

出國報告（出國類別：實習）

## 研習 GE 風力發電機組儀電維護技術

服務機關：大潭發電廠

姓名職稱：劉德順 電機工程監

派赴國家：德國

出國期間：97年5月16日至97年6月14日

報告日期：97年6月25日

# 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：**研習 GE 風力發電機組儀電維護技術**

頁數 46 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：陳德隆/台灣電力公司/(02)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

劉德順/台灣電力公司/大潭發電廠/電氣三課課長/(03)473-3777 EXT 2603

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：97/05/16 ~ 97/06/14

出國地區：德國

報告日期：97/06/30

分類號/目：G3/電力工程

關鍵詞：

雙饋式感應發電機 (DFIG, Doubly Fed Induction Generator) 變速恆頻 (VSCF, Variable Speed Constant Frequency)；絕緣閘雙載子電晶體 (IGBT, Insulated Gate Bipolar Transistors)；VisuPro

內容摘要：(二百至三百字)

風力發電為新興 能源技術，台電各風力場之風力機組 由不同廠商製造，具有其差異性與獨特性，且各廠家皆以保護智慧財產為由，不願釋出 風力發電機之控制程式，使得故障排除倍感困難，唯有向原製造廠取得相關之 定期維修及故障檢修排除技術，才得以確保風力機組正常運轉，並可提昇 本公司對 GE 風力機組 的自我維修能力。本報告對本公司現有 GE Wind Energy 1.5se 風機之雙饋式感應發電機 控制原理作詳細 說明，並特別針風機最重要之 定檢項目、機艙轉向煞車系統、液壓煞車系統、Converter IGBT 維護檢修程序及 HUB 通風改善做詳盡介紹。

## 報 告 目 次

### 壹、國外公務之目的與過程：

- 一、公務目的-----P.05
- 二、內容與過程-----P.05

### 貳、國外公務之心得：

- 一、國內外風力發電發展現況-----P.06
  - (一) 國內風力發電發展現況-----P.06
  - (二) 國外風力發電發展現況-----P.06
- 二、各廠家風力發電機控制方式-----P.09
  - (一) 同步發電機變速恒頻風力發電系統-----P.09
  - (二) 雙饋式感應發電機變速恒頻風力發電系統-----P.11
- 三、GE 1.5se 雙饋式感應發電機之控制-----P.11
  - (一) 雙饋式感應發電機 (DFIG) 基本原理-----P.11
  - (二) 雙饋式感應電機之運轉特性-----P.14
  - (三) DFIG 交流勵磁變速恒頻之運行原理-----P.16
  - (四) PWM 電力轉換器-----P.20
  - (五) DFIG 之向量控制-----P.20
- 四、GE 1.5se 機組之維護及故障排除程序-----P.22
  - (一) 6 個月及 12 個月定檢項目-----P.22
  - (二) 機艙轉向煞車系統維護作業-----P.23

(三) 發電機聯軸器對心作業-----	P.27
(四) 液壓煞車系統維護作業-----	P.31
(五) GE 1.5se Converter IGBT 維護檢修程序-----	P.36
(六) HUB 通風改善-----	P.41
(七) 遠端遙控與故障排除-----	P.44
<b>參、實習之感想與建議-----</b>	<b>P.45</b>

## 壹、國外公務之目的與過程：

### 一、公務目的

赴德國 GE 風能公司訓練中心研習 1.5MW 風力發電機組之維護技術

### 二、內容與過程

#### (一) 前言

首先非常感謝各級長官給予職此次赴德國 GE 公司訓練中心實習之機會，能參與 GE 公司原廠之 1.5MW 風力發電機維護訓練，並與來自美國、日本、德國及中國大陸的 GE 公司維護人員交流現場維護技術與經驗，深感獲益良多。

依 94 年 10 月 3 日台灣電力股份有限公司風力發電開發及營運分工要點，風力發電廠之初級維護及保養工作由經管電廠負責，三個月定期保養及設備重大故障檢修由電力修護處負責。目前大潭發電廠 23 部 GE 風力機組保固期已屆結束，需由本公司負責後續維修，因風機維護工作為本廠首次，並無相關經驗，且風機運轉迄今尚有不可預期之維護問題需待突破，因此需派員赴德國接受原廠實務維護訓練。

風力發電為新興能源技術，台電各風力場之風力機組不同，具有其差異性與獨特性，且各廠家皆以保護智慧財產為由，不願釋出風力發電機之控制程式，使得故障排除倍感困難，唯有向原製造廠取得相關之定期維修及故障檢修排除技術，才得以確保風力機組正常運轉，並可提昇本公司對 GE 風力機組的自我維修能力。

#### (二) 研習內容與期間

5/16~17：行程（台北—德國法蘭克福—德國 Salzbergen GE 公司訓練中心）

5/19~23：GE 1.5MW 風力發電機 6 個月及 12 個月定期檢查項目解說

5/26~30：GE 1.5MW 風力發電機 6 個月及 12 個月定期檢查項目操作

6/02~03：GE 1.5MW 風力發電機之故障排除

6/04~06：參訪 GE Wind Energy 公司之全球顧客服務及組裝工廠

6/09~11：雙饋式感應發電機變頻器（Converter）維護技術

6/12~14：返程（德國 Salzbergen—德國法蘭克福—台北）

## 貳、國外公務之心得：

### 一、國內外風力發電發展現況

#### (一) 國內風力發電發展現況：

我國再生能源利用起步較國際間晚，且由於低價能源政策使得價格較高的再生能源不易發展，惟自 1998 年第一次全國能源會議之後，各界達成推廣再生能源應用之共識，除持續進行技術研發外，並施行多項獎勵措施，鼓勵民間使用再生能源，包括風力發電、生質能源(如工業廢棄物及都市廢棄物)、太陽光電、慣常水力發電、太陽能熱水系統、地熱發電及燃料電池等。

「經濟部能源局」在 2004 年 7 月 1 日正式成立，政策目標在加強推動節約能源、提升能源效率，及再生能源研發與推廣，並推動能源法制化。在再生能源推廣的目標中，以風力發電新增裝置容量達到 215 萬瓩所占的比重最大，未來希望增加至 2010 年的 215.9 萬瓩。目前陸域風場的設置，國內台電公司與民間廠商相繼投入開發，統計至 2007 年底國內風力發電機組約達 121 部，總容量約 20.37 萬瓩，以每瓩裝置容量每年可發電 2,700 度來計算，每年共可發電 5.5 億度電，可供 13.7 萬戶家庭 1 年用電量。

台灣為一海島地形之國家，每年約有半年以上的東北季風期，沿海、高山及離島許多地區的年平均風速每秒超過 4 公尺，風能潛力相當優越。台灣島上每年平均風速大於 4 公尺的區域，總面積約佔 2000 平方公里，可開發的風能潛力估計約 300 萬瓩。台電公司於 2002 年擬定「風力發電十年發展計畫」，規劃於台灣西部沿海風能資源豐富地區優先辦理，未來十年內以設置 200 部風力發電機或總裝置容量 300MW 以上為目標。至 2007 年底為止，台電公司風力機組已安裝 91 部（含澎湖 8 部，本島第一期計劃已安裝 60 部，第二期計劃第一標已安裝 23 部），台電公司第一期至第四期風力機組採購標案名稱與得標廠商、單機容量、數量如表一。未來台電公司含離岸式風力計劃裝置超過二百部之風力發電機組，風力機組之維護保養將成為重要之課題。

民營英華威公司在本島西部海岸已裝設超過 50 部德國 ENERCON 風機公司製造之 2000kW E70 型風力發電機，未來計劃裝設超過 200 部之風力發電機。台塑公司麥寮廠區已裝設 4 部丹麥 VESTAS 風機公司製造之 660kW V47 型風力發電機，正隆股份有限公司竹北廠已裝設 2 部丹麥 VESTAS 風機公司製造之 1750kW V66 型風力發電機。

#### (二) 國外風力發電發展現況：

根據世界風能協會（WWEA，World Wind Energy Association）統計，2007 年全球風力發電裝置容量增加 19,696 MW，總裝置容量達到 93,849 MW，年增率達 26.6%，相較於 2006 年之 25.6% 年增率成長約 4%，圖 2.1 為近十年全球風機裝置容量表，由圖中顯示全球裝置容量正逐年快速遞升中，WWEA 預測 2010 年底總裝置容量將增加到 170,000 MW，如圖 2.2 所示。

2007 年全球風力發電業的高成長，其中美國新設置了 5,216MW，西班牙 3,515MW 和中國的 3,313MW 為全球新設機組最多的前三名，中國以年增率 127.5%躍居前五大風電國家之冠。圖 2.3 為 2006 年至 2007 年風電成長較大國家之總裝置容量及新增容量表，依據一同受訓之美國及中國 GE 風能公司人員透露，2008 年美國僅 GE 公司就會新設超過 3000 部之 1.5MW 風機，中國大陸 2008 年之裝機容量也將超越 2007 年之裝機容量，可見未來數年內全球風機市場仍將維持 20~30%之高度成長。

期別	分標	標案名稱	單機容量	數量	得標廠商	廠牌型號
一期	一	核一廠	660kW	6	中興電工	丹麥 VESTAS V47
	二	核三廠	1500kW	3	中興電工	美國 GE 1.5se
		大潭電廠 大園觀音		20		
	三	台中電廠 台中港區	2000kW	4 18	樂士電機	日本 Harakosan Z70 (併購荷蘭 Zephyros 公司)
四	新竹香山	2000kW	6	漢翔	西班牙 GAMESA G80	
二期	一	彰化彰工	2000kW	23	星能	丹麥 VESTAS V80 (已竣工)
	二	雲林麥寮	2000kW	15	漢翔	丹麥 VESTAS V80 (95.4.14 決標)
	三	雲林四湖 林口灰塘	2000kW 2000kW	14 6	星能	丹麥 VESTAS V80 (96.10.17 決標)
三期	一	彰化彰工(II)	2000kW	8	星能	丹麥 VESTAS V80 (97.1.29 決標)
		雲林麥寮(II)	2000kW	8		
		金門金沙	2000kW	2		
	二	彰化王功 大潭(II) 澎湖湖西	2000kW 2000kW 850kW	10 2 8		規劃招標中
四期		桃園蘆竹	850kW	6		規劃中
		雲林四湖(II)	2000kW	1		
		屏東車城	2000kW	4		
		核三廠(II)	2000kW	3		
		澎湖風櫃	2000kW	4		
		澎湖講美	2000kW	3		
		澎湖歧頭	2000kW	6		
		澎湖大赤坎	2000kW	5		

表一、台電公司風力發電機組現況表

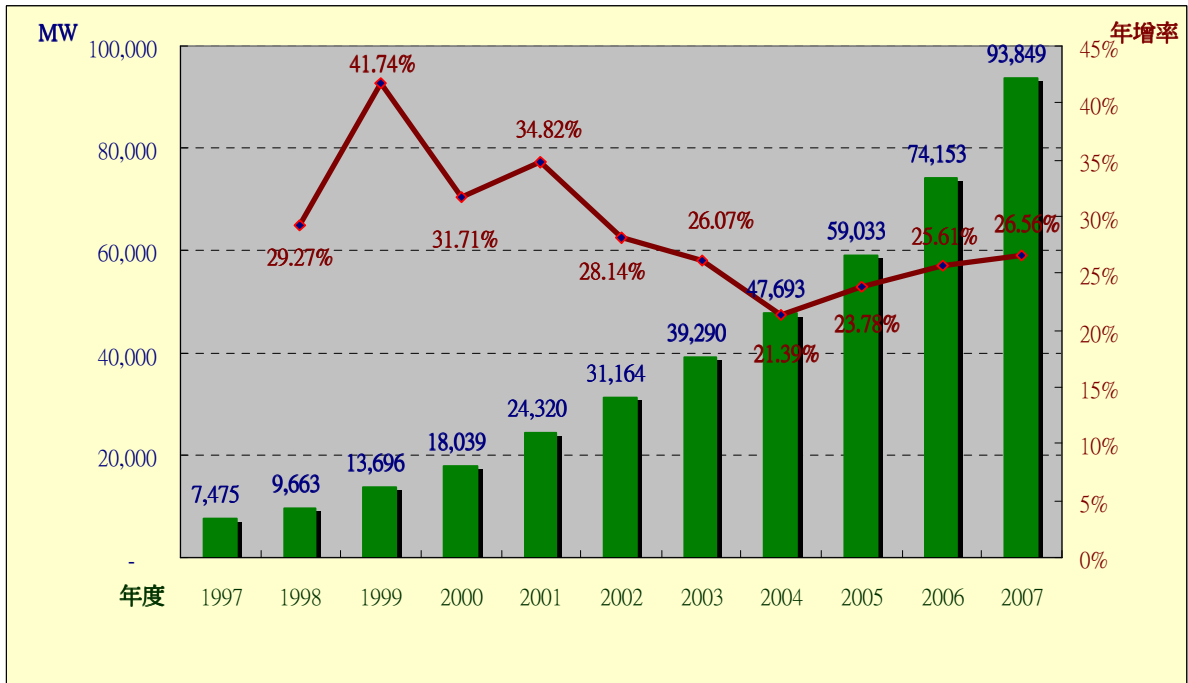


圖 2.1 1997 ~2007 全球風力發電機裝置容量

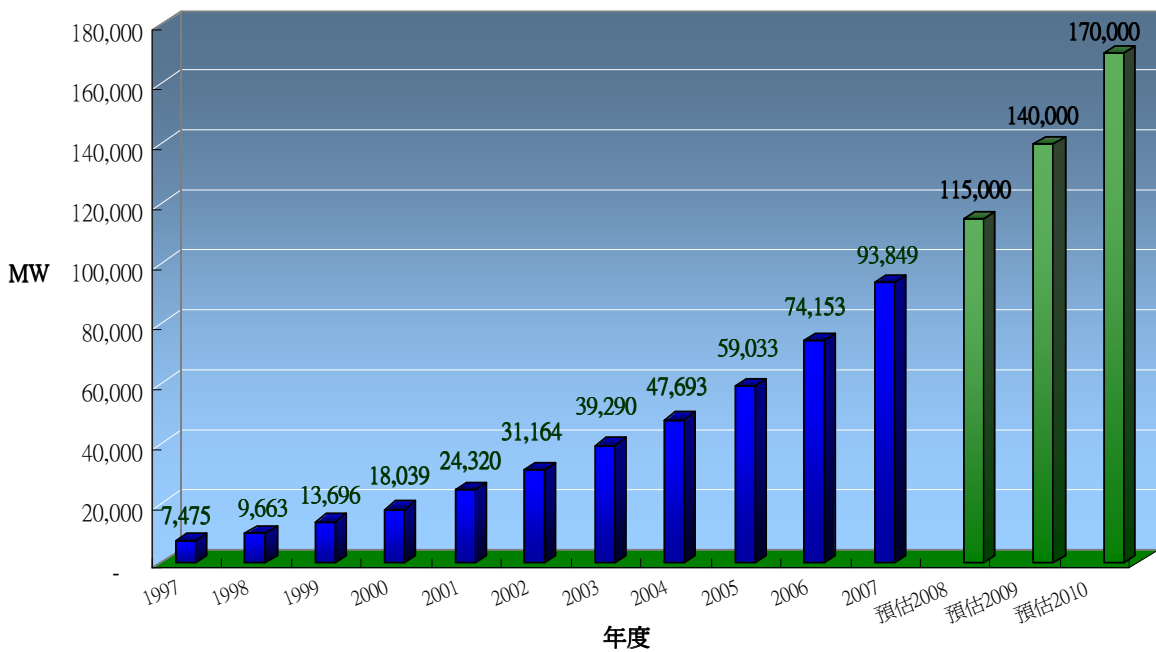


圖 2.2 1997~2010 全球風力發電機裝置容量(含預估)



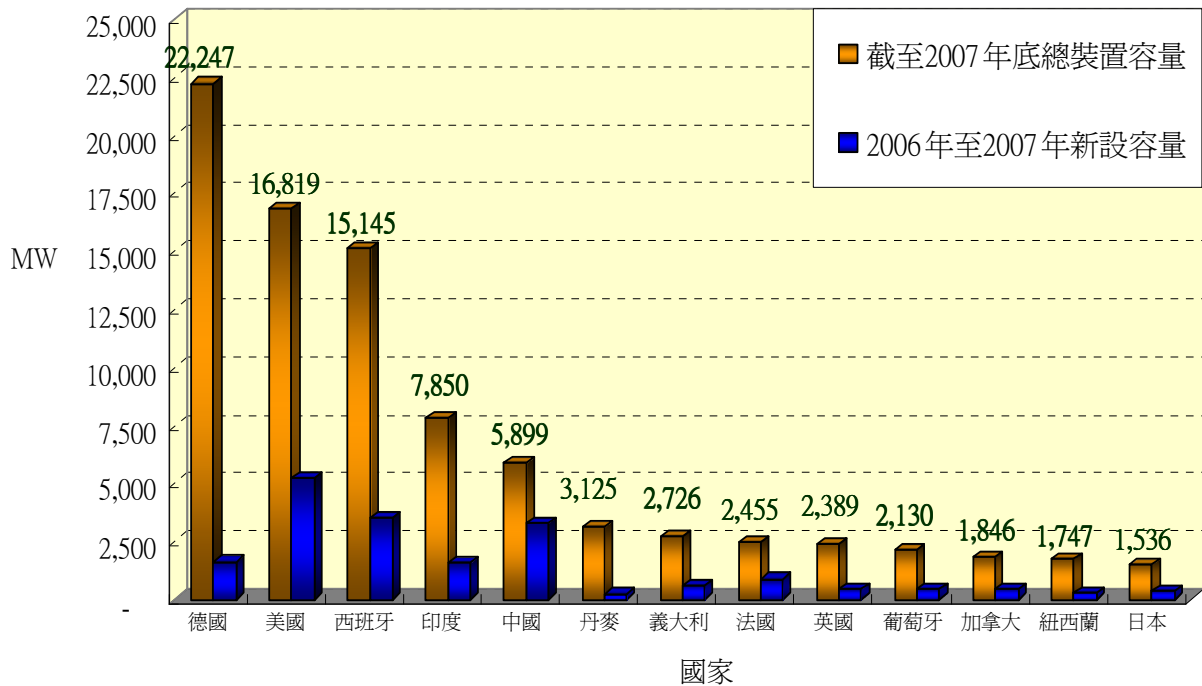


圖 2.3 2006~2007 年各國風力發電裝置容量新設情形

## 二、各廠家風力發電機控制方式

目前世界上各風力發電機製造商之主力機種，陸上用風力發電機為 1.5~2.5MW，離岸式風力發電機為 3.0~6.0MW，主要廠家風力發電機之功率控制方式主要為變速恆頻（VSCF，Variable Speed Constant Frequency）技術，採用可變旋角的方式來調節風力機組的功率輸出。在額定風速以下時，葉片旋角處於 0 度附近，此時採最大功率控制模式。在額定風速以上時，葉片可變旋角機構發揮作用，調整葉片旋角，保證發電機的輸出功率在額定發電量之範圍內。可變旋調節技術的主要優點是，葉片受力較小，可以做的比較輕巧。同時，由於葉片旋角可以隨風速的大小進行自動調節，因此能夠盡可能多的捕獲風能，提高發電效率，又可以在高風速段保持輸出功率平穩，不至於引起發電機的超載。

各主要風力發電機製造廠家之風力發電機控制方式大致可分為下列幾種：

### （一）同步發電機變速恆頻風力發電系統

同步發電機變速恆頻風力發電系統依照轉子之激磁方式及變速齒輪箱可分為以下兩大類：

## 1. 直流激磁同步發電機：

ENERCON 公司製造之風力機即是採用直流激磁同步發電機(圖 2.4)，國內尖山電廠有 8 部 ENERCON 公司製造之 660KW E40 型風力機及民營英華威公司採用 2000KW E70 型風力機。其轉子繞組使用類似水力發電機之多極數配置，轉子直接驅動發電機，不需使用變速齒輪箱，故可省去變速齒輪箱之費用，勵磁控制單元送出直流機磁至轉子繞組，定子繞組輸出經一全功率之變頻器 (Full Converter) 將風力發電機輸出隨風速變化而變動頻率之交流電壓，先經整流器整流成爲直流電壓，再經逆變器 (INVERTER) 將直流電壓轉換成 60Hz 市電頻率之交流電壓輸出，其特性爲：變頻器須與同步發電機具備相同之功率，且發電機轉子極數多使得同步發電機需耗費較多之材料，故變頻器及同步發電機之製造成本較高。

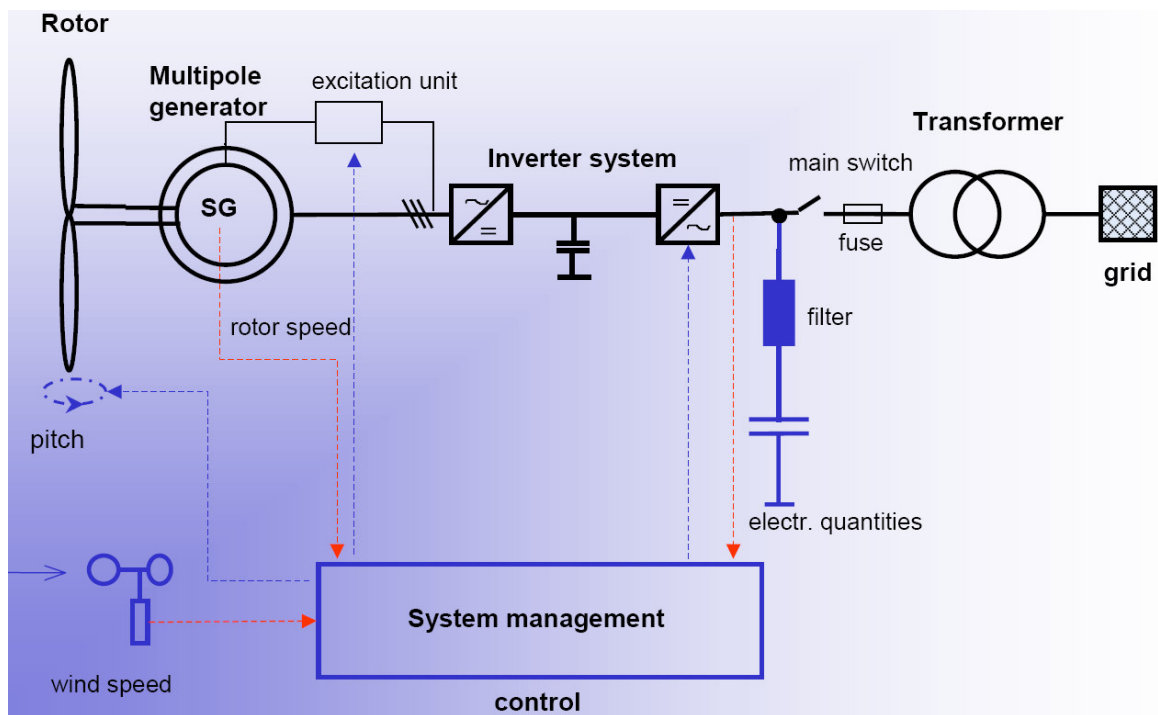


圖 2.4 直流激磁同步發電機

## 2. 永磁式同步發電機：

台中電廠 22 部日本 Harakosan 公司 (併購荷蘭 Zephyros 公司) 生產之 Z70 型 2000KW 風力機及 GE 公司製造之 2.5x1 型 2500KW 風力機即是永磁式同步發電機(圖 2.5)，其轉子使用多極數之永久磁鐵進行激磁，故可省去勵磁控制單元之

費用，轉子須經變速齒輪箱驅動同步發電機，但其齒輪箱之變速比較雙饋式感應發電機使用之齒輪箱來得低，故齒輪箱之製造成本較低。定子繞組輸出經一全功率之變頻器將風力發電機輸出隨風速變化而變動頻率之交流電壓，先經整流器整流成爲直流電壓，再經逆變器（INVERTER）將直流電壓轉換成 60Hz 市電頻率之交流電壓輸出。

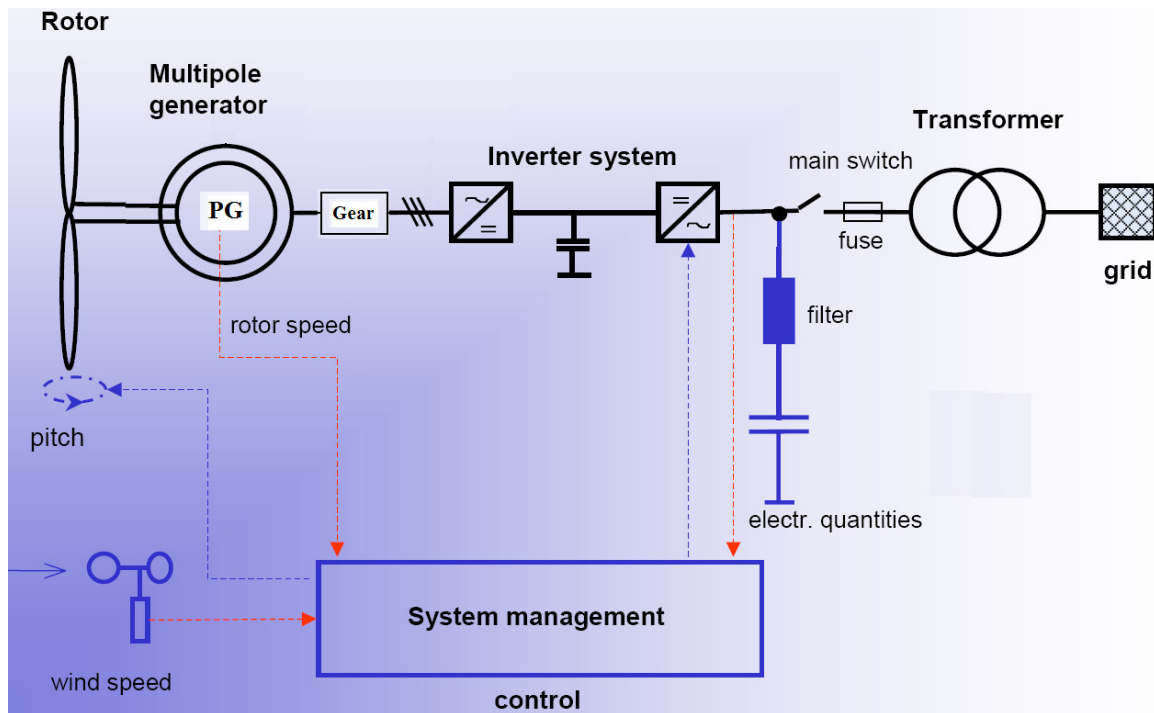


圖 2.5 永磁式同步發電機

## (二) 雙饋式感應發電機變速恒頻風力發電系統

彰工風力發電站 23 部 Vestas V80 型 2000KW 風力機、通霄電廠 6 部 Gamesae 公司生產之 G80 型 2000KW 風力機及核三廠、大潭電廠與大園觀音共 26 部 GE 公司製造之 1.5se 型 1500KW 風力機即是雙饋式感應發電機(圖 2.6)，其轉子爲三相繞組，經滑環與碳刷連接至變頻器(其工作原理在下一章作說明)，其特性爲變頻器之容量僅需感應發電機額定容量之 25~30%，故變頻器之成本較低且損失較少因而變頻器之效率較高。

採用雙饋式感應發電機，突破了機電系統必須嚴格同步運行的傳統觀念，使原動機轉速不受發電機輸出頻率限制，而發電機輸出電壓和電流的頻率、幅值和相位也不受轉子速度和暫態位置的影響，使機電系統之間的剛性連接變爲柔性連接。基於上述諸多優

點，由雙饋發電機構成的變速恒頻風力發電系統已經成爲目前國際上風力發電方面的研究重點和必然的發展趨勢。

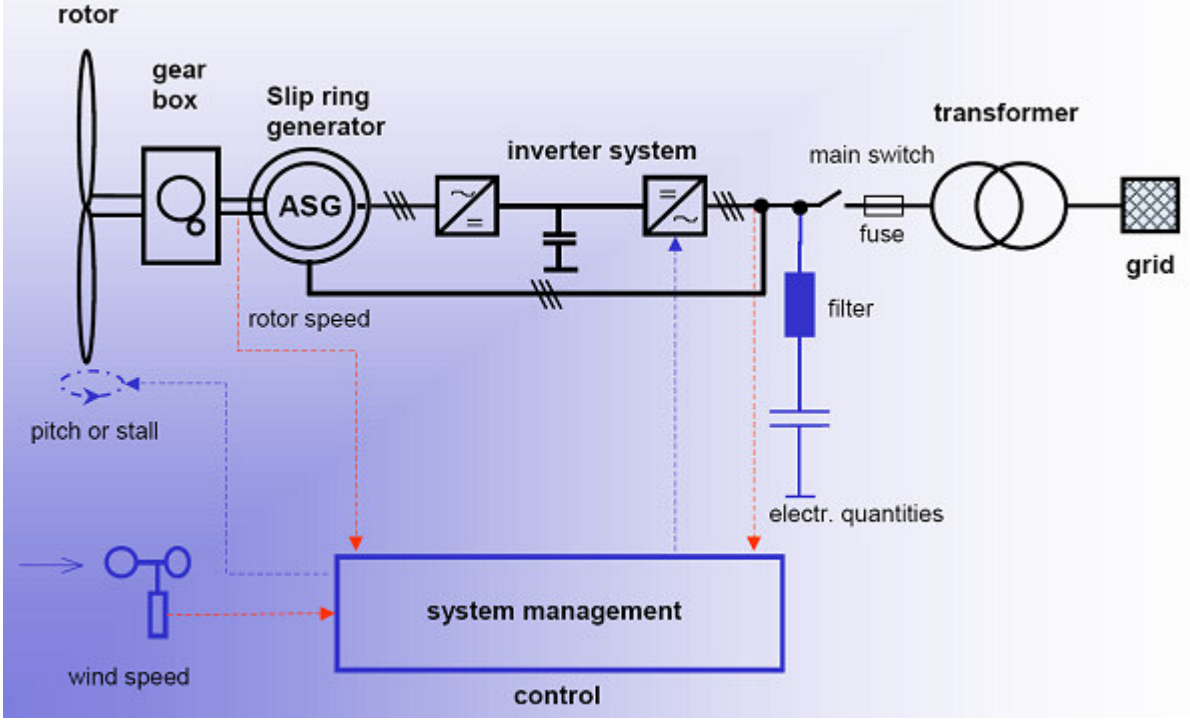


圖 2.6 雙饋式感應發電機

### 三、GE 1.5se 雙饋式感應發電機之控制

雙饋電機（或稱為交流勵磁電機），它早在四十年代就已經出現。隨著電力電子技術和數位控制技術的發展，雙饋電機在電氣性能方面所具有的一系列優點和巨大的潛力，已經引起國內外的高度重視。雙饋式感應發電機(Doubly-Fed Induction Generator, DFIG) 使用繞線式轉子，由於電力可經由轉子側之電力轉換器雙向流動，因此發電機饋入電力系統的界面同時包括定子側（Line side）及轉子側（Rotor side），其電力轉換器功率僅為發電機額定功率之 20~30%，故成本較低，而且發電機可變速範圍可達同步轉速之 $\pm 30\%$ ，因此性能/價格比值最高，為目前大型風力發電機中最普遍採用之組態。全球前 10 大風力發電機製造商的產品中有六成以上的變速風力發電機採用雙饋式感應發電機，本節將介紹雙饋式感應發電機的基本原理與特性。

#### (一) 雙饋式感應發電機（DFIG）基本原理

雙饋式感應發電機（DFIG）是在同步發電機和非同步發電機的基礎上發展起來的一種新型發電機，其轉子具有三相勵磁繞組結構。當通以某一頻率（轉差頻率）的交流電時，就會產生一個相對轉子旋轉的磁場，轉子的實際轉速加上交流勵磁產生的旋轉磁場所對應的轉速等於同步轉速，則在電機氣隙中形成一個同步旋轉磁場，在定子側感應出同步頻率的感應電勢。從定子側看，這與同步發電機直流勵磁的轉子以同步轉速旋轉時，在電機氣隙中形成一個同步旋轉的磁場是等效的。

雙饋式感應發電機與一般感應發電機不同之處在於聯接其轉子側之 PWM 脈寬調變電力轉換器具有四象限之運轉能力，電力轉換器提供低頻（轉差頻率）的交流電流(或電壓)進行勵磁，調節勵磁電流(或電壓)的幅值、頻率、相位，來實現定子恒頻恒壓輸出，其定子輸出特性與同步發電機十分類似，所以有一些文獻指出，雙饋式感應發電機可以視為同步發電機與感應發電機之綜合體。

從能量流動的特性來看，與採用直流勵磁的同步發電機相比，同步發電機勵磁的可調量只有直流勵磁電流的幅值一個，所以同步發電機勵磁一般只能對無效功率進行調節，而雙饋式感應發電機，其勵磁的可調量除了勵磁電流的幅值外，還有勵磁電流的頻率和相位。通過改變勵磁電流的頻率可以改變發電機的轉速，達到調速的目的；通過改變勵磁電流的相位，來改變發電機的空載電勢與電力系統電壓向量之間的相對位置，從而改變發電機的功率角，可以調節發電機的有效功率。

一般感應電機(非同步電機)：(1)在轉子轉速低於同步轉速時，處於電動工作狀態，(2)當轉子轉速高於同步轉速時，處於發電工作狀態，而對於雙饋式電機來說，除了上述兩種工作狀態之外，還具有另外兩種工作狀態：(3)欠同步發電工作狀態，(4)過同步電動工作狀態。雙饋式感應發電機之欠同步與過同步轉速發電時之功率流向分別如圖 2.7 及圖 2.8 所示。其中， $s$  為轉差率， $P_s$  為 DFIG 定子輸出功率， $P_g$  為 DFIG 輸出至電力系統之功率。

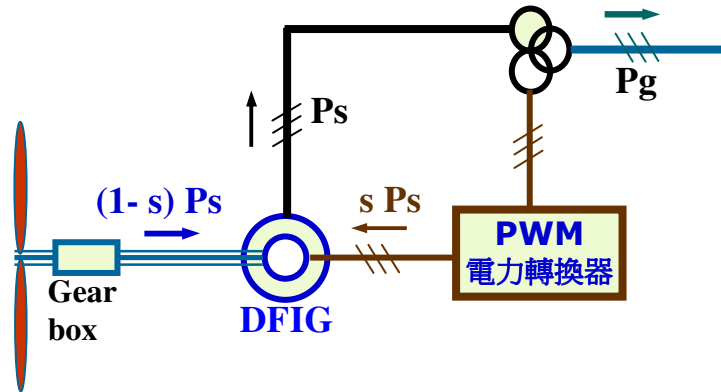


圖 2.7 欠同步轉速發電( $0 < s < 1$ ) 之功率流向

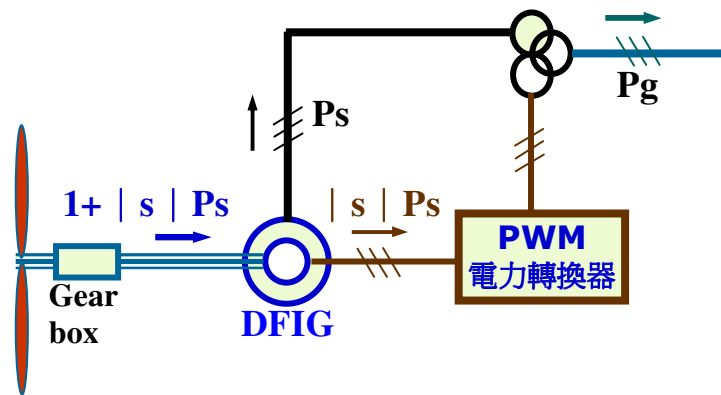


圖 2.8 過同步轉速發電( $s < 0$ ) 之功率流向

## (二) 雙饋式感應電機之運轉特性

GE 1.5se 型風力發電機之基本系統架構如圖 2.9，風力發電機由一具有繞線轉子 (wound rotor) 之感應發電機、滑環 (slip rings) (如圖 2.10)、轉子回路上之 AC-DC-AC PWM 電力轉換器 (Converter) 以及先進的電子控制器所組成。GE1.5se 型雙饋式感應發電機之同步轉速為每分鐘 1200 轉 (rpm)，且有一變頻電力轉換器與發電機轉子連接可使發電機之轉速固定於 800 至 1600 rpm 之範圍內，產生穩定 60Hz 之高品質輸出。

於風速超過 14m/s 時轉速固定於 1440 rpm，發電機輸出可達額定值 1500KW。由於僅轉子回路中約 20%~30% 之輸出電力須經 AC-DC-AC 轉換器之調變，不似 Gearless Type 風力發電機中所有之輸出電力均需調變，因此調變所產生之損失明顯減少，電力轉換器所佔之空間與重量亦顯著降低，在其額定容量之運轉效率可達 97% 以上。GE 1.5se 雙饋式感應發電機其運轉特性為：

- (1) **過同步運轉模式 (Over-synchronous mode)**：以高於同步速度之轉速運轉，為高風速時之運轉模式，發電機定子輸出 75% 電力，轉子則經由電力轉換器輸出約 25% 之電力。
- (2) **同步運轉模式 (Synchronous mode)**：以同步速度轉速運轉，在部分負載工作範圍下，發電機定子負責輸出 100% 之電力。

(3) 欠同步運轉模式 (Sub-synchronous mode)：以低於同步速度之轉速運轉，為低風速時之運轉模式，在部分或輕負載工作範圍下，發電機定子負責 100%之電力輸出，轉子則需經由電力轉換器輸入約 5~10%之電力進行激磁。

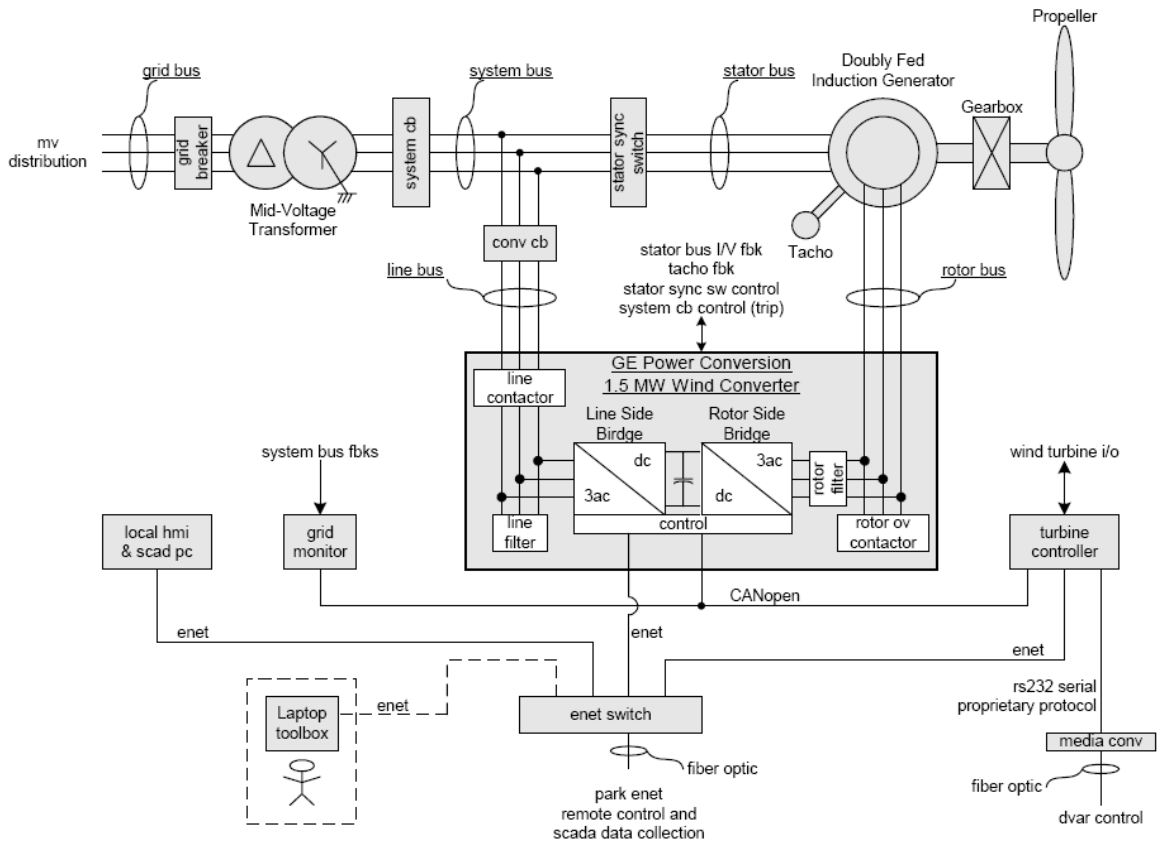


圖 2.9 GE 1.5se 型風力發電機之系統架構圖

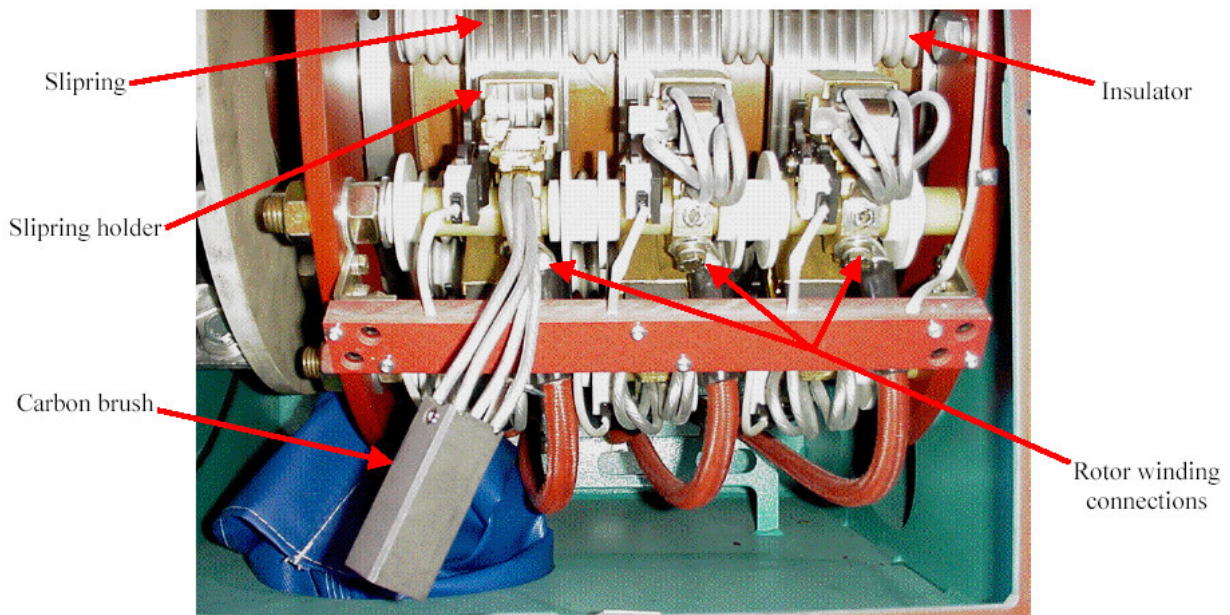


圖 2.10 繞線轉子感應發電機轉子之滑環及碳刷

### (三) DFIG 交流勵磁變速恒頻之運行原理

雙饋式感應發電機變速恒頻運行的原理可以用圖 2.11 來進一步說明。圖 2.11 中  $n_1$  為定子旋轉磁場的轉速，即同步轉速； $n_2$  為轉子旋轉磁場相對於轉子的轉速； $n_r$  為轉子的轉速； $f_1$ 、 $f_2$  分別為發電機之定、轉子電流的頻率； $P$  為繞線式轉子之極數 (Pole)。由電機學的知識可知，雙饋式感應發電機在穩態運轉的時候，定子旋轉磁場和轉子旋轉磁場在空間上保持相對靜止，即

$$n_1 = n_2 + n_r$$

因  $n_1 = (120 f_1) / P$  及  $n_2 = (120 f_2) / P$ ，故有

$$(120 f_1) / P = (120 f_2) / P + n_r$$

所以

$$f_1 = f_2 + (P n_r) / 120$$

從上式可知，當風力發電機轉子之轉速  $n_r$  隨著風速的變化而變動時，可通過調節轉子勵磁電流的頻率  $f_2$  使定子輸出電力之頻率  $f_1$  保持恒定，也就是與電力系統頻率一致，即可實現風力發電機的變速恒頻運行。當定子旋轉磁場以同步轉速旋轉時，轉子旋轉磁場相對於轉子以轉差角頻率旋轉，感應電機於不計損耗的理想條件下有：

$$P_r = s P_s$$

$$P_g = P_s - P_r$$

$$s = (n_s - n_r) / n_s$$

其中， $s$  為轉差率； $n_s$  為同步轉速； $P_s$  為定子輸出電功率； $P_r$  為輸入至轉子之電功率； $P_g$  為雙饋式感應發電機之輸出電功率。PWM 電力轉換器隨著風速的變化會自動進行下列三種工作模式之切換：

- (1) 當轉子轉速低於同步轉速時：發電機處於欠同步運轉模式，轉子旋轉磁場旋轉方向和轉子轉向相同，即  $f_2 > 0$ ，此時轉差率  $s > 0$  故  $P_r > 0$ ，PWM 電力轉換器向發電機轉子輸入有效功率並提供發電機轉子正相序勵磁。
- (2) 當轉子轉速高於同步轉速時：發電機處於過同步運轉模式，轉子旋轉磁場旋轉方向和轉子轉向相反，即  $f_2 < 0$ ，此時轉差率  $s < 0$  故  $P_r < 0$ ，PWM 電力轉換器輸出有效功率至電力系統並提供發電機轉子負相序勵磁。
- (3) 當轉子轉速等於同步轉速時：發電機處於同步運轉模式，轉子不需提供旋轉磁場，即  $f_2 = 0$ ，此時轉差率  $s = 0$  故  $P_r = 0$ ，PWM 電力轉換器向發電機轉子提供直流勵磁。

圖 2.12 為 GE 1.5se DFIG 之輸出與轉速關係曲線，圖中可看出當轉子轉速低於同步轉速時，PWM 電力轉換器向發電機轉子輸入有效功率；當轉子轉速高於同步轉速時，發電機轉子向 PWM 電力轉換器輸出有效功率。圖 2.13 為 GE 1.5se DFIG 之輸出與轉子頻率關係曲線。



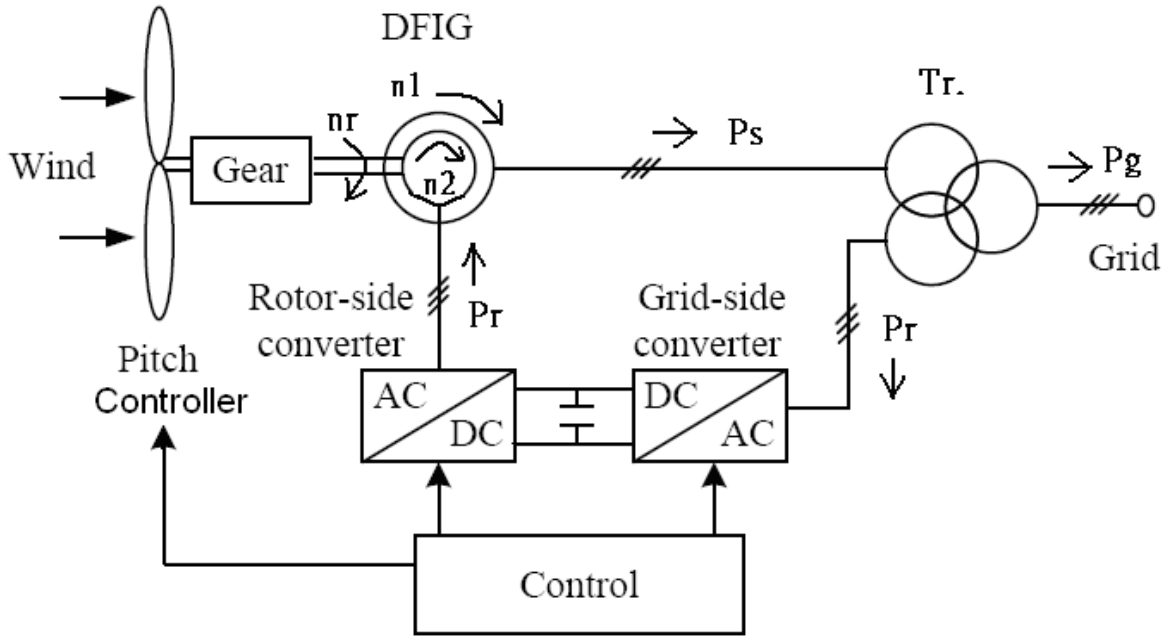


圖 2.11 雙饋感應發電機之交流勵磁變速恒頻運行原理

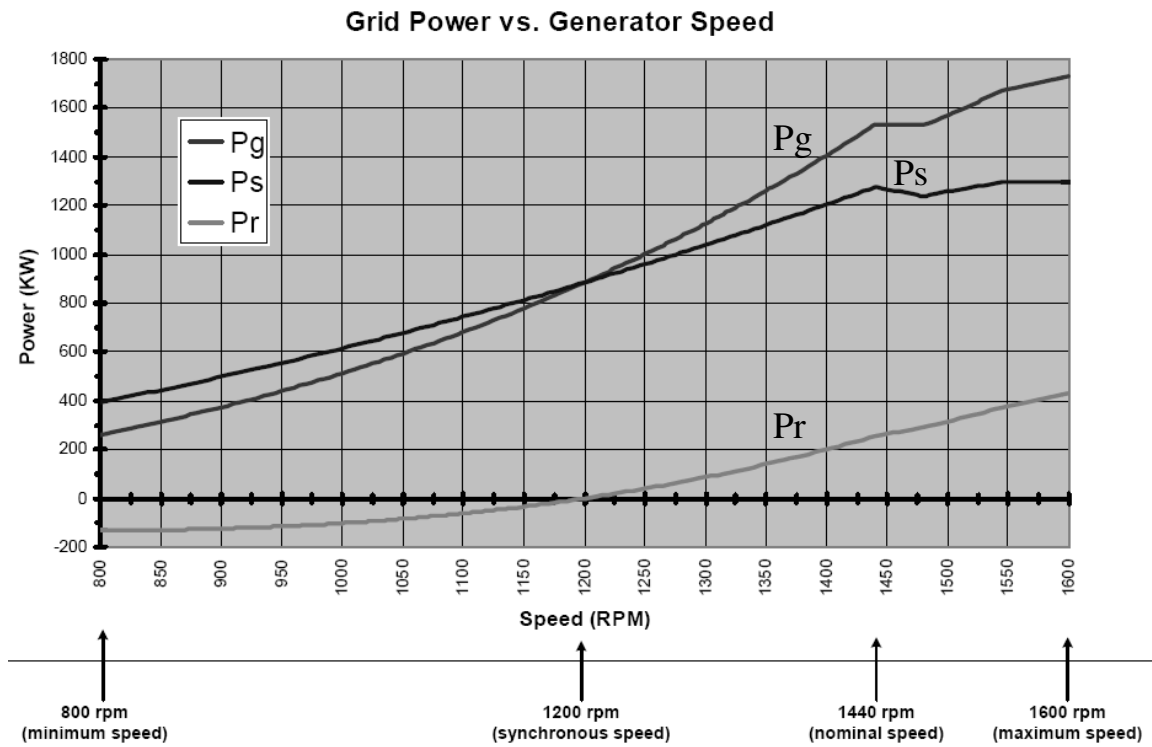


圖 2.12 GE 1.5se DFIG之輸出與轉速關係曲線

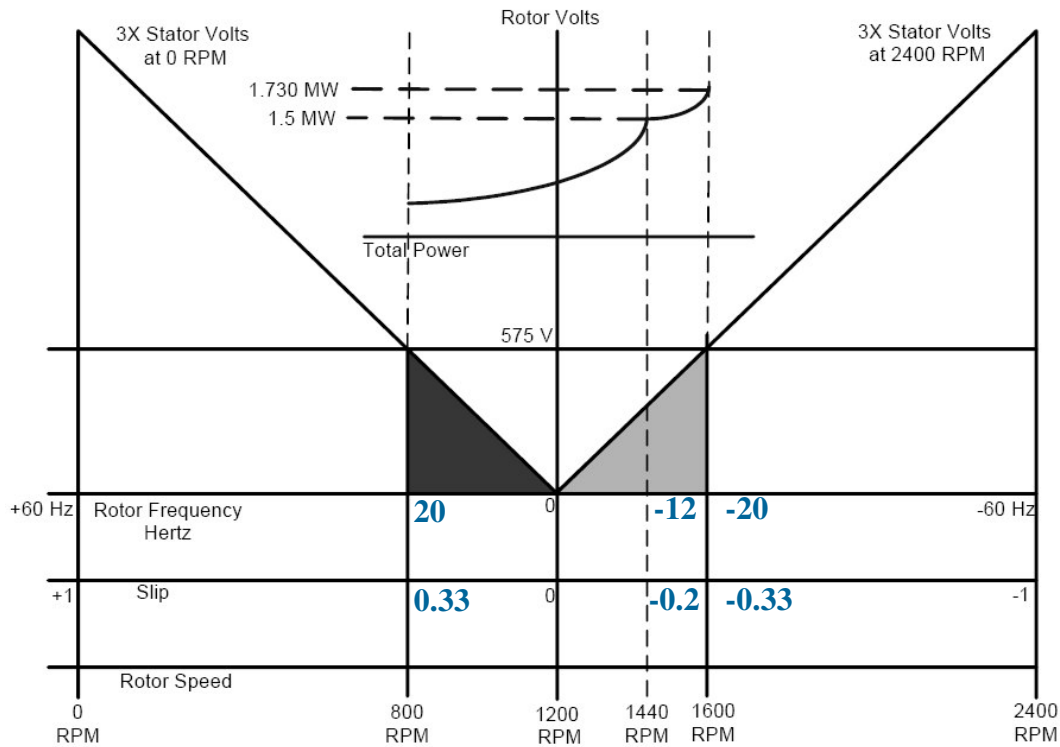


圖 2.13 GE 1.5se DFIG之輸出與轉子頻率關係曲線

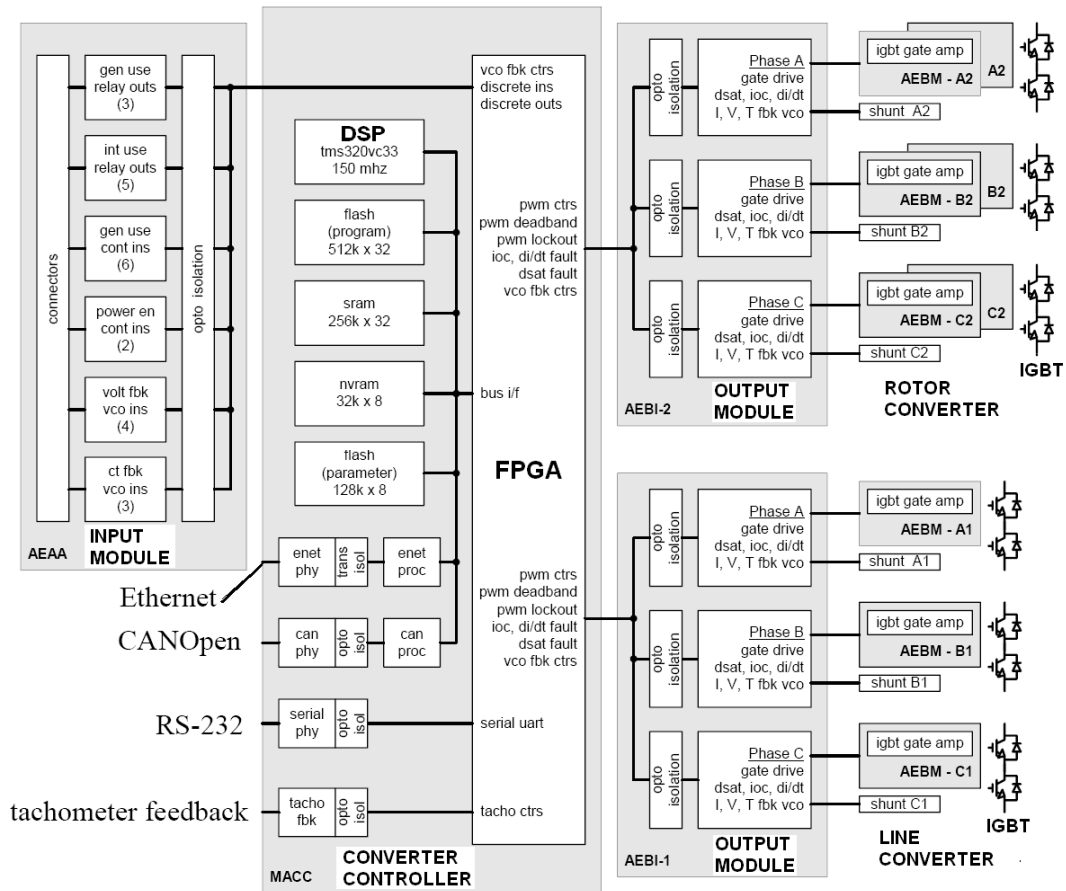


圖 2.14 GE 1.5se電力轉換器之硬體架構圖

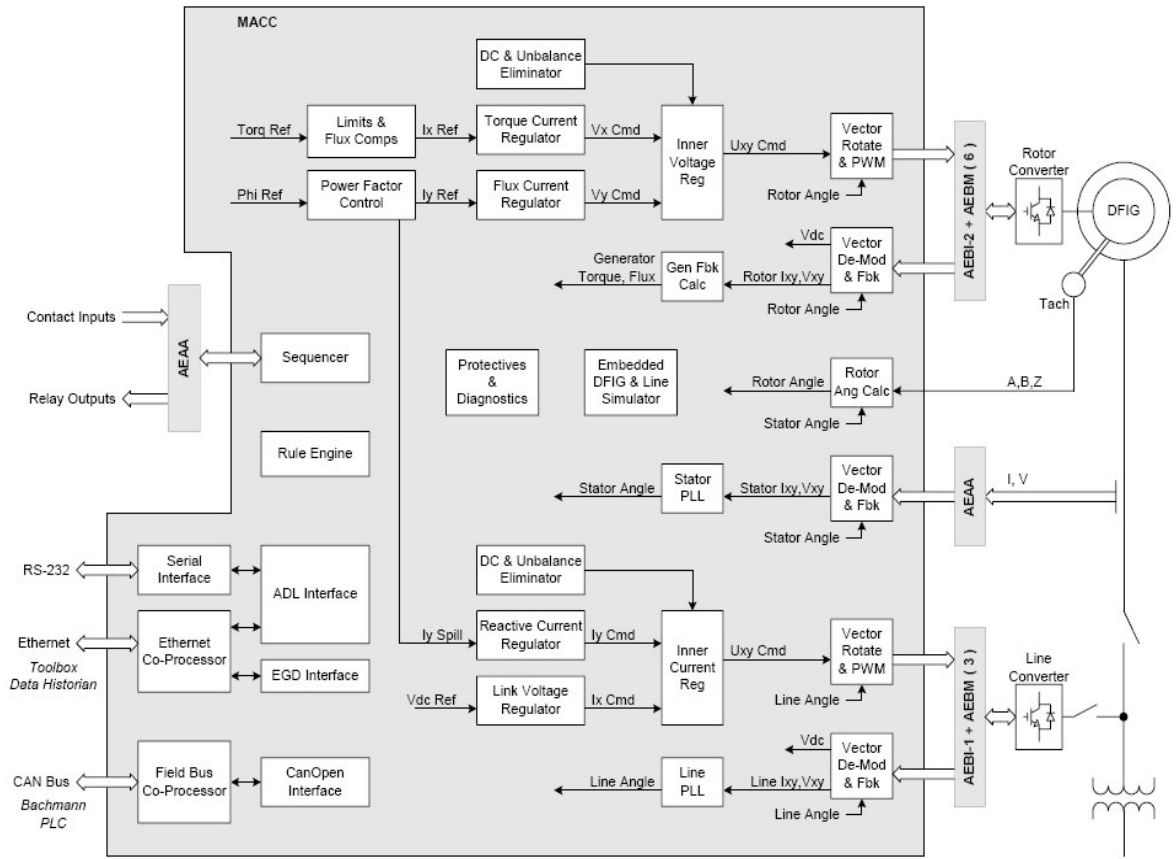


圖 2.15 GE 1.5se 電力轉換器之控制軟體架構圖

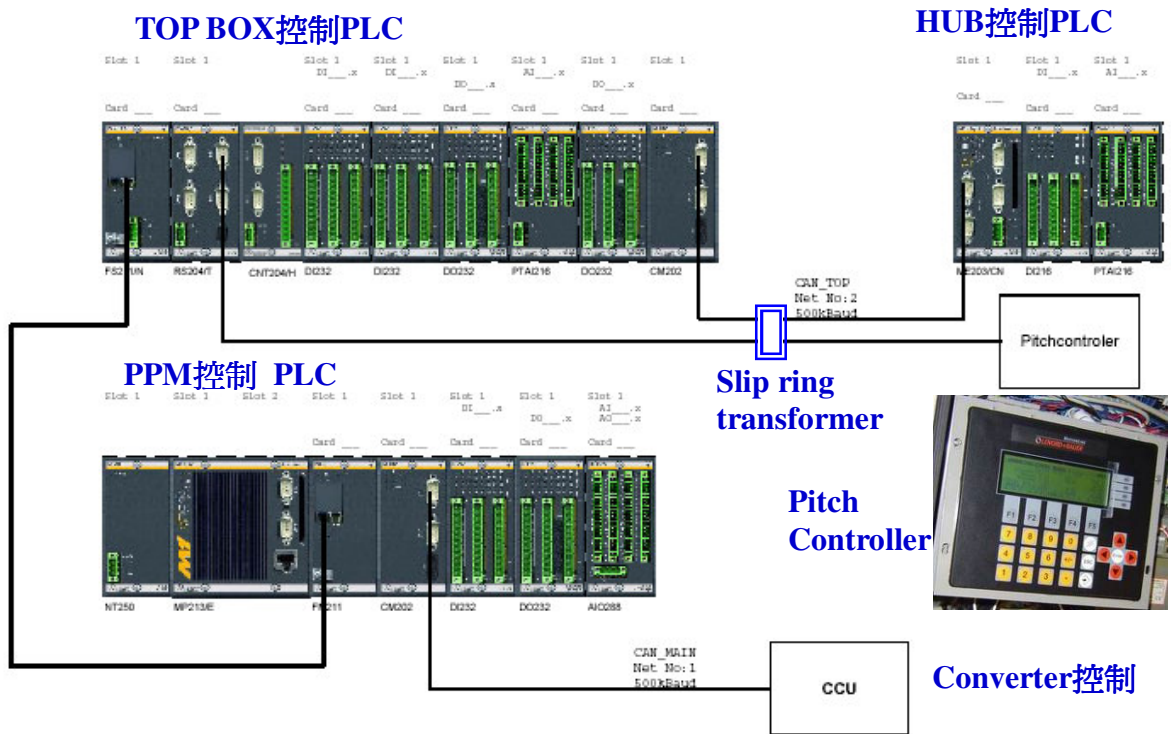


圖 2.16 GE 1.5se 風力發電機之 PLC 監控系統架構圖

#### (四) PWM 電力轉換器

GE 1.5se 風力發電機 IGBT 電力轉換器之硬體架構如圖 2.14 所示，電力轉換器之控制模組透過 CAN Bus 與 Bachmann PLC 連線，其控制核心為 tms320vc33 150 MHz 之數位信號處理器 (DSP)，DSP 與週邊設備之邏輯信號連接是由現場可程式化邏輯閘陣列 FPGA(Field Programmable Gate Array)所規劃。電力轉換器之控制運算及程序需透過專用之規劃軟體編輯控制程式，再分別載入 DSP 及 FPGA 中。圖 2.15 GE 1.5se 電力轉換器之控制軟體架構圖；圖 2.16 為 GE 1.5se 風力發電機之 PLC 控制系統架構圖，塔架底部之 Main Controller 透過光纖網路(Ethernet)連接至機艙中之 Nacelle Controller，再經由 CAN\_bus 透過轉軸滑環(Rotor Slip Ring) 連接至輪轂(HUB)中之 Pitch Controller，來控制三支葉片之旋角。

#### (五) DFIG之向量控制

三相感應電機的完整動態數學模式，是一個七階、相互耦合的非線性微分方程式組，共有七個狀態變數，其數學方程式相當複雜，因此，在動態特性的分析上較為困難與複雜，無法直接用於感應電機控制系統的設計。1972 年由德國西門子公司 Blaschke 所提出的向量控制理論 (Vector Control)，其基本觀念為使用 d - q 軸理論和座標轉換技巧，可將複雜的感應電機狀態方程式之控制變數加以解耦合，轉換成爲非時變、無耦合的數學模型，使電樞電流與磁場電流可以獨立地分開控制，可以達成分別控制轉矩輸出與感應磁通的目的，此一技巧可使得感應電機的控制變得如同分激式直流電機一般易於控制，藉由控制電樞電流來達到控制輸出轉矩的目的。

實現 DFIG 之向量控制，採用定子電壓向量控制作爲風力發電系統的控制核心部分，除風力發電機組正常起動、停止、故障檢測等控制外，風力發電機組電控系統主要擔負著兩大控制任務：最大風能捕獲的最佳葉尖速比控制和無效功率的解耦控制。

採用定子磁通向量變換控制技術，綜合調節 DFIG 轉子勵磁電流的相位、幅值、頻率及相序可以實現雙饋式感應發電機有效功率、無效功率的獨立調節。有效功率之調節可通過調節風力機的轉速，使風力機運行在最佳葉尖速比，進而實現最大風能捕獲；無效功率之調節可調節電力系統功率因數，從而改善風力機及所並聯之電力系統系統的動、靜態運行特性。

##### (1) 轉子側 PWM 電力轉換器之控制

DFIG 向量控制系統之轉子側 PWM 電力轉換器採功率控制，兩個通道分別控制 DFIG 的有效功率 P 和無效功率 Q。在功率閉環中，有效功率和無效功率設定值 P 和 Q 與實際值之差值經 PI 控制器運算，其輸出經解耦合 (Decoupling) 處理後得到 d - q 坐標系下的轉子電壓設定值，再通過座標轉換到靜止的座標，便可獲得用於控制變頻器輸出的靜止坐標系下的轉子電壓控制命令，此控制命令經脈波產生電路轉換爲轉子側 PWM 電力轉換器 IGBT 之觸發角度，即可控制轉子側 PWM 電力轉換器之輸出/入電力。

##### (2) 定子側 PWM 電力轉換器之控制

定子側 (市電側) PWM 電力轉換器採電壓控制，以直流母線電壓爲輸入設定量，

經直流電壓 PI 控制器，運算之輸出經座標轉換為輸入電流的實功分量。通過由兩個直流電流 PI 調節器和兩個旋轉模組構成的基於向量變換的電流控制，使定子側 PWM 電力轉換器輸入電流的實功和虛功分量實際值分別等於其設定值。若轉速高於同步轉速，轉差率  $S < 0$ ，表示實功電流從變換器流入電力系統，這時如果風速增大，更多實功率從發電機轉子流出，直流母線電壓將升高，更多的實功電流經定子側 PWM 電力轉換器流向電力系統，會使得直流母線電壓回落，直至返回設定值。

採用雙饋式感應發電機，突破了機電系統必須嚴格同步運行的傳統觀念，使原動機轉速不受發電機輸出頻率限制，而發電機輸出電壓和電流的頻率、幅值和相位也不受轉子速度和暫態位置的影響，使機電系統之間的剛性連接變為柔性連接。基於上述諸多優點，由雙饋發電機構成的變速恒頻風力發電系統已經成為目前國際上風力發電方面的研究重點和必然的發展趨勢。

## 四、GE 1.5se 機組之維護及故障排除程序

### (一) 6 個月及 12 個月定檢項目

6 個月及 12 個月定檢項目須參照 GE 提供之 OPERATIONS AND MAINTENANCE MANUAL 之 Part C: Maintenance Activity Report (MAR) (含表格共 93 頁)內容規定，實施定檢工作需由受過 GE 公司訓練合格之專業人員帶領，潤滑油脂及須更換之配件均須使用 GE 公司認證合格之產品。6 個月及 12 個月定檢項目中，約七成為機械相關項目，需依照各別維護標準進行檢查，儀電設備之定檢項目約佔三成，大部份需目視檢查，若發現異常則需作進一步檢修。

GE 公司之 Maintenance Activity Report (MAR) 文件中強調，表列定檢項目及作業內容僅為『最低需求』(minimum requirements) 需依照各風場所在環境條件，視需要增加檢項目及內容，才能使風機維持正常運轉。目前觀園風力發電站所處環境在桃園縣大園鄉與觀音鄉之海濱沙地，風機容易受到沙塵、鹽害、高濕度及夏季高溫影響，而使部份配件之故障率提高，例如：觀園風力發電站之風機葉片軸封已有數台有漏油情形，很明顯是受到沙塵、鹽害及高溫的影響，必須考慮改變葉片軸承封油環由一般橡膠材質改為耐磨、耐高溫的氟矽橡膠 (Viton) 材質，應可改善軸承封油環遇熱易損壞之情形；原廠規定每 6 個月添加葉片軸承潤滑油脂，亦可考慮增加添加潤滑油脂之次數，改為 3 個月添加一次，可改善軸承封油環易受沙塵及鹽粒侵入而磨損之情形。GE 1.5se 為寒帶機型，但台灣地處亞熱帶，風機所使用之幾種潤滑油脂也可考慮使用非寒帶機型使用之潤滑油脂，或許可以減少潤滑油脂因環境溫度太高而變質，導致軸承磨損之情形。

GE 公司之 1.5se 寒帶型風機裝設於觀園風力發電站似乎有「水土不服」的情形，就好比德國生產的原裝汽車，到了台灣往往會出現冷氣不夠冷的情況，因德國夏季最高溫僅約 30°C，而台灣夏季最高溫將近 40°C，在德國生產的原裝汽車當然沒有考量到台灣的環境條件，部份配件需經過適當的修改才能在台灣正常運行。所以，GE 1.5se 寒帶型風機裝設在北台灣，部份配件一樣需經過適當的修改，風機才能正常運行。

## (二) 機艙轉向煞車系統維護作業

轉向煞車系統(圖 4.1~ 4.2)之位置在塔架頂部轉向齒輪盤(YAW BEARING)之上方與機艙底部之間，包含 18 只煞車唧筒(BRAKE PISTON) (圖 4.3~4.4)，前/後方各 6 只，左/右方各 3 只，固定於 TOWER 上方 YAW 齒輪盤上，這 18 只煞車唧筒用來支撐 NACELLE、HUB 及 BLADE 共約 52 公噸(發電機 3.2 公噸、齒輪箱 14.5 公噸)的重量，若轉向煞車系統未確實做好潤滑及調整，將使得機艙轉向驅動不良與震動變大，嚴重時會導致轉向齒輪及機艙內之設備(變速齒輪箱與發電機)損壞，機艙震動大時也容易造成 HUB 及機艙內控制線路鬆脫或接觸不良，常會引起保護迴路動作而跳機。轉向煞車系統之檢查及調整程序簡述如下：

1. 前/後及左/右四方各有一個注油孔(圖 4.5)須注入適量之 dg44o Grease(圖 4.7)使接觸面保持潤滑。
2. 煞車唧筒透過底部一層耐磨合金(圖 4.8~4.11)與 YAW 齒輪盤表面接觸，每次做 6 個月及 12 個月定檢時需量測磨損程度，量測前方及左/右方各一只煞車唧筒量測值與剛裝機時之原始資料比較，約使用五年若磨損超過 2.5mm 時需更新全部 18 只煞車唧筒。(圖 4.6)
3. 量測磨損程度時，注意米達尺不可以壓到 U 型扣環上，以免造成量測誤差。(圖 4.5)
4. 12 個月定檢時需以打擊板手逐一鬆開定位螺栓再重新依下列標準鎖緊：定位螺栓先使用扭力扳手設定 100Nm 鎖緊後，再以打擊板手鎖緊 300°，最後將定位螺母鎖緊。
5. 更新煞車唧筒後也要重新依上述標準鎖緊。

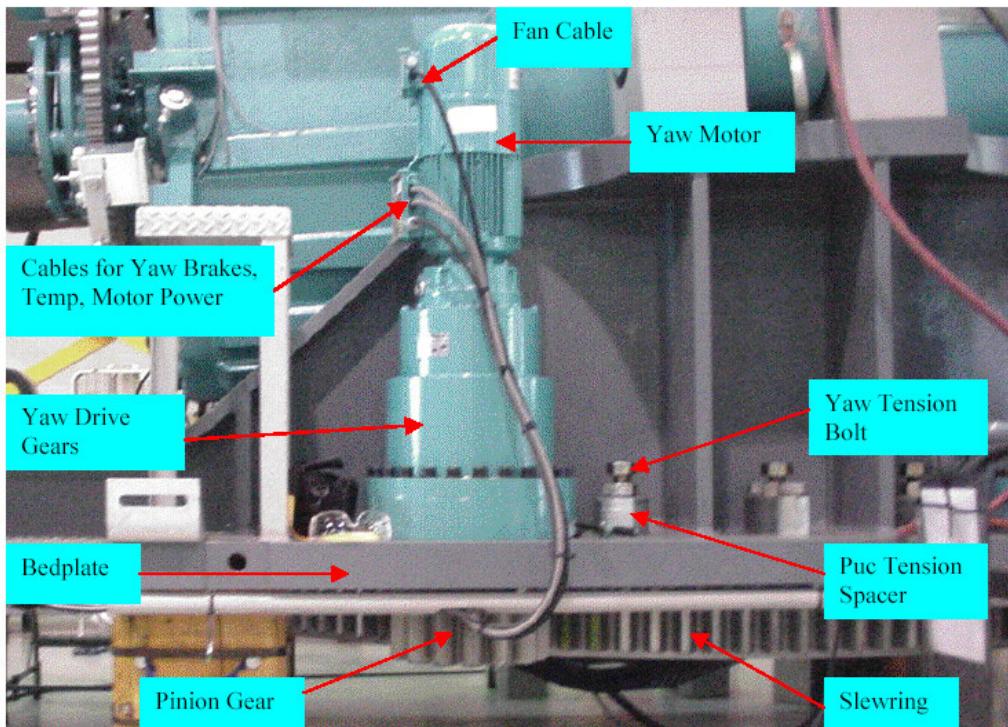


圖 4.1 機艙轉向驅動馬達及滾柱軸承

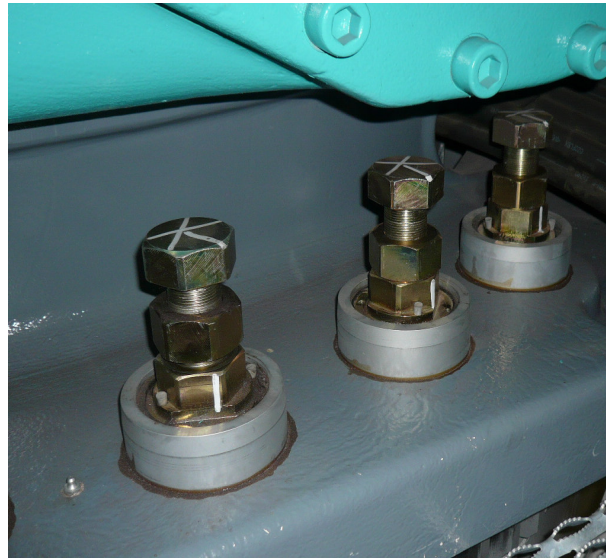
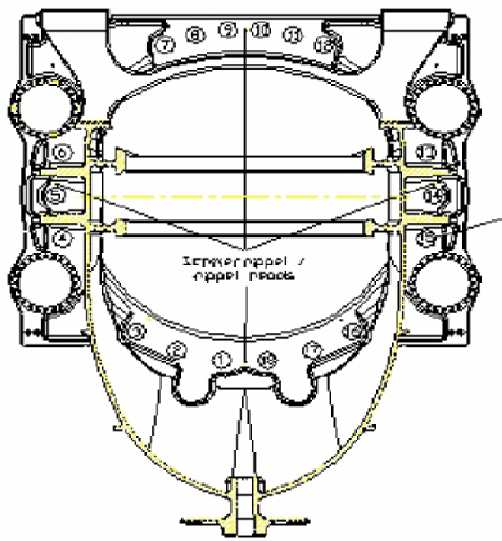


圖 4.2 機艙轉向驅動馬達及滾柱軸承

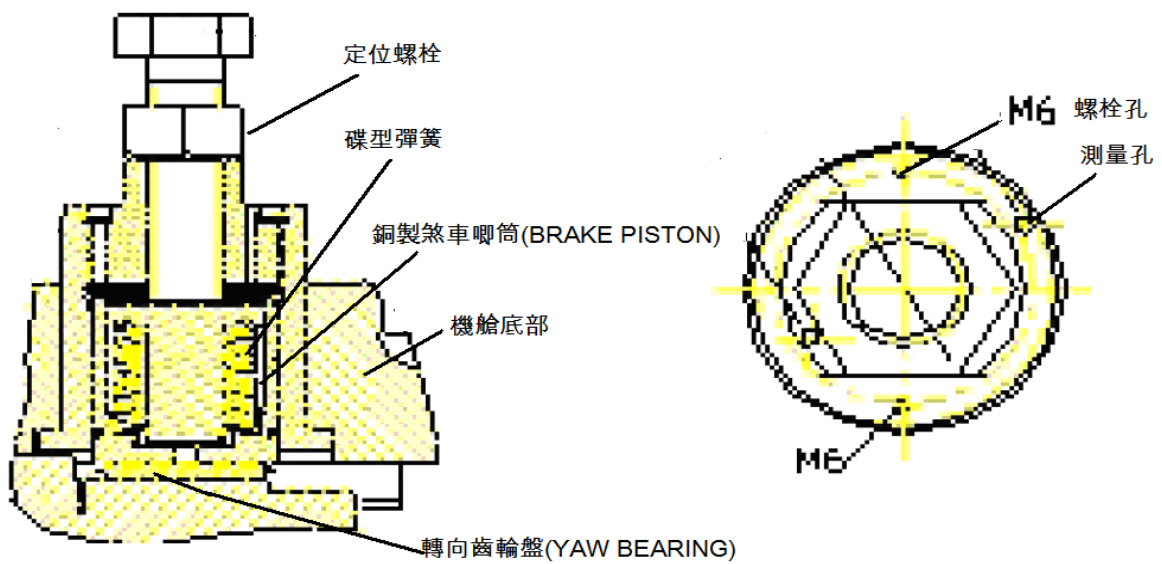


圖 4.3 機艙轉向驅動馬達及滾柱軸承





圖 4.4 BRAKE PISTON 實體圖

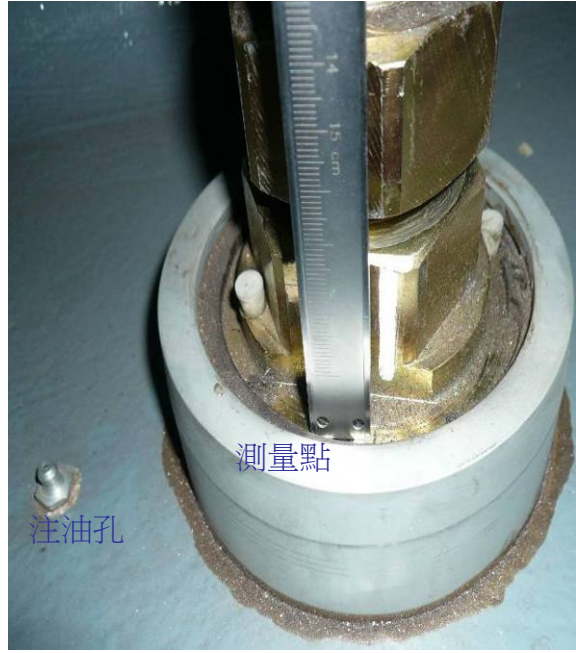


圖 4.5 BRAKE PISTON 磨損量測示意圖



圖 4.6 BRAKE PISTON 分解示意圖



圖 4.8 BRAKE PISTON 組裝示意圖



圖 4.7 DG44o Grease



圖 4.9 BRAKE PISTON(上)與 YAW BEARING (下)之接觸面



圖 4.10 機艙座(上)與 YAW BEARING(下)之實體圖



圖 4.11 BRAKE PISTON 底部耐磨合金

### (三) 發電機聯軸器對心作業

風力發電機與變速齒輪箱中間以撓性聯軸器(Flexible Coupler) (圖 4.12)相連接，用來吸收風速瞬間變動時之扭力變化，避免發電機轉軸承受過大轉矩而損壞，每次做 6 個月及 12 個月定檢時需進行發電機連軸器對心作業。若發電機連軸器對心不良，可能造成發電機震動過大而導致發電機軸承受力不平均，不僅軸承容易損壞也可能造成發電機受損。故必需定期確實依照維護作業標準完成發電機連軸器對心作業，才能確保發電機正常運轉。

風力發電機連軸器之對心程序簡述如下：

1. 風速 8 m/s 以下才能進行發電機連軸器對心作業，風速越低越好，因變速齒輪箱變速比約 71 倍，風速較高時一旦放鬆油壓煞車，發電機轉子轉動過快，不僅雷射對心儀不易定位，也容易造成雷射對心儀撞擊油壓煞車器而損壞。
2. 將兩組雷射對心儀之發射/接收器分別固定於發電機與變速齒輪之轉軸上（圖 4.12）調整雷射光源至接收器之十字位置，再打開接收器之外蓋。
3. 以捲尺量測發電機及連軸器之相關參數，輸入至雷射對心儀中（圖 4.14）。
4. 放鬆油壓煞車並以電動工具帶動轉軸轉動至雷射對心儀可擷取參考信號之角度時，按下設定按鈕，分別進行三點參考位置之資料擷取（圖 4.13）。
5. 放鬆油壓煞車並以電動工具帶動轉軸轉動，將雷射儀置於六點鐘位置（圖 4.14），可讀取到發電機兩側軸承垂直方向之實際位置，若需調整發電機非驅動端之垂直方向高度時，先放鬆非驅動端之兩組固定螺絲，以千斤頂頂高後再取出或放入適當厚度之墊片後，放下千斤頂並鎖緊兩組固定螺絲，檢查垂直方向之實際位置其傾斜 (Skew)及偏差(Offset)是否在 1mm 以內，若超過容許值則需再重新調整。
6. 放鬆油壓煞車並以電動工具帶動轉軸轉動，將雷射儀置於九點鐘位置（圖 4.15），可讀取到發電機兩側軸承水平方向之實際位置，若需調整發電機驅動端之水平方向位置時，面向發電機若要往右移動時，先放鬆驅動端之兩組固定螺絲，再放鬆非驅動端之左側固定螺絲，以千斤頂將發電機驅動端往右頂調整水平方向位置，或以調整螺絲進行微調（圖 4.16~4.17）放下千斤頂並鎖緊三組固定螺絲檢查水平方向之實際位置其傾斜(Skew)及偏差(Offset)是否在 1mm 以內，若超過容許值則需再重新調整。
7. 重複上述動作至發電機兩側軸承水平與垂直方向實際位置之傾斜(Skew)及偏差(Offset) 均達到 1mm 以內。



圖 4.12 將雷射對心儀架設於撓性聯軸器兩側轉軸



圖 4.13 放鬆油壓煞車後以電動工具帶動轉軸

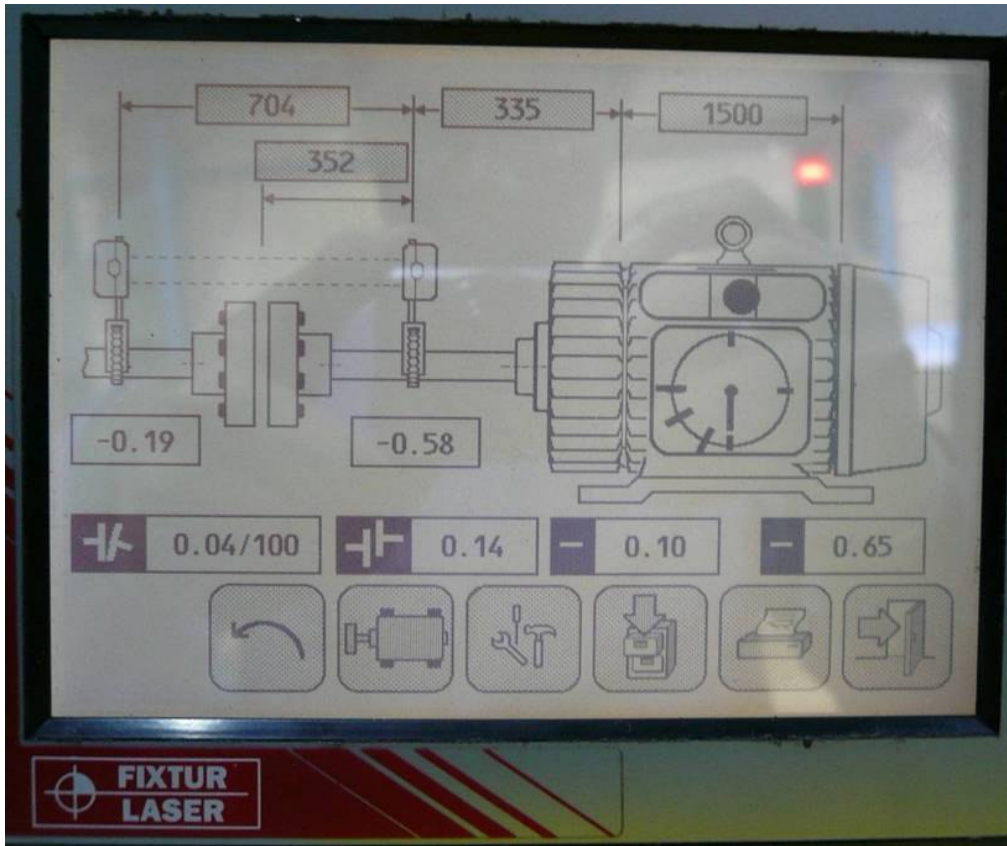


圖 4.14 將雷射儀置至於六點鐘位置調整發電機垂直方向(側視圖)

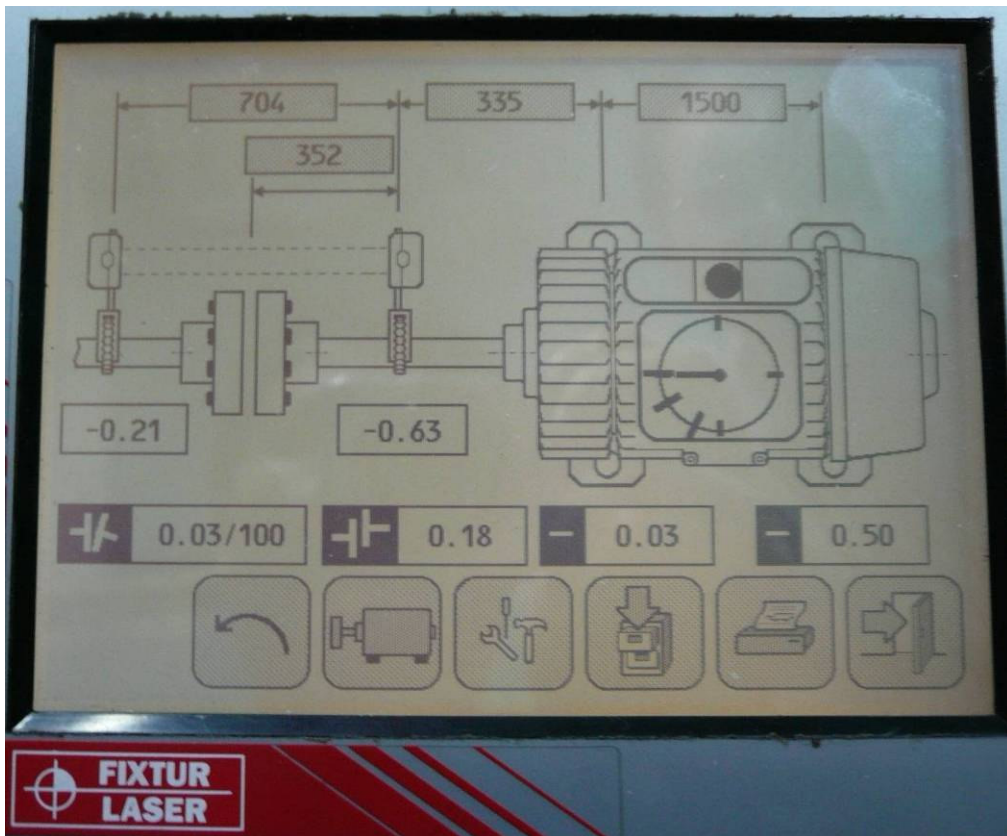


圖 4.15 將雷射儀置至於九點鐘位置調整發電機水平方向(上視圖)



圖 4.16 鬆開發電機三組定位螺栓後置入調整螺栓進行微調



圖 4.17 鬆開發電機兩組定位螺栓以千斤頂頂高後取出或放入墊片

#### (四) 液壓煞車系統維護作業

GE 1.5se 風力發電機擁有具兩套獨立之安全制動系統，即氣動式旋角主煞車及油壓驅動之碟式輔助煞車，並配置一套機械式輔助煞車。在維修或定期保養期間才會使用油壓碟式煞車鎖住主軸，或緊急狀況下才會使用緊急停止開關來啟動油壓碟式煞車。當風力發電機主軸轉速超過 23RPM 或發電機轉速超過 1600RPM 時，TOP BOX 內之 PLC 會啟動過速保護裝置，使旋翼系統立即動作排除風能（葉片快速旋轉至 90°）油壓煞車動作使風機停轉。

##### (1) 氣動式旋角主煞車系統：

每一支葉片具有一組獨立的備用電池組，於市電中斷供應或其他故障，可提供葉片之獨立直流電源驅使葉片至與受風面最小之位置，因此可以提供葉片獨立的備份空氣動力煞車能力。三葉片各自配置獨立之驅動器及控制器，於一般或緊急停車情況下，可快速排除風能，獨立各自回至惰速停車位置，即 90°之葉片角度位置。

##### (2) 油壓驅動碟式輔助煞車系統：

油壓驅動碟式輔助煞車系統 (Hydraulic Brake System) 之系統架構如圖 4.18 所示，包含一台油泵 (Motor & Pump)、蓄壓器 (Accumulator)、電磁閥組 (Solenoid Valves)、壓力開關 (Pressure Switch)、煞車碟片 (Brake Pad) 等組件。圖 4.19 為油壓驅動碟式輔助煞車系統之實體圖。油壓刹車系統壓力設定於 80~68 Bar，蓄壓器壓力設定於 45 Bar，液壓馬達啟動壓力為 62±1 Bar，製造商為 Svendborg Brakes 公司，刹車型式為 BSAK 3000，液壓動力單元為 PU10-0003。

油壓煞車系統之檢查步驟簡述如下：

1. 將液壓油泵停電後，拆下液壓油之濾網檢查是否阻塞（圖 4.20）若有阻塞時應清洗濾網或更新，並取下液壓油泵底部之儲油槽進行濾油或更換新油。
2. 拆下來令片之前須先取出厚度偵測開關（圖 4.21），以避免於拆裝過程中將厚度偵測開關損壞。
3. 以厚薄規量測圖 4.22 所示位置之來令片間隙，若間隙超過 1mm 則需以活動扳手調整來令片間隙（圖 4.23）。
4. 取出來令片檢查磨損情形（圖 4.24），來令片磨損至厚度少於 2.7mm 時，需更新來令片。
5. 來令片是以二顆附加彈簧之螺栓固定，復裝來令片時背部以發電機支撐並以手肘頂住套筒扳手可以省力並方便安裝（圖 4.25）。

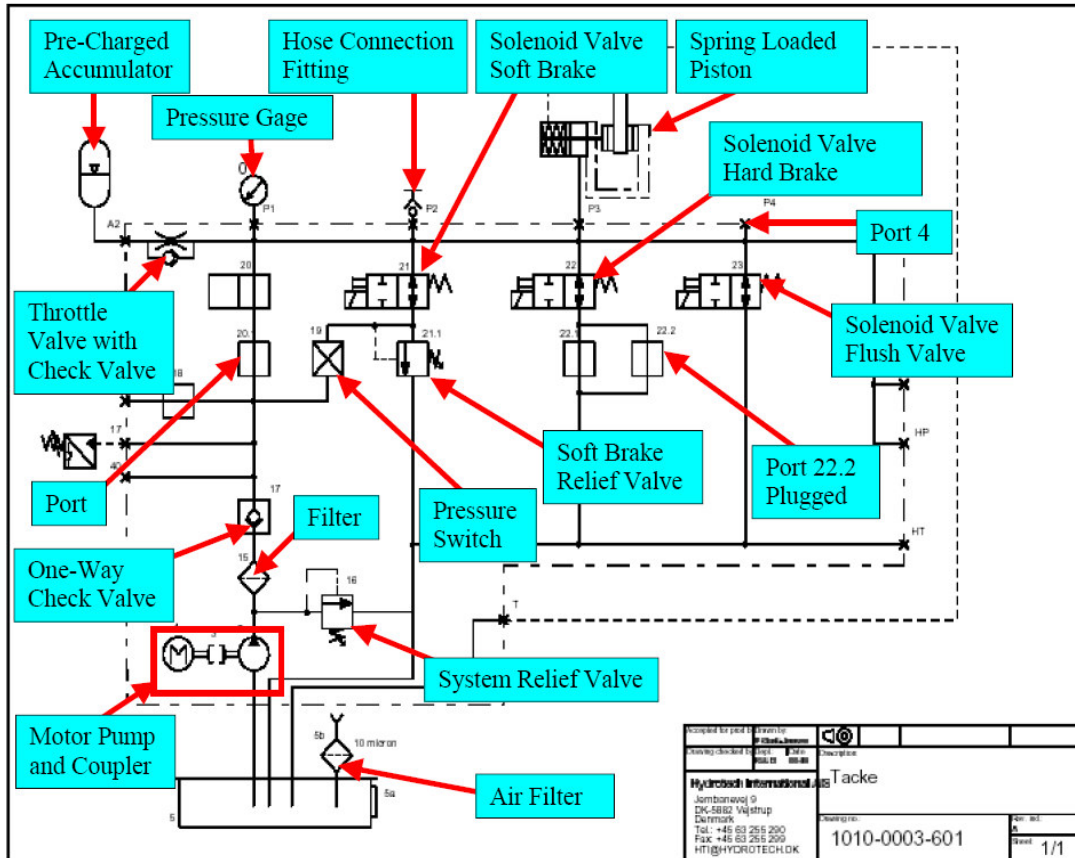


圖 4.18 油壓驅動碟式輔助煞車系統架構圖

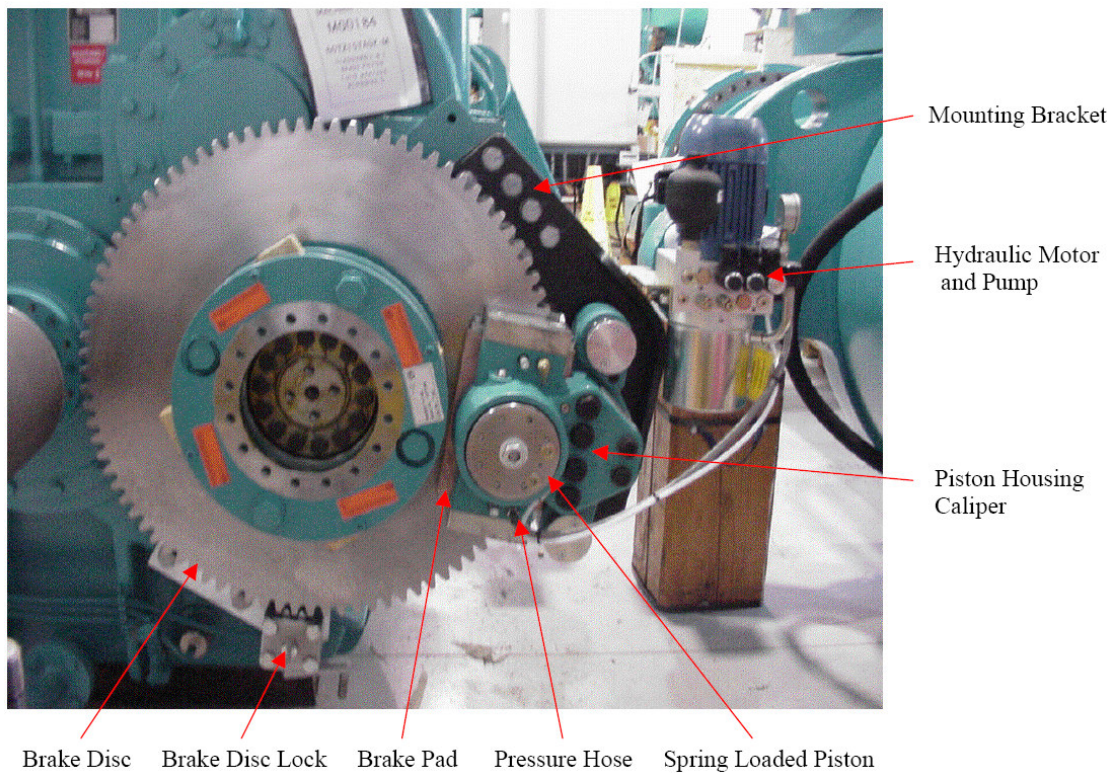


圖 4.19 油壓驅動碟式輔助煞車系統實體圖





圖 4.20 拆下液壓油之濾網檢查是否阻塞



圖 4.21 拆下來令片之前須先取出厚度偵測開關



圖 4.22 以厚薄規量測來令片間隙

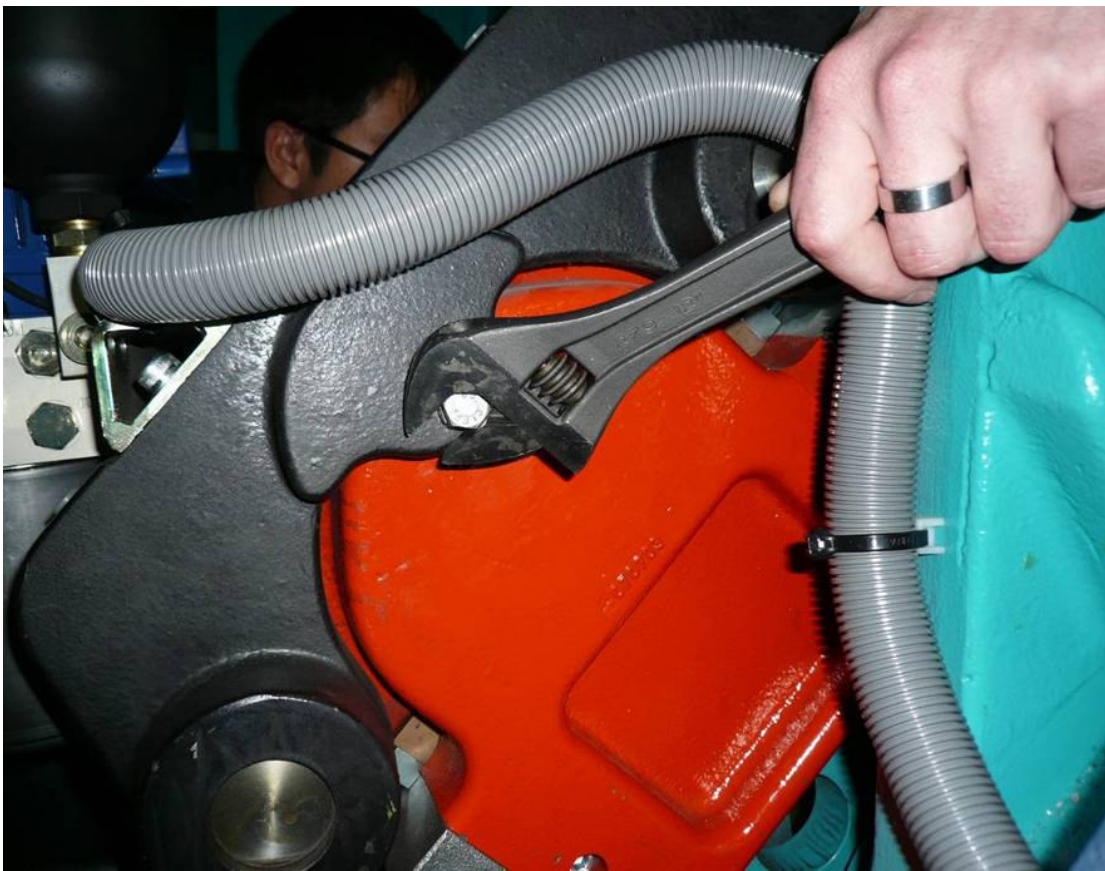


圖 4.23 以活動板手調整來令片間隙

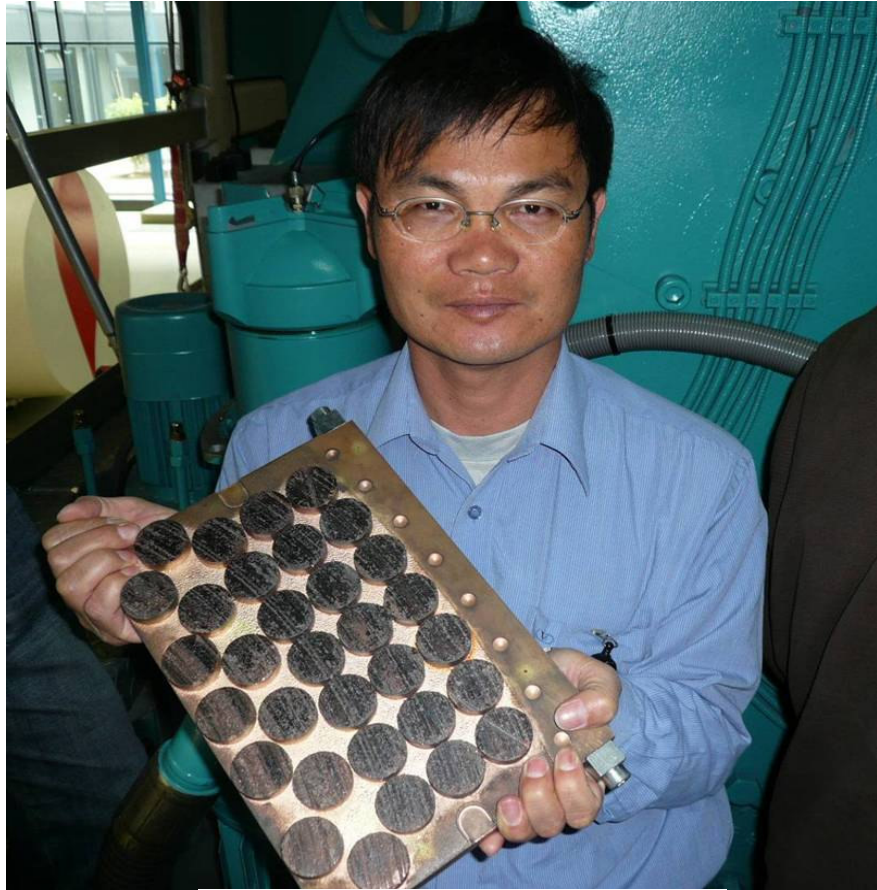


圖 4.24 取出來令片檢查磨損情形

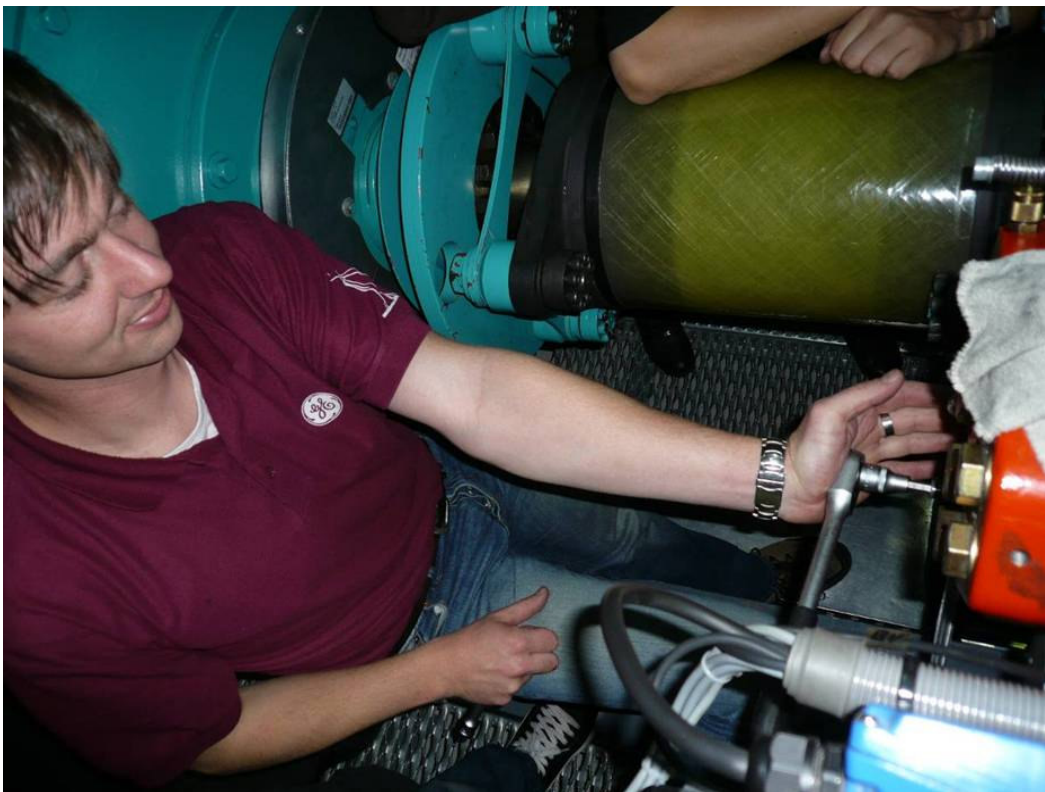


圖 4.25 復裝來令片時背部以發電機支撐較省力

## (五) GE 1.5se Converter IGBT 維護檢修程序

絕緣閘雙載子電晶體(IGBT)是 Converter 用來進行電力與頻率轉換的電力電子元件，GE 1.5se 之 Converter 分為轉子側 Converter 與定子側 Converter，轉子側 Converter 每一相包含 1 組 IGBT，其額定電流為 400A；定子側 Converter 每一相包含 2 組 IGBT，其額定電流為 800A，GE 1.5se CONVERTER 系統架構如圖 4.26，圖 4.27 為 IGBT 模組之實體圖。IGBT 是 Converter 內最重要的組件，特別針對其維護檢修程序作簡要的說明。

(一) 檢測前，必須先執行以下安全預防程序，以確認所有連接到 Converter 電源已 OFF、電容器已放電完成。

1. 確認所有連至設備之電源皆已切斷，且已 Lock 並掛牌。
2. 打開任何 enclosure 之門以前，必須等待至少 20 分鐘，確保 DC Link 電容器已放電至 50V 以下。
3. 使用 5/8 in (17mm) wrench 打開濾波器 I/O enclosure 之門。
4. 在濾波器 I/O enclosure 內，藉由量測充電控制裝置之 DC Fuses (CCFU1-2 & CCFU3-2) 輸出端，以測試 DC Link 電壓。並需連續監測至低於 TBD 電壓。
5. 使用 5/8 in (17mm) wrench 打開 Converter enclosure。
6. 將 DC Link 正、負端 Bus 短路，另一端確實接地。

(二) IGBT 各相模組檢測

1. 確認所有接線及硬體皆已接妥且鎖緊，問題仍存在。
2. 依據 IGBT 模組更換程序將防水塑膠布鋪於欲拆下之 IGBT 模組下方(圖 4.28)。
3. 將 IGBT 模組之冷卻水軟管先以止水夾鎖緊後再切斷冷卻水軟管(圖 4.29)。
4. 注意藍管不要受損及鬆動，將 IGBT 模組移出機架(圖 4.30)，置於安全地方便於測試。
5. 參考 IGBT 模組上之連接器接腳標示(圖 4.27) 量測下列數值以確定 IGBT 模組是否損壞(圖 4.31)：

(1) 1K +/- 20  $\Omega$  (Line converter 之 IGBT 模組)；500 +/- 10  $\Omega$  (Rotor converter 之 IGBT 模組端模組)

- P1 - 3 to P1 - 4
- P1 - 5 to P1 - 6

- P2 - 3 to P2 - 4

- P2 - 5 to P2 -6

(2) 334 +/- 7  $\Omega$  :

- P5 - 1 to P5 - 3

- P6 - 1 to P6 - 3

(3) 4.7K  $\Omega$ (RTD) (50°F = 9K,104°F = 2.9K):

- P1 - 7 to P1 - 8

(4)使用 DVM (20M $\Omega$  Scale)量測各點：

■ 單一二極體單向導通、逆向 OPEN

- Phase A + to Phase A AC

- Phase A - to Phase A AC

- Phase B + to Phase B AC

■ 單向導通、逆向 OPEN

- Phase A + to P5-1

- Phase B + to P5-1

- Phase C + to P5-1

■ 雙二極體單向導通、逆向 OPEN

- Phase A AC to P6-1

- Phase B AC to P6-1

- Phase C AC to P6-1

6. 如果以上測試有任何不正常，則依據 IGBT 模組更換程序將 IGBT 模組換新；  
如果所有測試正常，表示該 IGBT 模組未損壞，依據 IGBT 模組更換程序將 IGBT 模組回裝。

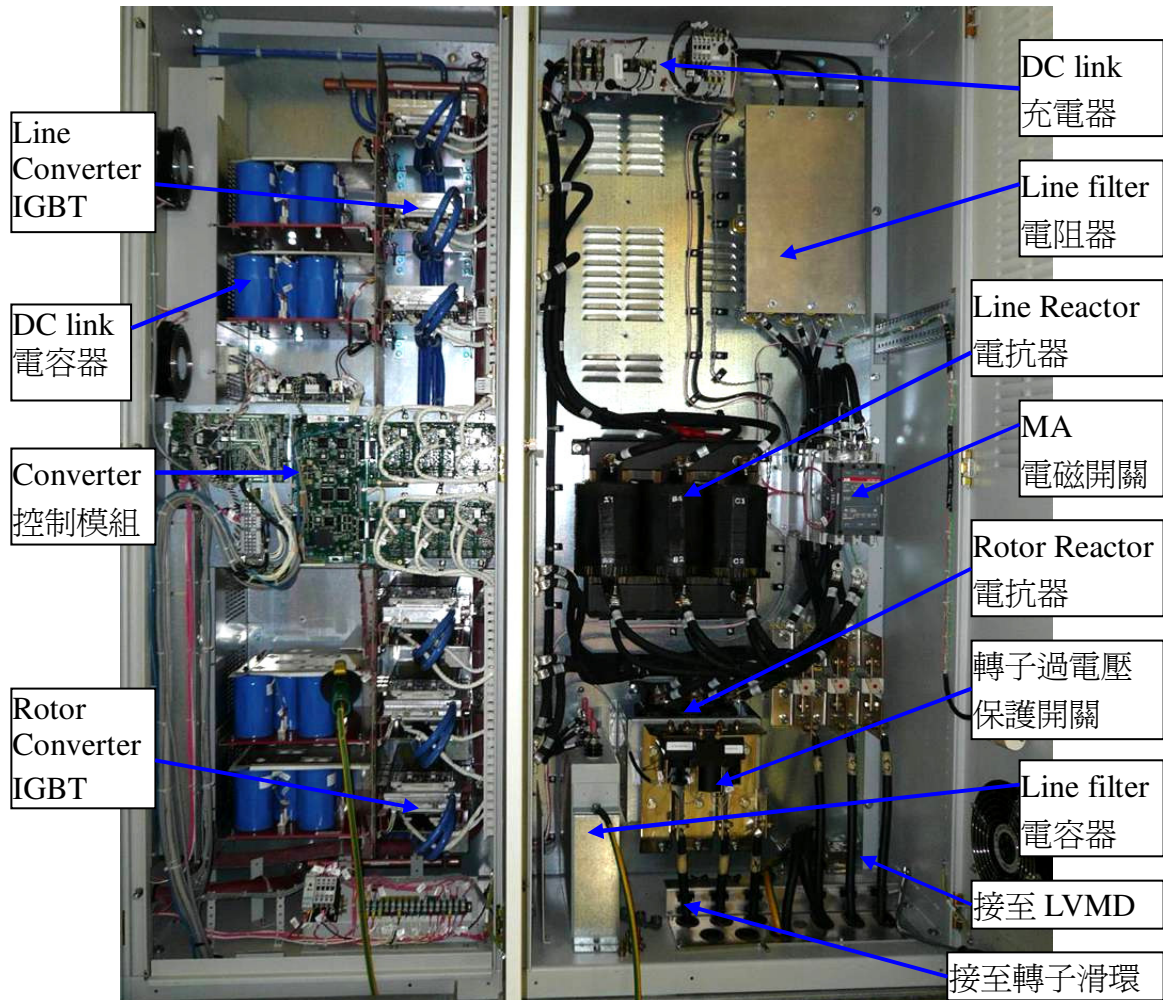


圖 4.26 GE 1.5se CONVERTER 系統架構

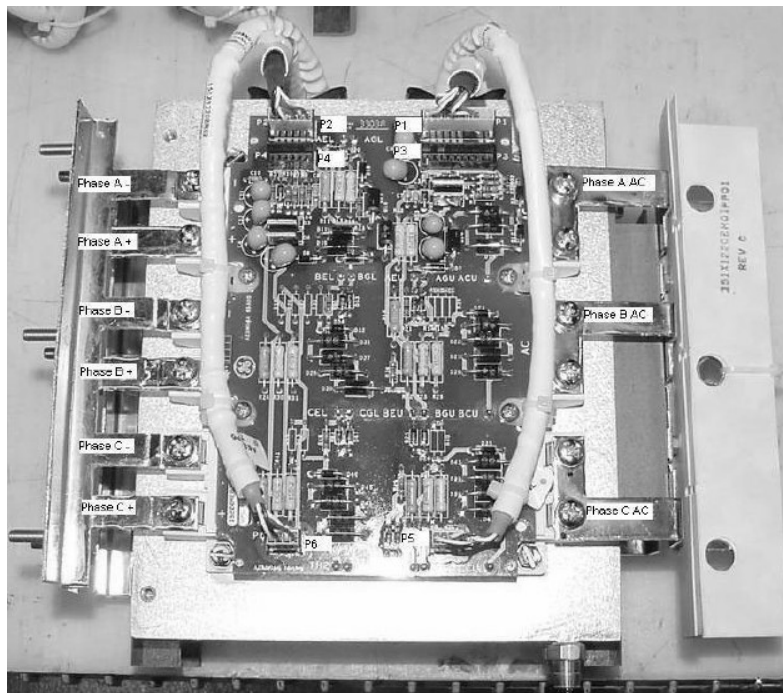


圖 4.27 IGBT 模組及各組連接器



圖 4.28 將防水塑膠布鋪於欲拆下之 IGBT 模組下方



圖 4.29 先以止水夾鎖緊後再切斷冷卻水軟管

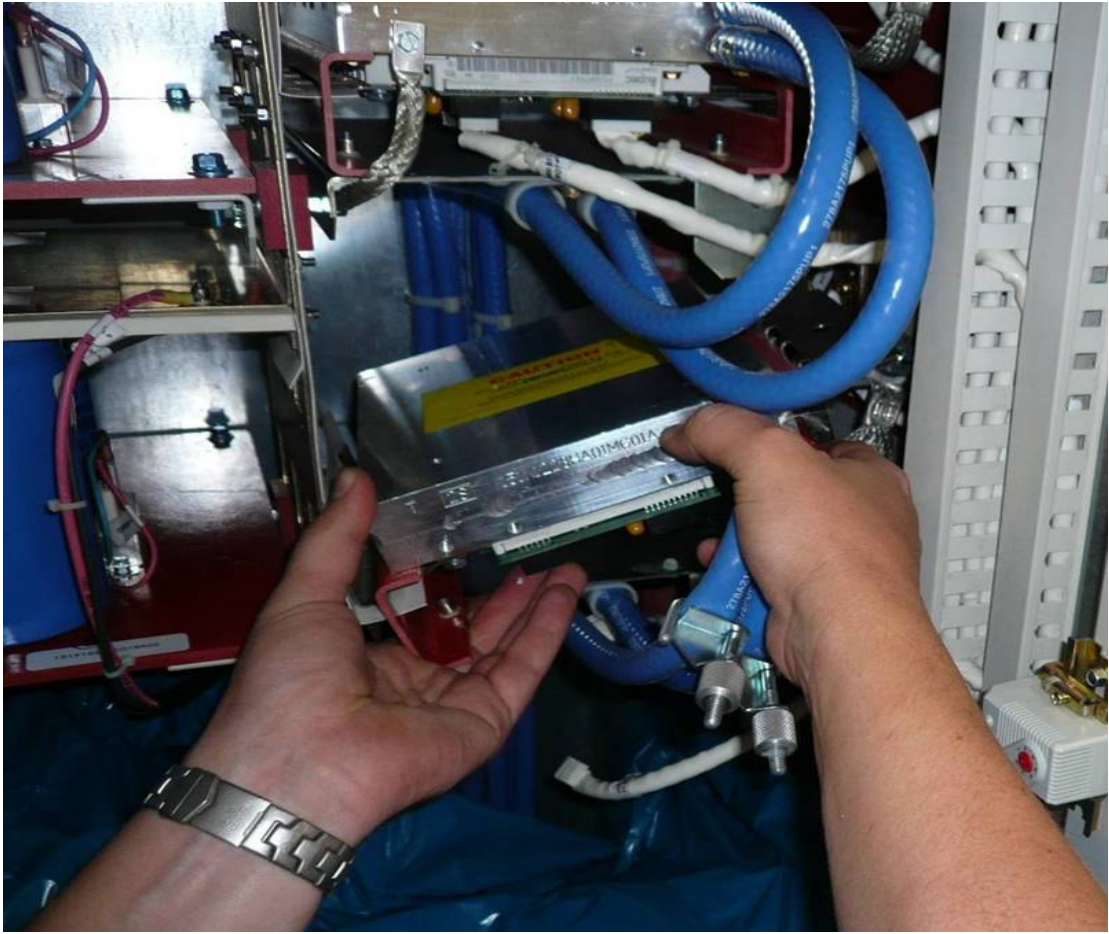


圖 4.30 切斷冷卻水軟管後將 IGBT 模組取出

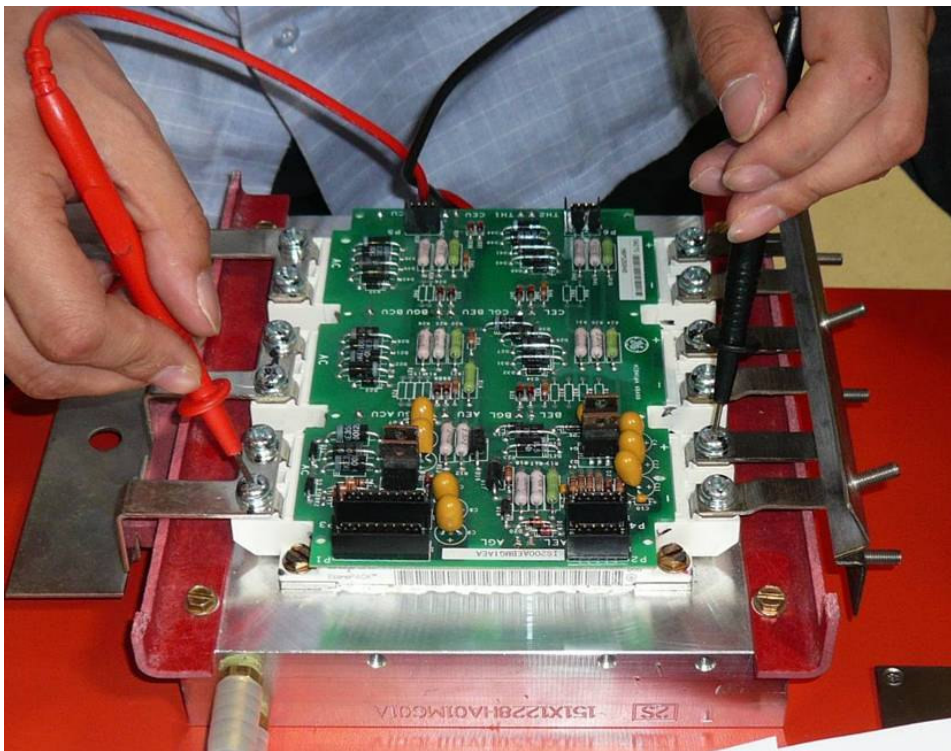


圖 4.31 量測 IGBT 模組是否正常



## (六) HUB 通風改善

在德國 Salzbergen GE 公司訓練中心附近約 2 公里有一座 GE 風力發電機之組裝工廠，特地商請訓練中心之主管安排本人到該組裝工廠參觀。該組裝工廠目前之最大生產量約每日 3 部 1.5MW 或 2.5MW 風力發電機，因全球風機市場仍供不應求，該組裝工廠計畫於 2008 年底前將廠房面積擴充一倍，並專門生產新型之 2.5MW 風力發電機。

到該組裝工廠參觀時，可以發現新型之 1.5MW 或 2.5MW 風力發電機之 HUB 部分跟舊型之風力發電機有很大的差異。經洽詢 GE 公司人員得知，因舊型風力發電機之 Pitch System 故障頻繁，幾乎占了客戶抱怨總數之 60%（另外客戶抱怨第二位是 Converter 部分約占 20%），故 GE 公司新型之 1.5MW 或 2.5MW 風力發電機針對 Pitch System 及 Converter 部分進行大幅度之改變。

GE 公司新型之 1.5MW 或 2.5MW 風力發電機採用 GE 本身開發之 Pitch System，採用最佳化設計，其信號接線端子座大幅減少並以快速接頭取代，葉片驅動電池因採用高效能蓄電池及驅動器，蓄電池數量由 6 顆減少為 2 顆，舊型風力發電機之 Pitch System 使用之 pitch controller 及 PLC 模組以一組 Motion Controller 模組取代。

圖 4.32 為德國 Salzbergen 之風力發電機組裝工廠，圖 4.33 為舊型風力發電機之 HUB 入口門板，新型之 1.5MW 或 2.5MW 風力發電機其 HUB 入口門板有一通風軟管如圖 4.34，新型 HUB 外罩之通風口有一圓形之不銹鋼網如圖 4.35，其內部有一圓錐形不銹鋼套管可防止雨水進入 HUB。



圖 4.32 德國 Salzbergen 之風力發電機組裝工廠



圖 4.33 舊型 HUB 入口門板



圖 4.34 新型 HUB 入口門板之通風口



圖 4.35 新型 HUB 外罩之通風口

### (七) 遠端遙控與故障排除

各廠牌風機搭配其專有軟體，可達到遠端監測及遙控功能，GE 風機是使用 VisuPro Remote。透過該軟體可以監視全球各地 GE 風機之相關運轉資訊，亦可遙控風機起動、停機等。在德國 Salzburg 之全球顧客服務中心（圖 4.36~37） 24 小時有值班人員監控各地機組運轉情形，夜間風機無法自動啟動時可執行遠端復歸，可以提高機組可用率。第一線 Level 1 服務工程師負責接聽 Hot Line，處理一般問題。如仍無法處理，則將問題轉給 Level 2 工程師，若依然無法處理時，則由 Level 3 工程師到現場協助處理。各國當地之現場服務工程師亦會配合原廠服務中心之要求，提供相關服務或資料。VisuPro 亦可從風機現場伺服器 Down Load 相關檔案，顯示 Trend 等，以供問題診斷分析用。

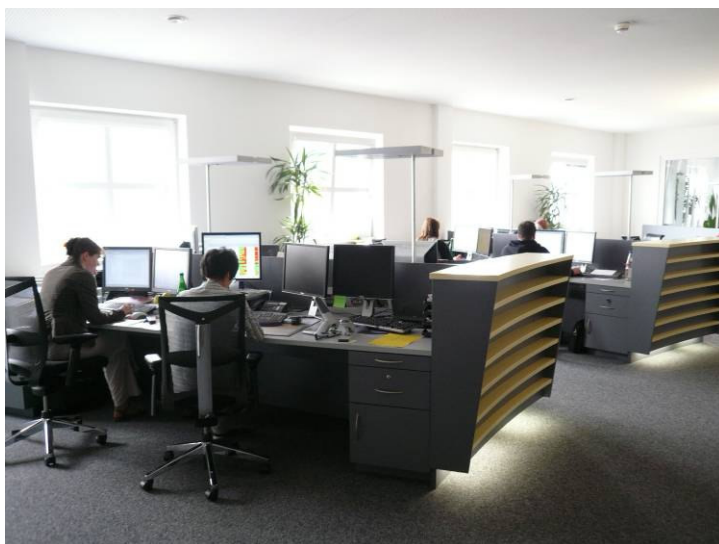


圖 4.36 GE 德國 Salzburg 之全球顧客服務中心

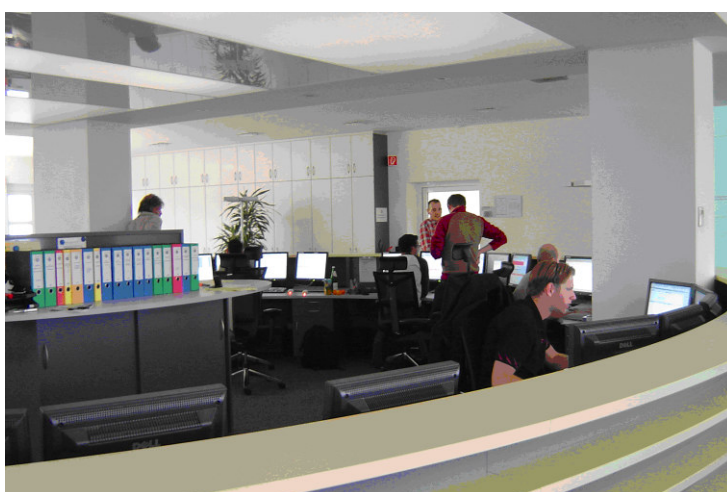


圖 4.37 GE 德國 Salzburg 之全球顧客服務中心

## 參、實習之感想與建議

一、在德國實習同期其他 13 位學員均為 GE 各國之服務工程師，他們每人均配備一部專用之筆記型電腦，於現場查修發現無法克服之問題，可以直接寫 Email 給後援的專家群或向其他國家之 GE 服務工程師請教，其風機專家群有分為 PLC 控制系統、Pitch Control 系統、Converter 系統、發電機系統、變速齒輪箱系統等子群組，每一子群組各有 3~4 位專家負責解答全球 GE 服務工程師疑難雜症的問題，遇到配件故障需更換時，也可以直接寫 Email 給後勤的人員下訂單備料或購料，所以維修的時效性比我們快很多。根據我私底下觀察，其各國之服務工程師對 1.5MW 風機向專家群提出之維修問題以及特殊事故處理案例即超過 2000 筆資料，可見 GE 1.5MW 風機尚有許多問題需要本廠逐一克服。

建議：GE 建構網路化的專家群值得本公司效法，在公司資訊系統內設置專家群網站，例如：發電處可設置發電機、開關設備、電力變壓器、DCS 分散式控制系統、PLC 控制系統、高低壓馬達、自動電壓調整器（AVR）、風力發電機、風力機控制系統等專家群，各專家群延聘 3~5 位專家，負責專業技術資料匯集整理以及解答有關之技術問題，各水火力電廠之事故案例與提案改善報告均可建構於專家群網站上供他廠參考，對於新進人員之訓練亦有極大助益。

二、依據一同受訓之美國及中國 GE 風能公司人員透露，2008 年美國僅 GE 公司就會新設超過 3000 部之 1.5MW 風機，中國大陸 2008 年之裝機容量也將超越 2007 年 3449MW 之裝機容量，可見未來數年內全球風機市場仍將維持 20~30% 之高度成長，專家預估 2010 年之前全球風機仍呈現嚴重缺貨，各風機製造廠全面擴充產能，預計 2011 年風機缺貨問題將獲得紓解，加上離岸風機市場大幅成長，預估 2012 年全球風機累計裝置容量將超過 240GW。參考中國大陸河北省尚義風場 23 部 GE1.5MW 風機其建置時間約與觀園風力發電站相同，於 2 年保固期滿後由 GE 公司承包定期維護與平時維修，其 O & M 合約包含可用率需達成 95%，平均每一部風機一年約 10 萬人民幣（台灣人工成本較高約需新台幣 80~120 萬元）。

GE 全球即有超過 1000 位工程師及維修技術人員，集體解決風機遭遇之相關問題，目前本公司由修護處及電廠維修尚需克服許多原廠不願公開之技術障礙，本廠電氣三課目前含課長僅 8 員，分派 4 員專門處理 23 部風機維修，其餘 4 員須負責全廠

161/345KV 開關場及六部複循環機組變電設備，設備數量超過台中電廠，人員不足將會影響開關場及變電設備之維護。較重大之故障委託修護處處理，修護處本身資深人員限於體力往往不願爬上風機進行檢修，其新進人員也還需多歷練才能有實質幫助，所以重大之故障往往需由原廠技師協助或另行發包給包商檢修，由修護處及電廠負責平時維修之成本會高於給風機原廠承包。

建議：風機由原廠承包定期維護與平時維修，但需包含達成 95%可用率，超過則給獎金，未達成則扣款。優點是原廠為達成 95%可用率，維修替換備品供應迅速，不會停機待料過久，技術問題 GE 有全球超過 1000 位工程師及專家共同協助解決，一些風機需配合本島環境進行改善的項目，也可以在原廠技師協助下逐一克服，使風機維持正常運轉，且維護成本較低，對本公司之營運績效與形象均有極大助益。