道（One Channel），每一處理器節點均獨立具有完整的作業功能；調整電壓、控制、顯示及保護的功能。而二組處理器節點將形成一 Redundant System，可互相支援及取代功能。
- *、連接這二組處理器節的通信介面是經由 ARCnet-Bus 及系統電纜來簡化系統、達成內部傳輸功能及降低接線錯誤。
- *、並為了安全理由，磁場斷路器的跳脫回路（the Field Breaker Tripping Circuits）也增設了硬接線（Hard-Wired）。

6、電子控制單元的電源供應（Power Supply of Control Electronics）：

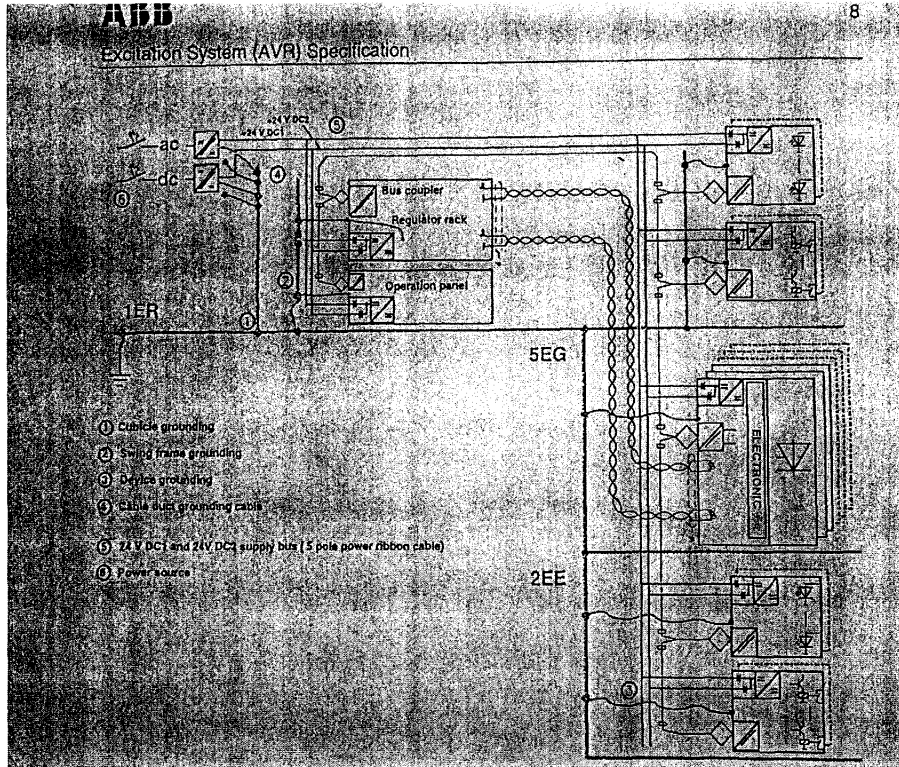
- *、UNITROL P 系統的所有電子元件均由一 Redundant 24VDC BUS 供應；DC 電源一組來自電池組（Station Battery），另一組來自安全的 AC 輔助電源系統。而此 AC/DC 及 DC/DC 電源組件均放置於 AVR Control Cubicle。

7、勵磁系統的信號傳輸（Communication within the System）：

- *、勵磁系統的信號傳輸是經由 B448 Parallel Bus 以 Mail 的傳遞方式將處理單元 (Processing Unit)、Combi I/O 卡及開控制模組 (Gate Control Module) 等組件間傳輸資料。
- *、以 Mail 的觀念來說明控制電壓的方法：
 - 、當 I/O 卡接受來自類比信號的發電機端電壓後，將類比信號轉變為數位信號後儲存於網路中的 Ram。
 - 、處理器單元可隨時經由並聯匯流排存取資料，經計算處理後，再將資料回存至開控制模組的 Ram。
 - 、開控制模組讀取資料後，經計算及轉換成開流體的觸發信號用以修正發電機的端電壓。
 - 、以如此觀念來處理的優點就是；Ram 中的資料永遠是最新及有效的，而且永遠不會發生匯流排塞車的問題。
 - 、信號傳輸在分散式 (Decentralized) 的 I/O 卡及集中式 (Centralized) 的控制單元中是經由 ARCnet Field Bus 來達成。

2-2-2 ABB UNITROL® P 系統圖-4

UNITROL P 的電源及接地

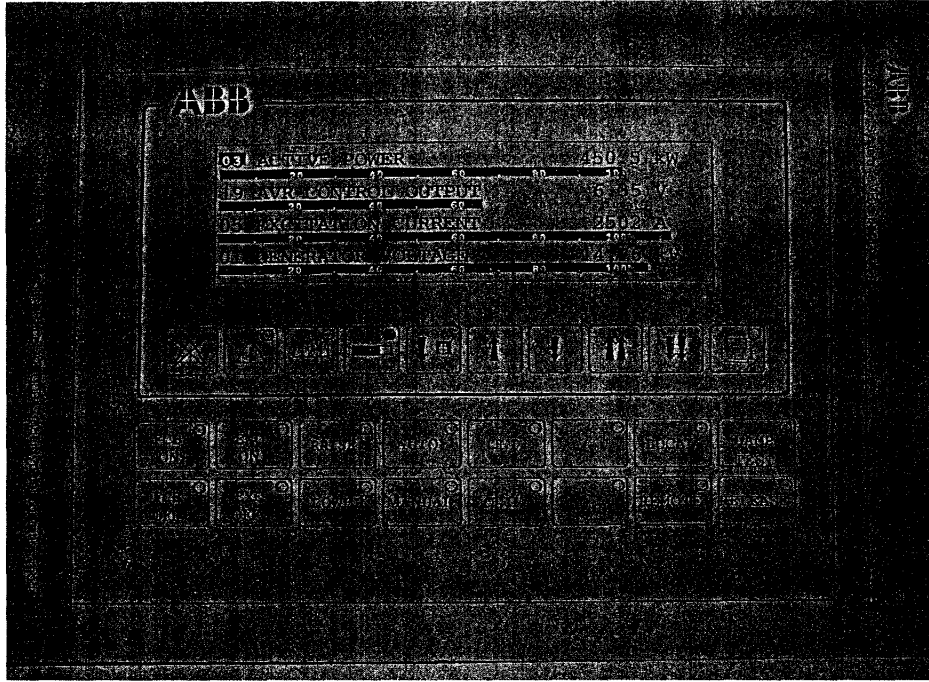


UNITROL P 的電源及接地：

- 1、 控制箱接地.
- 2、 Swing Frame Grounding.
- 3、 設備接地.
- 4、 電纜線接地線接地.
- 5、 24VDC 電源供應匯流排【5 蕊帶狀電纜線】.
- 6、 AC & DC 電源.

2-2-2 ABB UNITROL ® P 系統圖-5

現場人機介面 Local Man-machine Communication 操作盤



8、現場人機介面（Local Man-Machine Communication）

- *、現場操作控制盤 AF C094 是用來現場監看及控制勵磁系統。
- *、包括 16 組以 LED 顯示的按鍵用來操作及顯示各組件的狀態、10 組按鍵用來選擇模式及內部功能的操作及一 LCD 顯示的 8 行，每行 40 字元的顯示器。
- *、16 組按鍵含狀態顯示用來操控系統，並含 LCD 的狀態顯示警報及類比值的指示。

按鍵由左至右：

按 1、故障警報復歸 (RESET of Fault Messages)：按本按鍵可將故障警報儲存於操作盤。按久一點可將故障警報儲存於電腦中。【快按：故障警報儲存於操作盤，若故障已消失，則 LED 指示燈熄。若警報依舊存在，則被存到電腦，紅色 LED 停止閃爍，但保持亮著。此時若有新的相同故障警報出示，則紅色 LED 指示燈再次閃爍】。【長按超過 1 秒：故障警報同時儲存於操作盤及電腦中。若警報依舊存在，則紅色 LED 停止閃爍，但保持亮著。此時若有新的相同故障警報出示，則紅色 LED 指示燈再次閃爍】

按 2、故障信息 (Fault Messages)：按本按鍵將顯示 8 組故障碼及解釋故障信息，假如有故障出示，則紅色 LED 燈將亮。最早發生的故障信息永遠顯示在第一行，後依次顯示。並可利用 Scroll-Button 來顯示更多的信息。

按 3、數字顯示鍵 (Numerical Display)：8 個類比數值含通道別、數值名稱、實際值、單元別等，而同時伴著黃色 LED 指示燈亮。

按 4、Bar Display：4 個類比值顯示條含通道別、數值名稱、Bar Display (從 0 - 120 %)、單元別等，而同時伴著黃色 LED

指示燈亮。

按 5、Cursor-Button：將逐一顯示 1---8 的數值或 1---4 的 Bar

Display。

按 6 及 7、Scroll-Button：將改變數值或 Bar Display 的顯示資料上

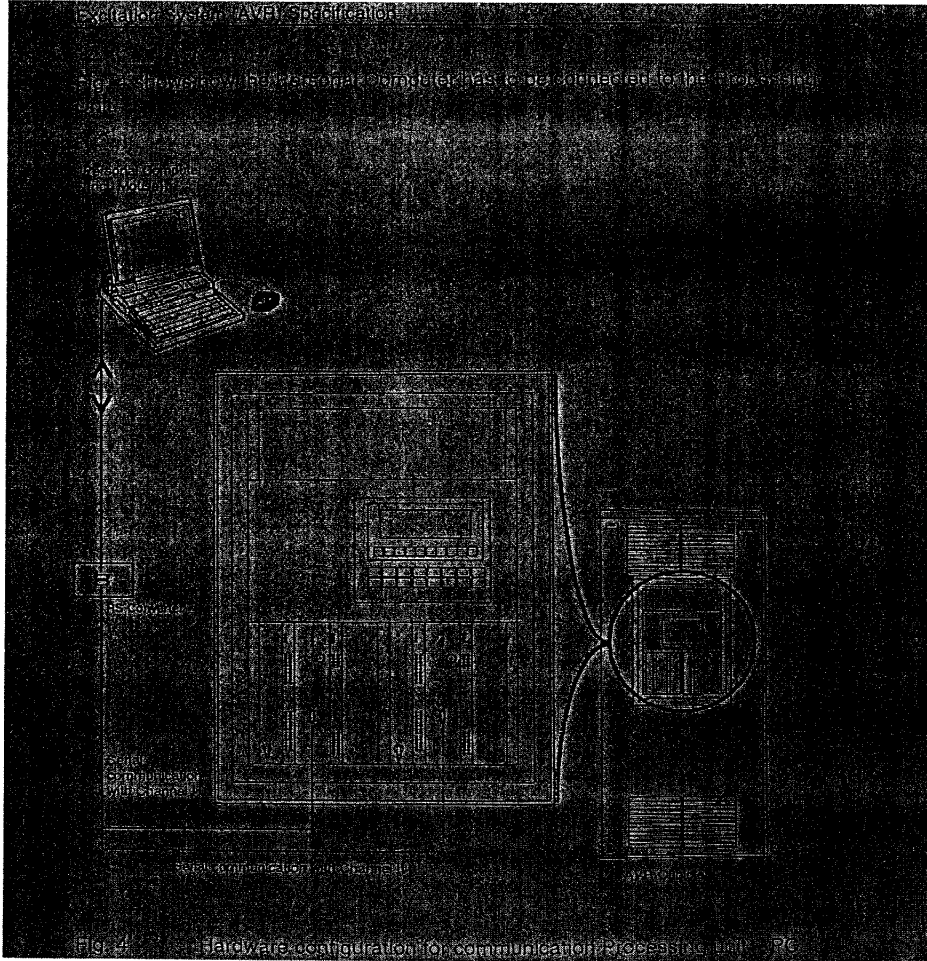
移一筆或下移一筆。

按 8 及 9、Page-Button：則資料上、下移 10 筆。

按 10、Printing of the Signals and Error Messages：

2-2-2 ABB UNITROL® P 系統圖-6

AVR 的人機介面：

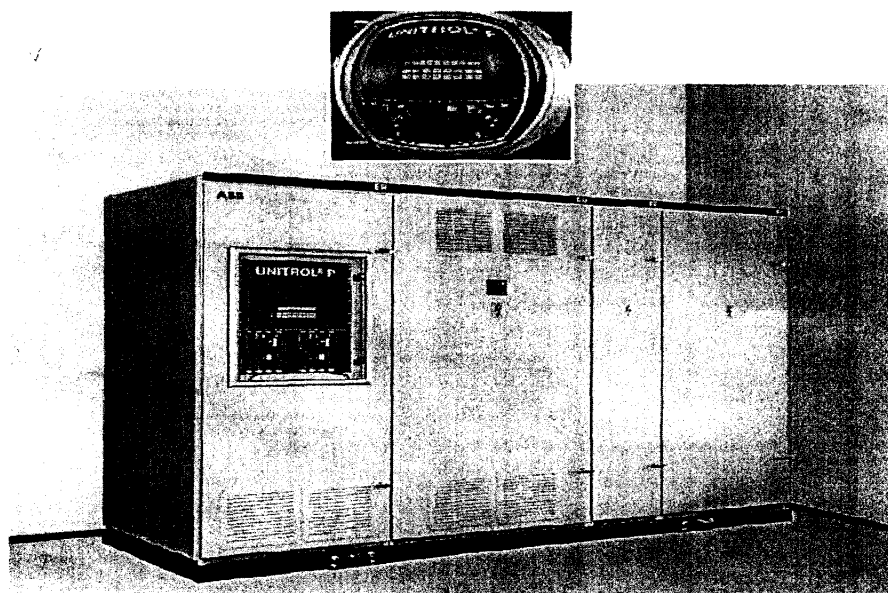


藉由筆記型電腦操控及紀錄現場人機介面 Local Man-machine

Communication 操作盤內之數據

2-2-2 ABB UNITROL® P 系統圖-7

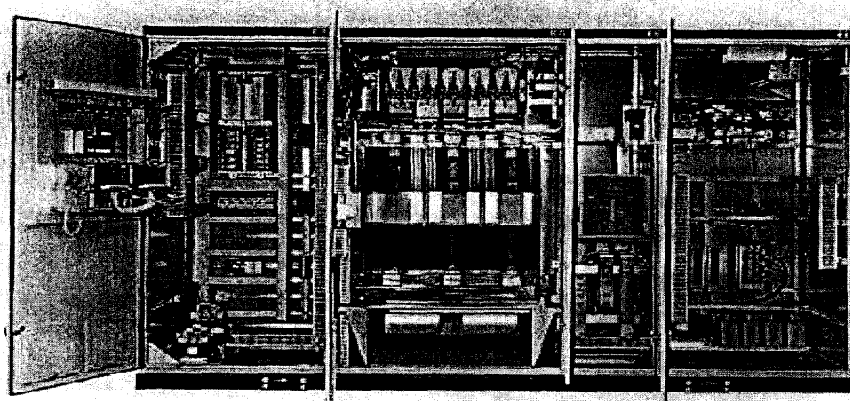
Outline of the UNITROL® P Excitation System



HOWEVER, THE FOLLOWING COMMUNICATION protocols may be used:

- ABB Master Fieldbus
- ABB Procontrol P 13
- Allen-Bradley PLC 2
- MODBUS

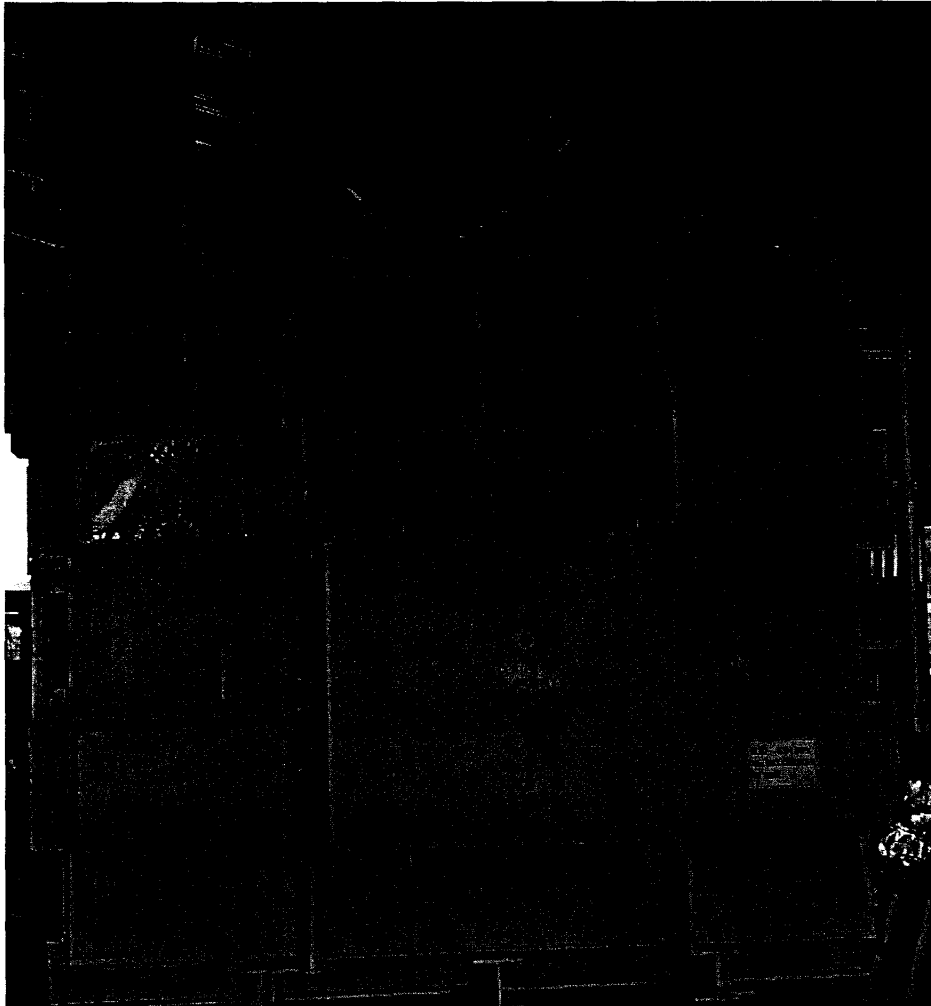
UNITROL P regulator (in the door), interface modules (left cubicle), power converter, field breaker, start-up and de-excitation equipment



典型外觀圖

2-3 SF₆ 勵磁變壓器：

2-3. Excitation Transformer-1



額定容量：16200 KVA，60 Hz，3 Phase

型 式：室內，外鐵型（Core-form），SF₆ 氣體絕緣，
含靜電遮蔽（with Electro-Static Screen）

冷卻方式：GNAN（內充 SF₆ 氣體自然循環，散熱器自然循環）

長 X 寬 X 高：4.65X5.6X4.303M

重 量：

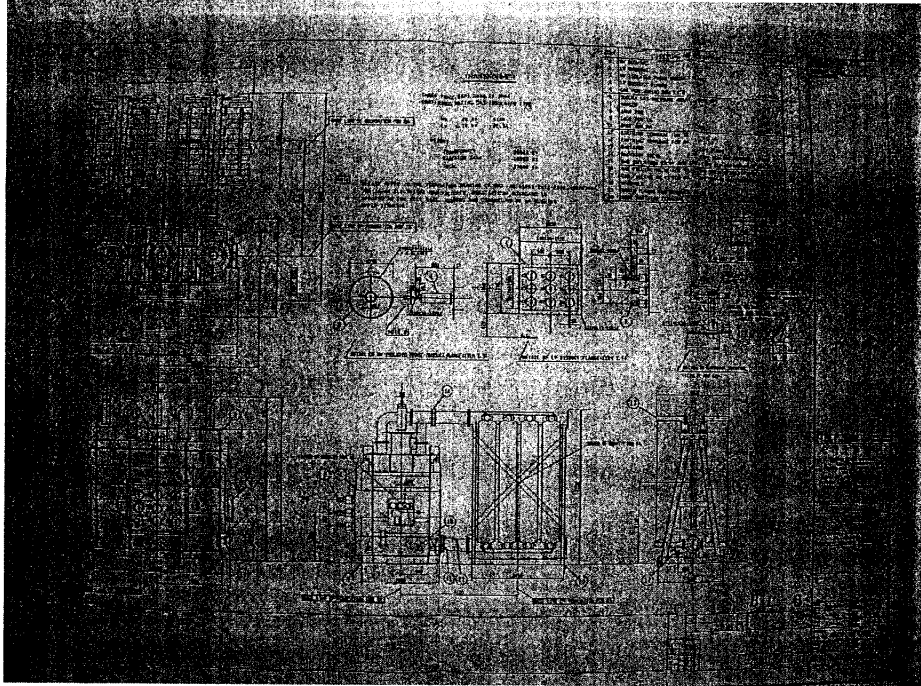
本體：Core & Coil	17100 公斤
Tank & Fitting	7740 公斤
SF6 GAS	160 公斤
散熱器：Radiator & Fitting	11950 公斤
SF6 GAS	50 公斤
總 重：	40000 公斤

勵磁變壓器附屬設備：

高壓套管	3 pcs
	9 pcs
低壓套管	1 pcs
	1 pcs
突壓電驛 (Sudden Gas Pressure Relay)	1 pcs
	1 pcs
圓盤形氫氣溫度指示含警報器接點	1set
	1 pcs
圓盤形線圈溫度指示含警報器接點	1 pcs
	1set
氫氣壓力指示及警報器含溫度補償	1set
	1set
散熱器及散熱器蝶型閥	1set
	100%
額定容量名牌	3pcs
	3pcs
氫氣溫度 - 壓力變化曲線圖表板	3pcs
	3pcs
吊耳、千斤頂板、吊眼等	
接地板	
手孔	
基礎及基礎螺栓	
SF ₆ 氣體	
一次側套管 BCT	600/5A,C200
	600/5A, 0.6B-0.9
	45000/5A,C800

2-3.勵磁變壓器-2

Excitation Transformer

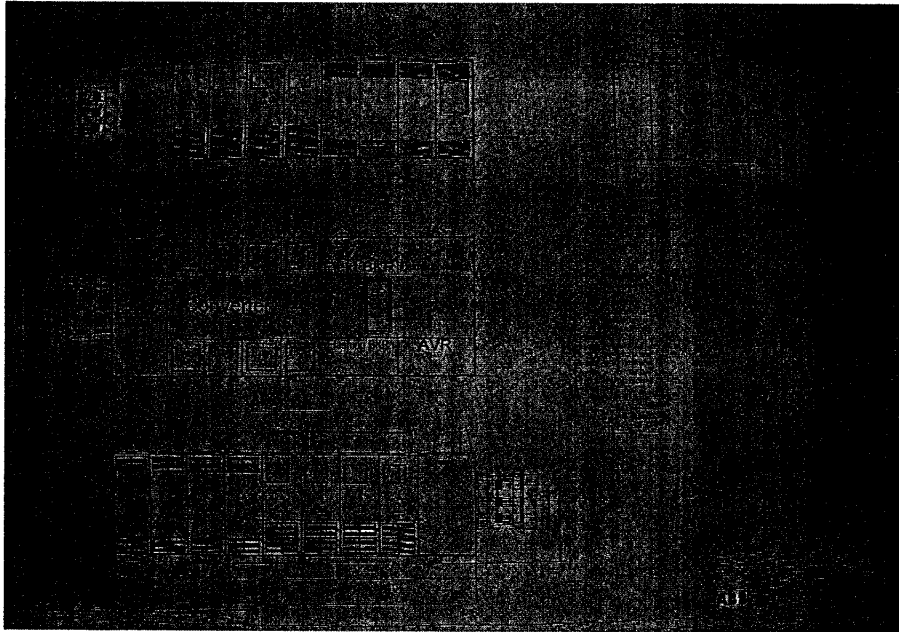


Ex Tr 保護設備計有：

1. Winding Temperature High ---Alarm & Trip
2. Gas Pressure High ---Alarm
3. Sudden Gas Pressure High ---Trip
4. Gas Pressure Low ---Alarm & Trip
5. Gas Temperature High ---Alarm

2-4.勵磁控制系統-1

Excitation Cubicle Outline and Assembly



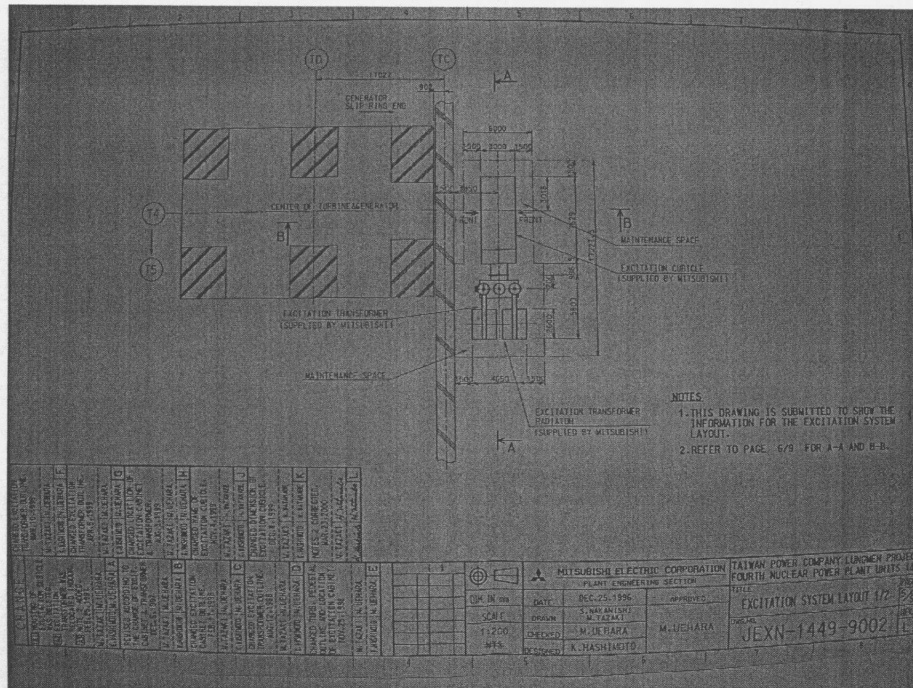
勵磁控制箱外型圖：

- 1、 總重：19500 Kg.
- 2、 尺寸：7629x2360x2083mm.
- 3、 顏色：外部 - 淡灰。 內部 - 白色.
- 4、 控制電纜由下方進入控制箱.

- | | |
|--|--|
| 1. 1ER : AVR Control | 12.5GF : Converter F |
| 2. 1ER : AVR Control | 13.5GG : Converter G |
| 3. 4ES : Field Circuit Breaker4 | 14.5GH : Converter H |
| 4. 4ES : Field Circuit Breaker3 | 15.3ES : Field Circuit Breaker1 |
| 5. 5GA : Converter A | 16.3ES : Field Circuit Breaker2 |
| 6. 5GB : Converter B | 17.2ES : DE-Excitation |
| 7. 5GC : Converter C | 18.2ES : DE-Excitation |
| 8. 5GD : Converter D | 19.5EG : AC/DC Bus Bar |
| 9. 6ED : AC Bus Bar | 20.5EG : AC/DC Bus Bar |
| 10.6ED : AC Bus Bar | 21.Equipment 1D Name Plate |
| 11.5GE : Converter E | |

2-4.勵磁控制系統-2

Excitation System Layout 1/2



勵磁變壓器及勵磁控制箱配制圖：

- 1、 勵磁變壓器由三菱公司提供。
- 2、 勵磁控制箱由三菱公司提供，但內部 AVR Controller、Flashing Transformer 等設備由 ABB 公司提供。
- 3、 勵磁變壓器及勵磁控制箱約佔地面積：
6000x17227mm.

三、出國報告參考文件：

1. MELCO Drawing Nnumber:JEJP-1088-4089 (Cable Specification for Network Systems)
2. MELCO Drawing Number:JEJP-1088-5033 Rev.2 (MHI Cabinet Abbreviation)
3. MELCO Drawing Number:JEJP-1088-4034 Rev.1 (T/G I&C System Basic Control Design Concept)
4. Contract No.8748511M003 I/O LIST (T/G I&C System Basic Control Design Concept)
5. Contract NO. 8748511M00300 Drawing Title: System design Discipline OF Excitation System
6. Excitation System Unitrol ® P (Operation and Maintenance manual)
7. Turbine Generator Design Section 1, Dec, 21, 2001
ABF-A597-257
8. Excitation Transformer DWG. No. 65055-2N51
9. Excitation System (AVR) Specification
10. Technical Specification of DC Duct

四、我所見到的『工安在日本』：

4.工安在日本-1



時 間： 91年11月9日上午約9：30

地 點： 神戶-北野異人館之風見雞館前

施工項目： 地板磁磚破損更新約50 X 50公分

施工時間：約60分鐘

施工人員及機具：領班一員、地磚工一員、清理雜工三員、挖地機一
輛、交通管制員二員

4.工安在日本-2



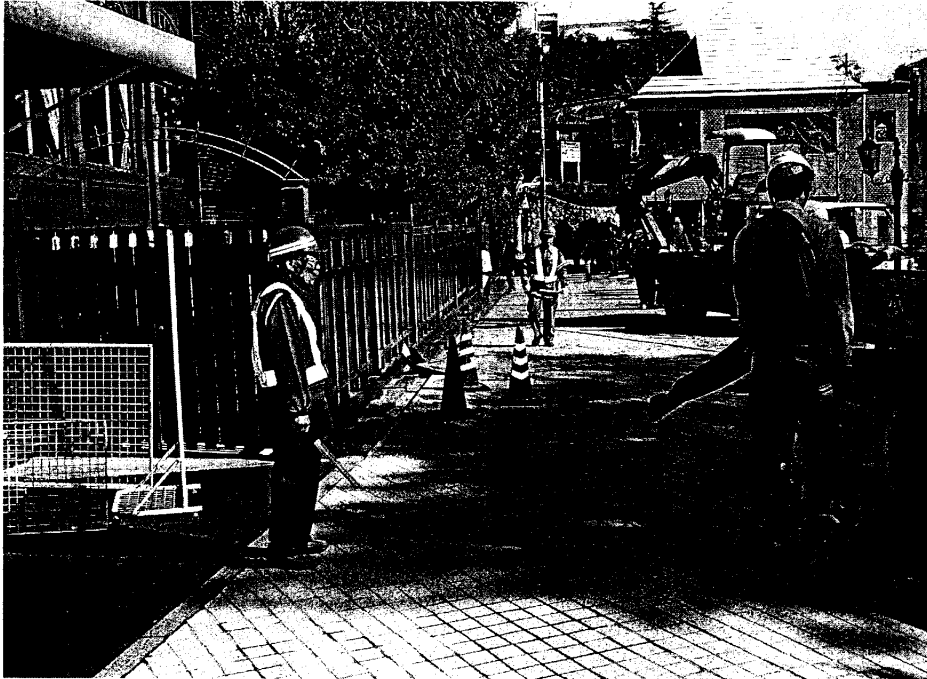
工事名：

NO. 5341

中央區北野町3丁目 NO.3 : 9號工

田村建設(株)

4.工安在日本-3



收工

說明：

- 1、 旅遊中偷拍的照片，施工單位並未被告知有照相，可見日本工程業者及施工人員對『工安』的落實及認同，而非刻意於演習中或長官巡視時，才如此認真。
- 2、 領班、指揮交通人員、各項施工人員角色清楚，不任意替換，各自守本份，服裝分明，且各職專長而分工合作。
- 3、 本公司今年度工安事故又創新高，看看日本人，想想自己！本公司花在「工安」上的費用、訓練及心力，絕對符合國際

標準，但結果卻是如此不堪---

4、原因不難探究：

- *. 我們的工安是：『演練給上級長官看的』，不夠落實及未能深入每位施工人員的心中.
- *. 本公司發包中的工程其施工人員均『身兼數職，角色混淆，卻不精專』，忙、趕工，就容易發生事故.
- *. 所有工作人員服裝未能區分，容易誤認專職人員而誤判工作，致發生事故.

五、心得與感言：

有此機會赴日本三菱公司出國實習核四電廠勵磁系統施工管理技術，萬分感謝各級長官厚愛，在日本出國的一個月期間心情是愉快和惶恐參半；可以開闊視野增廣見聞，體驗不同國度裡相同從業人員的工作態度、工作環境、工作制度，是令人感覺愉悅的。惟遠渡重洋，去學習一全新的學習領域，始終有著另一股惶恐的心情，深恐實習成果不如預期，深恐有負長官及公司期許，故總是敬敬業業的學習，並儘可能的收集相關參考資料，整理後努力的加以研讀，期許在「核四電廠勵磁系統施工管理技術」上真能有所收獲。

在日本研習期間，深深感覺『螞蟻族群』的威力；整齊劃一的工作服，井然有序的從事不同工作，除指揮調度人員與現場設備運轉發音外，絕無吵雜。工機具、設備都整齊的收好、綁好後放置在指定的位置。廠房乾淨、整潔，認真努力工作及遵行法規的態度，令人印象深刻，今生有此榮幸能參訪這世界一流的公司。

六、成果及建言：

成果：

接受三菱電機公司有關汽輪發電機、勵磁變壓器、DC 匯流排、勵磁機系統等設備之基本構造、運轉起動原理、安裝施工及電腦網路傳輸等技術訓練。對核四廠發電機各部份結構及相關知識有更深入之了解，相信對於核四廠發電機的施工程序、測試方法及品質要求均有極大益助。

建言：

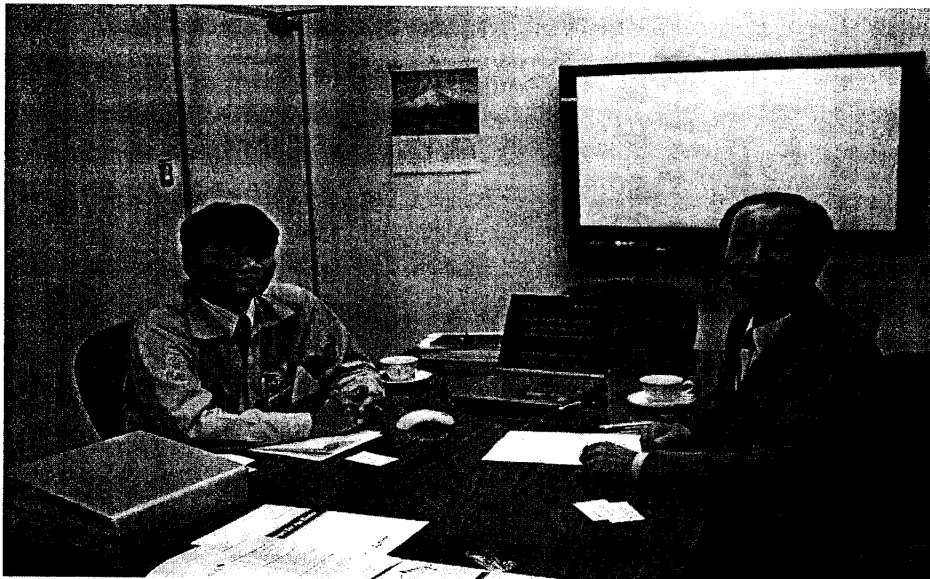
現代科技日新越異，各式各樣的機電產品自生產後，往往在未達其設計使用年限前，即需汰換新品，因又有更新、更環保、更經濟及更有效率的新產品問世了，致使每項產品的有效使用壽命，相對的迅速減少中。然新產品的問世，在其領域中，必又有新的概念容入、有新的材料被開發及應用。尤其近年來微處理器或電腦大量的被引用到機電設備的控制、操作及監視系統中。且，身為現代工業中的人，在其工作領域中，唯有不斷的接受新的知識洗禮，及適時的充電自己，否則其有限的知識將很快的無法應付工作所需。因此，為跟上工業進步的腳步，為使公司中的員工能適時的適應新設備的更新，不斷且計畫性的送員工赴設備廠家或相關機構培訓，是有其必要性。

七、三菱公司參訪相片：

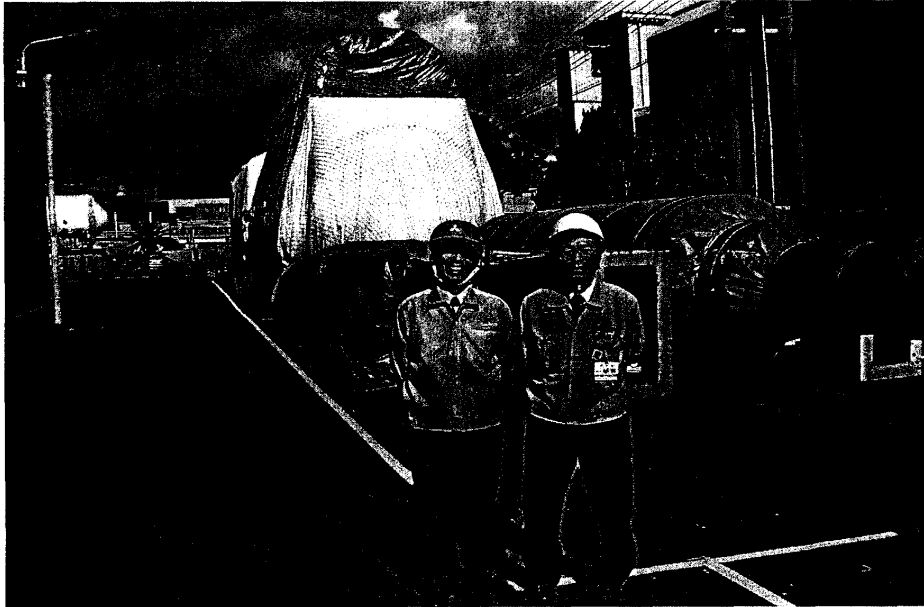
6-1 前左：核四專案經理 MR. OHYA、後：接待員 MR. SUGIBAYASHI



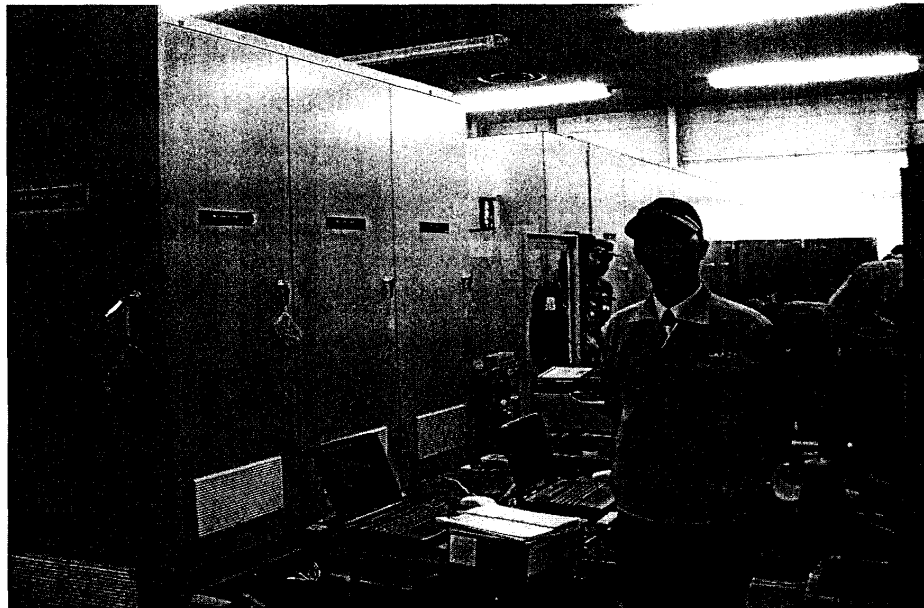
6-2、核四專案設計員：MR. MIKI



6-3、待運的核四二號機汽輪發電機組



6-4、測試中的核四機組 MTC：Main Turbine Cabinet



6-5、I & C 維護課程講師 MR. FUKUHARA



6-6、核四 I & C 受訓學員留影

