

出國報告（出國類別：實習）

「蘆竹風力發電機組新建工程」 E-44 風力機組維修原廠實習

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：王秋賢 三分隊課長

派赴國家：德國

出國期間：103年04月05日至103年05月19日

報告日期：103年07月

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：E-44 風力機組維修原廠實習

頁數_____ 含附件：是否

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

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

王秋賢 再生能源處 三分隊課長 TEL:(04)26580151 轉 4330

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：103/04/05 至 103/05/19

出國地區：德國

報告日期：103/07/

分類號/目

關鍵詞：風力發電、再生能源、Enercon、E-44、風機

內容摘要：（二百至三百字）

至 102 年底為止，本公司風力機組共有一百六十一部，本公司即將執行之「蘆竹風力發電機組新建工程」屬風力四期計畫，場址於桃園縣蘆竹鄉之海埔地內共設置八部風力發電機組，得標商是中興電工，計畫將採用德國 Enercon 公司之 E44 風機，屬無齒輪式同步發電機，共有 8 台風力發電機，故風力機組之維護保養已成為目前公司之重要課題且大部分風力機組皆於近海邊安裝，於維護方面有其困難度，且由於台灣處於高

溫高濕度環境，且近海多鹽害，潮濕、高溫、含鹽的沙，將導致設備腐蝕，如何做到防鹽、防溼、防高溫及防止電氣設備故障，故必須派員至原廠學習。且為因應將來保固期過後須辦理定期維修及故障檢修及排除等工作，特地安排派一員前往原廠，學習相關維護技術。本報告是針對ENERCON E44 風機做一般說明及論述，並盡可能安排圖片及圖面，然因原廠對於文件甚為保密，故須審慎使用圖面，以減少不必要的麻煩。本文件特別針對風機最重要之相關控制箱的工作原理做更進一步的介紹，對爾後的風力機組維修將是一大助力。最高明的維護技術：就是要達到確實做好定保後無需再做任何維護；中醫上講：「上工治未病」的道理，適合人體的養生，也很適合說明如何做好風機的維護保養工作。本文電子檔已傳至出國報告資訊網（<http://report.gsn.gov.tw>）

目次

一、目的.....	3
二、過程.....	4
三、心得.....	4
針對同步發電機與感應發電機作分析及比較.....	5
(一) E-44 風力發電機重要功能介紹.....	8
(1)機艙內之重要元件.....	6
a. 轉向控制 (yaw control)	7
b. 發電機整流控制箱.....	9
c. 發電機勵磁控制箱.....	11
d. 發電機濾電箱.....	13
e. 機艙控制箱 (Nacelle control cabinet)	14
f. 轉子煞車系統.....	15
g. 轉子固鎖系統 (Rotor lock)	15
(2) HUB 內之重要元件.....	16
a. 滑環 (Slip ring unit)	16
b. 葉片旋角控制機構 (Pitch control device)	17
c. 葉片旋角控制箱 (Pitch control box)	18
d. 電容箱 (Capacitor box)	19
e. 葉片電驛箱 (Blade relay box)	20
f. 旋角控制馬達 (Pitch control motor)	20
g. 葉片旋角編碼器 (Angle encoder)	21
h.機艙控制箱之控制盤 (nacelle control cabinet)	21
(3)E-44 之安全系統 (Safety system).....	24
a. 剎車系統 (Brake system)	24

b. 雷擊保護系統 (Lightning protection system)25
c. 感知器系統 (Sensor system)25
(二) 風機內重要控制箱盤功能特別介紹26
1. 電力箱 (Power cabinet)26
2. 不斷電系統 (UPS)29
四、感想32
五、建議事項34

一、目的

近年來石化燃料價格飆漲，且台灣本身缺乏自有資源，97%能源仰賴進口，亟需發展能源多元化，且為因應全球氣候暖化，抑制二氧化碳排放量，須努力開發零污染自產能源。風力發電及太陽光電不需燃料，能源來自大自然，可大幅降低對進口能源的依賴，且無廢氣、廢水及廢棄物排放之潔淨能源，非常符合國家的環保政策，因此，為確保能源安全、經濟發展及環境保護，台電公司除興建傳統式發電機組外，更積極配合政府開發再生能源政策，特別是設置風力發電。

本次出國係依「蘆竹風力發電機組新建工程」承攬契約第01820章試運轉及訓練規定辦理，選派人員赴原廠接受原廠設備技術訓練。目的在研習新建風力機組 Enercon E-44風力發電機組運轉、維護等相關技術，在試運轉之前能先行進行原廠各項風力機運轉維修技能之先期訓練，以期能對Enercon E-44風力發電機組能有更精闢及深入的瞭解，將對日後機組運轉維護提供關鍵技術的助益。

二、過程

103年04月05至04月06日由中正機場至德國法蘭克福再轉搭德鐵DB至Enercon 訓練中心，103年04月07日至05月16日期間由Enercon公司安排風機維護、運轉訓練、相關工作安全及救援及現

場維修技術實習，103年05月17至05月19日，由德國法蘭克福搭機返中正機場。

三、心得

風力發電是利用風能帶動發電機組產生電力的裝置，屬再生能源（綠色能源）之一，主要藉由空氣的氣動力作用(包括升力及阻力)，推動裝在主軸上空氣流動性能良好的葉片，當低速轉動的葉輪透過傳動系統由增速齒輪箱增速或直接連結發電機，將動力傳導給發電機發電，再將電能經變壓器升壓後併入系統。

依目前的技術，約每秒二~四公尺的風速（微風），便可以轉動葉片開始發電。而E-44風機性能優越約每秒二公尺便可起動運轉，但由於風向經常改變，為了有效地利用風能，須有自動迎風的功能，根據風向感測儀測得的風向信號，再由控制器來控制轉向(Yaw)馬達，驅動小齒輪去推動塔架上的大齒輪，使整個機艙藉由此自動控制的系統，能夠於短時間內修正風向使風機正確自動迎風。

傳統上最常應用在風力發電的發電機為感應發電機，因為感應發電機易於維護且速度可變動範圍大。但近年來由於整流與變頻技術日漸純熟且廣泛地被應用，此設備可將風機所輸出變動頻率及電壓之電力經變流器(converter)轉成系統固定頻率及電壓之電力，因此同步發電機已逐漸被應用到風力發電系統中使用(特別是離岸風機)，以下將對同步發電機與感應發電機兩種類型風機作分析及比較。

一、感應發電機之磁場是由定子電流以電磁感應（變壓器作用）到轉子磁場繞組所產生的。同步發電機之磁場是由轉子外加直流電源或永久磁鐵所供應。

二、同步發電機併入電網前需考慮電壓大小、相序、相角與頻率之併網條件；而感應發電機所要求的併網條件及設備要比同容量的同步發電機來得少，只需讓感應發電機之轉速稍微超過同步轉速即可併網，較為容易操作，因此，早期風力發電機多採用感應發電機。但隨著電力電子技術的精進，風力發電機採用先進的電力轉換器可更精準的控制發電效率，因此，具有彈性調整轉子轉速的雙饋型感應發電機已大幅度取代傳統感應發電機，但雙饋式感應發電機需使用齒輪箱以達到轉子增速的目的，相對地也增加風機重量和運維成本。

三、因此，目前大型離岸式發電機的發展趨勢已逐漸採用無齒輪箱之永磁

式同步發電機。而ENERCON公司所生產的E44或E70均使用外激式同步發電機，故障率低且運維成本相對變低，而V80使用液壓油及液壓驅動系統相對故障率略高，但由於葉片長度較長，故年發電量相對較高。

若採用增加磁極數P，則需將轉子外徑加大並多極化，這種設計省略了增速齒輪箱，所以風力機的穩定性及性能變得更為優越。但此類風力發電機之定子與轉子製造複雜度相對增加，且須採用大型電力電子整流電路及大型多極發電機，因此在製造成本上雖少了齒輪箱的費用，但成本似乎並未有太大優勢。

大部份同步發電機的轉子直接安裝於葉片主軸，當葉片轉動時直接驅動發電機轉子，由於不需增速齒輪箱，因此可大大改善感應式風力機因快速轉動，導致旋轉機件部份噪音過大及機件磨損導致重件故障的缺點。當風速超過滿載風速時，可利用葉片旋角控制系統，降低葉片受風角度及受力，以限制轉子速度及調整電力功率輸出，可避免造成風力機過載或轉子超速的情形發生，目前Enercon E44 採用同步直驅式發電機運轉相對穩定。

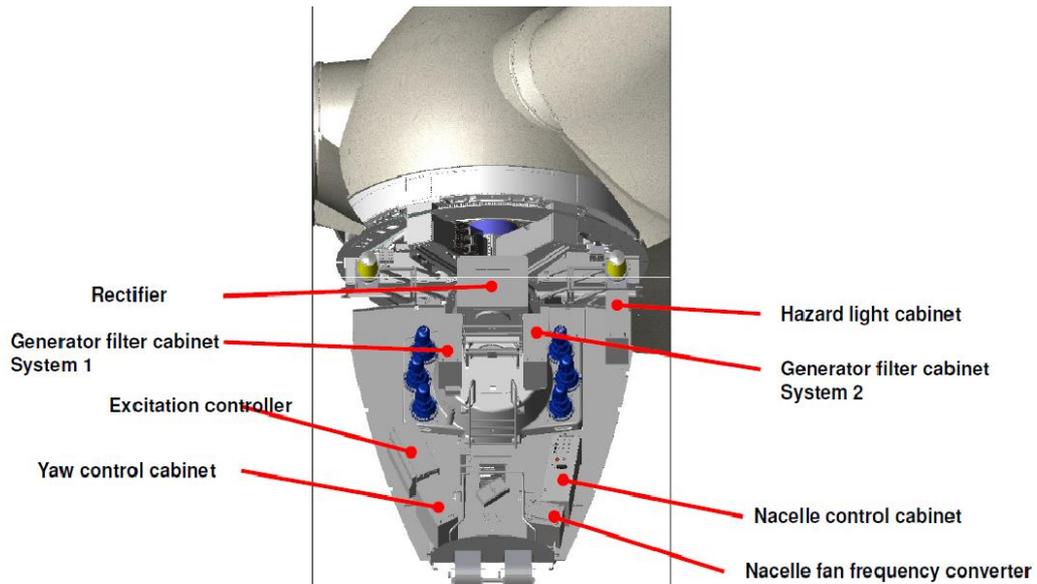
發展風力發電是世界潮流，也是台灣的國家政策，本公司業已積極投入風力發電開發工作多年，此次為因應「蘆竹風力發電機組新建工程」案裝機後之後續機組運維工作，須派員於試運轉前先行接受原廠各項風機維修技能之訓練，並針對ENERCON 44主要關鍵技術學習。

- (一)、有關E-44風力發電機之發電系統及重要主件及功能將在此做進一步介紹：Enercon E-44為無齒輪、3葉片型式的風力發電機，具有優越旋角控制功能和極佳的速度操控性能及雙重機械及電氣雙重保護，額定功率為900 kW，故有3只電力箱，設備應屬簡潔且轉子葉片迴轉面積的直徑為44m、輪轂中心離地面高度為45米，能夠非常有效地利用風能去轉動葉片，帶動主軸及發電機來產生電能。

(1) 機艙內之重要元件

機艙內有風機自動轉向控制系統、發電機整流控制箱、發電機勵磁控制箱、發電機輸出電力濾波箱、機艙控制箱、機艙排風扇變頻器箱、轉子煞車系統、轉子鎖固系統、航障燈控制箱及其他相關元件等。

以下針對上述較重要的元件加以描述：

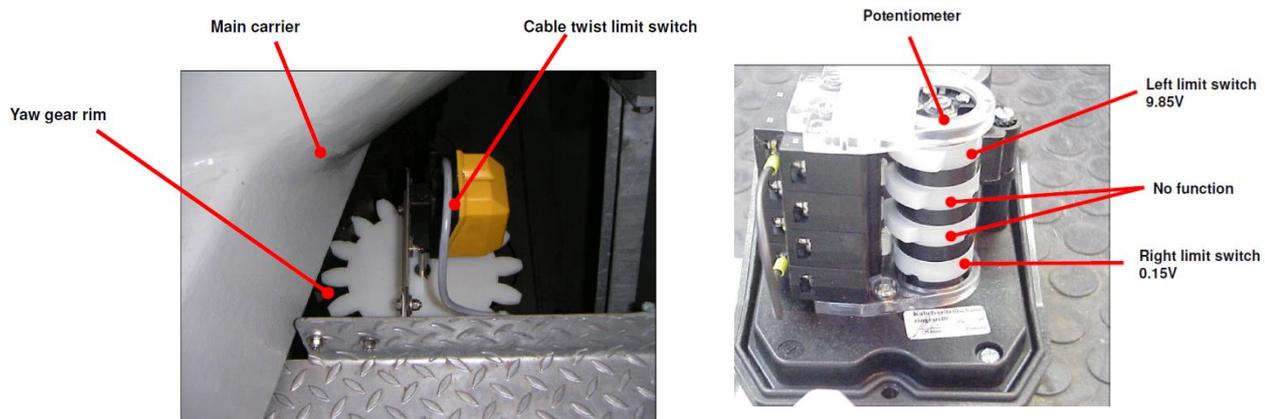


a. 轉向控制 (yaw control)

機艙內設有四個轉向馬達(E70有六個轉向馬達)，以減速齒輪箱驅動方式轉動機艙,配合風向計及控制器信號傳送，執行自動迎風轉向功能。當將轉向控制開關置於手動模式時，可轉動機艙做逆向/順向轉動，借由轉向機構轉動,以便驅動風力機組迎風轉向。當風機待機或運轉中，控制系統偵測到轉子軸向方位與風向差異超過其容許值，轉向機構將自動修正機艙方位，當風速超過1.8m/s以上時，轉向控制就會動作，風速太低時，轉向機構將暫時停止運作。當電纜過捲時，將觸動過捲極限開關使轉向控制系統停止運作。

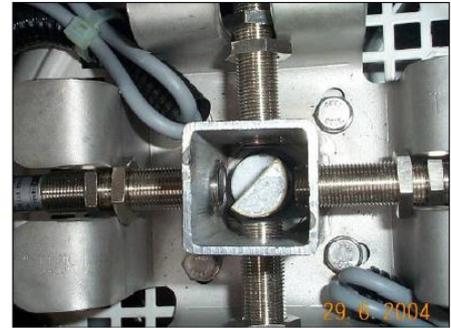
下圖為轉向控制盒，內含過捲極限開關、左極限開關、極限開關及相關凸輪機構。

Cable twist limit switch



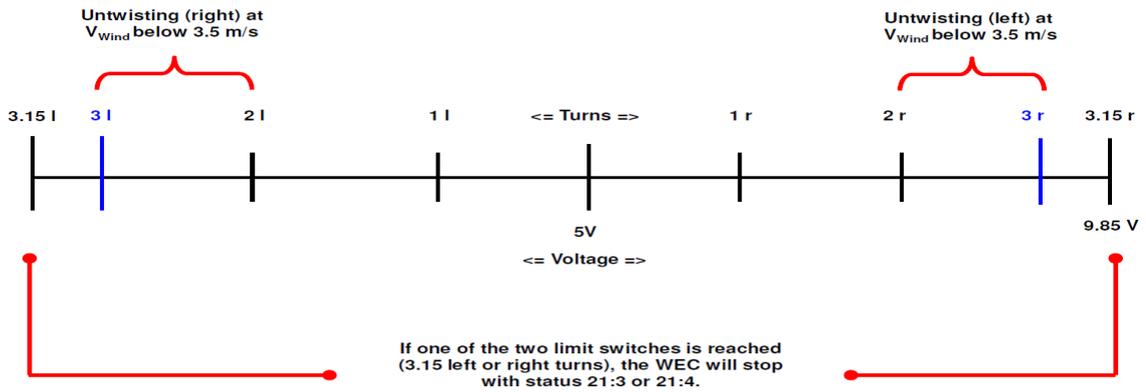
下圖為轉速轉向感測器，可偵測轉向設備的轉速和轉向

Yaw sensors

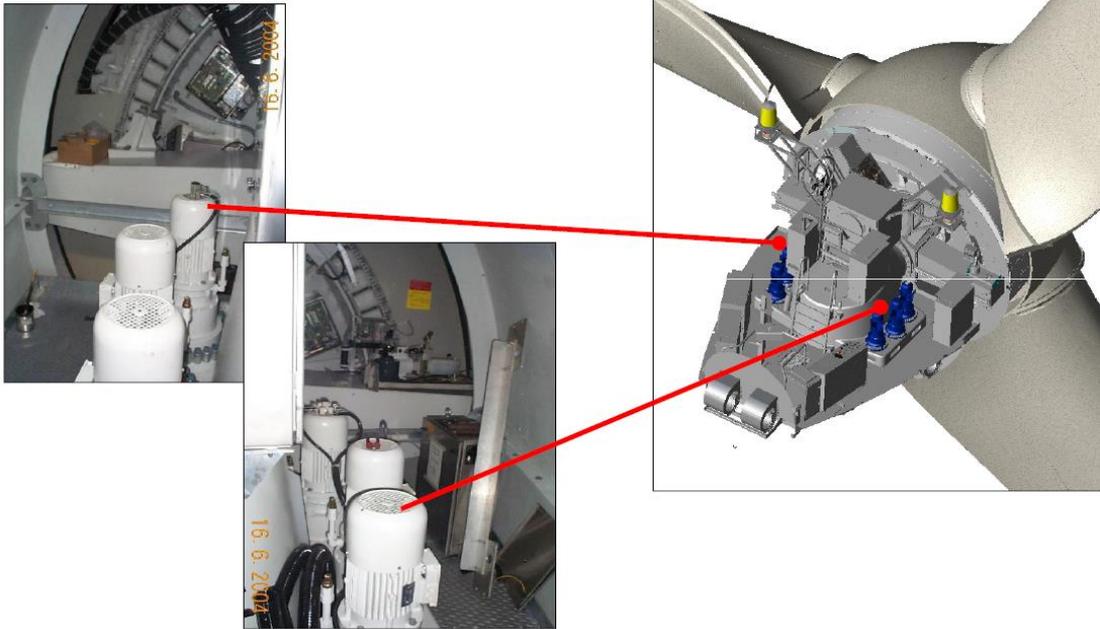


下圖為電纜過捲最大容許圈數說明

Potentiometer voltages



下圖為迎風系統馬達配置位置，E70有六個轉向馬達，正向旋轉馬達為第1、3、5馬達(第一群組)，逆向旋轉馬達為第2、4、6馬達(第二群組)，正向旋轉馬達與逆向旋轉馬達間有約0.5HZ 頻率差，以確保轉動機構在轉動時不會有扭動情形發生。



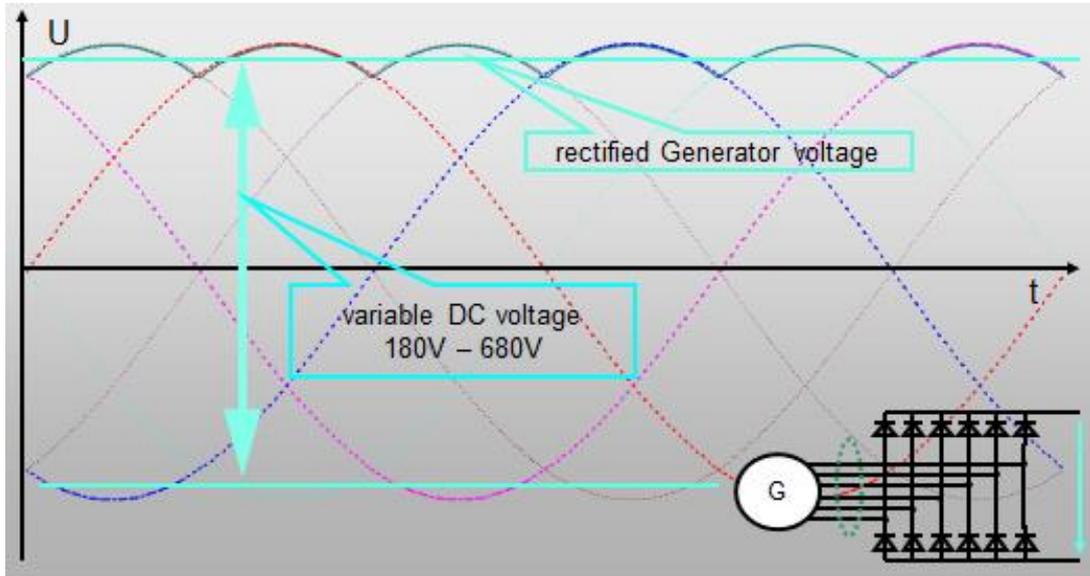
b. 發電機整流控制箱

發電機輸出隨風速大小產生變頻率、變電壓之三相電力，流經整流設備後轉換為直流電力，再將電力傳送至下塔架的電力盤的變頻設備（Inverters）再將電力轉換成為定頻定壓的電力後再併入系統供電。

下圖為整流箱之配置圖，箱盤內含整流二極體、控制電路板、保險絲、溫度開關、溫度感測器等



下圖為發電機輸出電力經整流箱整流後成最大680V(+340V，-340V),直流電力，變動範圍由直流180V~680V。

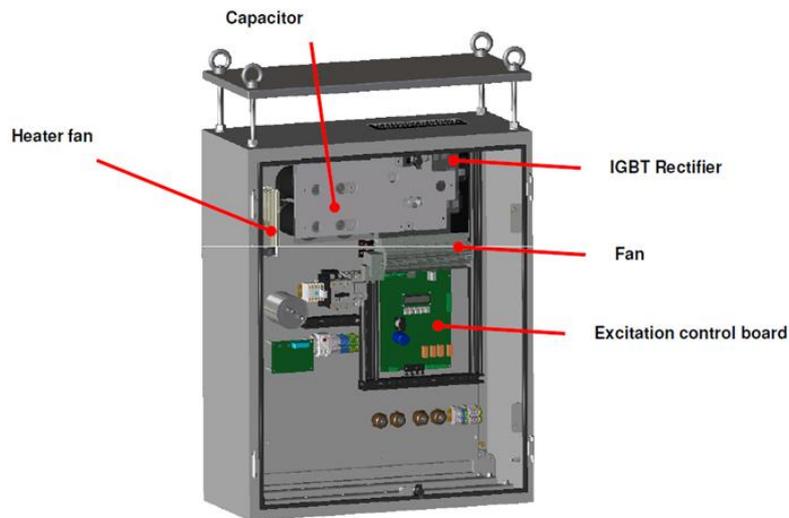


右圖為整流箱內的控制卡片，負責控制整流閘流體的觸發及相關元件間的匹配及訊號的傳送。維護人員也可於控制卡片上的EPROM視窗上查看相關故障訊息及參數設定。

c. 發電機勵磁控制箱

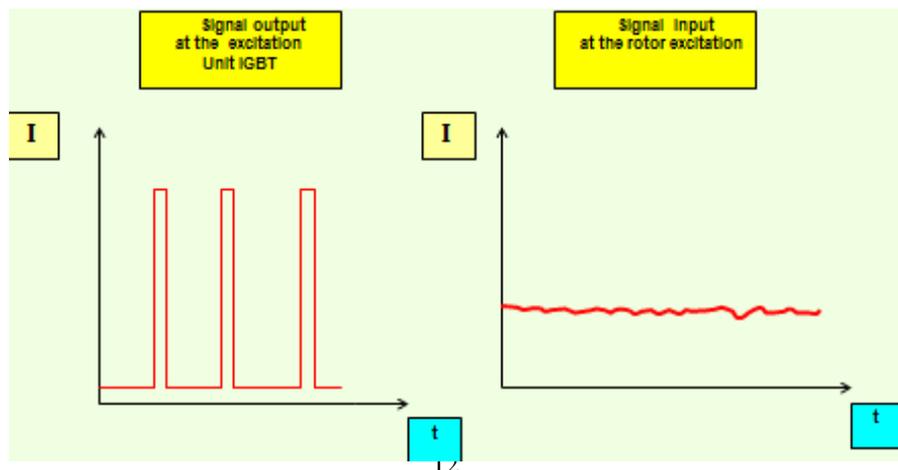
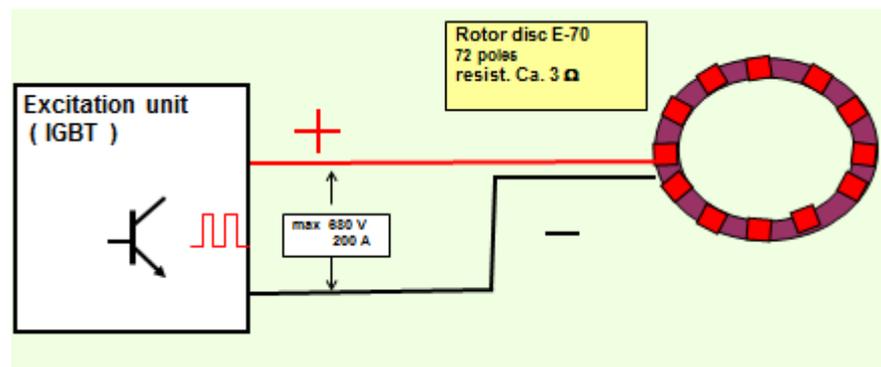
激磁機提供激磁電流，經由滑環送至發電機供轉子產生磁場。下圖為發電機勵磁控制箱的配置，內含激磁控制卡，卡片負責控制激磁電流的大小和激磁時機。IGBT整流器，負責當激磁電源由系統供應時將交流電源轉換為激磁用的直流電源、電容器，配合電阻器負責將直流電源整平及濾掉諧波等。

Layout excitation controller



發電機勵磁電源分二部分，當發電機已經處於待機中，但尚未發電時，此時的整流箱 (Rectifier) 設備均尚未動作，尚無直流電源可用來做為發電機勵磁電源用，故此時發電機勵磁用的電源只能使用市電來的系統電源，這部分供電亦可分二部分，第一部分為初充迴路，當電源由系統供電時經由一只電阻器限流，以防止 inrush current，第二部分為正常迴路，當經一段時間電流穩定後，由初充迴路跳至正常迴路供電。當風機發電機慢慢開始發電時，整流箱已經慢慢開始動作，此時整流設備已可以產生直流電源供風機做為發電機勵磁電源用，此時直接由風機整流設備 (Rectifier) 提供直流電源供發電機勵磁用的 IGBT 做切割後，可依控制系統所需要的電流量，調整勵磁電流供發電機勵磁發電用。

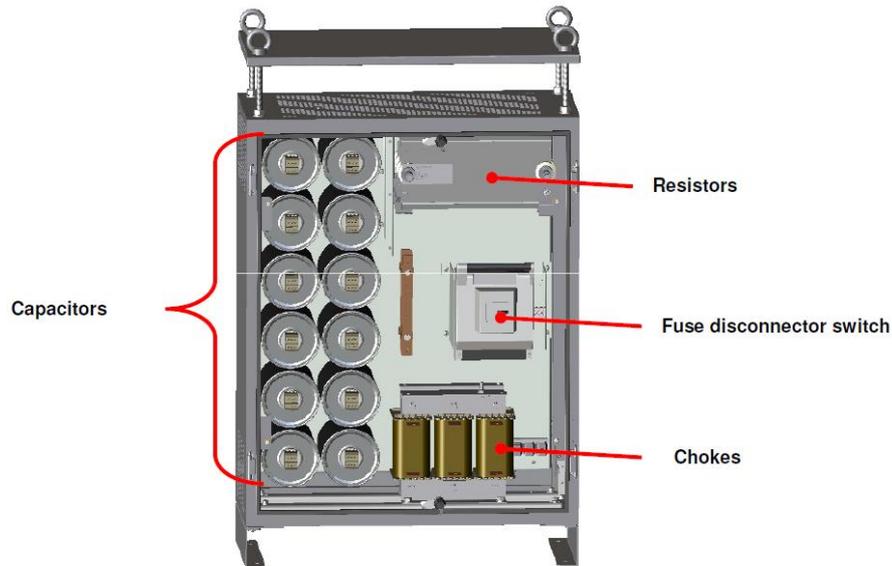
下圖為利用 IGBT 控制勵磁電流大小。



d. 發電機濾電箱

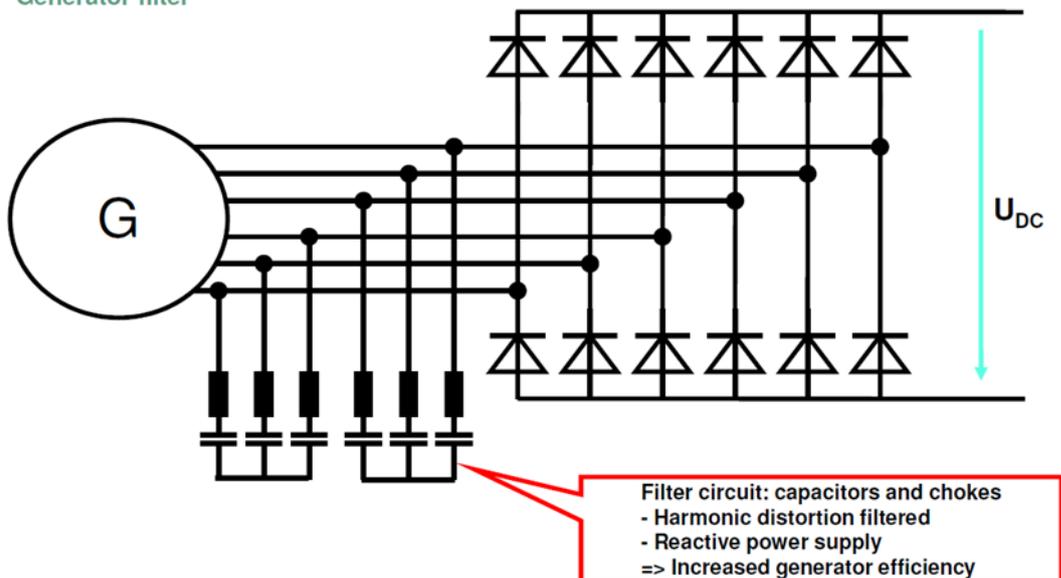
下圖為發電機濾電箱配置，內含電容、電阻、電感器迴路及保險絲等元件，負責將發電機電壓輸出做初步的濾波處理，可將諧波去除、增加發電機效率、及提供系統虛功率需求。

Generator filter cabinet system



下圖為發電機濾電箱電路圖，設備置放於整流箱及發電機輸出端間。

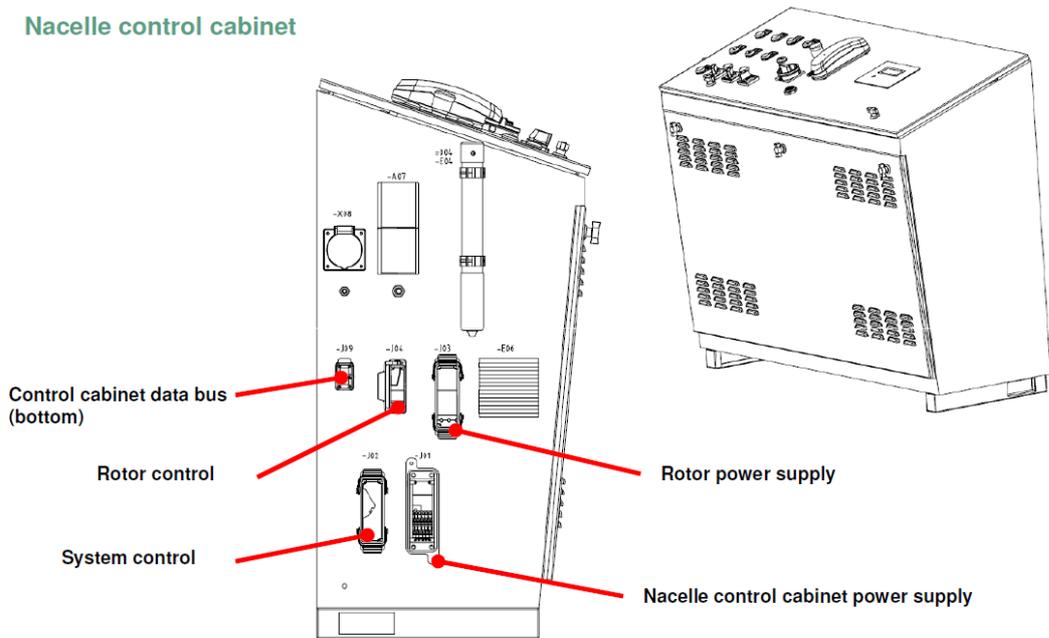
Generator filter



e. 機艙控制箱 (Nacelle control cabinet)

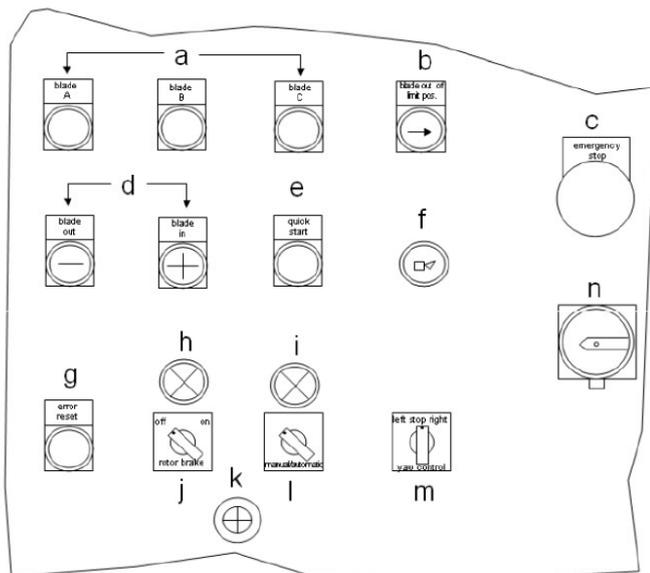
機艙控制箱位置設在機艙後方，靠近機艙吊車左方，
內有轉向機構控制系統，及其機艙與轉子頭 (rotor head)
之相關電源供應。

Nacelle control cabinet



Operating controls

- A: Blade selection button A / B / C
- B: "Blade out of limit switch" button
- C: EMERGENCY STOP button
- D: "Blade in / Blade out" button
- E: "Quick start" button
- F: "Call button"
- G: "Error Reset" button
- H: "Apply Brake" lamp
- I: "Manual on" lamp
- J: "Rotor brake off / on" switch
- K: Beeper for telephone
- L: Yaw switch "Manual / Automatic"
- M: Yaw switch "Right / Left"
- N: Main switch



f. 轉子煞車系統

在自動模式下，當風機由運轉狀態操作進入停機狀態時，轉子葉片將轉動葉片旋角至與風向平行的位置。在正常及安全的風機操作下，轉子煞車是不會被使用的。

當有緊急狀況發生時，人員使用手動緊急停機，此時風機會先驅使葉片旋角控制先使轉子煞車，直至轉子完全停止。轉子煞車，亦可經由機艙上控制盤的按鈕，用手動方式來操作，但須在非常特殊的情況下方可使用。

下圖為轉子剎車外觀



g. 轉子固鎖系統 (Rotor lock)

轉子固鎖是以機械插銷方式將轉子側固定，為了鎖住轉子，閉鎖插銷以嚙合方式由人工手動方式選擇適當孔洞，插入煞車盤上的其中一孔，而且當插銷接近孔洞時會觸發近接開關，使轉子煞車會自動被動作。

為了保護風力機組避免受損，風速應低於15米/秒以下、風力機組為停機狀態並且伴隨使用轉子煞車，才得以進行轉子閉鎖的工作；且於控制箱盤上會顯示轉子固鎖已動作的訊息。

下圖為轉子固鎖系統（Rotor lock）外觀，動作原理係利用液壓系統手動控制盤，手動擠壓插銷，將插銷推進凹槽並插入連結

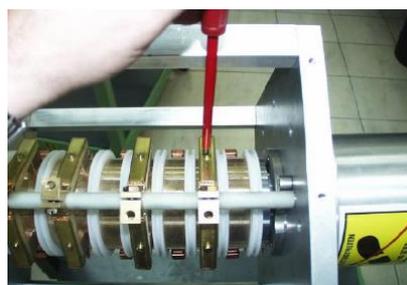


(2) HUB內之重要元件

風力機轉子頭部，內部含有發電機所有迴轉部位的元件。

a. 滑環（Slip ring unit）

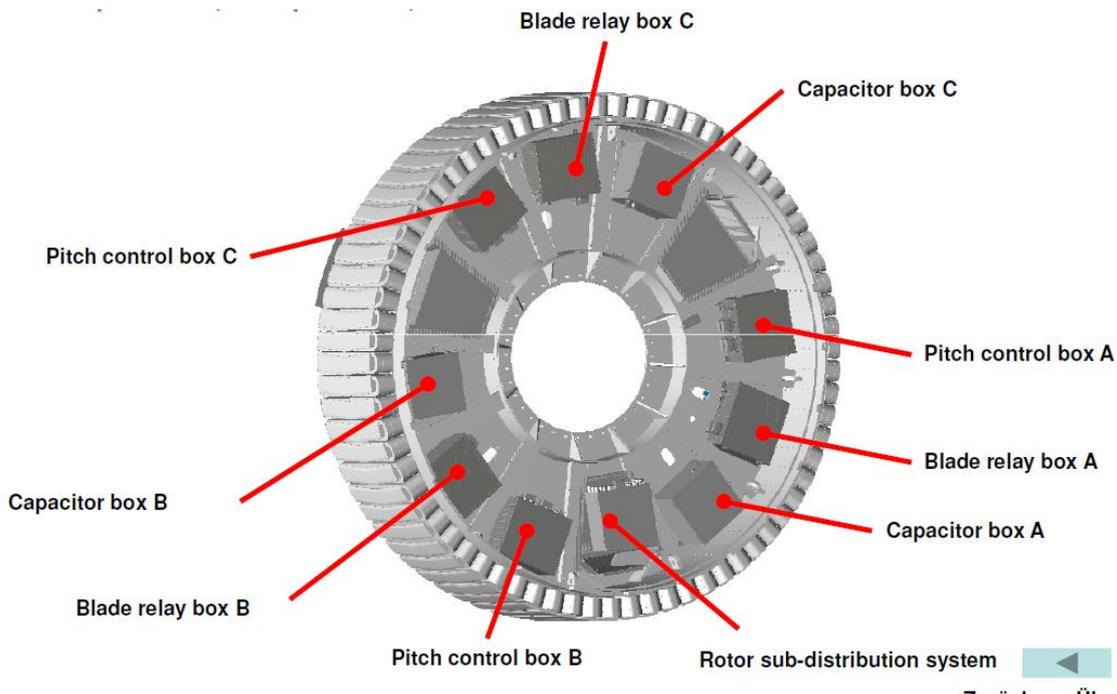
滑環裝設在風機主軸最前端，轉子頭部之所有控制線及電力線經由滑環通過空心主軸與風機之靜部連接。



b. 旋角控制機構 (Pitch control device)

旋角控制機構是用來調整葉片旋角角度，每一旋角控制馬達均由各自的繼電器、控制系統及其獨立的緊急電源所控制。每一個轉子葉片均配備有以下控制箱：

- 電池箱 (1 capacitor box)
- 旋角控制箱 (1 pitch control box)
- 葉片繼電器箱 (1 blade relay box)



上圖顯示這些控制箱裝置的位子是在發電機轉子上。轉子分電箱安裝在發電機旋轉部位，經由滑環將控制電源、電力電源及通訊信號分送出去及接收進來，並可與塔架內各型控制箱間互相傳送運轉訊息。

除上述元件外，葉片旋角控制系統尚包含：

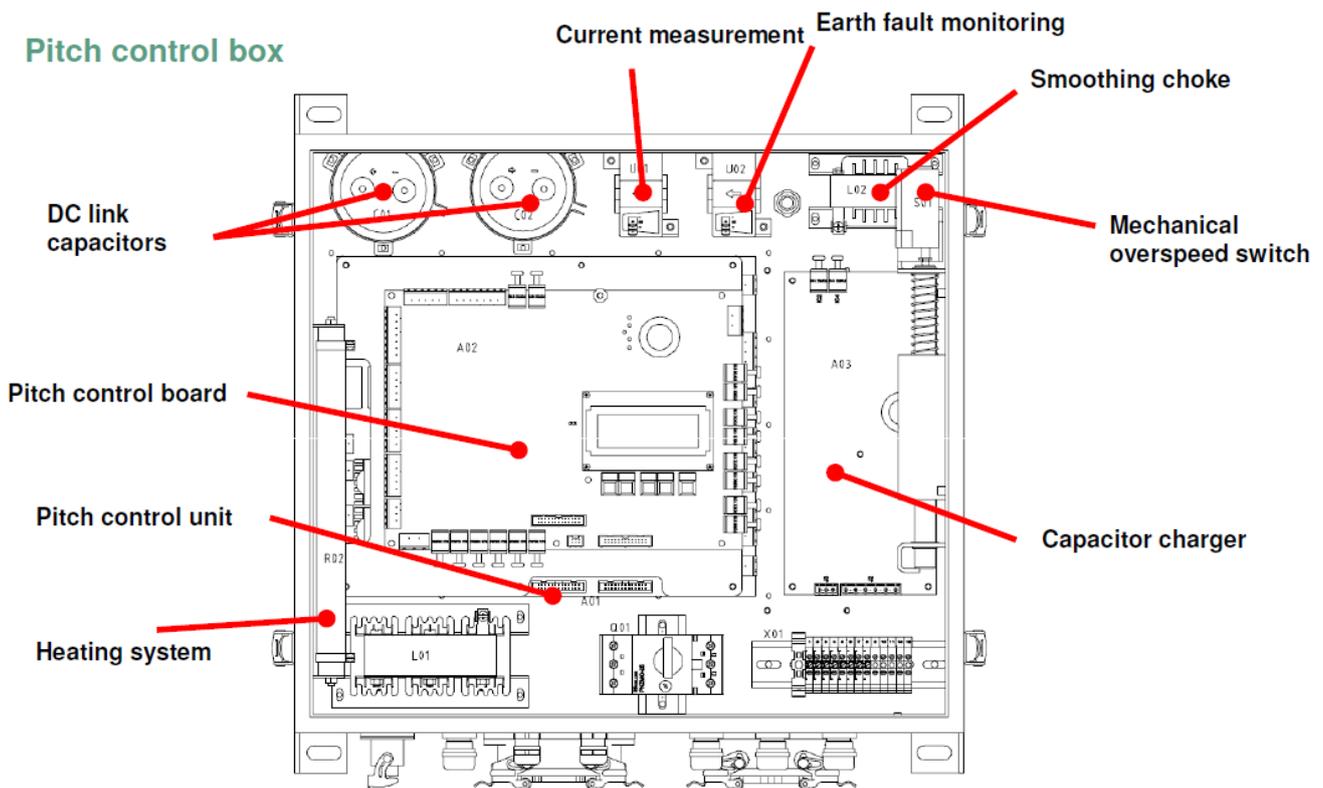
- 旋角控制馬達及其減速齒輪組
- 葉片法蘭軸承 (連接輪轂與葉片)
- 角度編碼器 (Angle encoder) 及限制開關組 (limit switches)

c. 旋角控制箱 (Pitch control box)

旋角控制系統如下：

- 處理旋翼角度及其旋轉機構有關的感知器信號
- 調節旋角控制
- 控制旋角馬達

葉片旋角控制系統，運轉中系統隨時監控個別電容的放電程度及電容的充電作業的檢查，過程中若有任何電容電壓不足，將隨時隨地管控。旋角控制箱內含有一個機械式過速開關(設定於28.2rpm)，一旦風機發生轉子過速時，控制系統將馬上將葉片電源改由緊急旋角單元提供(電力為電容箱所提供的直流電源)，而且必須等待機組之維修人員趕至現場，並將風機進入手動模式，將過速開關復歸後，風機才能允許再次起動，這是原廠針對風機轉子過速保護的安全措施，一定要人員看過才可以做復歸動作。





d. 電容箱（Capacitor box）

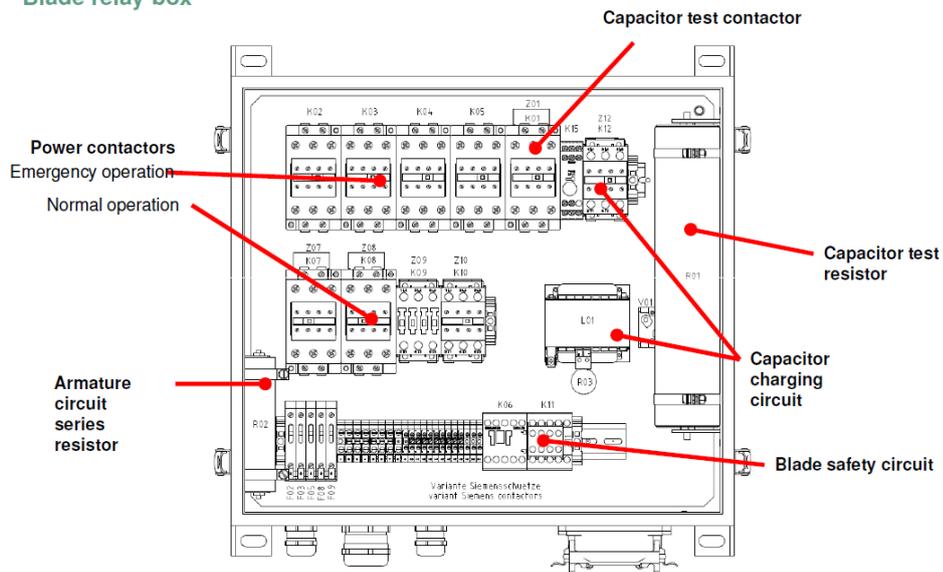
電容電池的電壓持續地被系統隨時監控，當有緊急狀況發生時，例如電源故障或其他故障，可隨時提供電容電池電力供系統來控制葉片安全地旋轉至離風位置。



e. 葉片電驛箱 (Blade relay box)

葉片電驛箱作為旋角控制箱與旋角控制馬達/電池箱間之電氣迴路控制，利用小型電磁接觸器或接點做電驛變換。為了確保三個葉片旋角控制裝置能夠同步操作，故旋角控制裝置與緊急旋角裝置的切換亦必需控制為同步操控，箱體內包含有電容電壓測試用的負載電阻，此負載電阻用於消耗電容功率，以達檢測電容健康度的目的。

Blade relay box



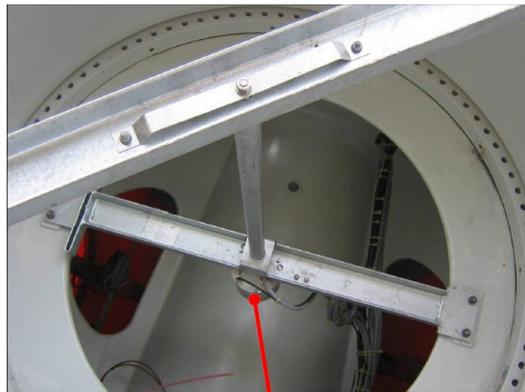
f. 旋角控制馬達 (Pitch control motor)

葉片與輪轂內的葉片轉接器 (the blade adapter) 穩固地連接在一起，每一支葉片由其各自的直流煞車馬達控制驅動，能同步或獨立地個別操控旋角。旋角控制馬達位於葉片根部旁，藉著齒輪組及其葉片軸承之外齒輪能精確地控制葉片旋轉。



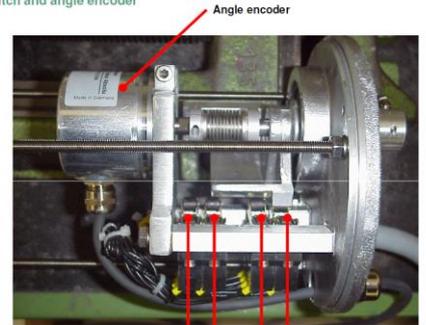
g. 葉片旋角編碼器 (Angle encoder)

葉片旋角度編碼器是裝設在輪轂的葉片轉接器中心位置，可精準測量各個葉片的角度。倘若任一葉片角度偏離設定值過大時，將傳送信號命令風機做緊急停機處理。葉片旋角度編碼器同時也包含數個極限開關(連同葉片旋角度編碼器整合做成一體)，以避免旋翼角度超出其葉片旋轉範圍，且可作為緊急停機停止用。



Compact limit switch

Compact limit switch and angle encoder

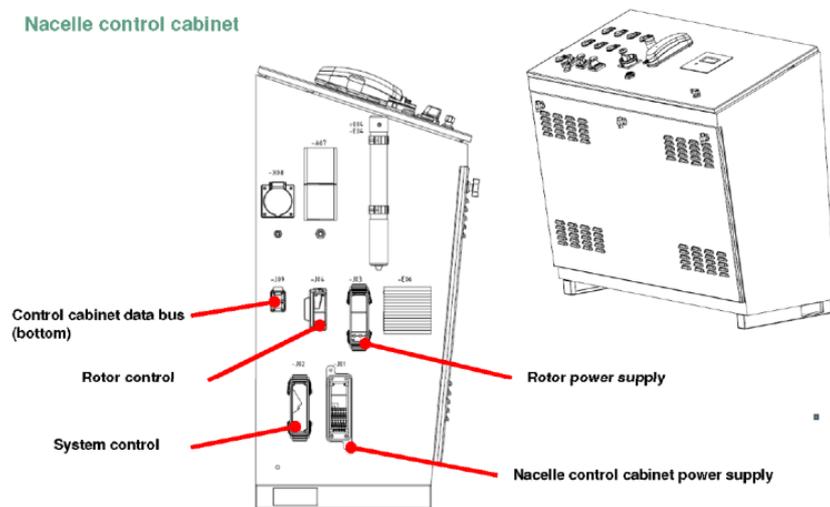


97° 95° 90° -2°
Compact limit switches

h. 機艙控制箱之控制盤 (nacelle control cabinet)

在機艙內設有機艙控制箱 (The nacelle control cabinet)，該控制箱可於面盤上做操控。下圖為機艙控制箱的相關操控按鈕，說明如下：

Nacelle control cabinet



Operating controls

- A: Blade selection button A / B / C
- B: "Blade out of limit switch" button
- C: EMERGENCY STOP button
- D: "Blade in / Blade out" button
- E: "Quick start" button
- F: "Call button"
- G: "Error Reset" button
- H: "Apply Brake" lamp
- I: "Manual on" lamp
- J: "Rotor brake off / on" switch
- K: Beeper for telephone
- L: Yaw switch "Manual / Automatic"
- M: Yaw switch "Right / Left"
- N: Main switch

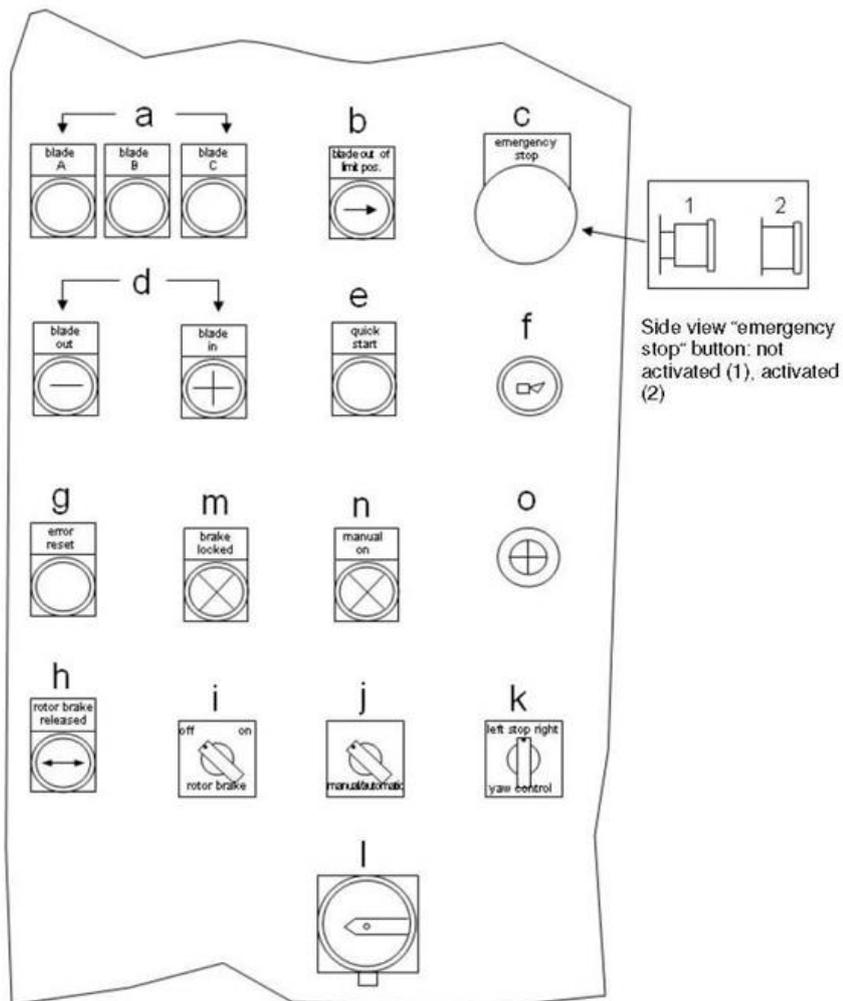
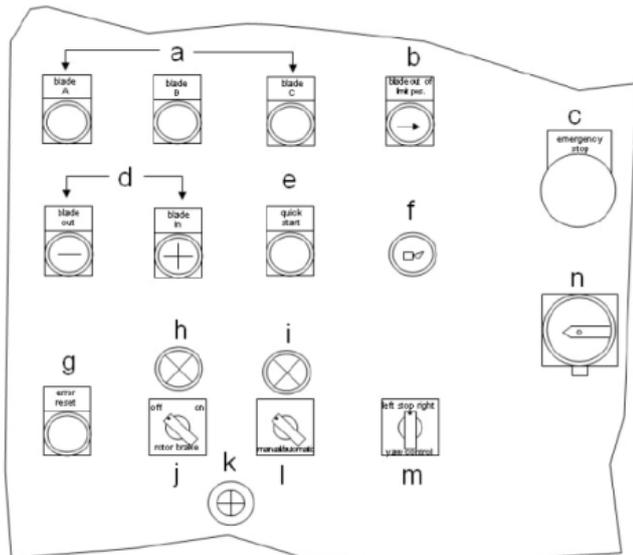


Figure 11: Control panel nacelle control cabinet

(a). 葉片 A, B, C 操控按鈕 (Blade A, blade B, blade C)

這些按鈕是維護人員作為葉片調整測試/保養之用，為了使用這些功能，轉子必須完全閉鎖，然後才可能使用葉片 A、葉片 B、葉片 C，連同葉片順向旋轉 (blade in) 及逆向旋轉 (blade out) 等控制鍵，用以各別調整各個葉片旋角。

(b). 葉片旋角極限位置操控按鈕 (Blade out of limit position)

倘若該極限開關位置被動作，應是葉片控制系統有發生故障，此時維修人員應徹底檢查旋角控制系相關元件。

(c). 緊急停機操控按鈕 (Emergency stop)

當按下緊急停機按鈕，經由緊急旋角單元快速動作緊急轉子煞車，該緊急停機按鈕也切斷轉向控制、旋角控制、激磁、機艙吊車與變頻設備之電源。

(d). 葉片順向旋角/逆向旋角操控按鈕 (Blade in, blade out)

在旋角手動控制下，按下 + 按鈕 (Blade in)，葉片順向旋轉。按下一按鈕，葉片逆向旋轉。

(e). 快速起動操控按鈕 (Quick start)

按下快速起動按鈕，可加速進入起動程序。如果未按下快速起動按鈕，風力機組起動前，會先連續量測風速三分鐘。當按下快速起動按鈕，量測風速動作會被抑制，風力機組在數秒後即完成起動。為能夠快速起動，風機應採用自動模式。

如控制箱上的起動/停止開關已設定在“起動”位置，倘若機艙內的快速起動也被按下，風力機仍將維持著起動操作程序；直至快速起動按鈕再被按下，才執行快速起動。

如控制箱上的起動/停止開關已設定在“停止”位置（這是有人在機艙內之一般情形），可以經由機艙的快速起動按鈕起動風力機組。無論如何，在控制箱的維護保養開關設在“ON”，風力機

組若無故障，仍可被起動。

(h). 轉子煞車解除操控按鈕 (Rotor brake released)

當電力供應故障使其轉子煞車觸發動作，以及為能夠檢修保養轉子頭，需要將轉子鎖固。轉子固鎖前，風力機組必須先執行轉子煞車。

(i). 轉子煞車開關操控按鈕 (Rotor brake on / off)

轉子煞車開關設在on則煞車動作，紅色信號燈會點亮 (red control light lights up)；切換到off則釋放煞車，紅色信號燈熄滅 (control light m goes out)。

(3)E-44之安全系統 (Safety system)

a. 剎車系統 (Brake system)

風力機組是使用空氣本身的制動力及其葉片旋角控制作為其常態煞車，能在數秒內，使獨立的旋角控制系統驅動葉片進入離風狀態 (into the feathered position) 進而快速停機。停機時，即使在風速極低及其待機狀態下，轉子也會保持惰速轉動。但當緊急狀況發生時 (例如市電系統故障)，每個轉子葉片藉由緊急電力系統驅使葉片安全地進入離風狀態，並使用轉子剎車系統剎車，並快速停住；此時所使用之緊急電力會利用平時自動充電及檢查以確保緊急電力之可靠度。同時，緊急旋角設備會在狀態改變之同時自動連結，並快速動作旋角控制系統，以確保系統的正確運作。

當人員於維護保養期間，務必使用油壓油煞車系統將轉子完全固鎖，以利葉片保持在離風位置。如發生緊急狀況，在進塔架後的左手邊有一只控制盤(CC)或機艙內的控制盤上(NCC)，按下緊急停機開關，可使轉子剎車讓轉子停止運轉。

b. 雷擊保護系統 (Lightning protection system)

E-44具備了ENERCON雷擊保護系統，可避免風力機組受到雷擊電流而損傷。轉子葉片前端及其側邊有附加鋁材，能夠安全地將雷擊電流經由電纜快速導引至系統接地。

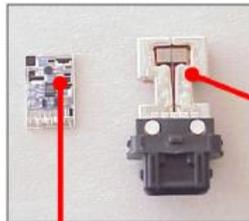
風機上之避雷針能有效地保護機艙風速計，以避免設備遭受到雷擊。過電壓的避雷器應該要裝在具有低電阻之接地位置側，當雷擊事故或不正常的過電壓發生，能夠快速導引過壓至系統接地並可快速保護風機設備。

c. 感知器 (Sensor)

有的風機運轉安全相關資訊（例如扭力監控、電力電纜纏繞、葉片的緊急旋角機構等），皆使用電子元件來監測，以便確保風力機組的運轉安全。假如當電子元件故障時，將由機械式元件動作，若其中有任一組感知器嚴重故障時，風機將馬上停機直至故障排除為止。E-44的控制系統負責蒐集風機各種操作條件並核對每一筆最新狀態，例如溫度感知器、微動開關、角度傳輸、速度感度等。而有些感知器，例如風向計，須連續提供即時資料，以提供風力機運轉需求；有些其他的感知器，是用來核對風力機操作狀態是否正確。而有些與運轉安全有關之操作條件，如轉速及發電機溫度等，均由獨立的感知器來執行監控。採用ENERCON SCADA SYSTEM軟體，蒐集整合所有運轉資訊，儲存在既有監控電腦。若。本系統可提供即時和累積之運轉資訊，包括風速、轉速、發電量、發電累積量、累積運轉時數、警報及維修操作等等訊息。另德國原廠亦可藉由網路連接讀取相關運轉資訊，並可即時提供運轉及維護保養方面之建議。

Sensors for longitudinal and transversal acceleration

The two sensors for longitudinal and transversal acceleration monitor tower oscillations. If specified limit values are exceeded, the WEC will stop. The sensors are identical and are fitted to the main carrier offset by 90°.



Electronic component

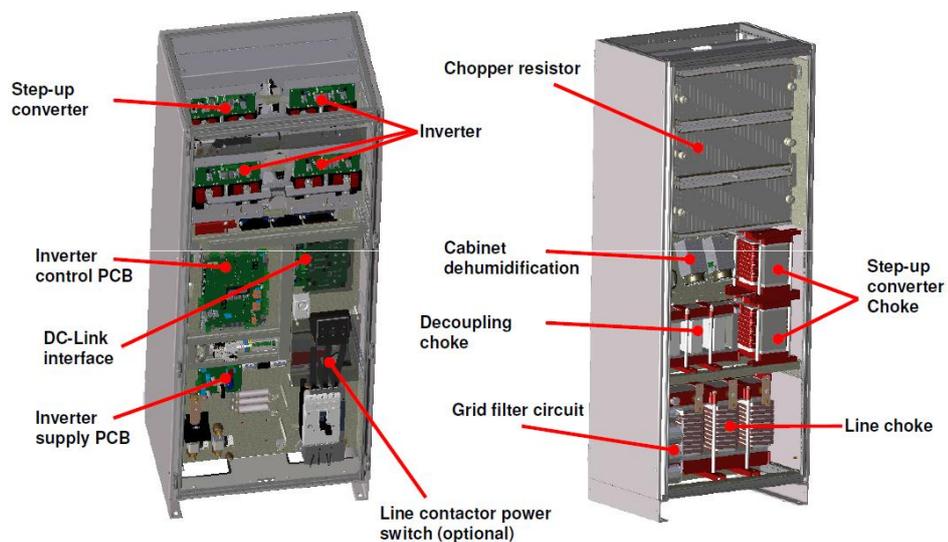
Mechanical component:
Spring with pendulum

(二) 風機內重要控制箱盤介紹

1. 電力箱 (Power cabinets)

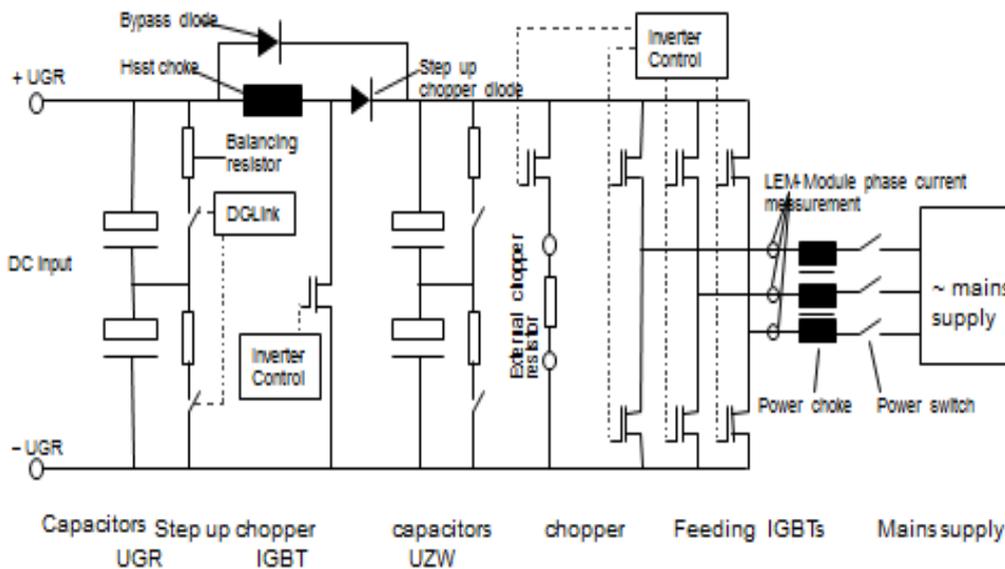
E-44風力機組之電力箱是每盤300Kw的電力變頻設備，將直流電力轉換成符合市電電壓與頻率的電源。此轉換過程，將發電機所產生的變頻變壓的電力經整流設備(rectifiers)變換成直流電力，再流經電力變頻設備(inverters)轉成定頻定壓之三相交流電源，再藉由線路濾波器做濾波，將諧波濾掉後併入電網。

300 kW Power cabinet



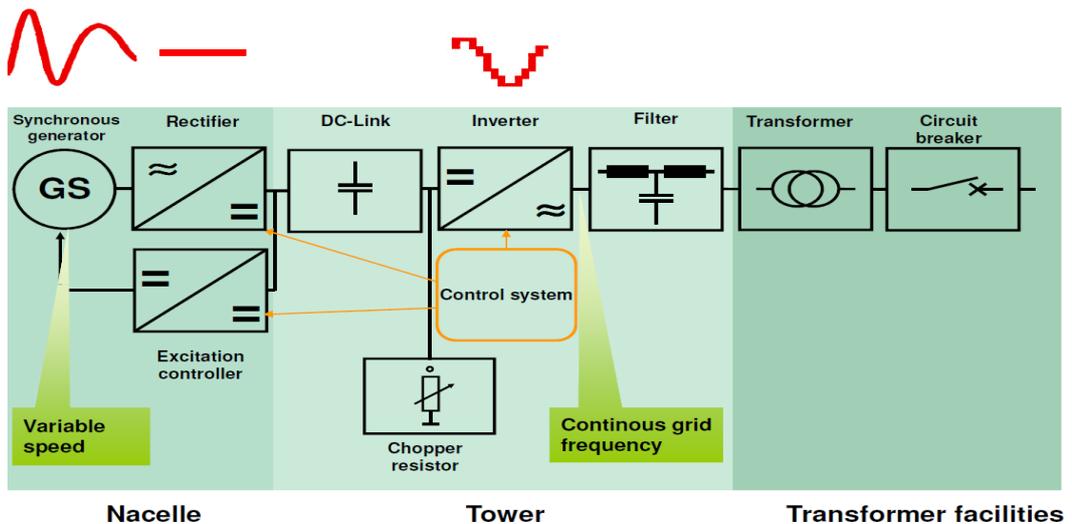
內部配置圖,內含啟動變頻卡片(step up chopper)、三相L1、L2、L3變頻卡片(Inverter)、變頻控制卡、直流網介面卡(DC-Link interface)、電源供應器(power supply)、線路開關及電磁接觸器及背板上有啟動電感器(step-up choke)、線路電感器及IGBT組,設備設置於1F及2F,每只電力箱為300Kw,E-44的機組容量為900Kw,故配備有3只電力箱設備,若為E-70,則機組容量為2300Kw,故配備有8只電力箱設備。

下圖為 300Kw 電力箱內部電路示意圖,當系統整流器透過直流電纜提供直流電源 UGR 至塔下 1F 及 2F 處電力盤,此處配備有 DC-LINK 電容組,並常利用分壓平衡電阻,設計出正確的正端及負端偏壓,電力經平衡電阻後,利用控制卡片檢測輸入電壓比 690 伏小時,將驅使電力進入升壓電感 (STEP UP CHOPPER),並利用 IGBT 的間斷性開關切換做升壓,此時的 STEP UP CHOPPER 是在工作的(升壓原理是利用楞次定理來升壓,利用 IGBT 的間斷性開關來提升輸出電壓至 690 伏),當控制卡片檢測到經平衡電阻的輸入電壓比 690 伏大或相等時,將驅使電力進入旁通二極體,直接旁通 STEP UP CHOPPER,此時的 STEP UP CHOPPER 是處於關閉的情況。另一個需要提的 CHOPPER RESISTOR,CHOPPER RESISTOR 是一只電阻,其功能為當風機發生過壓或系統出現接地故障時,電力無法且無處消耗,故設計每只電力箱皆有一只 CHOPPER RESISTOR 來消耗當風機發生過壓或系統出現接地故障時,短時間無法消耗的電力;最後為三相 INVERTER,將電力由直流變為三相定頻定壓的交流電源。



箱內部實際電路圖面，和上圖300Kw電力箱內部電路示意相類似，但實際電路圖面比較詳細，再針對實際電路的交流輸出端，設計有交流RLC濾波電路、穩壓線路電感(LINE CHOKE)，目的在於輸出至系統前，處理濾掉不乾淨的諧波。

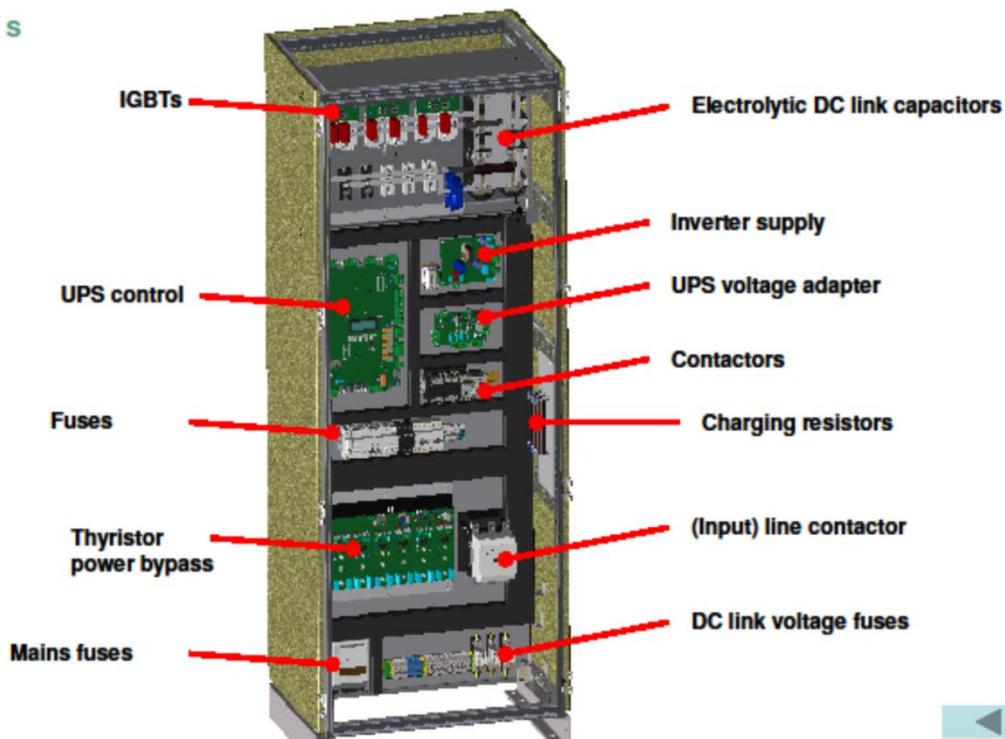
下圖為風機發電系統簡圖，可很明確地說明電力如何產出及輸出，當發電機隨風能大小產生變壓變頻的電力時，經整流器整流後將電力儲存於電容組的DC-LINK；電力箱前的Chopper resistor 能有效消除系統多餘或短時間無發法消耗的電力，這些現象，常出現於風機過壓或系統發生接地故障時，就會使用Chopper resistor來消耗那些無處去的電力；控制系統(CC或NCC)將有效地控制整流箱、勵磁箱、電力箱等重要元件間相互配合及運轉。



2. 不斷電系統 (Uninterruptible power supply, optional)

Enercon E-44、E70等風力機組在市電(GRID)與風機間設計有不斷電系統(UPS)，當市電(GRID)發生故障時，在某一特定的時間內可利用不斷電系統(UPS)來維持短時間的電源供應，使風機系統用來做所有控制卡片電源(L1)及緊急電源，可持續必要的維持運作。

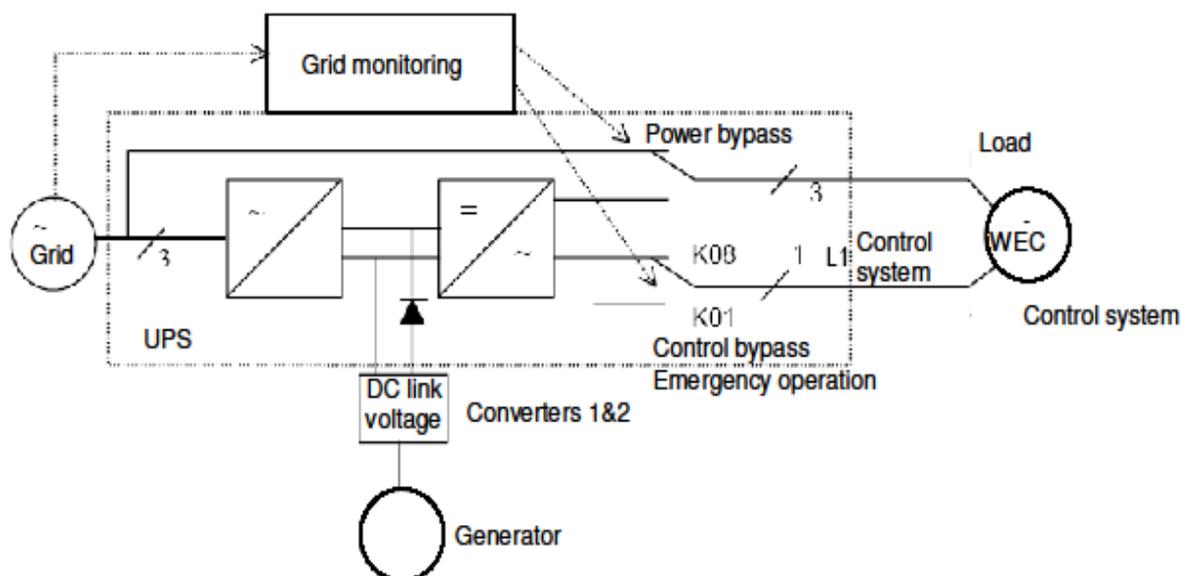
下圖為不斷電系統箱，內含UPS控制卡片、迴路旁通用開流體、主電源保險絲及各型保險絲、將直流電源變成3相交流電源的IGBT組、變流器控制電源供應卡片、初充迴路限流用電阻(Soft Start)、線路電磁接觸器、UPS電壓Adapter等元件。



下圖為不斷電系統箱方塊圖，可清楚說明UPS箱的動作原理，可分為三個狀況，一般發電狀況、市電跳脫的緊急狀況及風機剛啟動且市電正常時，當一般發電正常狀況時，回路走旁通迴路，旁通迴路分大電力旁通迴路(旁通開流體、控制用電源旁通迴路(經由K01電磁開關迴路)，提供控制電源L1傳送至風機的控制箱CC，

再由風機的控制箱CC提供控制電源L1傳送至風機機艙控制箱NCC及其他箱體；當發生緊急狀況時，經常因風場附近市電(GRID)發生接地跳脫，此時因市電已經跳脫，風機系統控制箱CC馬上通知UPS啟動接管，此時經由K08電磁開關迴路提供控制電源L1，並接管傳送控制電源L1至風機機艙控制箱NCC及其他箱體，並持續利用電力箱1及電力箱2中STEP UP CHOPPER後端輸出電壓UZW+、UZW-來提供直流電源再經內部3相INVERTER，將電力轉變成交流電力提供風機內部重電力供應，使一些基本操作用的電力無虞，以維持風機基本運作，內容重點為，電力箱1有UZW+、UZW-兩條電纜，但電力箱2只有UZW+一條電纜，UZW-為共用電纜，而且只使用電力箱1及電力箱2中STEP UP CHOPPER後端輸出電壓，沒有其他電力箱被使用，故電力箱1及電力箱2不可同時故障，否則將喪失不斷電UPS功能。

另一狀況為風機剛啟動且市電正常時，此時因風機剛剛啟動，故完全沒有發電，也就是電力箱1及電力箱2中沒有電力，故須借用UPS來提供電力，此時須先經一只限流電阻，以降低INRUSH CURRENT，做軟啟動(SOFT START)，當啟動正常後將切換至正常迴路，經整流後將電力儲存於電容組內，再將直流電源經IGBT組轉變成3相定頻定壓的電力經小型升壓變壓器後，再經LC濾波回路去除諧波美容後，提供風機系統本身電力，做風機起機時使用，此時所使用的電力均由市電經UPS系統提供，而控制電源一樣由K08電磁開關迴路提供控制電源L1，以便維持控制系統電力穩定供應。



四、感想

德國ENERCON公司成立於西元1984年成立，當年便已發展出該公司的第一台風力發電機，當時其額定功率僅有55kW，如今已發展到 E-126 額定功率高達6000Kw,本次至德國也參觀E-126,發現其風機面積約有E-70的5倍大，可於塔內打籃球，且經詢問ENERCON公司表示，該公司目前持續發展中，將有更大型機組問市。ENERCON公司於西元1992年以前還是使用有齒輪箱的風力發電機，後經過該公司研發團隊研究開發出無齒輪箱式的同步風力發電機，在當時此無齒輪箱式的同步發電機經實務證明，不但能降低有齒輪箱式的發電機所衍生的機械應力及維護費用，而且增加了整個系統的壽期，並且在2004年發展出新型葉片設計，新葉片設計是在葉片根部加裝導翼及葉片尖端改良的新形狀；加裝於葉片根部的導翼，經實務證明，可有效地利用存在於轉子範圍內的風能，且葉片尖端的改善措施，經實務證明，已可以大幅降低噪音的產生,並可提高風力發電機組的效率高達53%。

直驅式無齒輪箱的風機一般皆採用同步發電機的構造，由於轉速慢、極數多，因而發電機體積相對龐大，價格一般也較昂貴。

但由於風速及風向是隨時變動，難以掌控，若要將風機的同步發電機直接並聯至電力系統，會產生很大的困難及危害（因風機頻率很難維持和系統頻率相同）。因此，所有大部分的廠家會將發電機所發出的電壓，先經整流器整流為直流後，再利用變頻器(Inverter)轉換成定頻(50或60HZ)及定壓之交流電，也就是說將同步發電機所產生之變頻變壓的AC電源，經整流後變成DC電源後，再經由變頻器轉換成定頻(50或60HZ)及定壓之交流電，並配合電力系統調整電壓大小及相角後自動並聯至系統上；但因變頻器中之IGBT一直在做高頻開關切換，故一直存在有諧波問題必須解決，一般廠商會在輸出端安裝線路LC濾波電路，先去除諧波，並提高電力品質及系統的穩定性。此類型的風機並聯較為容易且不需再投資額外改善功率因數的設備。

直驅式無齒輪箱風機由於沒有齒輪箱，傳動鏈較短，且轉子轉速較低，使得傳動鏈上機械磨擦力較小，故風力機之啟動轉速（cut-in speed）相對較低，以E44來論，約2m/s以上便可啟動，而V80約4m/s以上才可啟動，。由於風機整流線路須加一組很大之電容器組，利用電容的充電及放電曲線，可將風力變化所產生之電力漣波做盡可能的平穩化，使系統變得相對穩定，以便減低對電力系統產生衝擊。此類型之風力機的轉速與系統頻率無關，亦即風速突然變大時，可短暫增加風力機之轉速，以便將能量暫時儲存在葉片轉動慣量裡，以避免風力機承受太大之機械應力，造成轉動機件的磨耗，影響風機重件的壽齡。

直驅式無齒輪箱風機在維護保養上確實比有齒輪箱的風機輕鬆許多，少了液壓系統、齒輪箱等需要大量使用液壓油或潤滑油的設備(如蓄壓器、液壓缸等)，並省掉了定期補油或換油等工作及可免除有漏油的情況發生，相對起來也比較環保。然而機械設備及油品雖然減少了，但電氣設備卻也增多了起來。故本類型風機內部盤面或箱體幾乎都使用電子電路板或控制模組，當風機故障時，相關控制盤面的備品必須準備相當充足，以利提升風機之可用率。

五、建議事項

(一)、風機機艙外風速計，常因風機周圍環境臨海，轉動設備及卡片面臨潮濕及鹽害環境，腐蝕及卡死等問題相對嚴重。原因是由於環境臨海潮濕、多沙塵，風速計經長時間轉動後，經常發生軸承磨損或轉動部分生鏽卡死現象或因卡風沙於低風速時發生轉動困難，導致風機無法有效偵測到正確風速，控制器無法正常啟動風機運轉。依相關維修經驗，可考慮拆解更換內部轉動軸軸承，將可正常運作。

建議：建議應考量風速計使用年限，若設備使用年限已到期後，應安排時間更換堪用之備品，以利機組運轉；而所更換下之舊品，可考慮拆解更換內部轉動軸的軸承後，再當備品使用，以利機組運轉並提高機組可用率。

(二)、風機IGBT及其相關控制卡片較易故障

依維修經驗，風機IGBT控制卡片，有時可能因保存不當，使卡片受潮氧化。建議：保存時必須使用原廠材料袋，並須小心密封保存。當使用使用控制卡片時，必須非常注意手部靜電問題，應使用靜電環或先將手部靜電接地後再拿卡片，以期能百分之百確保控制卡片功能及卡片應有之使用壽命。

(三)、風機緊急逃生裝置使用及停電後電梯逃生訓練的實務操作
建議：台電訓練所應要求風機運維工作者，每人每年或二年必須有實地操作訓練一次，課程必須包含各型風機不同型式的電梯，且必須要求每位學員實際操作一次給講師驗收。本次至德國實習時，原廠講師非常重視學員於緊急狀況時，如何自救及隊員間應如何相互救援的能力，故Enercon訓練部門設有實習工廠，內配備有永久設備，包含有逃生平台、各種型式電梯、救援設備及假人等。Enercon訓練部門主管善意給台電公司建議：每年或二年應辦理「緊急逃生裝置使用及停電後電梯逃生訓練」一次，以防止時間久，遇緊急事故時忘記如何操作逃生裝置。主要訓練目的在於訓練維護人員當遇緊急事故時應如何使用風機緊急逃生裝置或有人於風機機艙內昏迷時，如何利用緊急逃生裝置協助救援，並訓練當人員於電梯內遇系統停電時，應如何操作塔內電梯安全逃

生。

(四)、Enercon訓練部門設有實習工廠，實習工廠內配備有多種模擬盤，可模擬故障訊息，出示一種或多種故障讓訓練學員練習檢修及熟悉各盤的動作原理，但基於保密原則，廠方禁止學員拍攝任何相片。

建議：台電訓練所能於實習工廠內設置一組E-44的模擬盤面或模擬中心，用以訓練學員熟悉E-44風機各重要控制盤的動作原理及模擬故障訊息以便訓練學員熟悉各種重要故障檢修訊息的分辨和判斷。