

公務出國報告  
(出國類別：實習)

德國風力發電暨控制技術研習



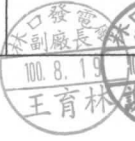



服務機關：台灣電力公司  
出國人職稱：林口發電廠  
電機工程監  
姓名：黃建勇  
出國地區：德國  
出國期間：100.6.23-100.7.7  
報告日期：100.8.18

## 出國報告審核表

出國報告名稱：德國風力發電暨控制技術研習		
出國人姓名(2人以上,以1人為代表)	職稱	服務單位
黃建勇	開關場主任	台灣電力公司/林口發電廠
出國類別	<input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input checked="" type="checkbox"/> 實習 <input type="checkbox"/> 其他_____ (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)	
出國期間：100年6月23日至100年7月7日		報告繳交日期：100年8月18日
出國計畫主辦機關審核意見	<input checked="" type="checkbox"/> 1.依限繳交出國報告 <input checked="" type="checkbox"/> 2.格式完整(本文必須具備「目地」、「過程」、「心得」、「建議事項」) <input checked="" type="checkbox"/> 3.無抄襲相關出國報告 <input checked="" type="checkbox"/> 4.內容充實完備。 <input checked="" type="checkbox"/> 5.建議具參考價值 <input type="checkbox"/> 6.送本機關參考或研辦 <input type="checkbox"/> 7.送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 8.退回補正,原因: <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略未涵蓋規定要項 <input type="checkbox"/> 抄襲相關出國報告之全部或部分內容 <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 <input type="checkbox"/> 9..本報告除上傳至出國報告資訊網外,將採行之公開發表: <input type="checkbox"/> 辦理本機關出國報告座談會(說明會),與同仁進行知識分享。 <input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/> 其他_____ <input type="checkbox"/> 10.其他處理意見及方式:	

說明：

- 一、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「政府出版資料回應網公務出國報告專區」為原則。

報告人		審核人	單位 主管   	主管處 主管		總經理 副總經理	
-----	---	-----	---	-----------	--	-------------	---

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱： 德國風力發電暨控制技術研習

頁數 41 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

黃建勇/台灣電力公司/林口發電廠/電機工程監/02-26062221ext608

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間： 100/6/23-100/7/7

出國地區：德國

報告日期：100/8/16

分類號/目

關鍵詞：Pitch Control 、Yaw Control 、Annular Generator 、Rotor  
& Blade 、Nacelle 、Storm Control 、Lighting Protection 、Cable  
Untwisting System 、Direct Drive(Gearless) 、Enercon 、  
DFIG(Double Fed Induction Generator) 、Vestas

內容摘要：

自從溫室效應及油價高漲後，各國政府皆竭盡所能地發展再生能源科技，就目前電力替代方案中如太陽能、風力、生質能、地熱及潮差發電等，仍以風力發電最為可行，德國在此便早已領先全世界發展風力發電技術且一直是全球風力的應用最大國，至 2006 年前始終維持全球第 1 名寶座，

即使到 2010 年仍保持全球第 3 名，僅被世界強權美國與中國超越，但其風力發電佔比之高約 7.5% 以上，仍是無人能出其左右！且由於日本 311 地震導致嚴重核災後，致使德國國會又領先全球表決通過，將在 2022 年全面廢除核能發電，更加速德國政府大幅發展風力發電的決心，以彌補廢核後電力不足的問題。

德國風力大廠中以 Enercon 最為著名，它一直擁有全德國第一（2010 年高佔 59.2%）、全球第二（2009 前約佔 16.5%）的傲人市占，而且是目前全世界大廠中唯一可提供全機組製造（包括風機葉片、塔座、機艙、及發電機等）全套產品的業者，其能如此成功，應該與其長期專注技術研發，與追求高品質設計有關。

由於本廠有實際運轉 Vestas 風機實務經驗，而藉由此次研習讓本人有機會參訪 Enercon 風機各項主要設備如環狀多極同步發電機 (Annular Generator)、轉子 & 葉片 (Rotor&Blade)、塔座及機艙 (Nacelle) 等製造，深入了解葉片旋角控制 (Pitch Control)、機艙轉向控制 (Yaw Control)、電網保護、及暴風雨控制 (Storm Control) 等系統控制設計，因而可以比較其兩者優劣差異，提供個人淺見，以為公司未來興建與運轉類似風機時作為參考！

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

## 出國報告目錄

壹、出國研習目的 .....	4
貳、出國研習行程 .....	6
參、研習內容 .....	7
3.1 德國ENERCON風機設計理念 .....	7
3.2 發電到併入系統流程簡介 .....	8
3.3 轉子葉片系統 .....	11
3.3.1 葉片製造流程 .....	11
3.3.2 葉片外形設計 .....	12
3.3.3 葉片結構加強 .....	14
3.3.4 實際風機之 Cp 值 .....	15
3.4 驅動系統介紹 .....	17
3.4.1 直接驅動型 .....	17
3.4.2 間接驅動型 .....	18
3.5 環狀同步發電機 .....	19
3.5.1 多極環狀同步發電機 .....	19
3.5.2 風力發電機定子 .....	20
3.5.3 風力發電機轉子 .....	21
3.5.4 發電機保護 .....	22
3.6 ENERCON 安全系統 .....	24
3.6.1 煞車系統 .....	24
3.6.2 雷擊保護系統 .....	24
3.7 控制系統介紹 .....	27
3.7.1 Pitch Control (葉片旋角控制系統).....	29
3.7.2 機艙風轉向控制系統 (Yawing System).....	32
3.8 電網監測和保護控制系統 .....	35
3.8.1 低電壓穿越 .....	35
3.8.2. 風場功率及電壓輸出調整 .....	35
3.9 風機運轉模式 .....	37
肆、心得與建議 .....	39
伍、參考資料 .....	41

## 壹、出國研習目的

根據全球風能協會 (Global Wind Energy Council) 統計，2010 年一年內新設設備的容量為合計 3827 萬千瓦，與上一年 3879 萬千瓦的相比，雖然設置速度略微變緩，但最近 10 年間仍是增加到了 10 倍；而德國一直是全球風力發電的應用大國，至 2006 年止共裝設了風力發電容量 2 萬 2247MW (百萬瓦特)，較第二名美國的 1 萬 6818MW 幾乎多出一半，德國在此之前始終維持全球第 1 名寶座，即使到 2010 年仍保持全球第 3 名 (風力發電裝設容量約 27,215MW)，僅被世界強權中國與美國超越，但其風力發電佔比之高約 7.5~10%，仍是無人能出其左右！到 2011 年初德國已擁有 2 萬座風機，德國政府希望未來有 17-40% 的電力產自再生能源，風力發電正是再生能源中最主要的項目，預計在 10 年內，12.5% 的電力需求將由離岸風力發電提供；且由於日本 311 核災後使德國國會又領先全球表決通過將在 2022 年全面廢除核能發電，更迫使德國政府加速大幅發展風力發電決心，以彌補廢核後電力不足的問題。

德國自 1990 年對綠色能源實行扶持政策，尤其是《可再生能源法》實施以來，綠色能源得到了蓬勃發展；這些措施不僅在環境保護方面效果明顯，同時刺激了綠色能源技術的發展，《可再生能源法》旨在促進再生能源的發展，提高綠色能源在德國能源消耗中的比例，以實現減排 CO<sub>2</sub> 目標；該法規定，德國電網營運商必須按法律規定的價格，全額收購「綠色電力」，營運商有義務在全國範圍內平衡、分攤因使用成本較高的綠色電力所造成的電費上升；早在 20 世紀 90 年代初，德國政府就意識到風力發電的前景，並給予政策支持，所以在如此傲人的市場背後，德國順理成章培養出一流的風機製造商 Enercon。

德國風力大廠 Enercon 其實擁有著全德第一 (2010 年高佔 59.2%)、全球第二 (2009 前約佔 16.5%) 的傲人市占，其能如此成功，應該與其長期專注技術研發，與追求高品質設計有關；雖然 Enercon 全球排名輸第一名的丹麥公司 Vestas，但論起全球風力發電專利技術，擁有 2000 多項，約占了四成的全世界專利仍是超越對手；同時 Enercon 也是唯一一家提供全機組，包括風扇葉片、塔座及發電機組全套產品的業者，這與其他只是提供風扇葉片或單單提供發電機組的業者不同。

由於本廠有運轉 Vestas 風機實務經驗，籍由此次研習深入了解 Enercon 風機各項設備製造、控制系統設計，比較其優劣差異，提供公司未來興建與運轉類似風機時作為參考！

加上此次福島核電廠事故後，國內外反核聲浪再起，公司勢必尋求更多能源替代方案，而再生替代能源中又以風力發電最為可行，希望藉由此次德國研習，能為公司提供目前最新的風力發展技術資料。

## 貳、出國研習行程


訓練進修日期及時間 (Visiting Time)	訓練進修地點(Location)	實際訓練進修機構 (Institutions to be visited)	訓練進修目的及討論主題 ( Topics for Discussion )
100/6/23~100/6/24	台北→法蘭克福→柏林 Taipei→Frankfurt→Berlin	移動日	移動日
100/6/25-100/6/29	柏林 Berlin&Magdeburg	German Enercon GmbH Mr. Stefen Brauns	風機各主元件製造參訪及其控制系統研習 Main Components &Control Systems study
100/6/30	不來梅 Bremen	German Enercon GmbH& Mr. Wilke JanBen	風機各主元件製造參訪研習 Main Components &Control Systems study
100/7/1-100/7/5	柏林 Berlin&Magdeburg	German Enercon GmbH& Mr. Stefen Brauns	風機控制暨發電機系統研習 Control & Generator Systems Study
100/7/6-100/7/7	柏林→法蘭克福→台北 Berlin→Frankfurt→Taipei	移動日	移動日



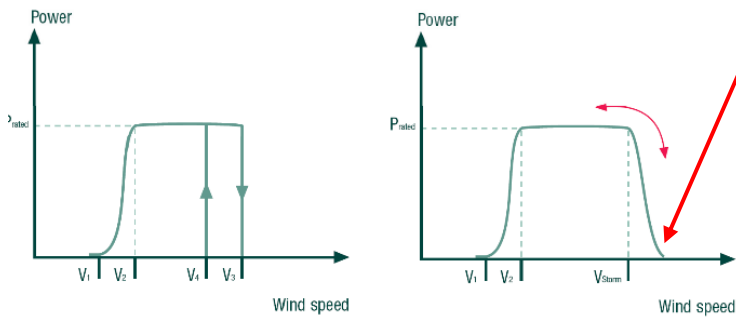
## 參、研習內容

### 3.1 德國Enercon設計理念

Enercon風力發電機組的優異之處，在於其可有效增加風能的轉換，並減低機械負載的同時獲得更高的產出，其風機有下列突出的特點：

1. 發電機中的轉子及葉片形成一個轉動裝置，葉片直接連接至輪轂上的滾珠軸承上，發電機與轉子即不是主要的靠軸承傳動裝置，也不是高速旋轉的部件，所以兩者之間的能量損失、噪音溢散、齒輪油的使用及機械磨損可大幅度降低。
  2. 三支葉片均裝配有各自獨立的傾角控制系統，該系統由電子驅動裝置及緊急供電裝置組成，並提供風力發電機組管控風力的使用，進而控制轉子發電機之轉速，如此便可正確並快速地管制電力的輸出；而將葉片傾角至停止位置(脫離風向)，即可使轉子停止而不必透過機械煞車，傾角控制系統在局部負載範圍內，同樣可調整所吸收風能幫助增加輸出。
  3. 透過變頻器百分百將交流發電機輸出之電壓及電流，經整流濾波後，再轉換為低壓交流成分，經過變壓器昇壓後，由饋電裝置將風力發電機組所產出的電力注入電網；此變頻器裝置，可使風力發電機組在風速過低或極高時，伴隨發電機輸出電壓及頻率的急遽變化下，仍能對電網注入電力，且配合電網需求對實功、虛功、電壓直接進行控制，進行最佳化之運作。
- 
4. 由於Enercon風力發電機組具備低電壓穿越的特性，可依據ISP客戶的要求，在電網失效的情況下，支援電網達數秒鐘不致於崩潰，且系統在事件結束後，繼續投入更多電力並維持運作；且可針對電壓等級及頻率，採用最佳化電壓及頻率參數，可確保高品質的電力支援系統。
  5. 一般風力發電機組在非常高風速時將切換至惰速模式，一旦風速降低時，葉片又轉入風源，使風力發電機組依其性徵曲線重新開始運轉；暴風雨控制設計使風力發電機組能夠在極高風速的情況下降低運轉，避免頻繁的停機以及重新啟動程序導致產出的損失；風速連續平均5秒鐘內高於24 m/s時，輸出電力及速度開始降低；而在風速連續平均5秒鐘內高於34 m/s時，風力發電機組才會切換至惰速模式。

風機在最大臨界風速才停機

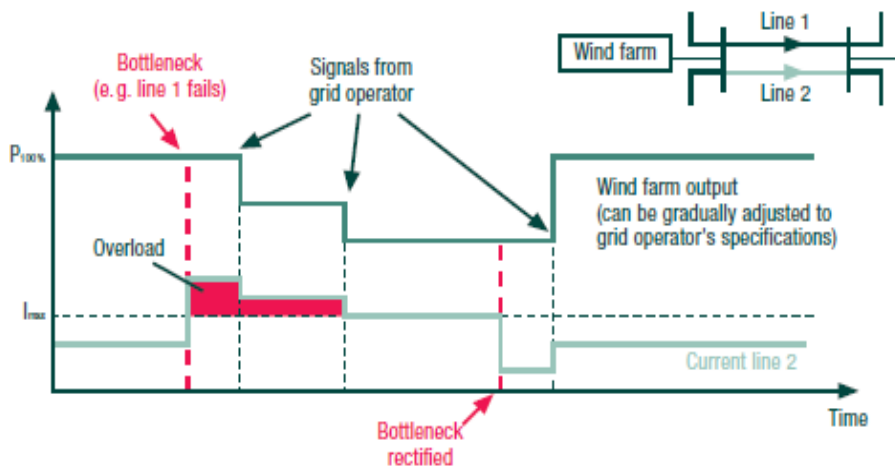


Power curve without ENERCON storm control – The wind turbine is shut down at a defined maximum wind speed

Power curve with ENERCON storm control – The wind turbine merely reduces the power output at a certain wind speed without shutting down

### Enercon 暴風雨控制

6. Enercon有瓶頸控制管理設計，可依據ISP客戶的要求，在電網傳輸容量不足的情況下，雖然當地風場風勢強勁，仍可壓低風力發電機組輸出，配合調度指揮支援電網，仍舊維持風場最大輸出。

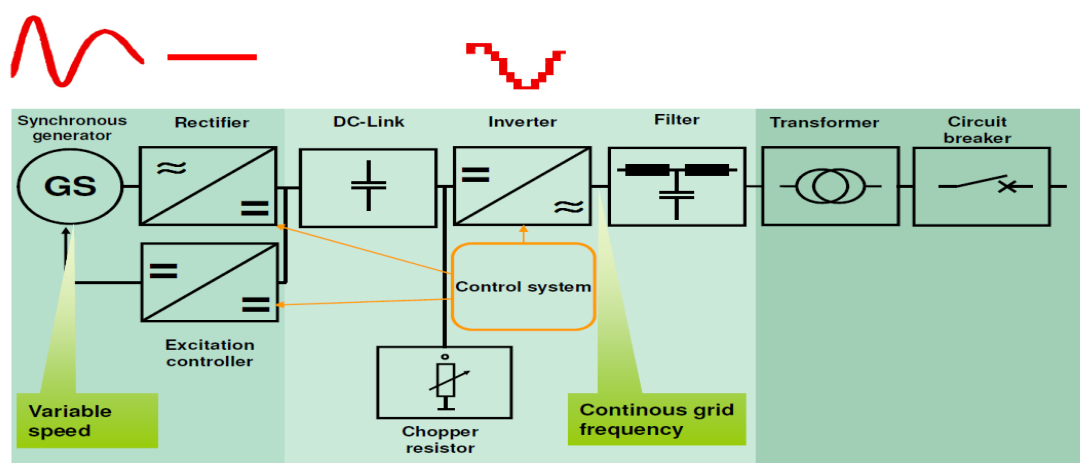


### 瓶頸管理控制

### 3.2 發電到併入系統流程簡介

發電機提供三相電流，依照發電機和市電的電壓等級及相位，生產並輸出額定電壓及電流；此產生之電流，經整流設備並參考實際電流不斷地修正，並在電流不穩定時加以整流；此系統會依市電電壓與發電機輸出電力之相位關係，經整流設備修正後，轉換成三相電流，電流為高品質正弦波、無高階諧波 (disruptive harmonic oscillations)，示意圖如下：

風機併入系統流程圖



發電機輸出經整流為直流，經由撓性電纜提供至公用點，因此該電力連結沒有低頻的問題，能確保輸出不會有供電斷續之事故產生；併聯到市電之電壓範圍必需要有一限制，故Enercon風力發電機組之低電壓、過電壓必須配合設定，如同頻率範圍也需要限制及其設定；此一直流處理程序提供了從發電機到市電介面點的彈性處理方案，此種直流處理系統使得低頻電力波動最小化，以便風力發電機組的輸出可被正確地控制且無重大的脈衝 (Flickers: Low-frequency Voltage Fluctuations) 現象產生。(註：脈衝為低頻電壓波動---因陰影效應對大多數的風力發電機組，會造成不穩定的輸出電壓波形)；由於其風機的最大及最小電壓值 (低電壓及過電壓) 及較高頻和較低頻的極值均可設定；在此電壓之最大及最小值的範圍，同步地限制了市電運作範圍避免異常，增加保護電網穩定性。

依據各國電力事業之要求，Enercon風力發電機組已發展裝配有電廠性能的選項；此性能為若有暫時性電網失敗 (最多至5秒鐘)，則風力發電機能繼續運轉並在市電電網回復後，繼續供電至電網，並在此電網短暫短路期間 (最多至5秒鐘)，提供短路電流之吸收能力。

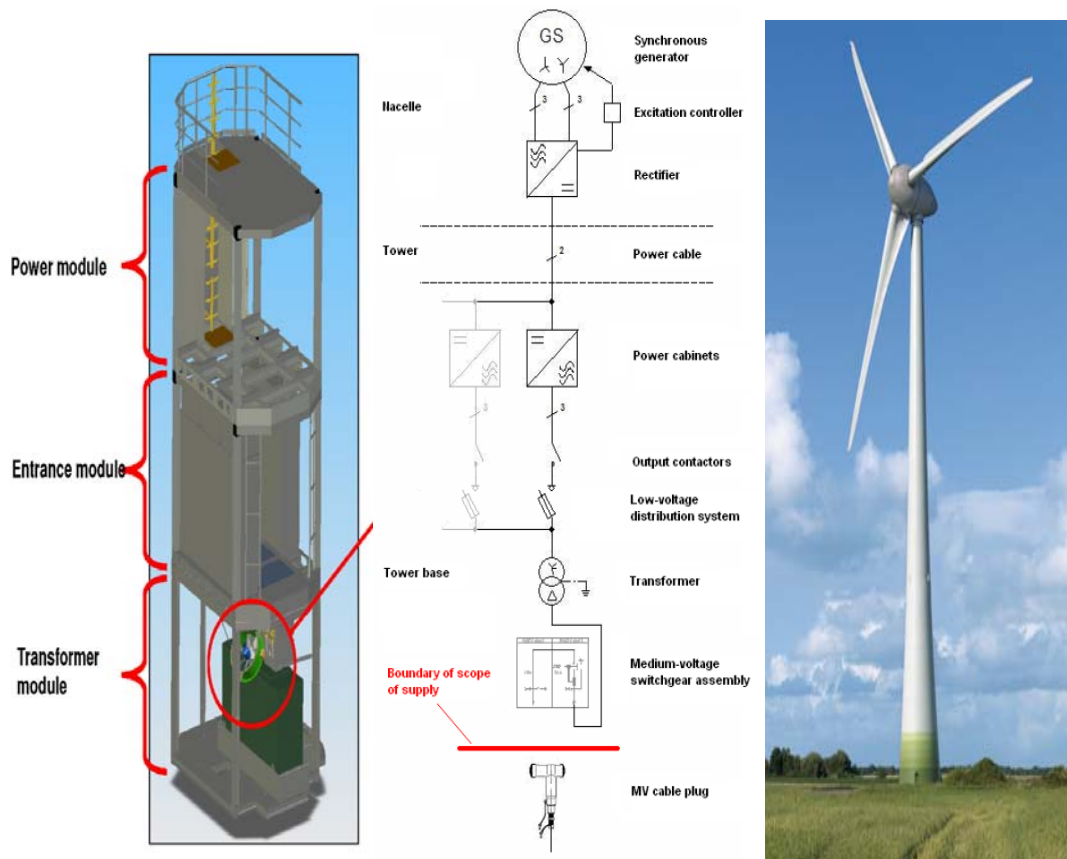
而當系統全停電時風機裝配了下列配件以為因應：

- UPS (Uninterruptible Power Supply) 不斷電供電系統
- Chopper unit in power cabinet 電盤內的電流斷路器

在電網失敗時，不斷電供電系統被用來供應風力發電機組電力；電流斷路器的電阻器補償在電網失敗時產出的電力。

風機現場實際配置示意圖

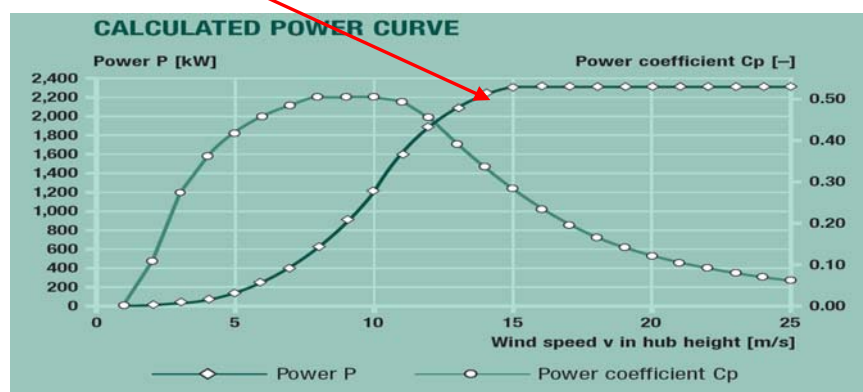
E126 (7.5MW) 世界最大風機相片



### 3.3 轉子葉片系統介紹

新的轉子葉片抵抗紊流及擾流之能力較強，也不太容易過於敏感而產生共振，使沿整個葉型長度穿越之氣流更加平順；相對於其它廠商，其尾翼之翼尖設計，能避免葉片尾端之翼間，因擾流而產生能量耗損及能量吸收有效面積減少之解決方案，以有效消除及在葉片葉尾及翼尖之高低應力，使葉片整個長度均能完全吸收能量，減低其它設計因葉片尾端的擾流所造成之無效長度及大量能量損耗。

所以葉片的高效率表將反應在 ENERCON 所有之功率曲線上，且其風力發電機組功率因數 power coefficients ( $C_p$ )均大於 0.5 (如下圖)。



#### 3.3.1 葉片製造流程

葉片外層多層次黏貼



葉片研磨及拋光



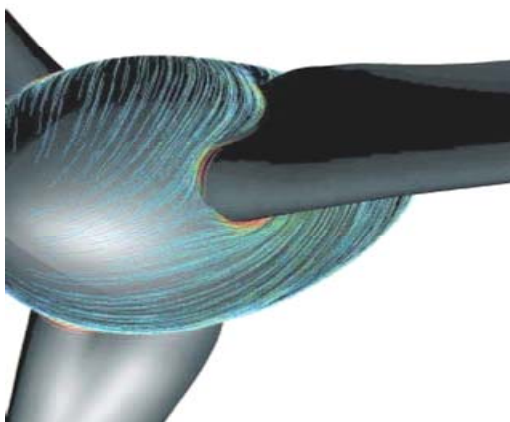
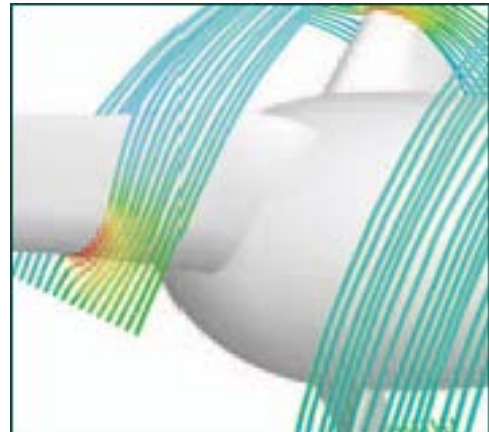


葉片拋光後最後階段--無塵室多層次噴漆



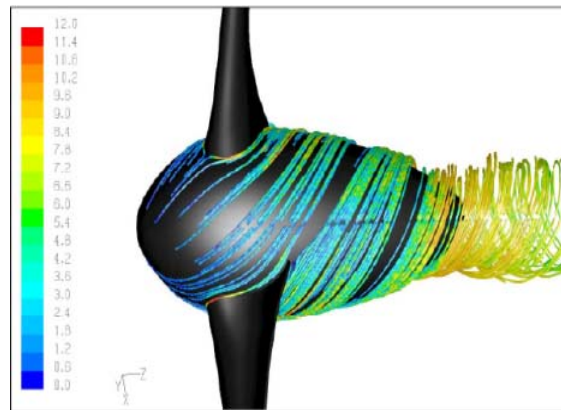
### 3.3.2 葉片外形設計

- 新 Enercon 葉片設計充份利用輪轂週邊的葉片旋翼之內緣部分，大幅增加風能吸收及電力輸出。



要特別指出的一個特點為新型葉片的輪廓向下沿伸至機艙，這項創新的設計消除了傳統葉片內緣氣流的損失，新型的葉片與流線型的機艙可使風的利用達到最佳化。

- 即使在輪轂及機艙周遭的氣流所亦能轉變成能量之產出。



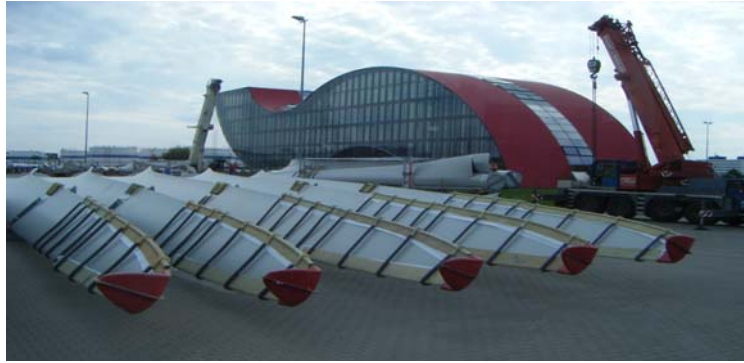
- 此外新設計之尾翼折起(如下圖)，不僅可導引葉片尾部之風能，亦可減少在尾端之渦流並且減少噪音發生和壓力過於集中。



- 相對於其它廠牌，經由尾翼之設計，能避免葉片尾端因擾流而產生能量耗損及有效面積減少之處理。
- 由於精簡的葉片設計，使葉片壓力之降低及延長葉片壽命，並擁有更高的運輸效率。
- 由於更高效率及葉片設計修改，使減低噪音排放。並由於最佳化葉尖設計，使更長的使用壽命，並減少衝擊負荷，以利於方便運輸(如下圖)。

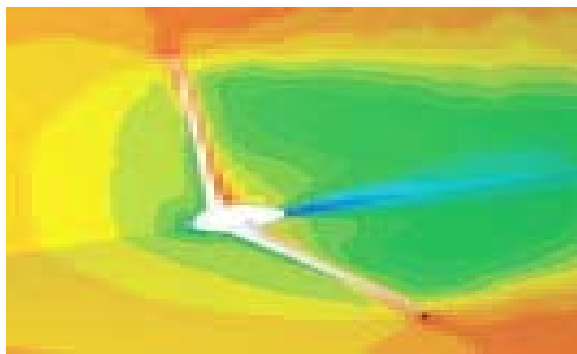


E-70 葉片運輸

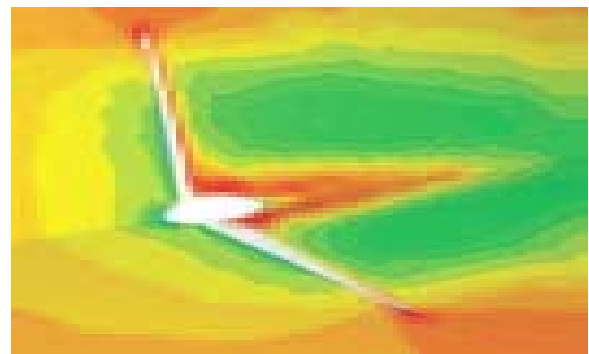


葉片運輸(Madeburg 廠)

Enercon 發電機轉子葉片的外形及結構設計有出新的概念，此葉片之新的設計關係到風能之產出，並減少噪音和應力集中；由於其性能及形狀之改良，葉片不僅大部份吸取旋轉掃描區域之中間及外部邊緣的能量，同時也吸收輪轂週圍及葉片內側面積之能量，大幅度提高功率輸出（如下圖）。



(左圖 EnEnercon 葉片較佳)

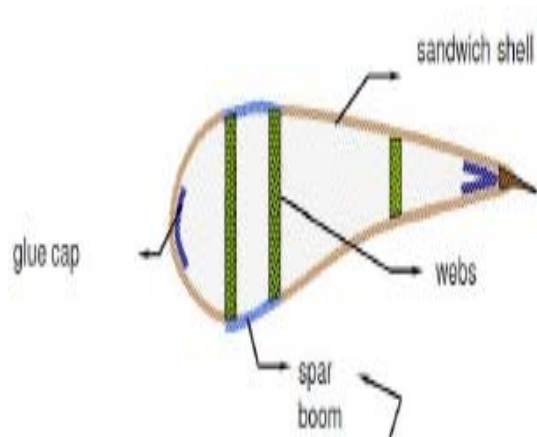


(右圖為其他廠牌葉片)

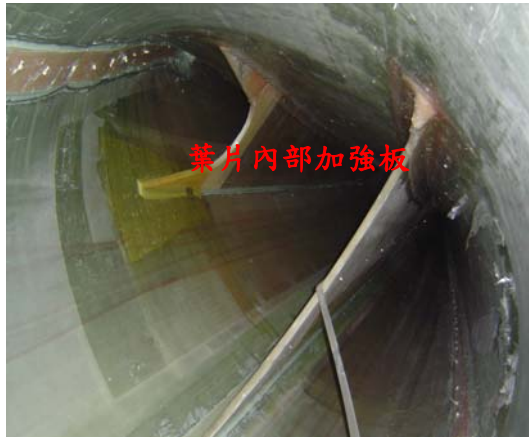
### 3.3.3 葉片結構加強

為了有效地保護轉子葉片表面抵抗強風和潮濕，紫外線輻射，與空氣中砂塵之磨耗及侵蝕，以及彎曲荷重；葉片表面保護外層塗料之組成，含有膠合物或填料和邊緣保護及面漆將使用無溶劑之雙組分聚氨酯化合物在整個系統之製造過程，特殊之葉片設計，採用環氧樹脂使風機之葉片較採用其它材質為輕，使耗用之材料減少，同時因環氧樹脂之特性，也使它更能抵抗惡劣環境之侵蝕，於長時期承受負載變動，而仍能永久維持葉片形狀不變，使其在使用期間均能產生穩定可靠之輸出。





葉片結構示意圖



葉片內部結構相片

### 雙排螺栓大直徑的法蘭

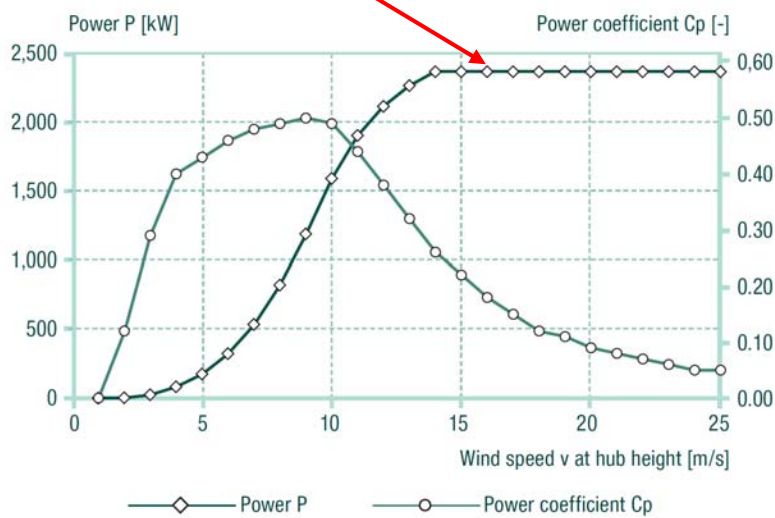
為了有效地承受風在整個使用期限內之可靠性能，Enercon 的轉子葉片有一個非常大直徑的法蘭（如下圖）同時採用樹脂材料之積層，也使葉片於輪轂相接之法蘭更易製作；該雙排螺栓扣件系統專門用於 Enercon 公司開發的大型風力渦輪機的葉片上，在風力產生的荷重作用下，將使葉片具有額外的強度，在極限之風速環境中，葉片系統仍能承受很大的應力及彎矩之波動變化。



採用樹脂多層次積層及雙排螺栓系統增加強度

### 3.3.4 實際風機之 Cp 值

Eercon 實際風機 E82 之 Cp 曲線(如下圖)，由貝茲極限 (註) 來看表現相當優異，接近貝茲極限 0.593。



Calculated power curve  
E-82 E2 / 2,300 kW

(註)貝茲極限 Betz Limit

$C_p = \text{實際擷取之風} / \text{可用風能}$

Betz 極限  $C_p \max = 0.593$  (最大利用率)

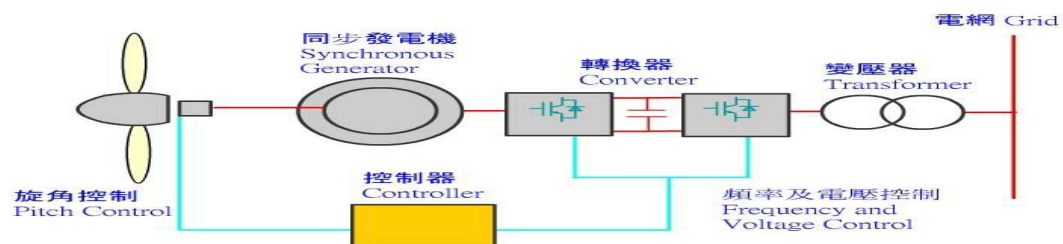
即風能之最大利用率 (理想風力機) 為 0.593

### 3.4 驅動系統介紹

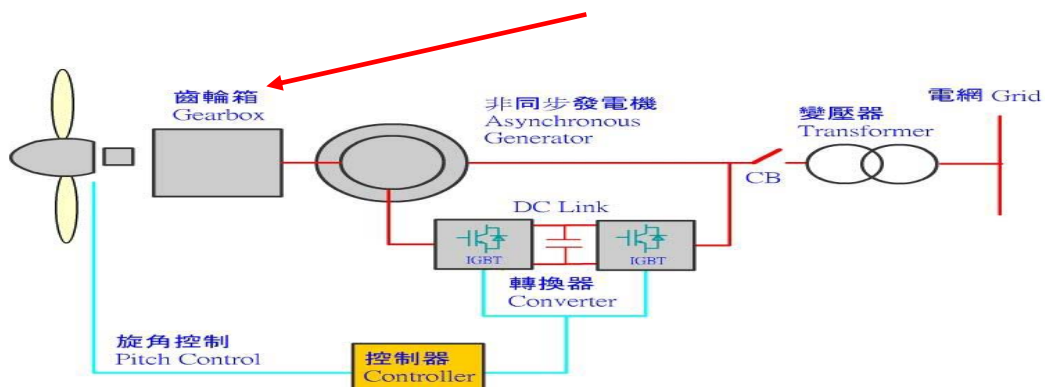
Enercon 風機之驅動系統，採用直接驅動型式，主要是基於一個簡單的原則：減少機械轉動部件，並減少機械應力，並同時延長了風力發電機之使用壽命；風力發電機的維護和服務成本降低（少搭載構件，無齒輪油的影響等），其經營費用降低。

直接驅動型與間接驅動型比較示意圖：

#### 直接驅動型

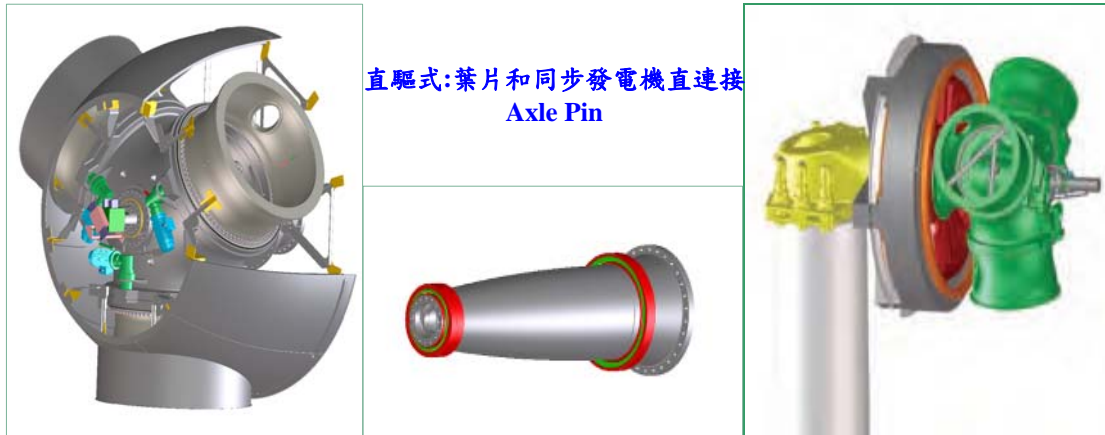


#### 間接驅動型 (有齒輪箱)

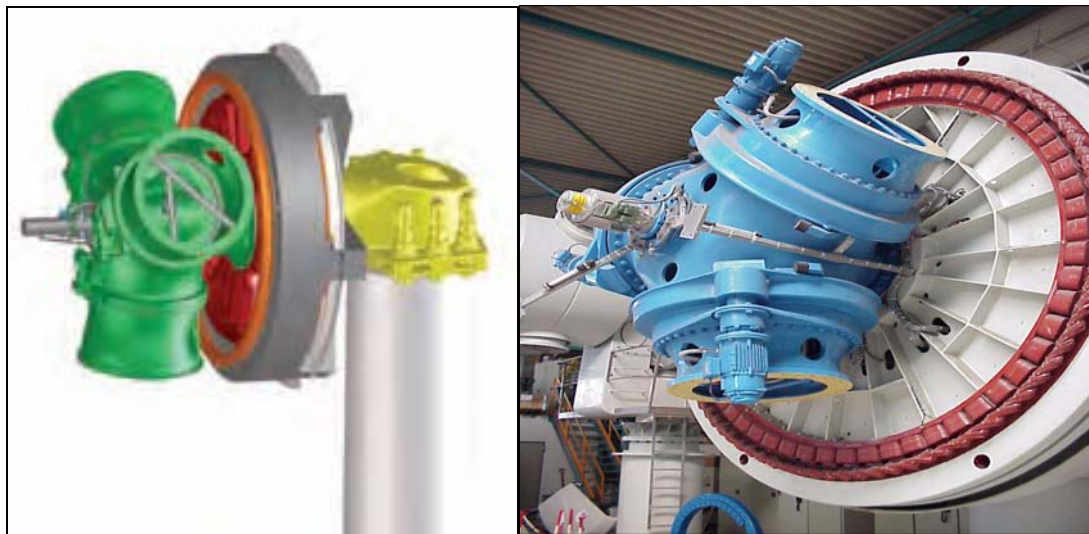


#### 3.4.1 直接驅動型 Direct Drive(Gearless)

直接驅動型式其輪殼含葉片和同步發電機直接連鎖於一個無齒輪裝置，該轉子發電機單元，結合於一個固定的轉軸之上，即所謂的 Axle Pin (中心軸，如下圖)；相對於傳統的有齒輪風力發電系統，需利用大量的軸承，以提供旋轉構件之支承作用；直接驅動系統，只需要兩個慢速的滾珠軸承，使風力能透過葉片及輪殼，直接推動附掛於轉動中心軸上的渦輪發電機，並能減低齒輪裝置系統所造成的能量損失及磨耗。



直驅式:葉片和同步發電機直連接  
Axle Pin

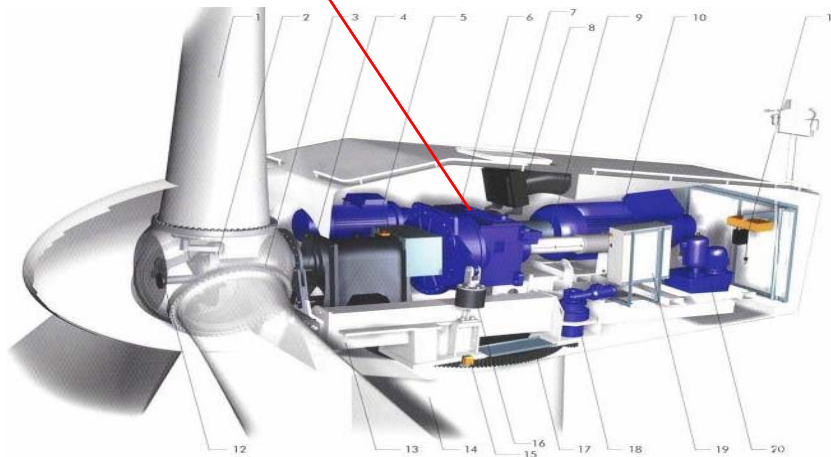


直驅式示意圖

直驅式:葉片和發電機直連接實際相片(無需齒輪箱)

### 3.4.2 間接驅動型(DFIG)

間接驅動型(有齒輪箱):由於齒輪箱造成的能量損失且較易損耗故障,通長搭配雙驅發電機 DFIG(Double Fed Induction Generator)又稱雙驅型。

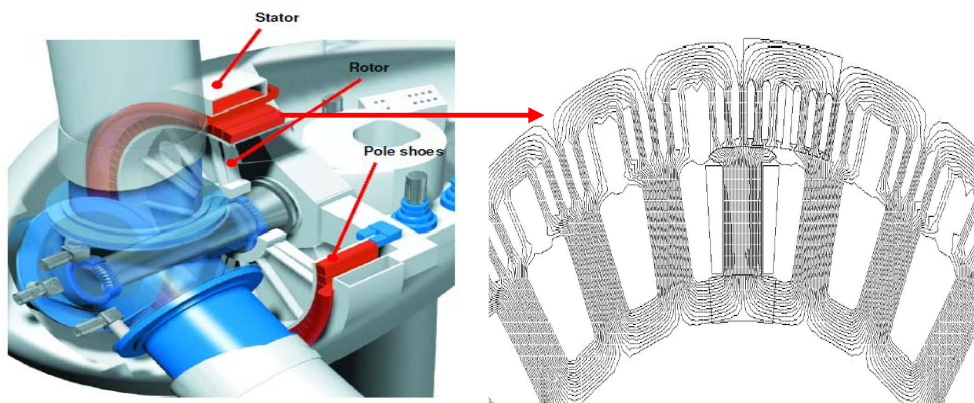




### 3.4 環狀同步發電機

Enercon 採用同步發電機，是其無齒輪風力發電機設計的一個關鍵組件；結合轉子樞紐，它提供了一個幾乎無摩擦的能量傳遞，而確保只有少部份的運動部件，產生數量最少的材料磨損；不像傳統的快速運行的發電機，其同步發電機技術是著重於減少磨損部分，特別適用於沉重的荷重和延長使用壽命。

#### 3.4.1 多極環狀同步發電機



多極環狀同步發電機示意圖

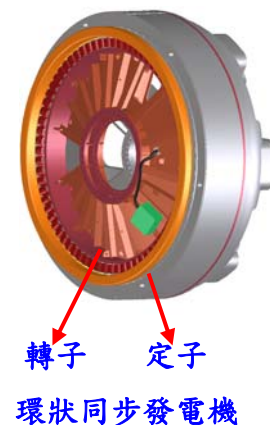
多極環狀發電機磁極及磁力線圖

同步機公式： $F = p \times n / 120$ ;  $F$  = Frequency; [Hz]  $p$  = Number of poles;  $n$  = Speed [rpm]

以目前最大型 E126 (7.5MW) 為例：極數多達 96 極 (如下圖)

轉速  $n=4.5\sim 13$  rpm      頻率  $F=3.6\sim 10.4$  HZ      ( $3.6=96 \times 4.5 / 120$ )

WEC type	Speed	Poles	Pole pairs	F [Hz]
E-30	28 ... 72	14	7	3.3 ... 8.4
E-40	18 ... 38	60	30	9 ... 19
E-58	10 ... 22	72	36	6 ... 13.2
E-66	10 ... 22	72	36	6 ... 13.2
E-112	4.5 ... 13	96	48	3.6 ... 10.4



Enercon 發電機是一個低速同步發電機，與當地電網無直接耦合；其產生電壓和頻率隨轉速大小而變動，但經過直流轉換後，再經過變頻器快速轉換為交流輸出，經變壓器昇壓後，再注入到電網。

Enercon 優異的同步發電機具有以下特點:

- i. 無齒輪
- ii. 低磨損，屬於慢速轉動
- iii. 低機械應力，因為擁有多階段的變速設計
- iv. 風能產生最佳化控制
- v. 高效率之電力品質



現場發電機吊掛組裝

在啟動發電機時會測試發電機是否潮濕或被雪覆蓋；若潮濕，啟動程序即停止並會在 LCD 上出現狀態 62；風力發電機組將重新啟動而定子加熱以揮發濕氣；此程序為提供發電機預防性的保護措施。

在此程序中，系統產出電力但不饋電至電網而是用來為發電機加熱；此加熱狀態通常會持續 2 小時，但在無風的情況下要更久；也有可能使用激磁電流來加熱發電機的轉子；一旦發電機加熱完成，風機可在正常運轉模式下重新啟動；否則，將再次加熱發電機。

### 3.4.2 風力發電機定子

為要求長壽命考量，在定子線圈內之銅繞組，屬於封閉及單層堆疊的 F 級 (155 °C) 絕緣繞組；它由個別的圓形銅導線，纏繞聚集在一起，繞成一束後，再上層絕緣材料及絕緣膠。

在 Enercon 公司，銅繞組是以完全手工完成(如下圖)；儘管越來越多的其他自動化製造業領域，但很好的理由之一是為了確保所有用的材料是經完全檢查；此外，所有的工作過程，可以從頭至尾由一條連續之銅導體，製作完成。



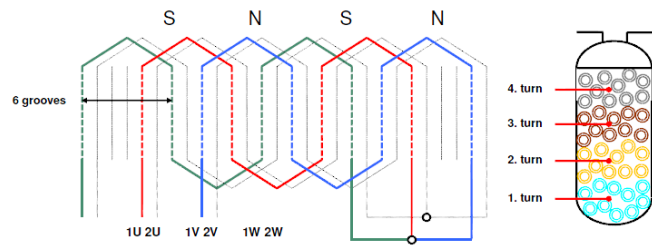
圖 1&2 三相定子線圈手工嵌入過程

圖 3 環狀發電機定子完成

圖 4 轉子吊入定子組裝

連續纏繞的優點如下：

- i. 避免銅導線接續點的錯誤及誤差
- ii. 保持良好的銅導線絕緣系統
- iii. 沒有接觸電阻
- iv. 無受敏感性腐蝕或材料的疲勞影響

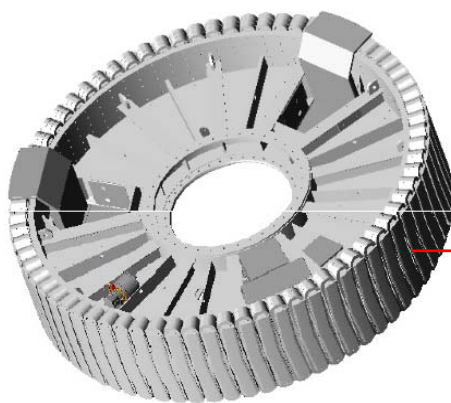


環狀發電機三相定子線圈連續纏繞示意

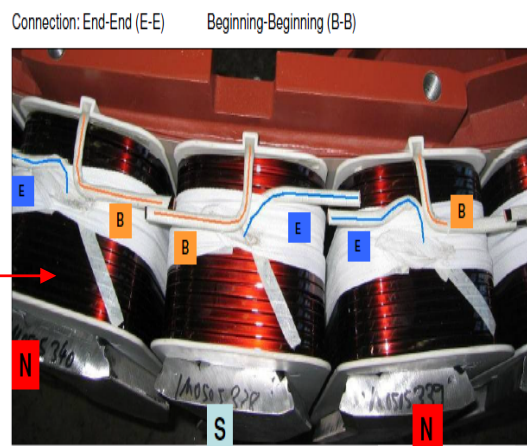
定子繞組的磁場經過激磁之後，由於其形狀和位置對於發電機的噪音，具有重大影響；ENERCON對於此點進行不斷改善設計，目前已有良好之成果。

### 3.4.3 風力發電機轉子

ENERCON葉片可直接驅動風力發電機的轉子，轉子外觀及多極連續纏繞方式如下圖，發電機為空氣冷卻多極低電壓同步發電機，可達到94%的效能；故在運轉中些微的溫度波動及輕微的負載變化時，可大幅減少機械應力及發電機相關結構與絕緣上的磨損。



環狀發電機轉子示意圖



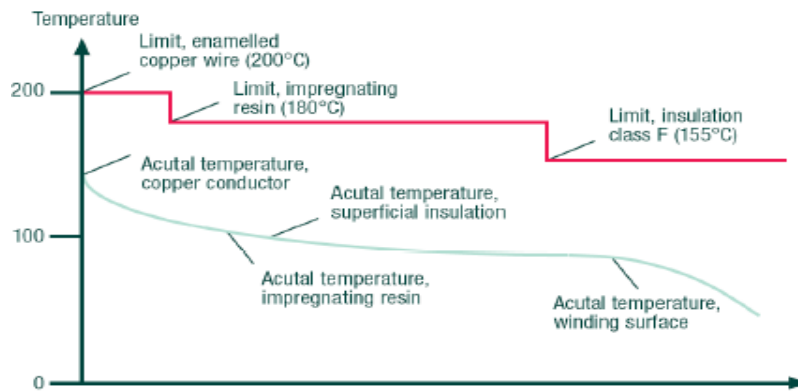
轉子線圈(Pole Shoes)繞線相片

### 3.5.4 發電機保護

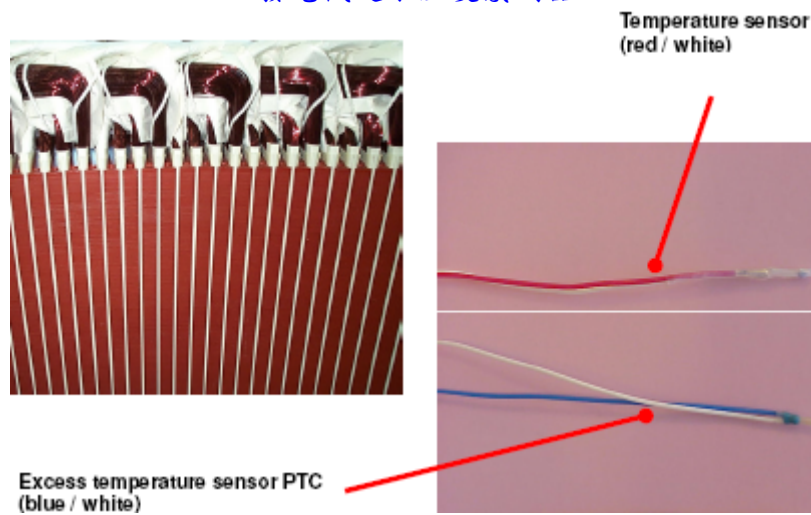
#### 1. 溫度保護

同步發電機功能已進化至溫度控制，藉由大量溫度感測器，對發電機最熱部份不斷進行監測，避免發電機過載，為防止誤動做，感測器靈敏度須遠低於發電機磁極線圈之熱阻系數。

發電機溫度保護設定



發電機定子溫度感測器





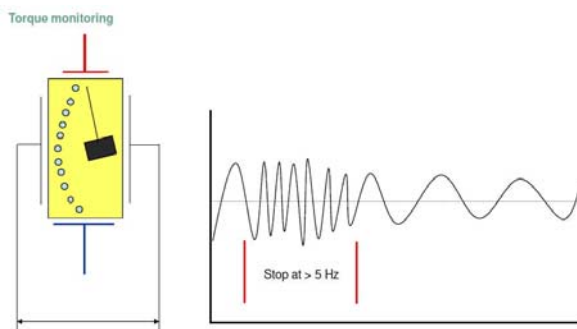
## 發電機轉子溫度感測器



## 2. 振動保護

整流器的異常會感應非常高的荷載，並會造成定子振動的結果；為保護風力發電機組避免損壞，定子上安裝了感知器（下左圖）並反應發電機中的振動，監控扭矩確保風力發電機組在振動達到極限容許值時立即停止，並無法自動重新啟動風力發電機組。

### 發電機定子振動保護



Air gap switch



發電機汽隙振動保護

## 3. 汽隙保護（上右圖）

風力發電機組同步發電機的轉子與定子間的空氣間隙僅數公厘，利用6個微開關監控其間隙不可低於預設最小值；若空氣間隙低於最小容許值，則空氣間隙監控系統將反應並觸發停機程序，而無法自動重新啟動。

## 3.6 ENERCON安全系統

### 3.6.1 煞車系統

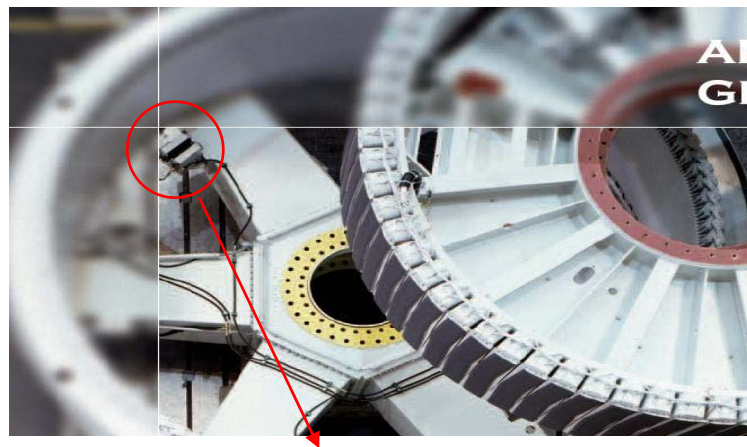
分為葉片煞車及轉子煞車，轉子煞車採用油壓煞車及固定銷(Lock-pin)。風機運轉中正常停機採用葉片煞車。

當運轉時，ENERCON風力發電機只能透過3個獨立運作的偏角控制系統在幾秒內將葉片傾角至水平位置而達到空氣動力性的煞車（葉片煞車），永遠無法完全鎖定在運轉中的風力發電機組。

當風力發電機停機時，轉子並未鎖定而是以非常慢的速度自由地轉動，轉子及驅動裝置實際上未承受任何載重。

緊急情況下，每一支葉片都會透過各自緊急供電的電容器安全地轉動至水平位置，自動充電器確保電容器的充電及可用性並透過電路連接至緊急傾角裝置以觸發快速傾角控制。

為達維修目的，轉子利用電子煞車系統完全地鎖定並提供葉片轉至水平位置。在此情況下，可使用轉子煞車開關鎖定轉子。



油壓碟煞 (Disk Brake)

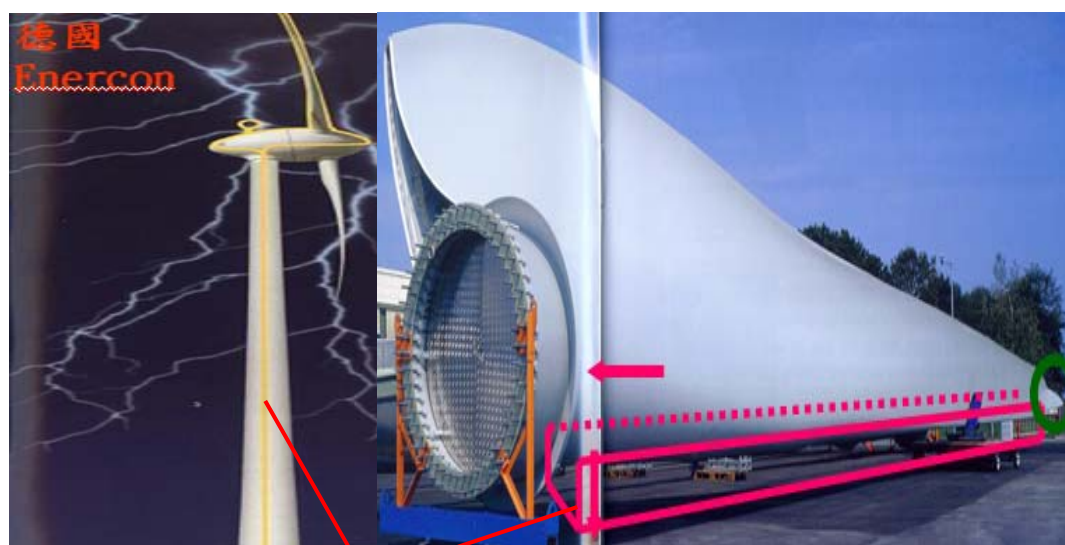
緊急情況下，也可按下控制盤上控制面板（塔內）或機艙內控制盤的緊急停止開關來停止轉子。

3個完全獨立運作的偏角控制系統搭配緊急情況使用的備用電力（電網或電容器）形成故障安全防護裝置更優於2個獨立煞車系統的要求。

### 3.6.2 雷擊保護系統

風力發電機組裝配的雷擊保護系統在大多數情況下可將雷擊導向接地而不損壞風力發電機組。

- 葉片尖端之金屬片→ 銅線/金屬片→葉片底部螺栓座 →輪轂→機艙接地線 →塔架接地線→基礎接地網→導入大地 (如下圖)
- 機艙頂部避雷器→機艙接地線→塔架接地線→基礎接地網→導入大地

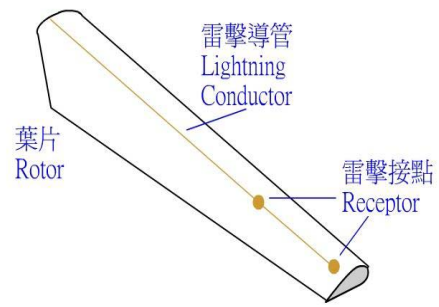


風機雷擊保護導通路徑圖

- 目的：控制雷擊時由外部電流引入之電場及電壓強度
- 偵測湧浪衝擊電壓，必要時緊急停機，保護風機設備
- 接地阻抗值低於5歐姆
- 資料及訊號傳輸，採光耦合及光纖電纜，以減少干擾
- 突波電壓保護：採用突波吸收器，減低對系統影響以電容器吸收調整過電壓問題

葉片之雷擊保護：

- 葉片之前緣及後緣，配置鋁塊，形成導電體
- 導通路徑：
- 葉片將雷擊電流經由 Air Terminal Rod、機艙、發電機框架、塔架電纜及接地電纜導入大地



此外機艙上方配置一避雷針同時保護風速計及機艙避免雷擊。

雷擊事故或電壓增加異常（過電壓）內建吸收能量的設備可保護整個電力及電子裝置，所有導電性的機械裝置均連至接地線；甚至在電網連接處安裝過電壓避雷器及低阻抗接地。

風力發電機組電子裝置絕緣並位於金屬箱體內，特別保護模組用來保護遠端監控系統（SCADA）的資料界面。

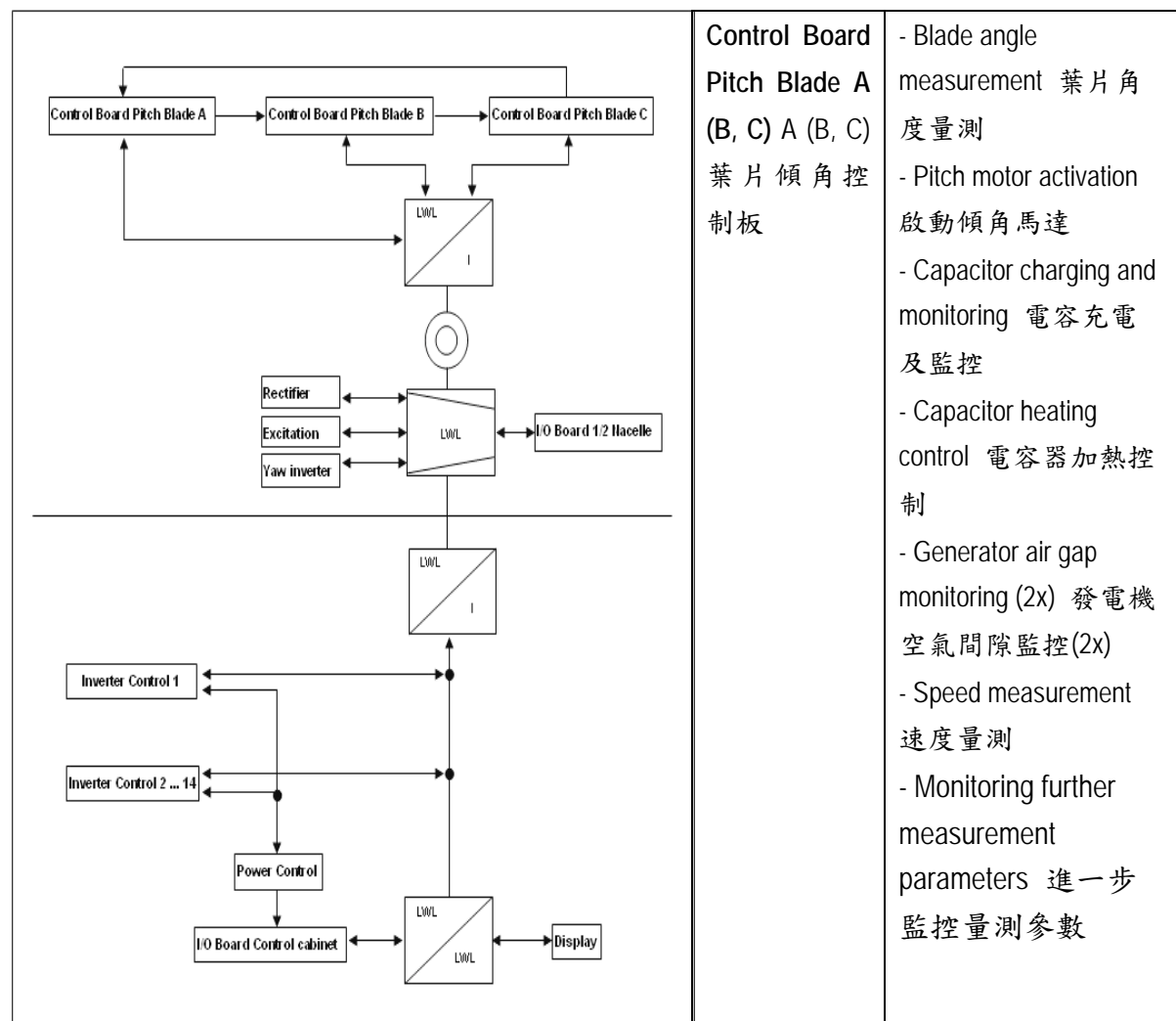
### 3.7 控制系統介紹

風機的控制系統是由ENERCON發展的微處理器系統所建立，利用感知器來掃描所有風力發電機組相關的組件、收集資料例如風向及風速並依該資料調整風力發電機組的運轉模式。

當連續3分鐘量測到適合風力發電機組運轉的風速時，自動啟動程序將開始實行。在未達到切入風速之前轉向控制也可動作。

如果輪轂方向與量測的風的方向偏差太大的話，偏航驅動裝置將修正機艙位置，偏航角度及修正機艙位置所需時間和風速有關，運轉中速度、輸出電力及葉片角度依風力狀況的變化持續調整，不論風力發電機組是由手動或控制系統關閉，葉片角度減少且接觸風的面積最小化，風力發電機組速度減慢直至停機。

Control system示意圖



**Control Board Pitch Blade A (B, C)**  
A (B, C) 葉片傾角控制板

- Blade angle measurement 葉片角度量測
- Pitch motor activation 啟動傾角馬達
- Capacitor charging and monitoring 電容充電及監控
- Capacitor heating control 電容器加熱控制
- Generator air gap monitoring (2x) 發電機空氣間隙監控(2x)
- Speed measurement 速度量測
- Monitoring further measurement parameters 進一步監控量測參數

### 3.7.1 Pitch Control (葉片旋角控制系統)

在高風速的情況下，風力發電機組將啟動傾角控制以限制截風能量並協助使風力發電機組慢下；在部分荷載範圍，傾角控制允許葉片依據風速傾角到最大角度，如此將可有效利用風能。

當風力發電機組達到其發電額定時，若風速增加則葉片將傾角切出風源，如此可管制風力發電機組的平均速度及發電量；激磁流同樣可限制發電機的輸出電力。

傾角編碼器持續控制設定的葉片角度，當三支葉片出現不同的傾角或量測到不穩定的角度時，例如傾角編碼器故障時，風力發電機組將停機，葉片會將傾角由大約 $0^{\circ}$ (運轉)至 $90^{\circ}$ (停機)；如果出現超過傾角範圍的錯誤時，極限開關連接至緊急傾角系統，以確保葉片將傾角至安全停止位置，且不能以自動傾角控制系統轉動。

如果因為事故而觸發風力發電機組的緊急停止(例如電網失敗)，則是透過傾角控制驅動上的緊急傾角裝置來執行；各個葉片均裝配有備用的電容裝置，可在即使是完全沒有電力的情況下將葉片傾角至水平位置。

#### 旋角控制分為馬達控制與油壓控制

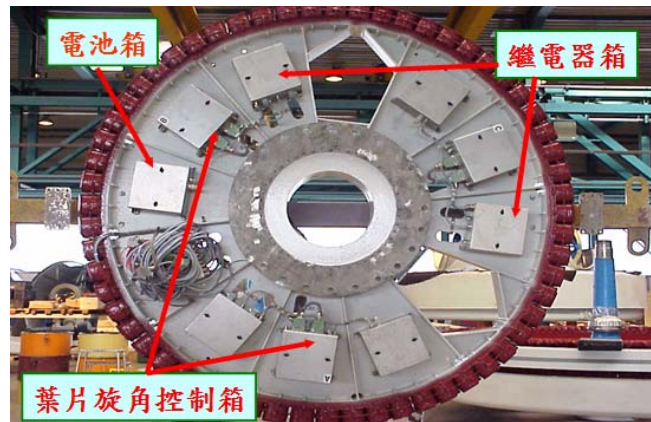
旋角控制系統即葉片煞車，旋角控制分為馬達控制與油壓控制；Vestas之葉片煞車採用油壓旋角控制，油壓旋角控制採用油壓泵、油壓管路、油壓缸及一套控制系統推動葉片旋轉達到起動或停機的目的；Enercon風力機組之葉片煞車採用直流馬達操作，馬達電力由蓄電池供應，蓄電池在風機停機時由市電充電。市電停電則由蓄電池供應，風機運轉發電後由機組本身之電力充電且控制系統定期地進行負載測試以檢查備用電容裝置的可用度。

#### 1. 馬達旋角控制系統功能及原理

- 馬達旋角控制系統係利用馬達旋轉葉片在正確位置，取得最佳受風面獲取最大發電輸出，或減少受風面讓機組惰速運轉或停機。
- 葉片角度以角度編碼器監視。
- 正常停機或緊急停機由內部控制程式決定。
- 假如三葉片間角度有差異或角度編碼器故障，則停機。
- 葉片角度之調整範圍約在水平 $90^{\circ}$ 至垂直 $0^{\circ}$ 之間。
- 假如系統故障造成葉片角度超出此範圍，有極限開關可確保葉片回到安全停止位置。



## 2. 旋角控制系統元件



### (1) 葉片旋角控制箱

- 功能
  - 處理與旋角控制有關之感測器資訊
  - 驅動旋角控制之伺服馬達
  - 供應電源加熱電池
  - 檢查蓄電池之電壓、溫度與放電程度
  - 調整充電電流進行充電
  - 控制葉片角度
- 速度感測器所提供之資料在滑環箱（集電環）作評估，作為轉子的迴轉速度與加速度計算的基準。
- 集電環會依據這些資料及當時之葉片角度計算並調整至適當角度，如發生故障，會立即反應給微處理器作必要的處理。
- 角度編碼器隨時監視三葉片之旋轉角度並與葉片旋角控制系統作比較以確認同步。
  - 葉片角度是以角度編碼器來核對。
  - 編碼器除作 $0.09^\circ$ 之葉片角度精度核對外，亦與其他葉片作同步調整。
  - 若各轉子葉片間之角度差超過 $0.2^\circ$ 以上，風力機組會完全停機。
  - 角度編碼器安裝在葉片根部之小型微動開關內。
  - 小型微動開關內含數個開關，防止轉子葉片超出其工作範圍，並用來起動或停止緊急煞車程序。

- 控制箱內含過速度開關（離心式開關或電氣Sensor）
- 過速度開關或Sensor動作時，旋角控制箱會與系統切離，由電池箱供給電源，此時葉片將以最快速度轉至水平停機位置。
- 當葉片轉至水平極限位置，電源供給將切回市電自動控制模式。

## (2) 繼電器箱（電驛箱）

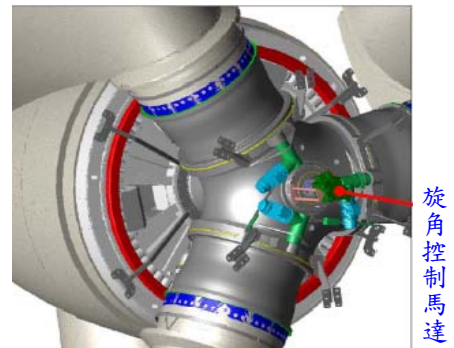
- 電驛箱作為旋角控制與相對應之伺服馬達或電池之電氣銜接。
- 內含接觸器可作為伺服馬達之供應電源以及由電池至市電或由市電至電池之切換。
- 為了確保此三葉片旋角控制設備為同步操作，三葉片之旋角控制與備用電源間的切換需同時動作。

## (3) 蓄電池箱

- 內有一台充電電池。
- 一旦電源故障或停電時，由電池電源轉動葉片達到停機之目的。

## (4) 葉片旋角控制馬達

- 旋角控制馬達為直流馬達，安裝在葉片根部，由電驛箱控制
- 藉齒輪機構(減速機)轉動葉片
- 三葉片以各自之旋角馬達（具煞車）作同步調整



## (5) 滑環箱裝（轉速監視轉子過速）

滑環箱裝設在主軸前端，  
滑環箱內部有一速度感測器，  
提供脈衝訊號以量測目前之轉子速度，  
並送到旋角控制系統。





## 5. 葉片旋角控制系統流程

- 每一旋角控制馬達均由繼電器控制，可以提供本身的控制系統與獨立的備用電源。
- 旋角控制系統之通訊，均以光導波來傳達。
- 塔架內控制箱與旋角系統間之訊息傳輸以光電耦合器，經由轉子副分電箱傳至滑環箱。
- 由電池箱、葉片旋角控制箱、繼電器箱、葉片旋角控制馬達（含減速齒輪箱）、葉片法蘭軸承以及配備微動開關之角度編碼器組成。
- Enercon係一個葉片由三個箱（電池箱、葉片旋角控制箱、繼電器箱）控制，訊號經滑環送到主控盤微處理器。

## 7. 緊急旋角控制單元

- 市電異常之故障，緊急旋角控制系統會使葉片轉向水平，達到停機目的。
- 每一葉片各有一套備用電池。
- 即使無市電供應，也能將葉片轉至水平停機位置。

每個電池之放電程度及可利用情況均由控制系統以定期的電池檢查及自動充電來持續監視

### 3.7.2 機艙風轉向控制系統 (Yawing System)

Enercon 風機提供一附合式風感測器，感測器安裝在一支撐管子，此管子與雷擊保護裝置合為一體一同安裝在機艙上方，此感測器由風向計及風速計共同組成；感測器有傳統型及超音波型如下圖：

傳統型

Cup anemometer



Anemometer

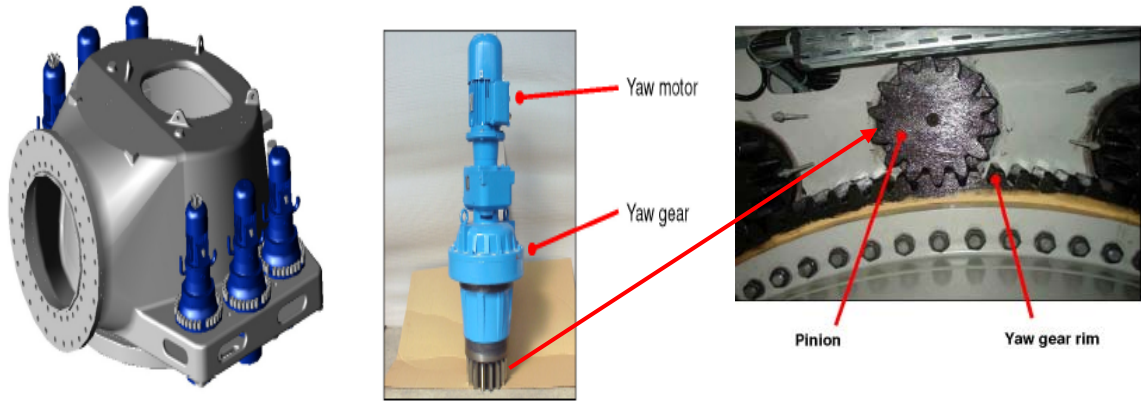
Wind vane

Lightning protection

超音波型



此迎風系統在 1.8 米/秒以上風速即動作，在啟機風速 2.5 米/秒以上，風力機即可運轉發電，即便風機因高風速原因已經停止運轉，迎風控制系統仍會控制機艙位置對準風向。



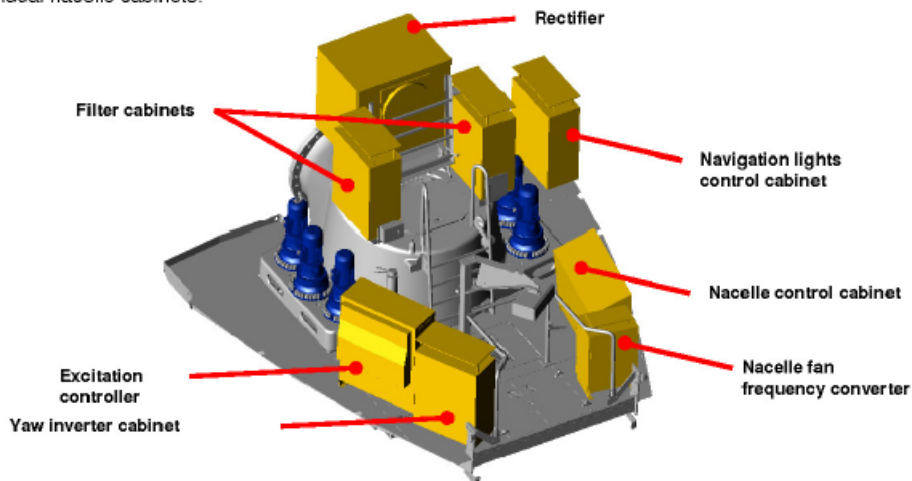
由 6 具馬達驅動轉向

驅動馬達相片

小齒輪嚙合外齒輪相片

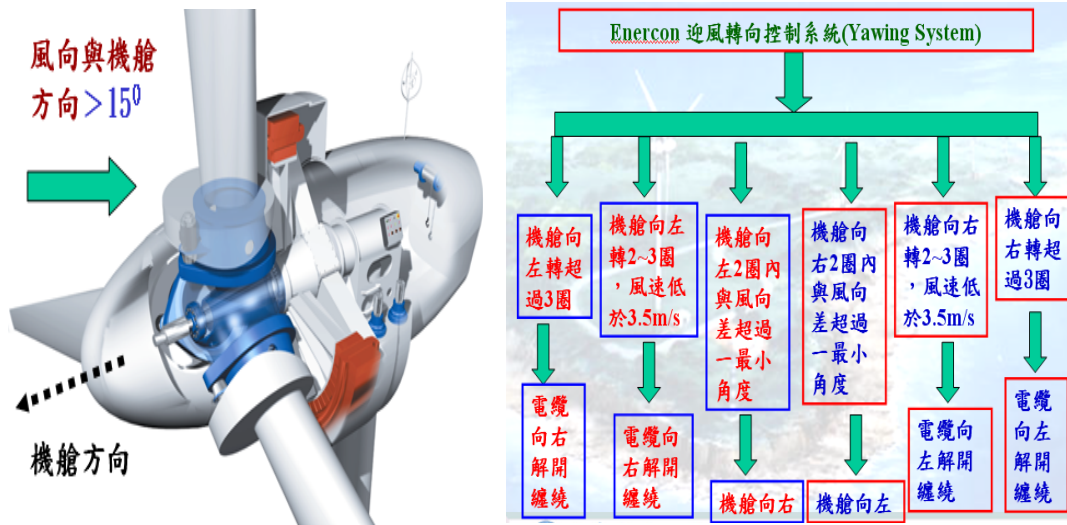
機艙座在塔架的頂部界面處有外部齒輪滾珠軸承鋼圈，調整驅動裝置可驅動小齒輪嚙合外部齒輪，以確保風力發電機組總是朝向風。

The individual nacelle cabinets:



在輪轂的高度持續性地量測風的方向，如果輪軸方向與量測的風的方向偏差超過容許值的話，則轉向驅動裝置將改正機艙位置；原則上轉向控制系統在機組接近起動風速時（每秒 2 公尺以上）開始迎風動作，調整驅動裝置控制以確保流暢的轉向運作且同時在轉向控制及停機模式時分配載重；機艙頂部風向計測得之風向與機艙方向作比較，若 10 分鐘平均值大於 150，則迎風控制系統重新對準

風向。



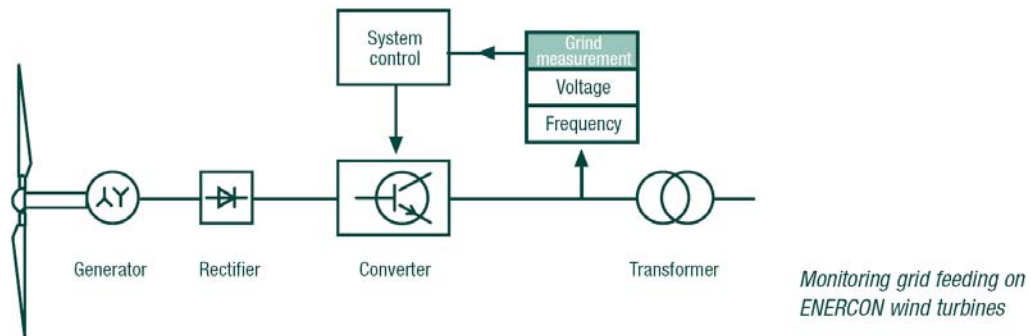
防電纜纏繞系統設計

### 防電纜纏繞系統(Cable Untwisting System)

風力發電機之控制電纜及電力電纜，採用可免除拉緊之方法，以纜線夾固定在塔身之前為鬆弛地置於傾角墊上；在機艙轉動時，這些電纜線有充分的自由度能隨著轉動而逐漸地扭曲，允許機艙能對其轉軸多圈運轉，假如機艙在同一方向旋轉多圈，電纜漸漸被纏繞，此風力機電纜纏繞感測器會作動，風機控制系統可自動地將這些電纜線解開扭轉狀態，該感測器連接迎風機構之齒輪邊緣，安裝在靠近機艙門處，一旦電纜線扭轉2~3圈，控制系統將利用下次低風速的期間來解開扭轉的電纜線；如果因為風力條件不許可或電纜線扭轉多過3圈，風機不管風力條件如何將自動停機且解開扭曲，解開扭轉的電纜線約需半小時，一旦完成解開扭轉的電纜線，風機將自動重新啟動。

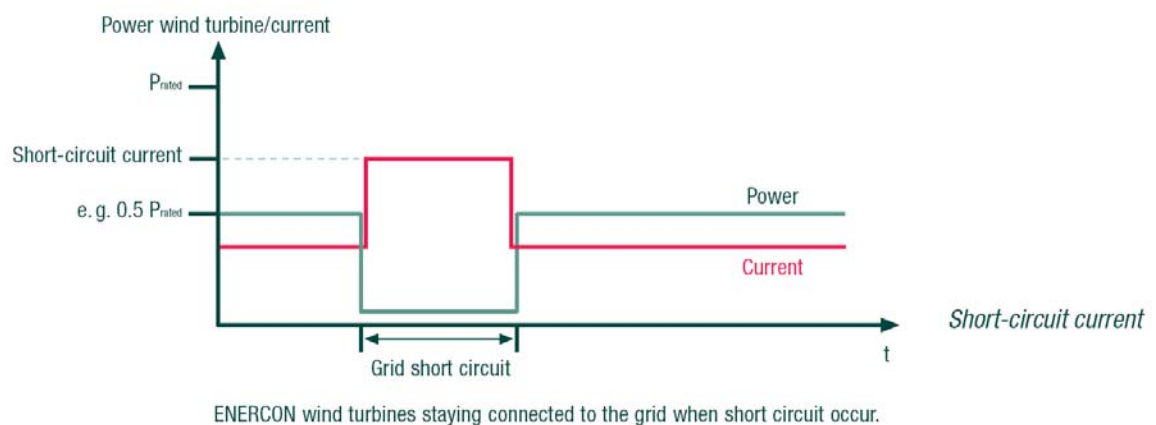
### 3.8 電網監測和保護控制系統

電網監測必需確保適當的電力由風力機組注入電網；在低壓側之量測電網參數，如電壓、電流和頻率的轉換器和變壓器的系統，必須不斷傳遞給控制系統，使風力發電機組立即作出反應的變化；如果觸動系統或電網保護協調值時，風力發電機組將自動安全停機，待維修處理後，風力發電機組才能再自動啟動。

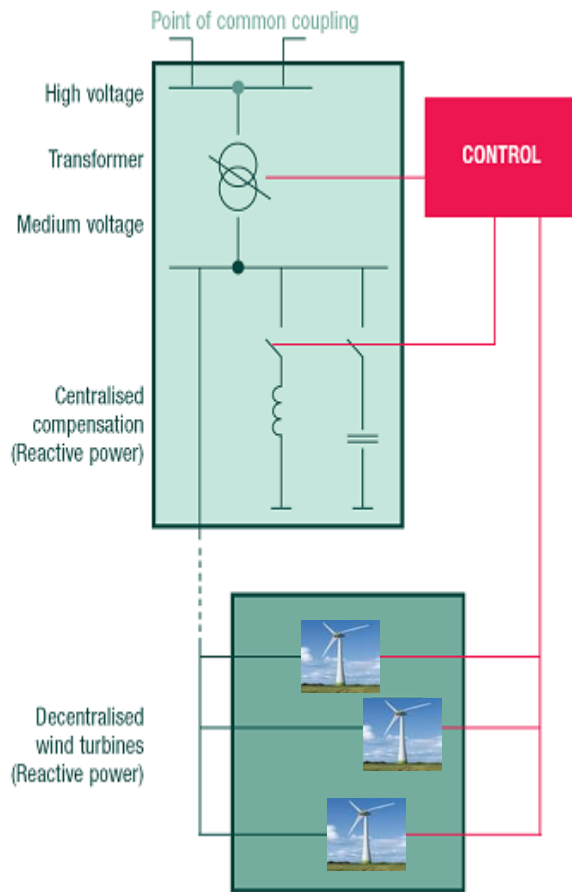


#### 3.8.1. 低電壓穿越

電網短路發生時，近似於電力變電站，風力機組不應該立即從電網上解聯；在電網之事故產生電壓突降的問題時，Enercon 風力機組仍保有抵抗能力，支援電網達數秒鐘不致於崩潰，並可根據當地電網事故特性，選擇同時輸出實功及虛功、或者只要實功、及主要虛功等模式支援系統，當事故已經修復和電網電壓已經恢復，該風力發電機組將立即繼續提供電網電力。



### 3.8.2. 風場輸出電力及電壓管理



- 電力輸出管理:調節最維持高產量  
如果風電場累積的輸出大於電網介面連接點上的能力時,Enercon 電力調節系統將降低風機輸出;反之,則維持最大電力輸出;如果單一風機產生較低電力時,其他風機會適當調整,以運行在更高的能力,增加輸出電力,可選則管理系統經 SCADA 系統自動處理。
- 電壓調整管理:使 Enercon 的 SCADA 系統可擴展到提供風場的電壓控制功能,此功能使大型風力發電場將能融入相對薄弱的電網進行整合;ISP 可根據預先確定的條件規範或通過額外的控制介面,經由電網介面點進行電壓控制。



### 3.9 風機運轉模式

#### 1. 自動控制模式

在啟動程序初期，特別的充電迴路將直流電充至激磁控制器，之後葉片緩慢地傾角以增加轉速；如果風力夠強且達到最小風速（大約每分鐘8轉），則風力發電機組即開始發電；若葉片角度朝向0°傾角，則風力發電機組輸出電力逐漸增加，電力的增加（電力坡度）有其預設的極限值，這表示輸出電力在啟動中受到管制與保護。

一旦風力發電機的啟動程序結束，風力發電機（狀態0：0）進入一般運轉狀態，風的條件持續地決定轉動速度、發電機激磁及輸出的最佳化，機艙調整至風的方向而所有的運轉中的感知器狀態均被記錄下來，發電機風扇受到溫度的管制，發電機的溫度高時則開啟。

當在部分負載情況下運轉時，即隨著多變的風力條件而不斷地調整轉速及輸出電力，在較高部分負載範圍下，葉片傾斜些微角度以避免擾流（失速影響）。

風速增加時，轉速及輸出電力也同時增加，與啟動程序的調整電力坡度相似，增加電力的電力坡度也可預設；調整範圍以E-70 E4可從1kW/s到 500kW/s；由於控制電力坡度會造成風力發電機組的平均輸出電力減少，所以通常不會建議採用；ENERCON風力發電機組同時提供電網電壓饋電運轉模式；在此模式下將持續量測並監控電網電壓；若電壓增加（因夜間用電量小），風力發電機組的發電可相應減小。

超過額定風速時，以E-70 E4為例葉片角度會傾斜以維持額定轉動值（大約每分鐘21.5轉）而電力值限制在2,000 kW到2,300kW（“自動控制模式”）；評估速度及加速量測資料以決定葉片角度的調整然後傳送到傾角控制驅動裝置。

#### 2. 待機模式 (Idling)

若風力發電機組停機（因無風或錯誤產生），一般葉片會轉到和運轉情況相關的60°位置，然後風力發電機組會以每分鐘3.5轉的極速運轉；如果超過該速度，則葉片會轉回至水平角度，此運轉模式稱為“惰速”(Idling)；惰速可減少負載且使風力發電機組可在最短的時間內重新啟動；風力發電機組停機或切換至惰速的原因可由狀態訊息指出（例如沒有風）；一旦停機，風力發電機組不可切換至惰速模式運轉的情況如下：

- i. 如果風力發電機組由手動停機。

- ii. 如果風力發電機組設定為手動模式且葉片角度設定為水平位置。
- iii. 因陰影情況而停機。
- iv. 因葉片傾角裝置錯誤。
- v. 因其他錯誤例如 ”主要故障” 、”空氣間隙監控” 、”扭矩監控” 、”軸承溫度” 、以及”資料庫錯誤”。

### 3. 自動停機

在自動模式下，只有在葉片傾角使風力發電機組因減少空氣動力的上舉力而減慢轉動並進而停機；傾角控制裝置可在數秒鐘之內將葉片轉動離開風源（例如轉至水平角度）。

在某些風力條件、錯誤產生或運轉情況下，風力發電機組也會自動停機；有些錯誤透過葉片緊急電力裝置造成快速停機，其他的錯誤則造成一般停機；自動重新啟動可能得視錯誤類型而定。

### 4. 手動停機

風力發電機組可藉由控制盤（塔底內部或機艙）上的”啟動/停止”開關來停機，控制系統將葉片傾角離開風源而風力發電機則減速至停止；轉子煞車不啟動且偏航控制維持在運轉狀態，所以風力發電機組可以依據風力條件持續做最佳的調整。

如果各個或風力發電機組件有危險，則風力發電機組應利用緊急停止按鈕來停機，此按鈕位於塔架底部的控制盤上，按下此按鈕將透過緊急葉片傾角及煞車裝置立即導致轉子的緊急停止快速傾角控制。

另一個緊急停止按鈕位於機艙的控制盤上，也可用於完成快速停止風力發電機組及切斷偏航控制系統、傾角控制、激磁及絞盤的電力供應；兩個緊急停止按鈕為彈簧鎖，在緊急情況已解除而欲重新啟動風力發電機組之前，應先將緊急停止按鈕拉出至原始狀態。

如果控制盤上的主開關設定在OFF狀態，則所有風力發電機組組件為關閉，但不包含塔架內及控制箱的照明、各別的照明開關及插頭。風力發電機組可透過葉片上的緊急傾角裝置啟動快速傾角控制。

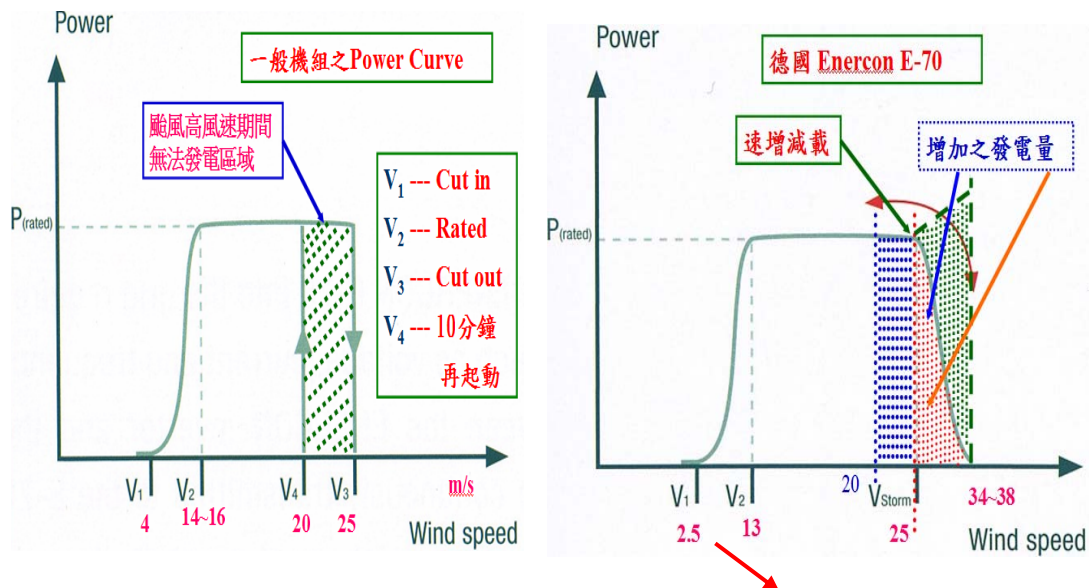


## 肆、研習心得與建議

藉由此次德國 Enercon 風機實習機會,得以進一步了解直驅風機之各項設備製造、控制系統及設計理念,比較與本廠實際運轉 Vestas 風機之異同:

### 1. Enercon 與 Vestas 暴風雨控制之不同

如下圖可看出 Vestas(左圖) 到達 25m/s 即停機,待下降到 20m/s 10 分鐘後才又在啟動,反觀 Enercon(右圖) 在風速 20m/s~25m/s (藍色部分) 到 34~38 m/S (紅色部分) 仍能繼續發電,避免頻繁的停機以及重新啟動程序導致產出的損失



由此圖亦可看出直驅式無齒輪箱阻力,啟動風速較低 (2.5m/s即可開始發電)

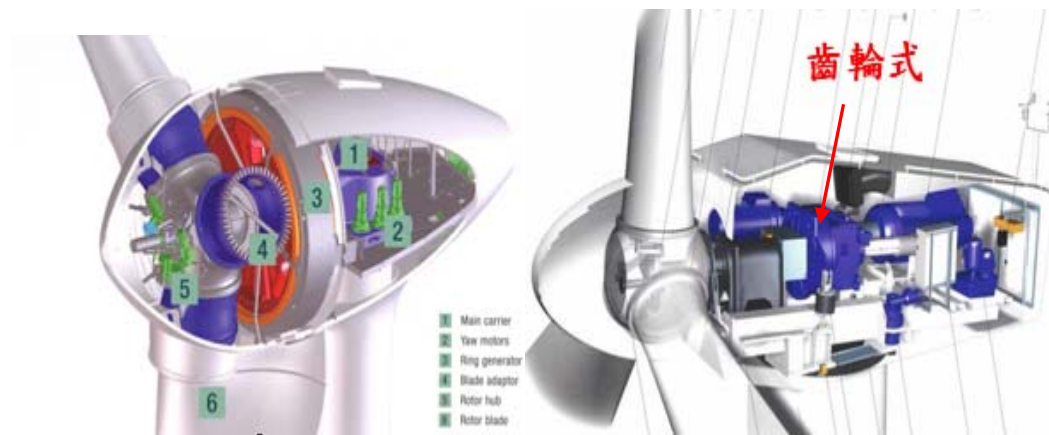
### 2. Enercon (德國) 與 Vestas (丹麥) 構造與特性比較

風機別 性能別	德國 Enercon	丹麥 Vestas
Converter	有 (較大,容量 100%設計)	有 (容量較小)
惰速 (Idling)	60°, 6rpm	45°, > 9rpm
Gear/Gearless	Gearless	Gear ( Ratio 120.6)
Cut-In	2.5m/s	4 m/s
葉片轉速 rpm	18~34 6 ~ 21.5	9~19
過速度	40, 43 25, 27	19±0.4, 19.75±0.5
Yaw 轉向系統	3 圈	3.8 圈
Pitch Control	馬達傳動	油壓傳動



以Converter而言，拜半導體 (IGBT) 突飛猛進之賜，直驅式100%容量設計已是未來超大型風機主流，可大幅增加有效、無效功率控制，有助於電網穩定，以Pitch Control來說馬達控制較油壓傳動來的簡單而精準，且較無油管路複雜及漏油問題。

### 3. Enercon同步發電機 (直驅式) 與Vestas雙饋式感應發電機 (齒輪箱型) 比較



機型形式 比較項目	Vestas傳統型搭配非同步雙饋式 感應發電機 (DFIG)	Enercon直驅式無齒輪箱型 (Gearless) 搭配同步發電機
優點	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 整體重量較輕，安裝及保養容易</li> <li>2. 生產成本較低</li> <li>3. 所使用之技術與元件製造皆臻成熟，元件供應廠商較多，相關資訊及可獲得之廠商支援多</li> <li>4. 重量分布較平均，其轉向動力傳動機構及其軸承承受之不平衡負荷較小</li> <li>5. 轉子、定子皆與電網連接</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 無齒輪箱，沒有傳統型搭配非同步雙饋式感應發電機 (DFIG) 之齒輪箱問題</li> <li>2. 元件較少，保養工作較少</li> <li>3. 安裝及保養容易</li> <li>4. 機組所需空間較少，機艙較短，體積較小</li> <li>5. 低速運轉，氣動效率高</li> <li>6. 有效、無效功率控制範圍較大</li> <li>7. 暴風雨控制設計較佳</li> </ol>

<b>缺點</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 非軸向負荷及扭矩傳遞途徑經過軸承及齒輪箱，較易造成磨損及故障</li> <li>2. 電網電壓不穩定時，可能會造成齒輪箱過載損壞，目前各齒輪箱廠已能大部分解決此一問題</li> <li>3. 軸承、油管路及齒輪箱等所需保養工程較多</li> <li>4. 機組所需機艙空間較大</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 重量分布較不平均，其轉向動力傳動機構及其軸承承受較大不平衡之負荷</li> <li>2. 同步發電機維特製品，生產廠商較少，可能價格較高及交期較長</li> <li>3. 同步發電機直徑需求較大，輪殼較大，減少葉片根部作用面積</li> </ol>
-----------	---	--

Enercon風機特點為其葉輪不經齒輪箱增速，直接驅動發電機，發電機的轉速較低，氣動效率高，可轉換陣風gust為轉子動能，不需Gearbox，所需發電機之極數較多，其發電機尺寸相對較大、發電機及機艙重量也較裝置容量大，而Vestas裝置容量裝置容量大於整體重量較輕、生產成本較低、安裝及保養容易、重量分布較平均，轉向動力傳動機構及其軸承承受之不平衡負荷較小，但缺點為軸承、油管路與齒輪箱 (Bearing& Gearbox) 等所需保養工作較多，機組所需空間較大，故機艙亦較大；非軸向負荷及扭矩傳遞途徑經過軸承及齒輪箱，較易造成磨損及故障。電網電壓不穩定時，易造成齒輪箱過載損壞；齒輪箱損壞是目前此型發電機較大之維修問題所在，也造成此型發電機之維護成本增高。

由於風力發電 Enercon 與 Vestas 已執市場牛耳且各有擅長與專精，前者似乎技術較佳且品質信賴度高，但價格卻也相對昂貴，再加上台灣氣候地形不同，建議公司需長期收集兩家運轉與維修資料，畢竟一開始造價低，但相對使用率低且維修成本高，總結來看並不划算，需整體就設備成本、使用率、維修成本、發電成本、電網穩定度等綜合考量，才能就台灣風力長遠發展找尋最佳風機製造商。

## 參考資料

1. “Wind Energy Handbook” John Wiley LTD
2. “Wind Energy Explained Theory, Design and Application” John Wiley LTD
3. “Electric Machinery Fundamentals ” Stephen J. Chapman
4. Enercon Overview of CS82 components and Presentation For ICP Training
5. Enercon公司風力發電機型錄、相關技術資料及照片
6. Vestas風力發電機型錄及相關技術資料
7. 台電公司風力發電可行性報告
8. 風力發電原理/林承龍
9. 各廠家風力發電構造及特性比較/劉清松經理
10. 遠見雜誌 / 第 268 期/ 徐仁全
11. 風力發電市場與技術發展概觀 IEK/ 藍偉庭
12. 各種風力機佈置比較表資料來源：工研院 IEK (2007/01)
13. 分類：環境保護 [tw.myblog.yahoo.com/gtt-1/article?mid=1693&prev...next](http://tw.myblog.yahoo.com/gtt-1/article?mid=1693&prev...next)
14. 台電公司各風力發電站照片