

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：風機應力及振動監測問題研究

頁數 40 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：台電人力資源處/陳德隆/022366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

鍾秋峰/台灣電力公司綜合研究所/能源研究室/機械資深研究專員
/02-80782298

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：2014.07.05-2014.07.18

出國地區：德國、丹麥

報告日期：2014.09.15

分類號/目

關鍵詞：風機(Wind Turbine) 狀態監測(Condition Monitoring) 噪音
(Noise)

內容摘要：(二百至三百字)

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

摘要

本次出國參訪實習聚焦於二項議題，其一為風機振動監測，此問題須考慮風機於安裝風場後環境適應情況，一般運轉中無法得到風電機組實際的疲勞損壞，和運轉狀況來導引對應的維護措施。因此需採用可以完整預測以及預防的維護概念，讓預測系統能夠透過診斷工具的加入，變得更具有智慧。本報告為實習所得，提供公司對於風機設備健康狀況診斷建言，增進系統的安全。

另一個風機議題，由於民眾針對風機噪音陳情案件數漸增，為避免未來風力發電機組設置後付出龐大的噪音改善費用，應於設置前先進行環境影響評估並妥善回應民眾對風機噪音的陳情事件，有必要建立風力發電機噪音影響評估能力，以評估風機設置前後對週遭噪音的影響。

目次

摘要	2
目次	3
圖目錄	4
目的	6
一、 行程概要	7
二、 研習內容	8
1、 研習風機振動監測技術	8
1-1 風機監測問題論述：	8
1-2 風機監測可獲得益處及解決的問題：	12
1-3 包絡線分析技術：	19
2、 研習風機噪音分析量測技術	23
2-1 噪音量測分析論述：	23
2-2 風機實地噪音測試規劃：	26
2-3 風機噪音場域評估所需之技術問題：	30
2-4 風機葉片之自然頻率測試：	35
三、 結論與建議	38
四、 參考資料	40

圖目錄

圖 1. SKF WindCon 系統及其他附加周邊服務功能	9
圖 2. SKF 公司風機監測遙控中心	10
圖 3. SKF 公司風機監測遙控服務簡略說明	10
圖 4. SKF 公司之監測遙控裝置安裝於最大離岸風機	11
圖 5. SKF 公司 WindCon 監測系統討論，照片左側為經理 J Gallego 右為參訪報告作者	11
圖 6. SKF 在風機主體設備提供智慧型健康診斷服務	15
圖 7. SKF 在風機主體設備提供智慧型健康診斷服務	16
圖 8. SKF 故障診斷系統	17
圖 9. SKF 故障統計分析系統	17
圖 10. WindCom FFT-data 處理過程運用包絡線分析	20
圖 11. Brüel & Kjær 公司位於丹麥之研發、生產及檢測單位	23
圖 12. 環境地形變化對於噪音散射問題影響很大	25
圖 13. Pridictor-Lima 分析系統提供各項功能	32
圖 14. Pridictor-Lima 分析系統完成多點聲源噪音分析	32
圖 15. 噪音分析系統導入 Google Earth	33
圖 16. 手提式噪音分析儀導入衛星影像圖	34
圖 17. 噪音分析系統匯入衛星影像圖	34
圖 18. 自然頻率分析系統導入	36
圖 19. 自然頻率分析系統架構	36

圖 20.使用 OMA 的方法，風機葉片可置放於一個基座上..... 37

目的

台電公司近年來大量開發風能，風機數量快速增加，由於風機在監測方面提供風機良好的維護及預警，提供正確且可靠的診斷訊息給維護單位或管理單位，以達到自主式的維護保養，減少攀爬風機的人力和時間，並針對風機維護的需要，給維護團隊的人員做最有效的建議。本次出國研習，主要著眼於風機維護問題，尤其未來離岸風機，有鑑於較好的維護建立於可靠的資訊，而可靠資訊取得需有規劃，僅從運轉訊息是無法判斷真實的故障，特別在於故障隱藏在振動或運轉資訊中，因此需特殊預測維護之專家系統蒐集後判斷。本次實習單位所提供訊息及借鏡有很多，尤其在設計理念為變轉速且變負載的風機，在監測引領維護的概念導入後，可減少非計畫性停機，預估風機的運轉生命週期，進一步可以監測判定是否延長該風機之相關維護工作週期。

另一實習議題之噪音量測分析，以瞭解風機噪音問題根源、改善經驗，以及新設風機建置環境之噪音容忍及散播，需借鏡於風機噪音量測分析之國外先進公司者。由於本公司各個風場的噪音狀況都不相同，需有好的監測分析規劃以揭示重要的噪音問題，或是在新設風場須達到各個風機的限值以符合環保法規，及修正各個風機的運轉以符合環保條件，從而獲取最佳風能之目的。

一、 行程概要

本案出國實習往返期間共 14 天，自民國 103 年 7 月 05 日至 103 年 7 月 18 日。行程概要如下：

- 1030705-1030706 由桃園國際機場赴德國法蘭克福行程
- 1030707-1030708 德國 SKF 公司實習風機風機監測技術
- 1030709-1030710 德國 SKF 公司討論 WindCon 風機監視系統
- 1030711-1030713 丹麥 B&K 公司學習風機噪音監測技術
- 1030714-1030716 德國 B&K 公司討論風機噪音分析
- 1030717-1030718 由德國法蘭克福返回桃園國際機場行程

二、 研習內容

1、 研習風機振動監測技術

1-1 風機監測問題論述：

研習風機振動監測為本次出國參訪議題之一，此議題選擇參訪對象為 SKF 公司，其總公司位於瑞典，但監測中心及研發單位設在參訪地點之德國，SKF 公司主要產品為軸承及相關之監測分析設備，而在風機監測方面則提供以風機為標的之 WindCon 監測系統，為針對風力發電機系統所發展之線上狀況監測軟體設備，包含其他附加周邊服務功能說明如圖 1。其設計理念為變轉速且變負載的風機，提供正確且可靠的診斷訊息給維護單位或管理單位，以達到自主式的維護保養，減少攀爬風機的人力和時間，並針對風機維護的需要，維護團隊的人員做最有效的建議。其監測數據將透過網頁直接傳送遠端所監視的風機運轉狀況，在監測引領維護的概念導入後，為減少非計畫性停機，先預估風機的運轉生命週期，然後以監測判定是否延長該風機之相關維護工作週期，因此可防止停機所造成之風機發電損失，利用故障追溯的模式，可以進行加強維護活動、延長維修排程，達到減少風機商轉維護的成本。

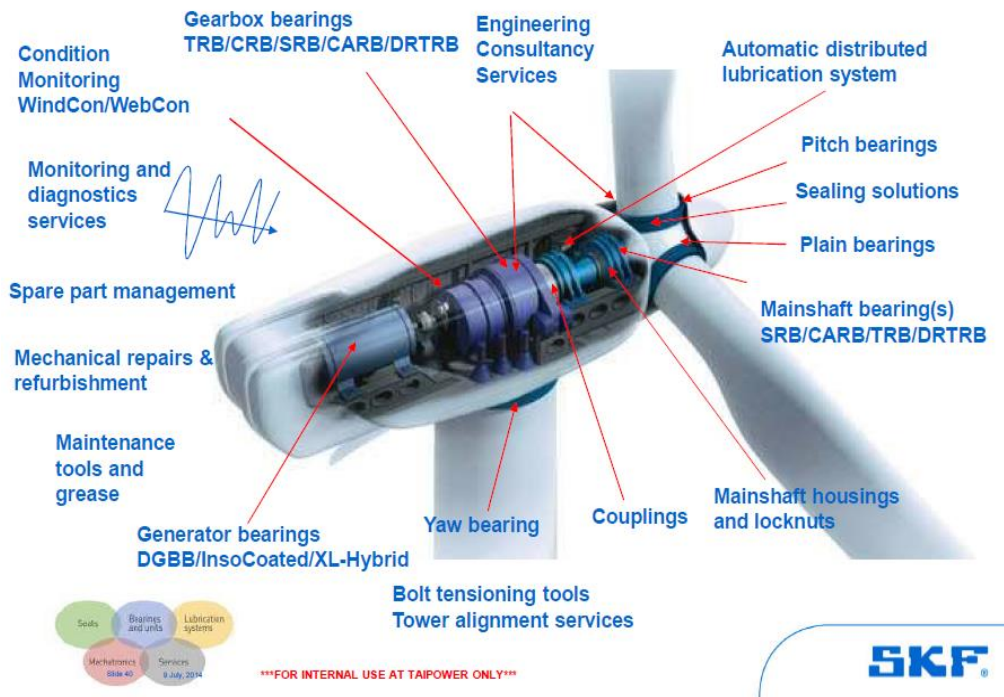




圖1. SKF WindCon 系統及其他附加周邊服務功能

關於本公司未來離岸風機規劃建置的問題中，監測維護勢必為重要議題，因為無良好的維護計畫，風機運轉無法順遂，影響風場經營績效，更壞的情況甚至可能產生維護困難或其他破壞造成停機，造成營運等問題。離岸風機投資龐大，如面對營運問題而造成失敗，損失可能是無法承受之重，必須審慎評估。然風場經營的失敗可以避免，端在對於風場的了解、安裝適合風機以及後續妥善維護計畫為成敗關鍵。離岸風機坐落於海上，由於海上環境及天候因素，更需要有很好的維護，因此勢必需有一套妥善維護規劃，然而妥適規劃必須建立在良好的資訊。本次參訪之 SKF 公司如圖 2. 及圖 3. 風機監測遙控中心，以及圖 4. SKF 公司之監測遙控裝置安裝於最大離岸風機，可以提供本公司很好的借鏡，不論是合作或引進該項技術，對於維護現有風機設備或未來維護離岸風機將會有很大的幫助。

SKF Remote Diagnostic Centre Germany (Hamburg)




Europe



- GL-certificated Remote Centre
- 900 WTGs* (>1700 globally)
- 16 countries*
- 31 WTG types*
- 11 different manufacturers*


Customers in the following industries:

- Wind
- Pulp&Paper
- Metals
- Wood Processing




Juan Gallego

- RDC Manager
- Previous experience in RS
- Background - Vibroacoustic Analyses




Dipl.-Ing Michael Wika

- RDC Senior Consultant
- ISO 18436 Level 2 certificated
- Wind experience since 2004



Dipl.-Ing Christian Alberts

- RDC Senior Consultant
- ISO 18436 Level 2 certificated
- Wind experience since 2004



Bachelor of Science Ruth Eickhoff

- RDC Engineer
- ISO 18436 Level 2 certificated
- Experience in Wind, Metals, P&P and Wood Processing Ind.

* Status 25.03.2014

© SKF Group 6846 37 0 July 2014 ***FOR INTERNAL USE AT TAPOWER ONLY***




圖2. SKF 公司風機監測遙控中心

SKF Remote Diagnostic Services for the Wind industry

- Reference Group of RDCs across Europe, China, and North America
- Monitoring over 4,800 assets globally
- Monitor operating conditions remotely via the web thus reducing the risk of unplanned shutdowns
- Detailed fault reports
- 24/7 web portal access
- Extensive WT template library with statistical alarming features



圖3. SKF 公司風機監測遙控服務簡略說明

SKF WindCon & SKF RDC in the World's Largest WTGs



5MW and 6MW machines (off-shore)

© SKF Group 859x 42 9 July 2014

FOR INTERNAL USE AT TAIPOWER ONLY

SKF®

圖4. SKF 公司之監測遙控裝置安裝於最大離岸風機

下列圖 5. 為作者在 SKF 公司與該公司經理討論 WindCon 監測系統，討論內容大致如下段文所述：



圖5. SKF 公司 WindCon 監測系統討論，照片左側

為經理 J Gallego 右為參訪報告作者

1-2 風機監測可獲得益處及解決的問題：

為有效利用可貴的自然風能資源，風機需長期連續運轉，而此情況由於持續變化的風力條件，導致風機載荷不斷變化。然風機的組件在疲勞載荷設計是否全部或只部分達到需求，是風機結構和元件是否失效的主要原因。風電機組的設計一般參照標準風力條件，不可能全面估計到風電設備於安裝風場後的實際風力條件和負載特性，無法得到風電機組實際的疲勞損壞和運轉狀況來指導對應的維護措施，因此通常需採用定期維護和部分組件失效以後的更換方式。其結果較可能導致風電設備維護不足，造成過早失效的問題。風機狀態監測適時提供風電設備故障的預先診斷和防範措施，通過及時安排修理避免重大的設備事故和財產損失。以下為實施監測且有計畫的保養維修所獲得好處：

- a. 延長風場巡檢的次數。
- b. 釐清在保證期內的責任關係。
- c. 延長風機壽命-讓風機的運轉與損壞都被監控與可控制的範圍之下。
- d. 施行損壞與磨耗的根源分析。
- e. 施行自發性(proactive)的保養來使風機發電量最大化。
- f. 取得對未來投資有用的知識。
- g. 早期損壞的發現與處理避免後續惡化的傷害。
- h. 經由有效的保養策略降低風場操作與維護成本。

- i. 有效利用停機時的維修保養工作。
- j. 最佳化的再潤滑保養工作。
- k. 投資風場的利潤增加。

風機狀態監測可以從任何可上網的電腦，經由監測分析目前風機的”線上”健康狀況而不用登上風機或讓風機停止運轉，根據實際的趨勢來分析，避免在有限的資訊下造成不正確的警報產生。監測在整個風機使用壽命中可以顯著降低保養維修費用與提升發電量。因此監測系統可經由數據蒐集分析，獲得下列運轉問題之預警：

- a. 對心不良 (misalignment)。
- b. 軸承問題 (Bearing problems)。
- c. 齒輪損壞 (Damage on gear wheels)。
- d. 軸彎曲 (Bend shafts)。
- e. 潤滑問題 (Lubrication problems)。
- f. 機械鬆動 (Mechanical looseness)。
- g. 塔架振動 (Tower vibrations)。
- h. 葉片振動 (Blade vibrations)。
- i. 發電機轉子問題 (Generator rotor problems)。

- j. 發電機定子問題 (Generator stator problems)。
- k. 電氣問題 (Electrical problems)。
- l. 共振問題 (Resonance problems)。
- m. 不平衡 (Unbalance)。

機械設備在發生故障之前或多或少都有衰減的現象發生，舉凡磨耗、灰塵、附著物、腐蝕、表面傷害、裂痕、過熱、振動、噪音等等，都是在故障之前設備早就存在的物理量，只是限於監測技術之運用，使用端通常都只能等到問題發生之後才發現，無法在故障之前就採取措施。過去風力發電機故障診斷維護方式是透過監控系統持續記錄資料，然後透過一些極限警告值的設定，最後發生不正常停機時，才依據專家經驗來進一步辨識故障成因，實質上並無法對系統的可靠度做出改善。因此，風力機維護方式的改變，才是繼續提升可靠度的關鍵點。維護診斷技術其實從過去到現在，由於時代進步，對於其功能的要求也不一樣。大致上可以分為四個階段。最早是屬於針對故障發生後才處理的模式，稱之為 Reactive maintenance，這是一開始最基本的想法，因為對於系統或維護技術還沒有很完整了解。後來，進步到預防式的維護 (Preventive maintenance)，也就是透過時間週期、失效模式分析來看使用時間等資訊進行維護，已經有更進一步的判斷依據來進行維護；第三個階段便是狀態基維護 (Condition based maintenance, CBM)，是透過系統設備各個狀態訊號的監控，來進行運轉狀態的評估，進而做出維護的管理決策，這是目前大部分的風力機

系統已經採用的維護診斷技術，一般也稱之為 CMS(Condition monitoring system)。不過未來的趨勢，應該是更進一步，進步到第四階段，可以完整預測以及預防的維護概念，讓 CMS 能夠透過診斷工具的加入，變得更具有智慧，能夠對於設備提出健康狀況的建議，如同醫生給病人的診斷一樣，然後對症下藥，改善系統，如圖 6. 及圖 7. SKF 在風機主體設備提供智慧型健康診斷服務。

Asset Diagnostic Services – End of Warranty inspections

SKF solution:

- SKF provided a user friendly mobile SKF WindCon solution. Delivered in a transport case, this solution comes complete with 8 vibration sensors, speed probe, magnetic holders and a preconfigured router to send the data automatically to the SKF cloud. As a result the customer had no concerns about communication, data storage or software installations.
- The mobile SKF WindCon and sensors were equipped with quick release plugs for easy user handling, and the router used a 3G GSM network to provide connection to the SKF cloud where data was stored centrally, and could be accessed worldwide by the customer.
- The solution also enabled live measurements, with the possibility to acquire data during routine maintenance, and with all channels collecting data simultaneously this could be done quickly and effectively.
- Alternatively, SKF WindCon can be left on-top until any defective components are replaced. Vibration specialists from SKF Remote Diagnostic Services analyze the data and send back the diagnostic report to the customer. The areas of application for this solution are diverse, such as end of warranty inspections, or troubleshooting.





圖6. SKF 在風機主體設備提供智慧型健康診斷服務

Asset Diagnostic Services – End of Warranty inspections

Customer benefits:

- Get an overview of your drive train condition (gearbox, generator, main bearing, etc) without the need for large investment
- Installation of a mobile SKF WindCon solution can be quick
- Data acquisition times are reduced through simultaneous measurements
- Can be installed without special training
- All required set-up can be done remotely by the SKF Remote Diagnostic Center
- The customer can log into the database at anytime to see his wind turbine data



4/4

圖7. SKF 在風機主體設備提供智慧型健康診斷服務

發展監測技術之目的為監測機械運動的過程，如果監測中發現一個顯著的訊息變化有可能是故障正在產生。在這理念及作法上，可衍生出三個主要的目的：

a. 檢測故障肇因：

明確檢測出故障肇因，監測診斷方式可用於檢測故障機理及故障的發生。設備以不同的運轉條件下可能會產生故障，如果在早期發現監測信號異常時，應立即進行評估故障形式與影響分析，如圖 8. SKF 故障診斷系統，圖 9. SKF 故障統計分析系統，並判斷出有可能的故障肇因，最後再加以構思各項防止措施。因為這可能代表故障狀況正在產生，因此確認早期信號指標是相當重要且珍貴的訊息。

SKF Remote Diagnostic Services of WTGs

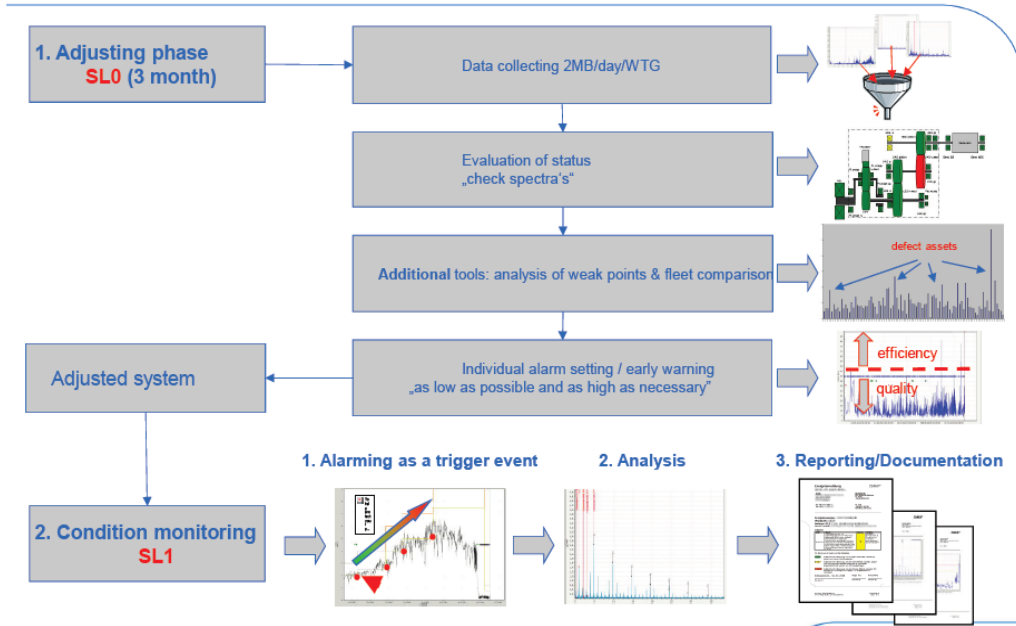


圖8. SKF 故障診斷系統

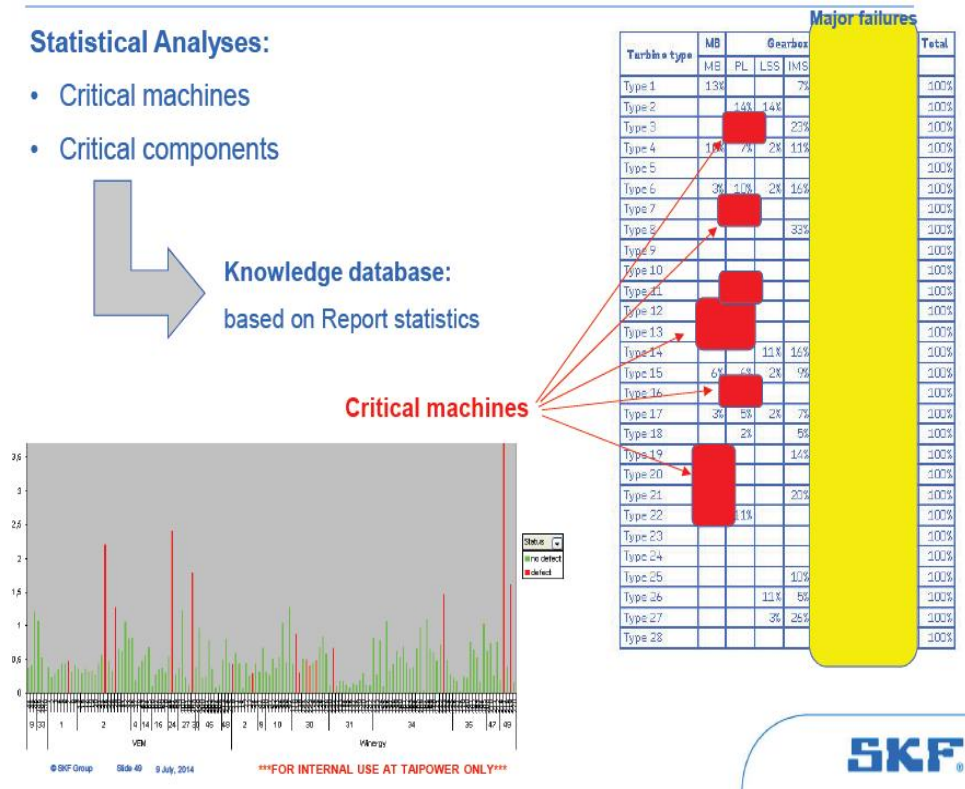


圖9. SKF 故障統計分析系統

b. 維修保養時間的安排：

機械運動需要長時間來檢測是否有變化或異常，並需預測可能故障原因，以便進行各項維修或保養動作。當使用監測技術時，可在故障發生之前安排較佳的保養、維修時程，可盡量避免或減少故障損失的後果。

c. 衡量故障程度：

事實上，只監測故障是不足的，應制定較明確衡量故障之準則，然後才可決定應採取的行動。故障嚴重性評估可用簡單的綠色，黃色和紅色的燈號表示，並應明確界定在何種狀況下，運轉狀況是否正常，且在故障發生前決定事故等級。此評估需要長期運轉的經驗累積與良好且具有準確性的量測品質下，制定出故障嚴重性程度之準則，雖然在某些額外的狀況會使準則更難制定出來，如風況穩定性、周遭環境等，仍應定出故障嚴重性程度之準則。

1-3 包絡線分析技術：

本次實習也包括 SKF 應用於包絡線分析 (Enveloping analyses) 技術、由於 SKF 公司生產滾珠相關軸承，對於此類軸承之診斷技術有獨到之處，運用於風機常使用之滾珠、或滾柱軸承診斷是順水推舟之事。簡單的說，包絡線分析是一個工具，可針對重要機械設備的使用壽命和運作狀況提供更多的信息，特別運用於檢測滾動軸承和齒輪箱的早期故障信號。包絡的加速趨勢分析可進行評估機器現有運作情況，因此是相當有價值的參數。擁有良好的資訊和專家的協助下，設備工程師可以有信心且適當地操作設備並管理他們所認為的重要設備資產。

在使用振動測量儀器檢測前，包絡線分析可以發現並檢測初期故障的發展情況。如果沒有可檢測早期故障信號的技術，工作人員必須等待故障信號很明顯的階段，如整體設備振動相當大、混濁的潤滑油、設備運作溫度的升高等。到了這個時候，出現故障的機械元件使用壽命會縮短很多，且損傷狀況大幅上升，甚至波及關聯元件，因此及早發現故障的徵兆是相當重要的。但須注意到一點，如要成功地應用並分析包絡信號數據是需要有相當的經驗，當監控機械設備時，包絡只不過是分析工具的其中一種，最好搭配並使用其它的分析技術以便更精確判斷故障。

包絡線分析過程，包絡分析的過程需要經過許多步驟才能從整體的振動信號中得到需要獲得的資訊，如圖 10. 之 WindCom FFT-data 處理過程運用包絡線

分析技術。

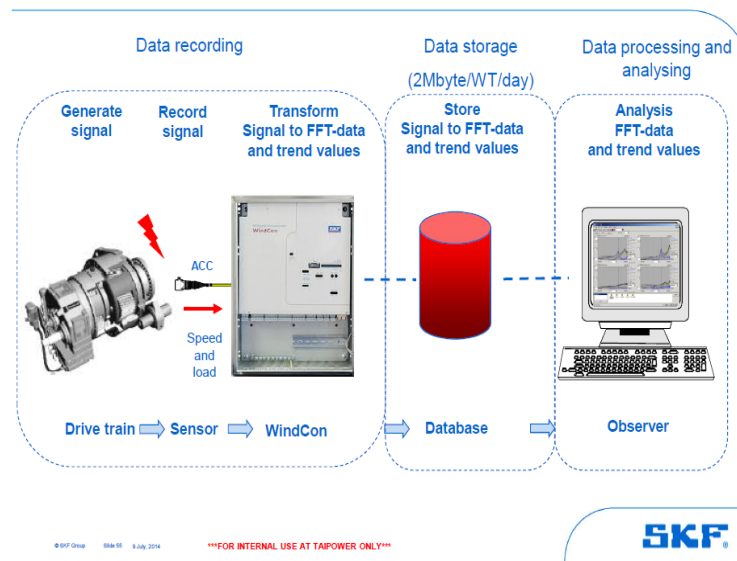


圖10. WindCom FFT-data 處理過程運用包絡線分析

在滾動元件軸承轉動中，滾動元件和支撐元件軸承之間的接觸會因損壞破裂進而激發振動，傳遞至殼振感知器 (Seismic transducer) 而產生振動能量，該能量從周圍的共振頻率中過濾並僅保留信號分量。濾波後的信號分量進行整流，然後包絡，從而消除了結構的共振頻率，並保留有缺陷頻率信號。最後經過一個低通濾波器 (Low-pass filter)，然後消除一些高頻的雜訊並產生出一個頻譜，因此頻率的趨勢與軸承的相關物理參數可以顯示出損壞破裂的發展狀況，SKF 之軸承包絡分析，一如前述，對於滾珠軸承及齒輪組件分析過程有相同的步驟及結果。對於週期性的衝擊訊號，使用包絡線分析是一個有效的方法，該方法能將與故障有關的訊息從調變訊號中提取出來，有效的判斷出故障發生的部位，軸承的滾珠與接觸面間彼此運動所產生的振動能量，如果外環內側有破損或裂痕時，振動能量將會變大並產生振波，此能量將會傳遞致軸承的外殼，並

利用安裝於外殼上的加速規抓取振動信號，最後針對此信號進行包絡處理分析，這些裂縫的碰撞行為下激發機器的自然共振頻率並傳遞至外環，每一次的碰撞振幅都會衰減然後又重新激發下次的共振，因此，裂縫的碰撞頻率有可能會與自然頻率發生共振調變(Amplitude modulation)，而裂縫所產生的振動信號是整體機器振動的一部分。故障發生訊號之傳遞及接收因為滾珠軸承的高頻響應特性，包絡分析一般都是使用加速度規來量測振動信號。因此，包絡通常又稱為加速度包絡或高頻加速度包絡。在均勻的機械材質條件下，高頻振動訊號無法傳遞很遠。對此要如何使加速規有效地接收這種低振幅、高頻率的振動信號是最重要的。因此，應盡量將加速規靠近軸承並緊貼於軸承受負載的區域，使加速規所接收的振動訊號更明顯及準確。

輸出信號包含著重要的頻率訊息，加速規的輸出信號包含著三種重要的頻率訊息，低頻高振幅的旋轉振動、結構的共振頻率、其它高頻的振動信號等，雖然信號是複雜的，但使用包絡技術可定義出碰撞裂縫的相關頻率，而此資訊對監控機械狀況是相當有價值。加速規的輸出信號隱含著組件損壞信息，以及輸出信號包含著三種重要的頻率信。包絡可避免大型機械組件的振動能量干擾關鍵振動信號，並提供早期故障檢測。然而，當在包絡頻譜分析下發現故障時，有些故障不一定是迫在眉睫需要馬上處理，但要持續注意此故障是否繼續惡化的趨勢，因此需要比對其他測量技術所量測的數據。感測器的響應頻率必須包括機械共振頻率的預期範圍內(1 kHz 至 >40 kHz)，為軸承損壞信號的特徵頻率範圍，包含風機各組件產生之頻率範圍。諧振頻率的感測器裝置須遠離並避免

會相互影響關鍵訊號的設備，感測器獲得之訊號應該是非常可靠並確認信號與故障發展趨勢的一致性。

2、研習風機噪音分析量測技術

2-1 噪音量測分析論述：

研習風機噪音分析量測為本次出國參訪之另一項議題，此議題選擇參訪對象為 Brüel & Kjær 公司，總部位於丹麥，為主要營運單位，其研發、生產及檢測部門亦設在此。如圖 11. 參訪所在位置即 Brüel & Kjær 公司位於丹麥之研發部門。



圖11. Brüel & Kjær 公司位於丹麥之研發、生產及檢測單位

噪音影響每一個人的生活，不論是在休閒、旅行、睡覺、或工作，然而人的身體及器官不會因為有噪音而停止工作。聽覺是身體的一個器官，為維持很暢通之訊息交換，持續使用並接收訊息，噪音的影響即會在此產生。考量實習議題對於現有或未來風機而言，以人的聽覺感受度基本認知為基礎，然後瞭解噪音問題來源、噪音的影響範圍，進而提供風機此類問題之改善經驗，以及未

來風機建置環境之噪音容忍及散播問題，也借鏡於風機噪音問題之國外先進公司。由於本公司各個風場的噪音狀況都不相同，需有好的監測分析規劃以揭示重要的噪音問題，或是在新設風場須達到各個風機的限值以符合環保法規，或修正各個風機的運轉以符合環保條件，從而獲取最佳風能之目的。因此須主動的噪音監測並以此根據與鄰居們達成有效共存，防止矛盾產生，減低如某家風能公司必須面臨遷離風機的損失。這次參訪實習之 Brüel & Kjær 公司建議之可攜式終端噪音量測分析設備，如照片之牆壁示範風機噪音量測等，此類型設備功能適合運用於本公司高精準度之長期噪音監測，是對現有或將來的風場進行噪音估計或噪音符合證明很好的選擇，利用這分析功能，可獲得風機製造廠家能的聲功率和音質，風機使用前能檢驗新購或維修時設備組件產生的噪音位準，而規劃和諮詢人員能對單一風機或整個風場的環境噪音計算進行調整和驗證，這些長期非永久性評估設備在單個風機評估量測等情況時，能方便地重新部署，分析量測進行中可快速獲悉環境散射值及方位，參考圖 12，監測環境地形變化對於噪音散射問題影響很大，適當的模擬預知噪音是量測所必須的。



圖12. 環境地形變化對於噪音散射問題影響很大

由於本國環保署已於 102 年 8 月份將風力發電機噪音列入噪音管制標準以及近年來民眾針對風機噪音陳情案件數漸增，為避免未來風力發電機組設置後付出龐大的噪音改善費用，應於設置前先進行環境影響評估並能妥善回應民眾對風機噪音的陳情事件，有必要建立風力發電機噪音影響評估能力，以評估風機設置前後對週遭噪音影響範圍及影響程度及建立民眾陳情風機噪音時所應採取的評估、測量方法，同樣也可運用在未來風機噪音對環境影響之評估、管理及預測。本次參訪之噪音分析公司建議除了上述的計畫，應包括需具有高標準的後援服務，能夠追蹤測試結果對相關國家標準的有效性，整合從測量用傳聲器到 PULSE 分析平臺的全方位量測結果，也包括對複雜環境要求，各個方面進行控制的管理軟體。量測結果的通用性能也允許這一系統能重新組合形成範圍廣泛的測試方案。

2-2 風機實地噪音測試規劃：

風機噪音實地測試分析及工具的運用，在風機運轉中的地位越來越重要，顯示降低噪音對於開發與安裝運轉為成功關鍵因素之 1，從葉片設計到吊艙安裝，風機組成的各個層面步驟，需要有噪音定位和準確估計。在現場測試系統方面，從掌上型分析儀到最新的麥克風陣列，從單通道聲學測量到複雜的 beamforming 方法，幾乎要考慮滿足各種狀況需求，無論是進行單台風機測試、現有裝置評估或風機齒輪箱故障檢測，均需有軟體的聲學測試解決方案，其所提供內涵資料為測試所需要的全部，配合噪音的量測選擇適當時機環境條件。測試評估工具需具備至現場量測之風機噪音監測設備 1 組，包含：噪音監測分析儀、氣象儀(風速、風向)及 GPS 自動定位功能，可持續測量 24 小時以上，並將監測數據自動依 GPS 定位點自動匯入系統中進行噪音地圖模擬運算，以驗證噪音影響評估範圍之準確性。

較適當之風機噪音測試系統，需可於監控中心即時顯示噪音監測數值，進行遠端連線設置監測參數，並可分別設置日、夜噪音事件觸發位準，進行噪音事件記錄並回播噪音事件記錄聲音檔。系統必須能設定風速超標功能，並將風速超標之噪音事件進行標註(不列入計算)。系統也須能自動計算日、晚、夜 LEQ 及 DNL，並可出具噪音監測報告。

風機噪音測試規畫也應包含噪音規範的應用，各種頻率散射影響不同，對於低頻噪音，以往沒有法規可以遵循，尤其人耳對於低頻率聲音感受和中、高

頻明顯不相同。頻率在 20Hz 以下的聲音，雖然大部分人聽不到，可是當音量大到可感受時，其感受像心跳或振動，其噪音也會讓門、窗或玻璃製品輕微振動作響。文獻指出有些人感覺得到低頻噪音壓力的存在，可能會產生憂慮的反應，也有令人不舒服的感覺。頻率在 20-60 Hz 的聲音，人耳依稀可以聽得，國內定訂低頻範圍在 20-200 Hz，算是符合一般人對噪音的感受。目前國際用於風力發電系統之量測規範 IEC61400-11 風機噪音標準，有關風力發電規範國際規範 IEC 61400 系列如下表所示：

IEC 風力發電規範說明表

ICE 規範	原文名稱	中文名稱
IEC 61400-1 : 1999(E)	Wind turbine generator systems – Part 1 : Safety requirements	風力發電機系統-第 1 部:安全需求
CEI/IEC 1400- 2 : 1996	Wind turbine generator systems – Part 2 : Safety of small wind turbines	風力發電機系統-第 2 部:小風機安全需求
IEC 61400-11 : 2006	Wind turbine generator systems – Part 11 : Acoustci noise measurement techniques	風力發電機系統-第 11 部:噪音量測技術
IEC 61400-12 : 1998(E)	Wind turbine generator systems – Part 12 : Wind turbine power performance testing	風力發電機系統-第 12 部:風機性能曲線測試
IEC /TS 61400-13 : 2001(E)	Wind turbine generator systems – Part 13 : Measurement of mechanical loads	風力發電機系統-第 13 部:機械負載量測
CEI/IEC 61400-21 : 2001	Wind turbine generator systems – Part 21 : Measurement and assessment of power quality characteristics of grid connected wind turbines	風力發電機系統-第 21 部:風機併網發電品質 特性量測與評估
IEC/TS 61400- 23 : 2001(E)	Wind turbine generator systems – Part 23 : Full-scale structural testing of rotor blades	風力發電機系統-第 23 部:轉子葉片全尺寸結 構測試

有關風機噪音法規公共政策的決定，面臨很多挑戰，尤其是低頻噪音，主要問題在於諸多的認知變數，大部份聲音法令是根據噪音的平均值，比如說連續 2 分鐘的平均值，然而在風機隣近居民認為得以及所聽到的，都以所感受到聲音峰值為準。在此多變的噪音標準下，會有更多的報怨提出其受到某種程度干擾，環保法規依據 IEC61400 - 11 國際標準，以確定風機聲功率要求，對於噪音認知的爭議，也應以國際共同認定的依據。

在測試技術方面，使用高品質設備對風機噪音，是穩定而準確的測試所必須，而設備的標定過程須能在國際機構進行追蹤。高品質設備之測試工具係依據 IEC 61400 - 11 的風機聲功率測試，可便利使用的完整實驗系統，可滿足標準條款要求，具有嚴格要求標準的方法則，通過一個直觀的使用者介面以大幅簡化，其中包括複雜噪音輻射的測試、分析和報告等部分。永久噪音監測在噪音監測及解決方案，得能在各種氣候條件下，持續的時間段內準確地記錄資料，構建噪音特徵的完整畫面。

除上述噪音測試分析之外，噪音的量測解決方案也運用在故障診斷上，由於風機變速箱所進行維修或更換，不僅費用巨大，而且電力輸出也損失嚴重，因此風機變速箱噪音測試可獲得好處。實際做法可由重組齒輪箱測試系統，包括聲學或振動感測器之前端資料獲取以及分析軟體，在生產運轉中可應用一系列的分析手段，如 FFT 分析、階次分析、噪音源識別、工作變形分析和運轉模態分析等，來識別分離出低效或缺陷部件。對變速箱進行全面的噪音與振動分

析能大大降低故障、風機獲得品質保固和降低維修問題，如應用在較堅固小巧的組件上，也能在運轉狀況下使用，同樣大幅降低故障，因此運轉中一旦出現問題，也能確保進行快速準確的故障診斷。

2-3 風機噪音場域評估所需之技術問題：

我們討論噪音的大小時，常常會遇到一個問題，到底噪音使用瞬間最大值還是平均值？有些人對於瞬間噪音干擾很敏感，但有些人對長期的噪音，儘管是合乎法定量，依然表現出難以容忍。風機廠商設計風機噪音量，常常正好符合環保法規，而環保法規使用的標準為平均值，有些資料(研究報告)來源，提到瞬間風值比平均高出 20db 以上，這可以證明，為什麼風機噪音可以符合環保法規，但有些人還是難以忍受，風機噪音平均值計算是使用平均且長時間的平均，而不是瞬間聲音的最大值，因此在平均值隱藏最大最小之平均數，如果大小差異數太大可能就會有前述之峰值高出 20db 以上，平均數的代表性就有爭議了。在量測技巧上也有造成峰值確實高出甚多的狀況，主要是風速增強後，在風機後方噪音會被風速強化散射，就算排除周邊噪音狀況，也會有增強的現象發生。風機在新造完成後，廠商所測試的風機都在高效率的情況所得數據，其葉片新造，在流體接觸葉片後，流場是較順暢的，較不易產生紊流的效應，然而風機運轉一段時間後，因耗損或撞擊，葉片流場勢必改變，而產生較大紊流，如此情況，風機葉片的擾流增加，噪音會因此增加。然而噪音量到底增加了多少？這方面的結果很少出現在研究報告上。根據參考資料提供在現場量測結果，此理想狀況模擬結果多出 1.6~3.5db(根據 Pedersen)等人研究，這數值差異值是以 IEC61400-11 及 23 為根據，量測聲功率所得之差異值。

風機環境噪音是否符合環保法規，需從環境噪音限值之監測分析著手，為應用於風機運轉所必須，在大環境條件之下，對噪音敏感的人或區域常會抱怨聽到難以忍受的聲音，尤其在靠近風機的社區或住戶，本次參訪噪音分析公司建議，從持續量測分析提供監測報告，提供噪音及風速資料，可以及早獲得環境噪音之分析結果，以處理相鄰風機住戶抱怨。在一般生活圈範圍，對於風機噪音的容忍程度有所不同，郊區因人口較少比市區容忍度高。另一方面，在風場的區域範圍，風機噪音主要是由大氣條件所影響，比如說風速、溫度等，風機的發電量由風速所決定，較高的風速產生較大的發電量，同時噪音也增加了，從溫度的高低比較，白天或夜晚，地面溫差大也會造成聲音上傳或下傳不同方向，造成夜晚噪音特別明顯的情況。再一個問題，紊流也是噪音來源的一大因素，越大的紊流噪音量越大，對於社區生活圈之噪音來源，風速及紊流將是最大的問題所在，如此需研擬風力發電機噪音影響評估方法。

每一個風場開發時須通過環境噪音評估，其評估方法均需監測環境背景的背景噪音準位，每種風速下的背景噪音量均需評估，以獲得各種條件下可容許之噪音量。風場量測設備可提供有效率之蒐集風速及噪音資料，協助完成必要的有用資料。噪音分析軟體 Predictor-Lima 有上述功能外，可提供風機噪音音量及配合各風場噪音限值，如圖 13. 及圖 14. 來完成各種氣候條件評估及長期平均準位監測。

Product Data Manufacturer

PUBLIC

Document No.: 0300-0450 V03
Issued by: Technology R&D
Type: T05 - General Description

General Specification
Appendices

Date: 2013-02-23
Class: 1
Page: 47 of 48

12.3 Noise Levels

12.3.1 Noise Curve V90-3.0 MW, 60 Hz, Mode 0

Sound Power Level at Hub Height: Noise Mode 0			
Conditions for Sound Power Level:			
	Measurement standard IEC 61400-11 ed. 2:2002		
	Wind shear: 0.16		
	Max. turbulence at 10 meter height: 16%		
	Inflow angle (vertical): 0 ± 2°		
	Air density: 1.225 kg/m³		
Hub Height	80 m	90 m	105 m
L_{WA} @ 4 m/s (10 m above ground) [dBA]	97.9	98.0	98.2
Wind speed at hh [m/sec]	5.8	5.7	5.8
L_{WA} @ 5 m/s (10 m above ground) [dBA]	100.9	101.3	101.6
Wind speed at hh [m/sec]	7.0	7.1	7.3
L_{WA} @ 6 m/s (10 m above ground) [dBA]	104.2	104.5	105.0
Wind speed at hh [m/sec]	8.4	8.5	8.7
L_{WA} @ 7 m/s (10 m above ground) [dBA]	106.1	106.2	106.4
Wind speed at hh [m/sec]	9.8	9.9	10.2
L_{WA} @ 8 m/s (10 m above ground) [dBA]	107.0	107.0	107.0
Wind speed at hh [m/sec]	11.1	11.4	11.7
L_{WA} @ 9 m/s (10 m above ground) [dBA]	106.9	106.9	106.7
Wind speed at hh [m/sec]	12.6	12.8	13.1
L_{WA} @ 10 m/s (10 m above ground) [dBA]	105.6	105.4	105.3
Wind speed at hh [m/sec]	13.9	14.2	14.6
L_{WA} @ 11 m/s (10 m above ground) [dBA]	105.2	105.2	105.2
Wind speed at hh [m/sec]	15.3	15.6	16.0
L_{WA} @ 12 m/s (10 m above ground) [dBA]	105.3	105.3	105.4
Wind speed at hh [m/sec]	16.7	17.1	17.5
L_{WA} @ 13 m/s (10 m above ground) [dBA]	105.4	105.4	105.5
Wind speed at hh [m/sec]			

Wind turbine

Identification: Coordinates: Properties: Wind speed: Emission:

Height definition: Relative height

X coordinate [m]: 552773.53

Y coordinate [m]: 507304.75

Ground level [m]: 434.81

Height above ground [m]: 90.00

OK Cancel Help

Wind turbine

Input type: Terrain type:

Sound power Lev: Custom

Cut in speed [m/s]: 4 Roughness Factor: 0.050

Cut out speed [m/s]: 25

Sound power Lev per wind speed [m/s] [dBA]

Wind speed [m/s]	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Sound power Lev [dBA]	98.00	101.30	104.50	106.20	107.00	106.90	106.40	105.20	105.30	105.40

Reference spectrum

Frequency [Hz]	31	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Spectrum [dB]	-30.00	-16.80	-11.80	-7.40	-6.10	-5.00	-6.40	-12.00	-24.00

OK Cancel Help

圖13. Pridictor-Lima 分析系統提供各項功能

圖14. Pridictor-Lima 分析系統完成多點聲源噪音分析

32

建立風力發電機設置前選址、以及現行運轉風機噪音及民眾陳情點影響評估能力等。須針對法規規定之風機噪音管制，提出未來設站選點及風力發電機組設置後長期監測、管理原則。評估能力須含匯入道路交通噪音、特定音源、風力發電機噪音、其他障礙物(如建物、隔音牆等)、地形高層資料及自 Google Earth 匯入衛星影像圖，模擬評估噪音影響範圍，如圖 15. 為噪音分析系統導入 Google Earth 匯入衛星影像圖並加以計算後結果。

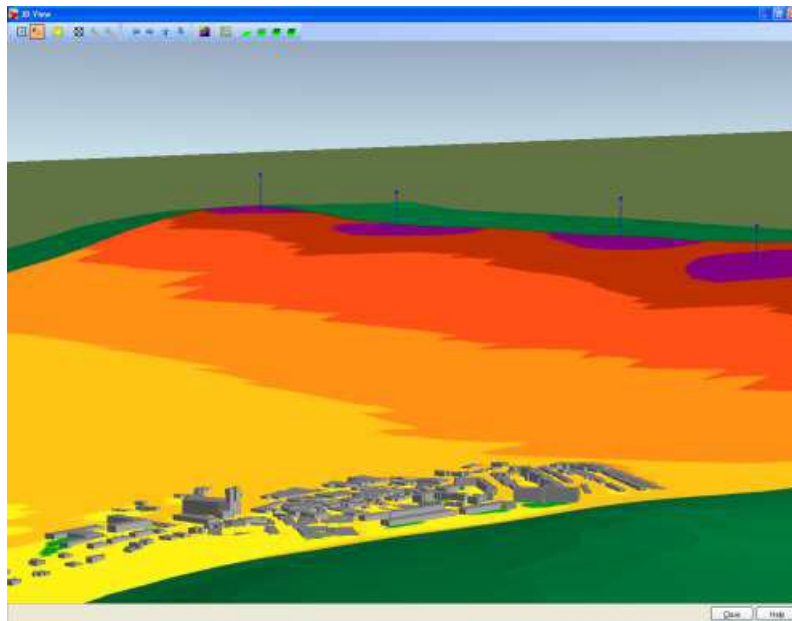


圖15. 噪音分析系統導入 Google Earth

匯入衛星影像圖後分析結果須能將風力發電機出廠測試數據輸入至系統中，模擬模式至少需具有依國際標準 ISO9613 進行風力發電機噪音影響範圍模擬評估。也應具有平面及三維的噪音地圖顯示功能，以呈現平面及三維風力發電機噪音地圖，量測點及住戶建物平面及建物高層影響程度，並能將模擬結果自動匯出套疊至 Google Earth 呈現。為進行量測位置選點評估，需具有現地量

測會勘選所使用之手持式噪音計 1 台，並符合噪音管制標準 IEC61672-1 Class 1 及 IEC61260 Class 1 等級，噪音計需具有同時即時顯示全頻(16Hz~20KHz)及低頻(20Hz~200Hz)功能，並可同步錄音，設定噪音事件觸發位準之噪音計，如圖 16 及圖 17 之噪音分析儀自動套疊至 Google Earth 呈現。



圖16. 手提式噪音分析儀導入衛星影像圖



圖17. 噪音分析系統匯入衛星影像圖

2-4 風機葉片之自然頻率測試：

圖 18. 及 19. 為風機自然頻率測試組裝示意圖，包含量測訊號加速度規、測試儀器等，這是有關整體風機測試。而有關 DNV Standard 驗證風機葉片之自然頻率及阻尼、程序，其給予葉片自然頻率準則至少應該決定下列 Mode：

1 st flap-wise

2 st flap-wise

1 st edge-wise

1 st torsional

至少應設有下列 mode 之結構阻尼資料：

1 st flap-wise

2 st edge-wise

對於決定葉片阻尼的影響條件有 2 者，其一為空氣動力產生，其二為結構阻尼。在產生大變形的條件，空氣動力阻尼會有巨大的影響，因此量測葉片阻尼時，即量測結構阻尼，需在很小的變形條件下取得。另一個決定葉端變形的因素為自然頻率及葉片應變，對於量測葉片反應可以評估葉片的葉端變形可以接受度，溫度也會影響葉片的自然頻率及阻尼所以知悉葉片溫度狀況可以得到自然頻率及阻尼。

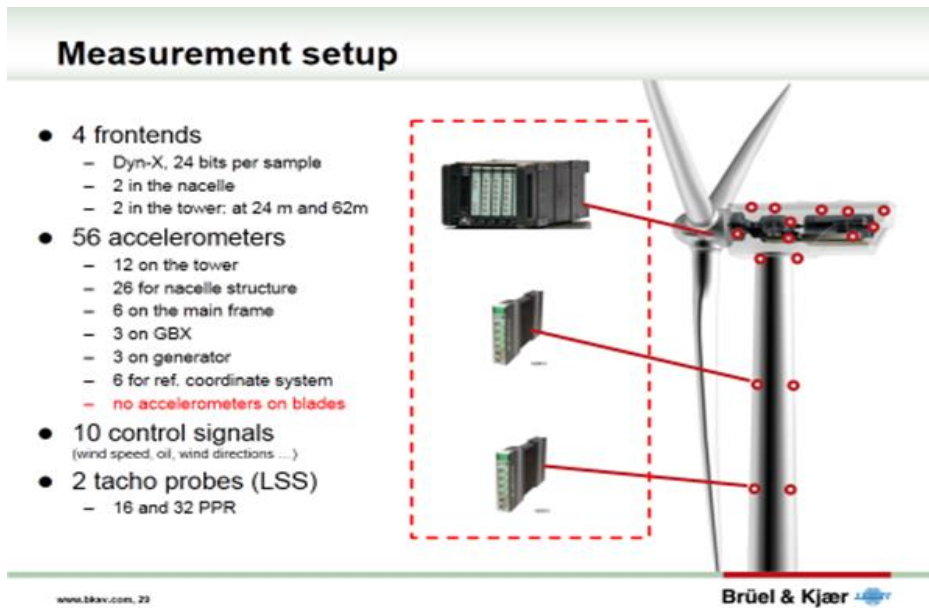


圖18. 自然頻率分析系統導入

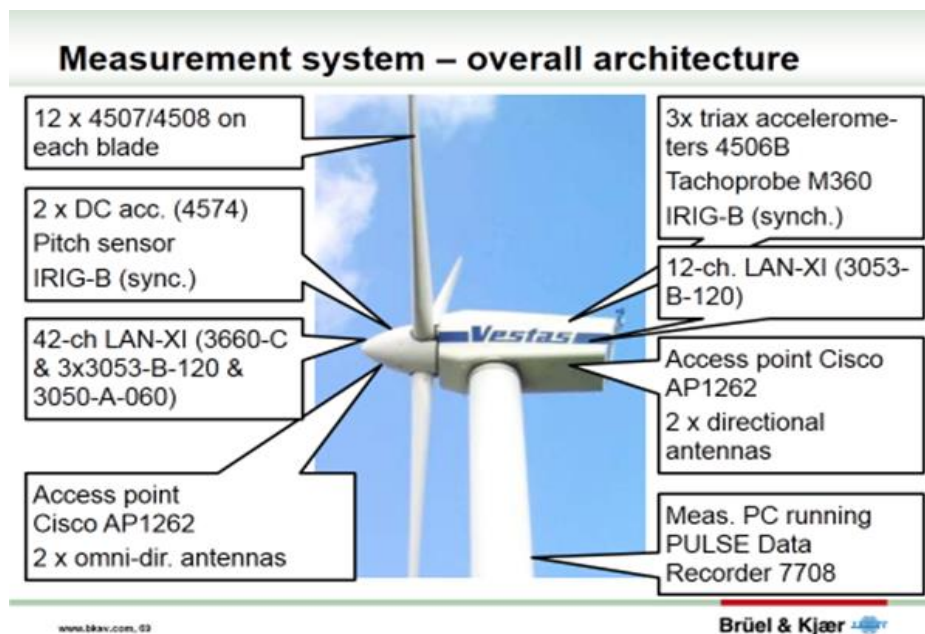


圖19. 自然頻率分析系統架構

這裡介紹新的自然頻率分析方法，即 OMA (operational modal analysis)，是一個風機葉片試驗的理想方法。此法不需要控制及量測激振，非常簡化量測的組裝設備。可以取代激振器需使用很長的激振桿，也可以省去使用敲擊鎚破

壞某些位置或無法激振的問題。

當使用 OMA 的方法，風機葉片可置放於一個基座上，如圖 20. 使用加速度規貼於葉片表面至少有一組加速度規位置作為參考位置，主要激振方式為隨機亂數量測各位置相對之振動反應因此較傳統模態試驗方式更符合風機葉片模態之試驗方法。

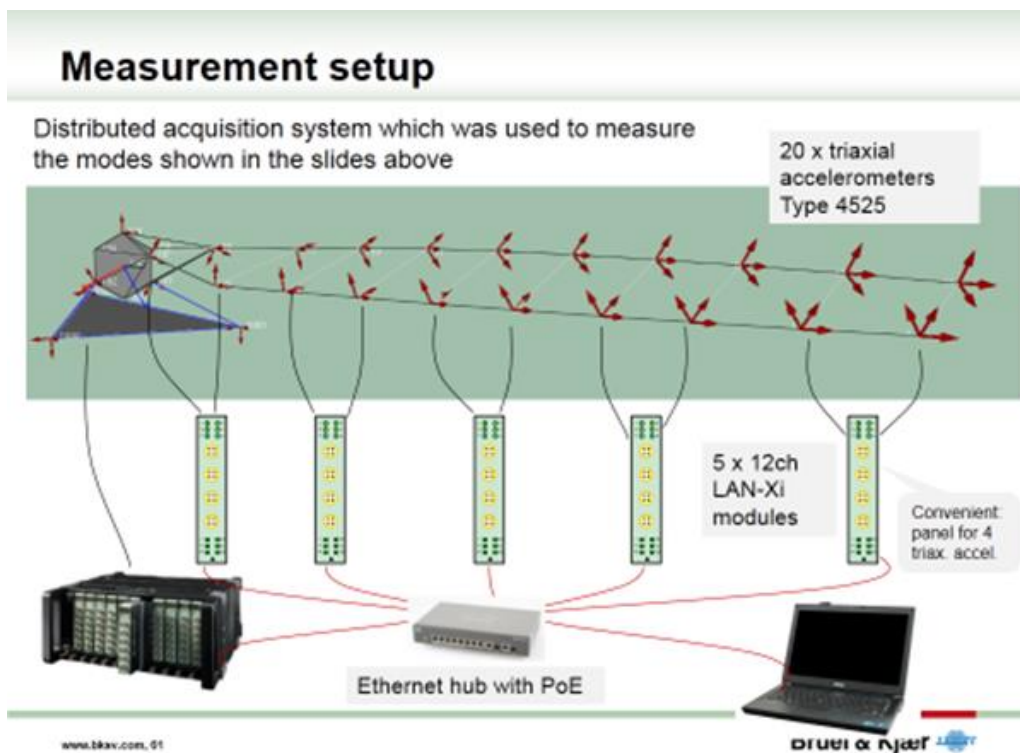


圖20. 使用 OMA 的方法，風機葉片可置放於一個基座上

三、 結論與建議

本次公務出國至丹麥、德國，其鐵公路系統完備，自行按照旅客導覽到達目的地不是問題，其官方語言雖不是英語，但多數商家及居民都能說英語，在郊區使用英語溝通也不成問題。德國和丹麥之間有海峽隔著，使用鐵路交通從漢堡到哥本哈根需通過海峽，整列火車開上輪船載到對岸後繼續行駛，對外國旅客是一個奇特的經驗。

以下是本次公務出國的結論及建議：

- 1、OMA(operational modal analysis)是一個風機葉片試驗的理想方法。此法不需要控制及量測激振，非常簡化量測的組裝設備。可以取消激振器需使用很長的激振桿，也可以省去使用敲擊鎚破壞某些位置或無法激振的問題。
- 2、建立風力發電機設置前選址、以及現行運轉風機噪音及民眾陳情點影響評估能力等。須針對法規規定之風機噪音管制，提出未來設站選點及風力發電機組設置後長期監測原則。
- 3、風機運轉一段時間後，因耗損或撞擊，葉片流場勢必改變，而產生較大紊流，如此情況，風機葉片的擾流增加，噪音會因此增加。然而噪音量到底增加了多少，其結果為多出了 1.6~3.5db。
- 4、本次參訪之公司，監測遙控裝置安裝於離岸風機，可以提供本公司很好的借鏡，不論是合作或引進該項技術，對於維護現有風機設備或未來維護離岸風

機將會有很大的幫助。

- 5、風機狀態監測適時提供風電設備故障的預先診斷和防範措施，通過及時安排修理避免重大的設備事故和財產損失。
- 6、包絡線分析技術是一個工具，可針對重要機械設備的使用壽命和運作狀況提供更多的信息，特別運用於檢測滾動軸承和齒輪箱的早期故障信號。

四、參考資料

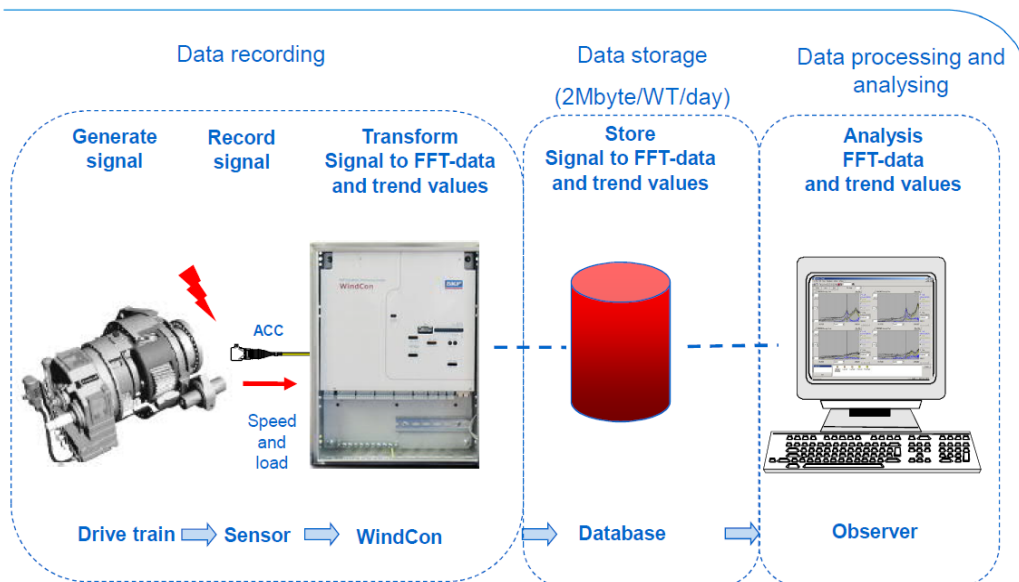
4.1

Hardware

SKF®

FOR INTERNAL USE AT TAIPOWER ONLY

CMS Principle



© SKF Group Slide 05 9 July 2014

FOR INTERNAL USE AT TAIPOWER ONLY

SKF®

SKF WindCon – What is it?

- SKF WindCon is an online condition monitoring system specifically designed for wind turbines.
- SKF WindCon is designed to provide early warning and trending of developing faults.
- It also provides Health Status.
- Takes into account rotating speeds and variable loads delivering accurate and trustworthy warnings to the operator.



© SKF Group Slide 56 9 July, 2014

FOR INTERNAL USE AT TAIPOWER ONLY

SKF

Typical SKF WindCon Diagnosed Defects

- Bearing condition.
- Gear condition.
- Misalignment.
- Shaft deflections.
- Mechanical looseness.
- Generator rotor/stator problems.
- Resonance problems.
- Tower vibrations.
- Blade vibrations.
- Electrical problems.
- Detects poor lubrication condition.



© SKF Group Slide 57 9 July, 2014

FOR INTERNAL USE AT TAIPOWER ONLY

SKF

Powerful Measurement Capabilities

Standard features

- Acceleration enveloping
- Time synchronous averaging (TSA)
- FFT (100-6400 lines) and time waveform
- Orbit analysis
- True simultaneous measurement of all channels (each channel has its own A/D converter)
- Time synchronous measurements programmable up to 16 channels
- Integration/derivation in frequency domain
- Simultaneous storage of rotational speed (or another analogue parameter) together with vibration measurement
- Order tracking
- Parametric gating
- Adaptive alarming

© SKF Group Slide 55 9 July, 2014

FOR INTERNAL USE AT TAIPOWER ONLY



Powerful Processing Capabilities

Distributed data collection and alarm evaluation in the data acquisition devices (DADs)

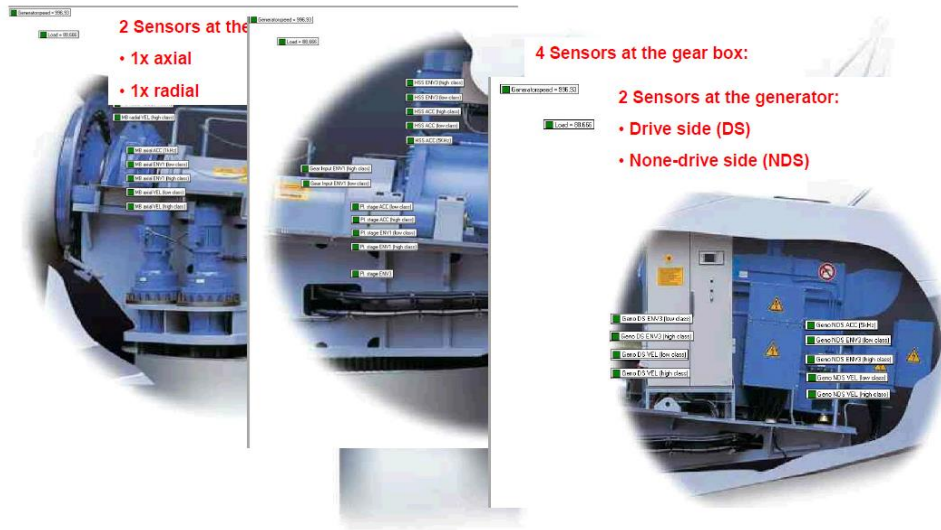
- Measurements are made **continuously** in DADs and stored according to schedule
- Alarms are reported immediately to the host
- When alarming a spectra is automatically stored for the actual measurement point
- Alarm groups

© SKF Group Slide 59 9 July, 2014

FOR INTERNAL USE AT TAIPOWER ONLY



Example of Sensor Arrangement



© SKF Group Slide 60 9 July, 2014

FOR INTERNAL USE AT TAIPower ONLY

SKF®

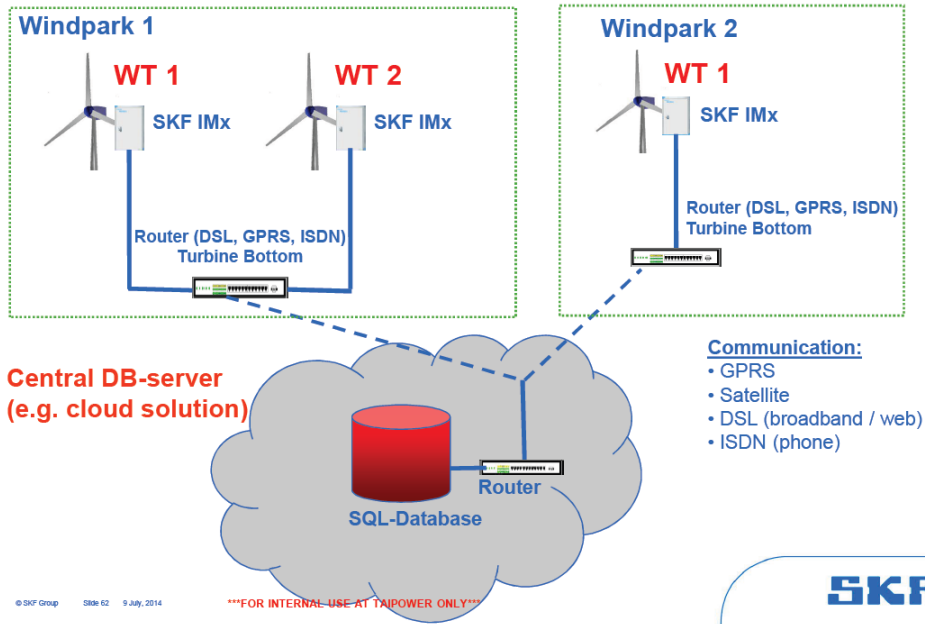
4.2

Communication & IT Infrastructure

FOR INTERNAL USE AT TAIPower ONLY

SKF®

Ways of Communication



SKF

Configuration of a WindCon unit

Info from Customer: The device number is the type of unit for which you are about to create a network and ID configuration file. About the number is released, upon which the system data is stored.

Wind farm side (Info from Customer): IP address (for the device) and gateway (wind farm or turbine router). This determines whether the unit is integrated into the park network or whether a separate network to be established. For example, the CMS can be reached in reverse.

Data base side (Info from Data base owner): IP address (where to go) and Port (key to open the .door)

© SKF Group Side 63 9 July, 2014 ***FOR INTERNAL USE AT TAPOWER ONLY***

SKF

4.3

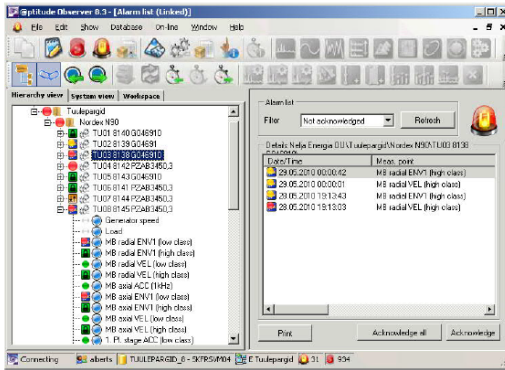
Software

FOR INTERNAL USE AT TAPOWER ONLY



SKF Monitoring Software @ptitude Observer

Displays a hierarchy like W EXPLORER



Monitoring:

- Trends.
- Alarms.
- CMS status (sensor failure).

Set-up:

- Kinematic (bearings & gears).
- Settings (frequency range ...).

Analysis:

- Diagnosis tools (band- and harmonic cursor).
- Calculation tools.
- Spectra.
- Diagrams (waterfall, orbital ...).

© SKF Group Slide 65 9 July, 2014

FOR INTERNAL USE AT TAPOWER ONLY



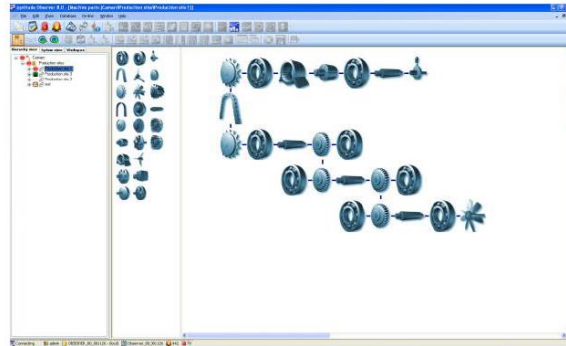
Machine Part Driven Setup and Knowledge Base

Graphic tool for easy machine data setup



- Easy graphical interface for setting up the correct parameters for the accurate machine condition monitoring:

- Bearing data
- Pulley diameters
- No. of teeth on gearwheels
- Generator components
- more...



- Shows the mechanical functionality of the machine.

- Automatic calculation of defect frequencies, rotational speed and diagnosis.

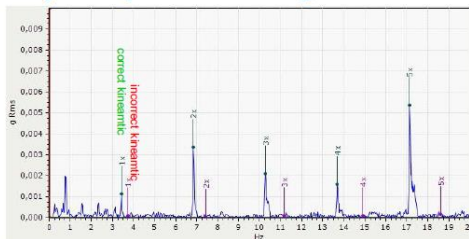
© SKF Group Slide 66 9 July, 2014

FOR INTERNAL USE AT TAIPOWER ONLY

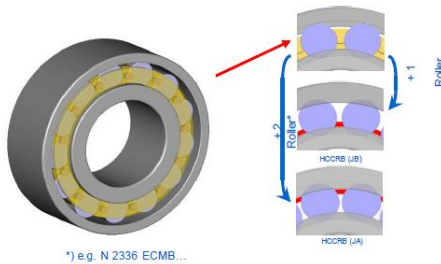


Kinematic Data

Why it is important for the diagnosis:



- The CMS configures all **defect band frequencies automatically**.
- The calculation of the defect frequencies is mainly based on the kinematic data input in the system. **Wrong kinematic => poorly adjusted system.**

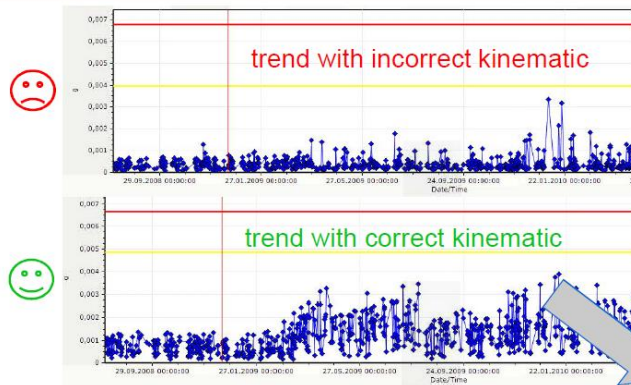


© SKF Group Slide 67 9 July, 2014

FOR INTERNAL USE AT TAIPOWER ONLY



Kinematic Data



Example main bearing:

- incorrect kinematic data from the customer: no increasing trend visible
- correct kinematic data from the customer: increasing trend clearly visible

dismounted main bearing



© SKF Group Slide 68 9 July, 2014

FOR INTERNAL USE AT TAIPOWER ONLY



Wizard and Template Driven

© SKF Group Slide 69 9 July, 2014

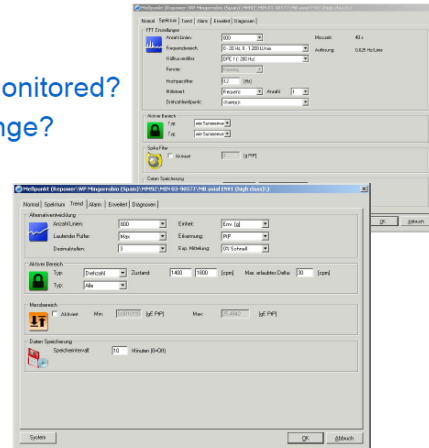
FOR INTERNAL USE AT TAIPOWER ONLY



How to Configure Measurement Points ?

In the measurement points configuration will be defined all important settings for the measuring task! The parameters should be selected considered for that reason.

- Which signal/components should be monitored?
- What is my the expected frequency range?
- What resolution is required?
- What measurement time do I need?
- What active range should I choose?
- ...

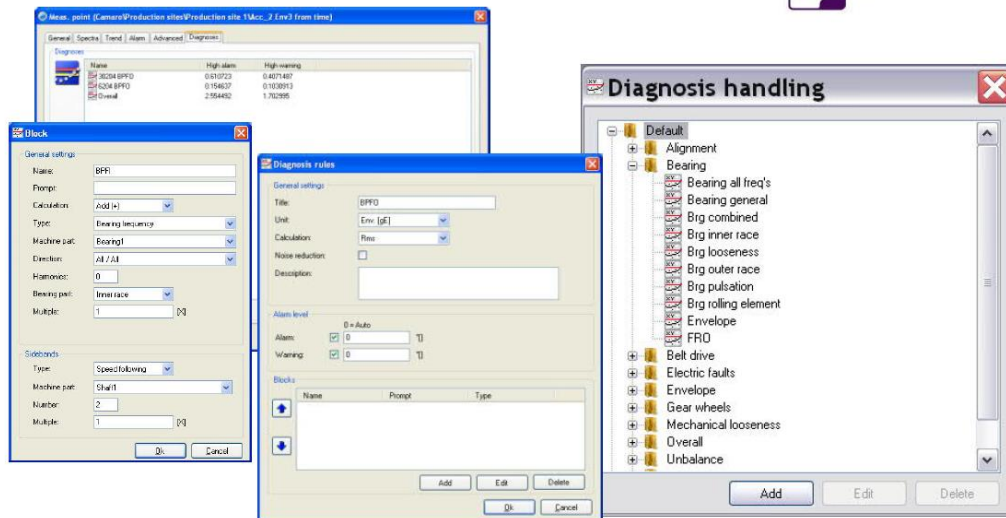


© SKF Group Slide 70 9 July, 2014

FOR INTERNAL USE AT TAPOWER ONLY



Built-in Diagnostic Knowledge Base



© SKF Group Slide 71 9 July, 2014

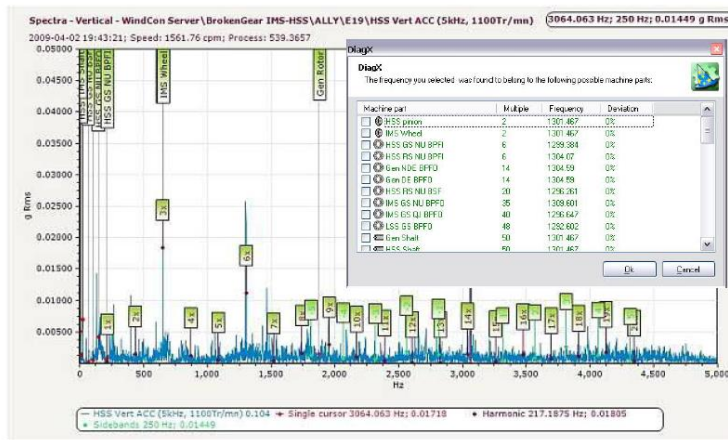
FOR INTERNAL USE AT TAPOWER ONLY



Powerful Spectra Analyses Tools



- Harmonic indicators.
- Sideband indicators.
- DiagX wizard.
- Peak indicators.
- Bearing defect indicators.
- Zero padding.



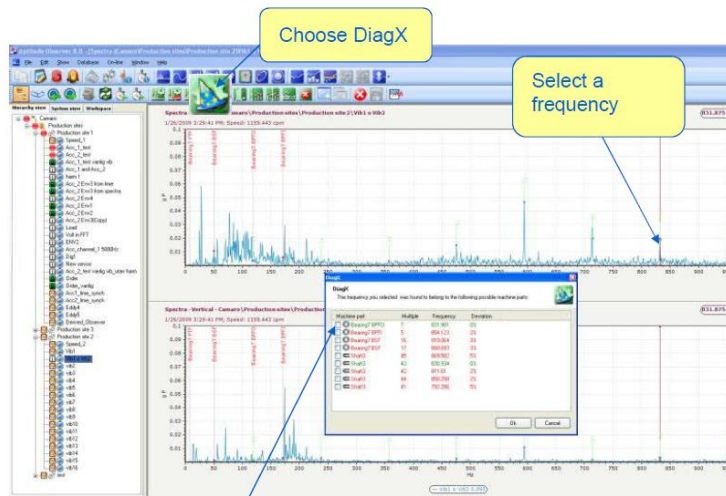
© SKF Group Slide 72 9 July, 2014

FOR INTERNAL USE AT TAIPOWER ONLY



Powerful Spectra Analysis Tools - DiagX Peak Identifier

- Helps the user to quickly identify the selected frequency
- Requires: All machine parts have to be stored in Observer.
- Essential for machines with variable speed



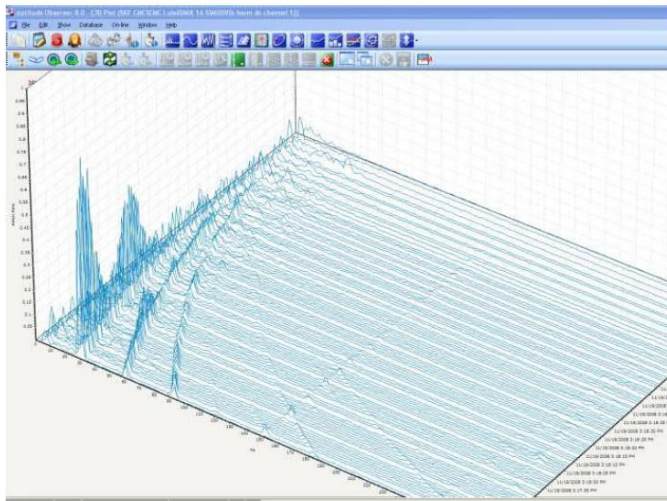
DiagX shows BPFO as No 1 in the list. Deviation is 0%.

© SKF Group Slide 73 9 July, 2014

FOR INTERNAL USE AT TAIPOWER ONLY



Powerful Spectra Analysis Tools - 3D Plot



- Is used for comparison of spectra e.g. at
 - Run-up/coast-down analysis
 - Transient analysis
- The z-axis can be set to any measured process parameter e.g.
 - rotational speed
 - power
 - date & time

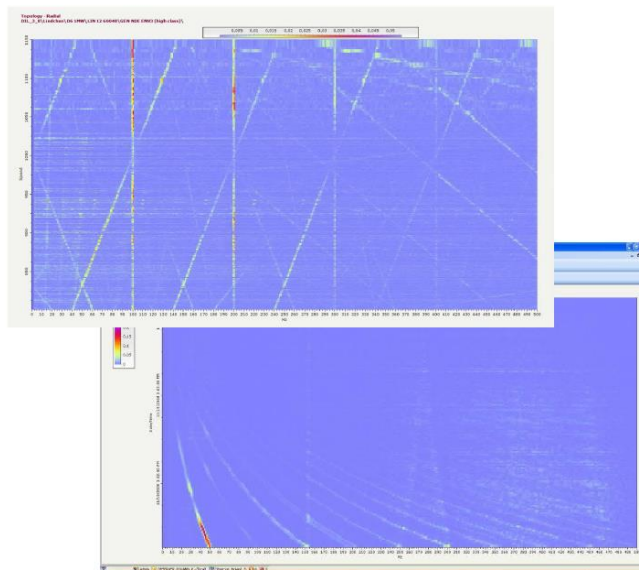
© SKF Group Slide 74 9 July, 2014

FOR INTERNAL USE AT TAPOWER ONLY

SKF®

Powerful Spectra Analysis Tools - Topology Plot

- Helpful to determine whether variable speed or frequency-stable
- The z-axis can be set to any measured process parameter e.g. rotational speed, process, date & time or equal spreading



© SKF Group Slide 75 9 July, 2014

FOR INTERNAL USE AT TAPOWER ONLY

SKF®

Powerful Spectra Analysis Tools - Gear Inspector

