

附件二

(92)電返國報字第 004 號出國報告
行政院所屬各機關因公出國人員出國報告書
(出國類別：實習)

汽輪及複循環氣渦輪機組運轉模態分析技術之研究

服務機關：台灣電力公司
出國人：職 稱：工業工程師
姓 名：黃貞誠
(姓名 代號)：575326

出國地區：德國、比利時
出國期間：92 年 8 月 5 日至 8 月 16 日
報告日期：92 年 9 月 16 日

I0/
/ 009203632

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：汽輪及氣渦輪機組運轉模態分析技術之研究 頁數 38

含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司/黃貞誠/(04) 7363666~323

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：92 年 8 月 5 日至 8 月 16 日 出國地區：德國、比利時

報告日期：92 年 9 月 16 日

分類/號目

關鍵詞：汽機、振動量測、高速平衡、模態分析

內容摘要：

此次出國主要研習本次研究主題配合實際工作，以汽輪機及複循環氣渦輪機運轉振動模態分析的探討為主，因汽機及複循環氣渦輪機屬多軸聯結組合結構複雜，不允許多次之測試。故研習藉由起動過程或負載變化下量測及軟體計算，測試轉子於運轉中之動態行為，諸如自然頻率、振動型態、轉子運轉軌跡，並可驗證靜態測試之模態參數及有限元素分析模型；希望藉由學習國外廠家在振動量測方面之技術與經驗，藉以提昇本處的振動量測技術，可對各電廠之大修試驗工作提供更高品質之服務。

本報告首先就 B&K Vibro 公司線上振動分析監測系統做說明，此系統主要係利用 Enthnet 網路傳送電廠汽機發電機各項資料至監控中心，並提供電廠異常狀況之分析及必要之建議，對此等系統制度的發展瞭解，可做為制定相關振動監測計劃之參考；接著是 SCHENCK 公司之高速轉子平衡機及其操作軟體，藉著模擬及配合實驗可建立各機組之影響係數，確實掌握轉子之動態分析技術，以及 LMS 公司之轉子模態測試分析系統，除傳統 hammer 敲擊或 shocker 激振之模態分析法外，Operation Modal Analysis(OMA)運轉模態分析技術可針對大型設備或結構做有效的測試分析。

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

目 次

	頁數
一、前言-----	1
1.1 出國目的-----	1
1.2 出國行程-----	2
二、實習內容-----	3
2.1 Brüel & Kjær Vibro 公司簡介-----	3
2.2 即時振動監測分析系統架構原理-----	3
2.3 SCHENCK 公司簡介-----	9
2.4 高速轉子平衡機及動態監測分析架構原理-----	9
2.5 LMS 公司之運轉模態分析-----	16
2.5.1 傳統模態測試-移動量測-----	19
2.5.2 傳統模態測試-移動激勵法-----	20
2.6 運轉模態分析 Operation Model Analysis-----	21
2.6.1 運轉模態分析技術之優缺點-----	22
2.6.2 運轉模態分析技術之流程(Flow Chart)-----	23
2.6.3 運轉模態分析測試原理-----	24
2.6.4 運轉模態分析測試之應用-----	26
三、感想及建議-----	27
四、附圖-----	28

一、前言

1.1 出國目的

此次出國主要研習本次研究主題配合實際工作，以汽輪機組及複循環氣渦輪機組運轉振動模態分析的探討為主；由於汽輪機組及氣渦輪機發展迅速而原有機組又運轉多年，爲了維護機組運轉安全、確保發電品質及延長氣機壽命，希望藉模態分析可更深入了解機組振動肇因。因汽輪及複循環氣渦輪發電機組屬多軸聯結組合結構複雜，不允許多次之測試。故研習藉由起動過程或負載變化下量測及軟體計算，測試轉子於運轉中之動態行爲，諸如自然頻率、振動型態、轉子運轉軌跡，並可驗證靜態測試之模態參數及有限元素分析模型；爲精進相關技術及突破瓶頸，因此擬定此實習計畫，希望藉由學習國外廠家在振動量測方面之技術與經驗，藉以提昇本處的振動量測技術，重點在於運轉中模態分析及應用的相關技術。

藉由振動量測技術的精進，可對各電廠之大修試驗工作提供更高品質之服務。

1.2 出國行程

92/8/5

台北 → 德國法蘭克福

92/8/6~92/8/7

於 B&K Vibro 公司實習汽輪及氣渦輪機組線上振動監測分析
技術之研究

92/8/8~92/8/10

於 SCHENCK 公司實習高速轉子之動態分析技術之研究

92/8/11

德國法蘭克福 → 比利時魯汶

92/8/11~92/8/14

於 LMS 公司實習汽輪及氣渦輪機組運轉模態分析技術之研究

92/8/15~92/8/16

比利時魯汶 → 荷蘭阿姆斯特丹 → 泰國曼谷 → 台北

二、實習內容

2.1 Brüel & Kjær Vibro 公司簡介

Brüel & Kjær Vibro 公司位於德國之達姆斯迪克(Darmstadt)，主要是製造和銷售振動感應器 (sensor) 或換能器 (transducer) 及振動監測儀器設備，公司總部設於丹麥；**Brüel & Kjær Vibro** 公司原本是 **SCHENCK Vibro** 公司的一個機器振動診斷、分析的部門，被丹麥 B&K 公司合併後位於德國的獨立公司。

此次前往 **Brüel & Kjær Vibro** 公司，主要是實習汽輪機及複循環氣渦輪機組運轉時振動診斷分析之相關技術，蒐集振動診斷分析系統相關資料及線上振動監測分析設備 VIBRODAU 5000 等，茲敘述如下。

2.2 即時振動監測分析系統架構原理

依據 Cost-Gain 投資效益曲線關係圖(圖 1)在 Asset Optimization 點上做最低的投資可獲得相對較大的效益，這是主動式預知保養的觀念；在汽輪機及複循環氣渦輪機組即時診斷分析的技術採用人工智慧 AI 的概念(圖 2&3)，在新建購的機組上裝設 VIBRODAU 5000 振動監測分析系統(如圖 5 所示系統架構在 RS-422 及 ETHERNET 網路上)，網路通訊架構與本處現有的 DM2000 振動遙測系統極為類似(如圖 6 所示)；值得一提的是振動監測系統在硬體及網路架構完成後，透過 Learn phase 的階段(系統的學習階段)，

監測系統掌握除了機組廠家規定的 Alarm(Limit value 1)及 Trip(Limit value 2)外，還有各量測點允許變動值(Difference limit value、Transient limit value、Jump limit value)可以讓監測系統做更為 Smart 的診斷分析；註 1：Difference limit value 是長時間量測值允許變動的範圍，註 2：Transient limit value 則是短時間內量測值允許變動的範圍，註 3：Jump limit value 是比較前一時間點量測值允許變動的範圍。如此對於設備於 Normal operation condition 監測系統是不做任何記錄，如此可避免磁碟空間的擁塞,發揮系統最大的功能。

允許變動值的設定可做為我們對機組運轉操作狀況的評估，在架構即時振動監測系統前，我們可在完成機組大修後振動測試時，自行評估定義每一個軸承的允許變動值(Difference limit value、Transient limit value、Jump limit value)作為運轉維護的參考；依據機組在各運轉條件(Speed & Load 圖 4)下所採用之警報評估的設定(如圖 8)。

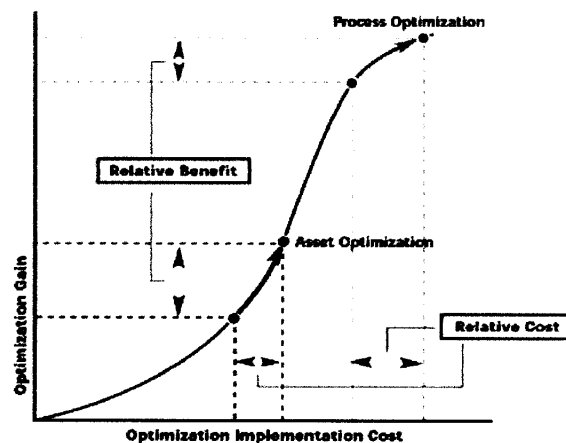


圖 1 Cost-Gain投資效益曲線關係圖

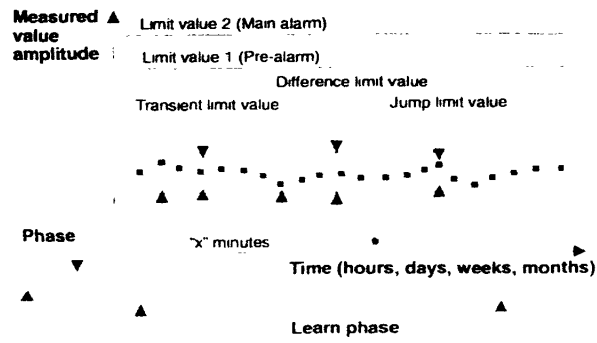


圖2 機組即時診斷分析TREND PLOT技術

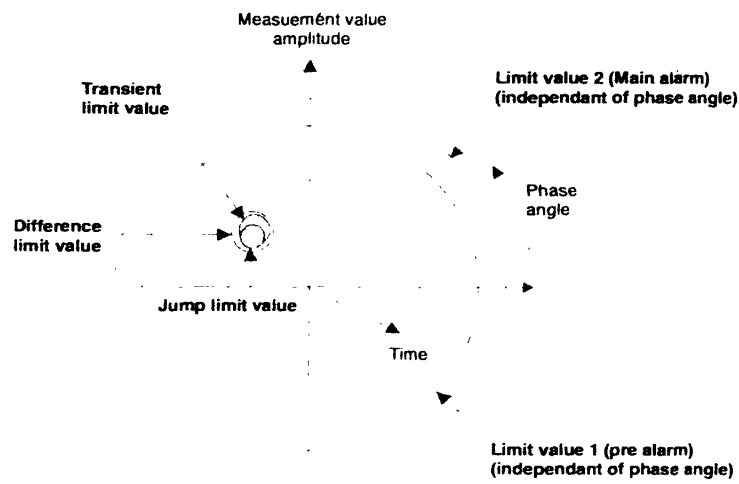


圖3 機組即時診斷分析POLAR PLOT技術

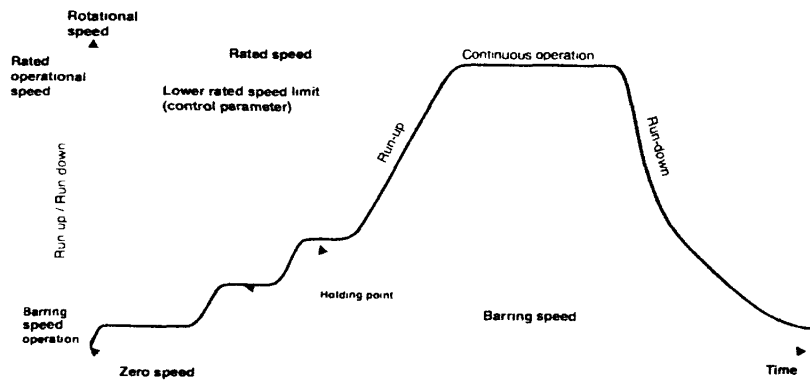


圖4 機組即時振動監測分析系統運轉條件(Speed & Load)圖

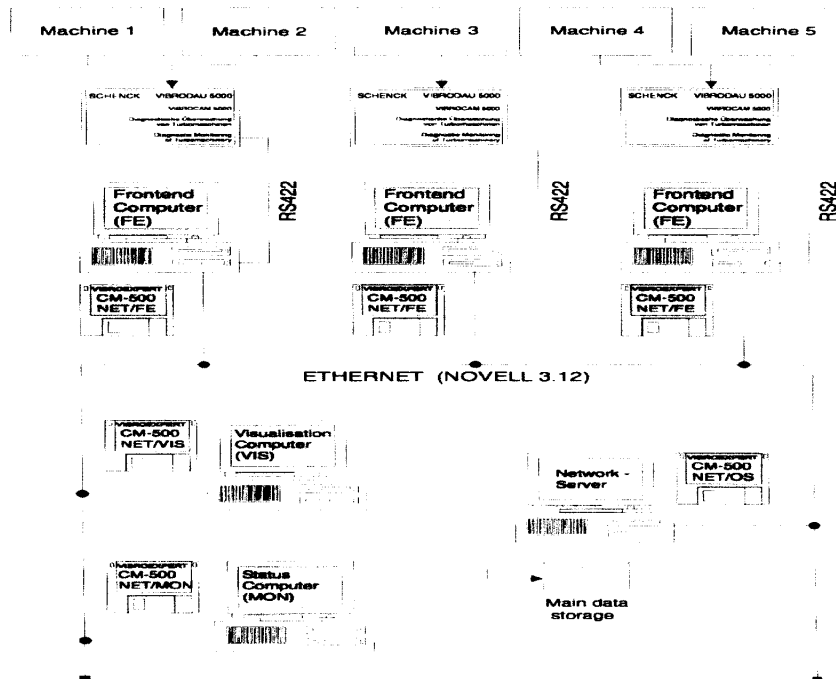


圖5 機組即時振動監測分析系統網路架構圖

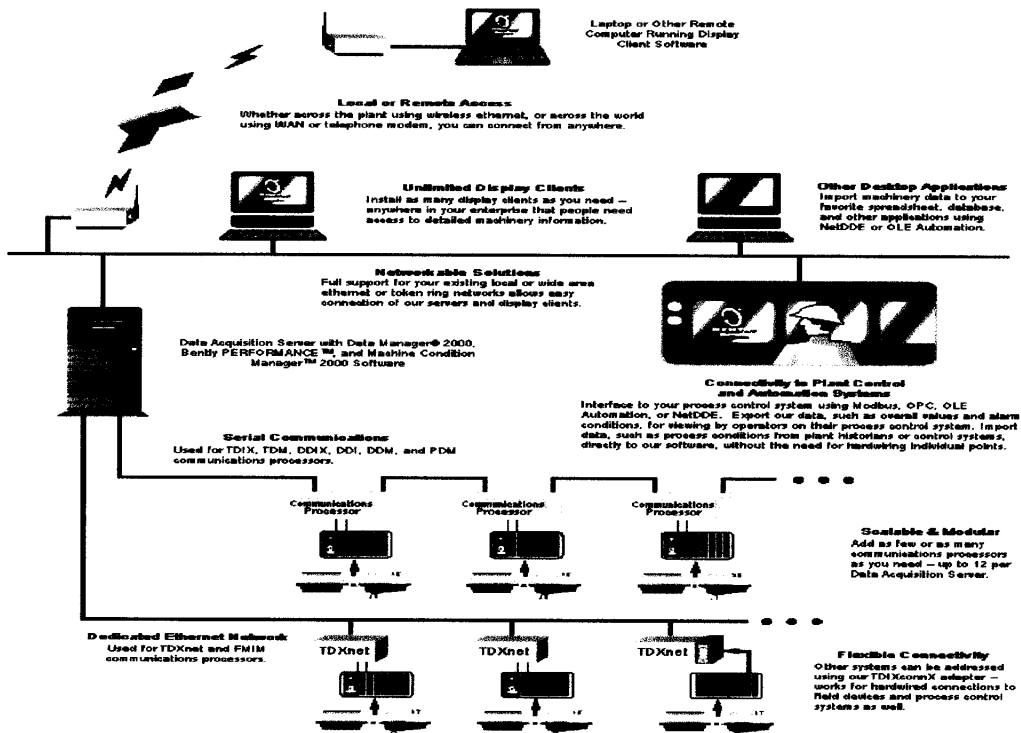


圖6 本處現有的DM2000振動遙測系統網路架構圖

	LV-1	Absolute Limit value			
		LV-2	Diff.-LV	Trans.-LV	Jump-LV
Overall vibration	RO/VSO	RO	RO	-	-
1n rotor synchronous harmonic	VSO	-	RO	RO	RO
2n rotor synchronous harmonic	-	-	RO	RO	RO
Xn rotor synchronous harmonic	-	-	RO	RO	-
Residual value	-	-	RO	RO	RO
Static shaft position	-	-	RO	-	-
Shaft eccentricity	BSO	-	-	-	-
Process value group 1	-	-	-	-	-
Process value group 2	VSO	-	RO	-	-
Process value group 3	VSO	-	RO	-	-
Process value group 4	RO/VSO	-	-	-	-

Table EM01-1: Operational modes and associated limit values (RO = Rated operation; VSO = variable speed operation; BSO = Barring speed operation).

圖8 機組即時振動監測分析系統警報評估的設定建議表

此外在ORBITS的分析技術上，除利用向量分析出Synchronous rotating component及Counter-rotating component的分析(如圖9)技巧外；Mr. Richard先生現場模擬操作利用3D繪圖功能將Start-up或Coast-down過程隨轉速變化的Orbit繪製於同一圖面的功能(如圖10)，可讓診斷分析人員瞭解機組在昇降速轉子運轉的軌跡以及轉軸在經過臨界轉速(Critical speed)時軸承剛性的不同。

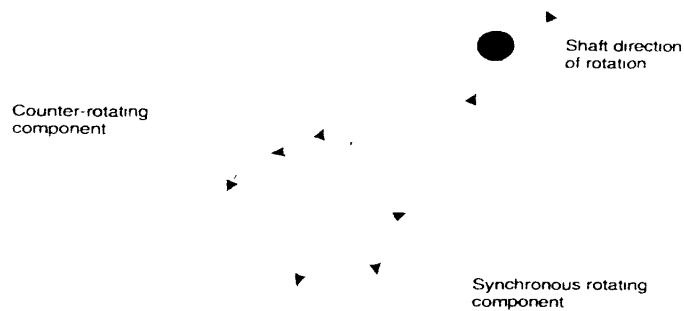


圖9 即時振動 ORBITS 分析技術圖

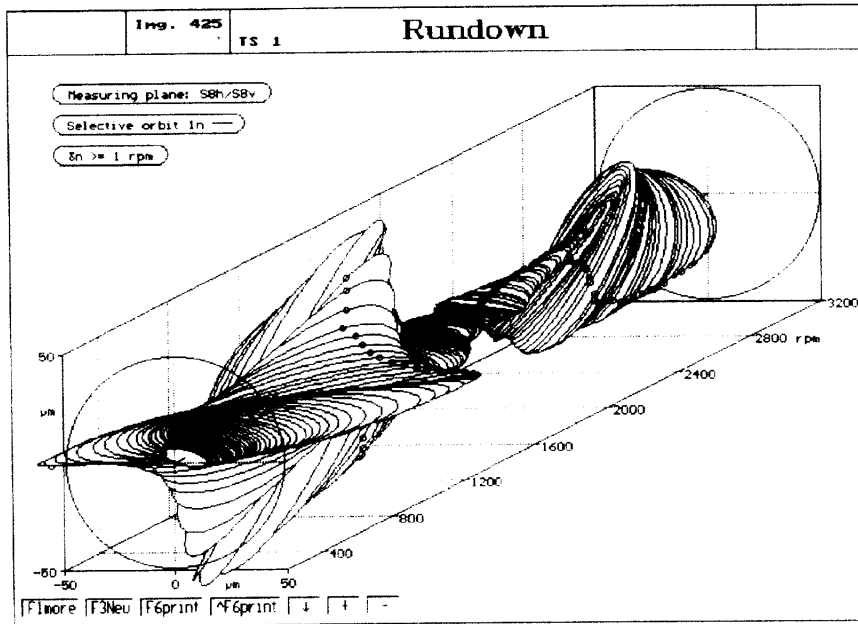


圖10 機組 Coast-down ORBITS 串級3D分析技術圖



圖11 位於德國Darmstadt的SCHENCK集團

2.3 SCHENCK 公司簡介

SCHENCK 公司則是位於德國 Darmstadt 的一個集團(如圖 11)，擁有機械、製程及自動化等子公司，其中平衡及診斷系統部門是研發各型轉子之平衡機。

此次前往 SCHENCK 公司，主要是實習高速轉子之動態分析之相關技術，蒐集高速轉子平衡機之相關資料及監測分析設備 Cabflex++等，茲敘述如下。

2.4 高速轉子平衡機及動態監測分析架構原理

汽輪機及複循環氣渦輪轉子於大修時的必要動平衡，除了要考慮動平衡機的轉速、容量架構外(如圖12~14)，還應考慮平衡機的軸承支撐的選擇(如下表1)及動平衡前的安全考量避免事故的發生(如圖15~16)。

比較項目	軟支撐平衡機	硬支撐平衡機
量測方式	量測不平衡量之振幅	量測不平衡造成離心力
剛性強度	低。與實際軸承條件不同	高。與實際軸承條件相近
平衡轉速	高於共振點兩倍以上	低於共振點1/3倍以下
校驗方式	需藉由標準轉子作調整	不需調整運轉
靈敏度	與轉子質量無關	與轉子質量成正比
平衡精度	可達 $0.5 \mu m$	可達 $1.0 \mu m$
適用範圍	高速之中、小型轉子	中、大型轉子
基礎要求	不高。受外界振動影響小	高。受外界振動影響較大

表1 汽輪機及複循環氣渦輪轉子高速平衡機軸承支撐的選擇對照表

除此之外，轉子高速平衡機的計算機運算能力亦影響動平衡的品質；

高速平衡機的操作轉速通常在第一或第二個臨界轉速之上，在推算轉子平衡面影響係數前，應優先考量轉子振型及模態，SCHENCK公司的Cabflex++即是預先估計轉子--軸承系統的模態，計算各平衡面影響係數及其它功能(如圖17~23)。



圖12 汽輪機及複循環氣渦輪轉子於高速平衡機架構圖

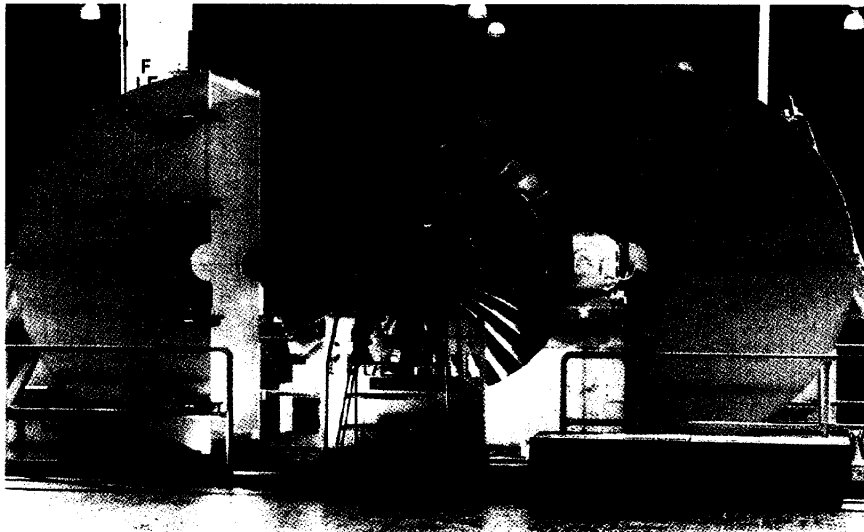


圖13 汽輪機及複循環氣渦輪轉子於中、低速平衡機架構圖

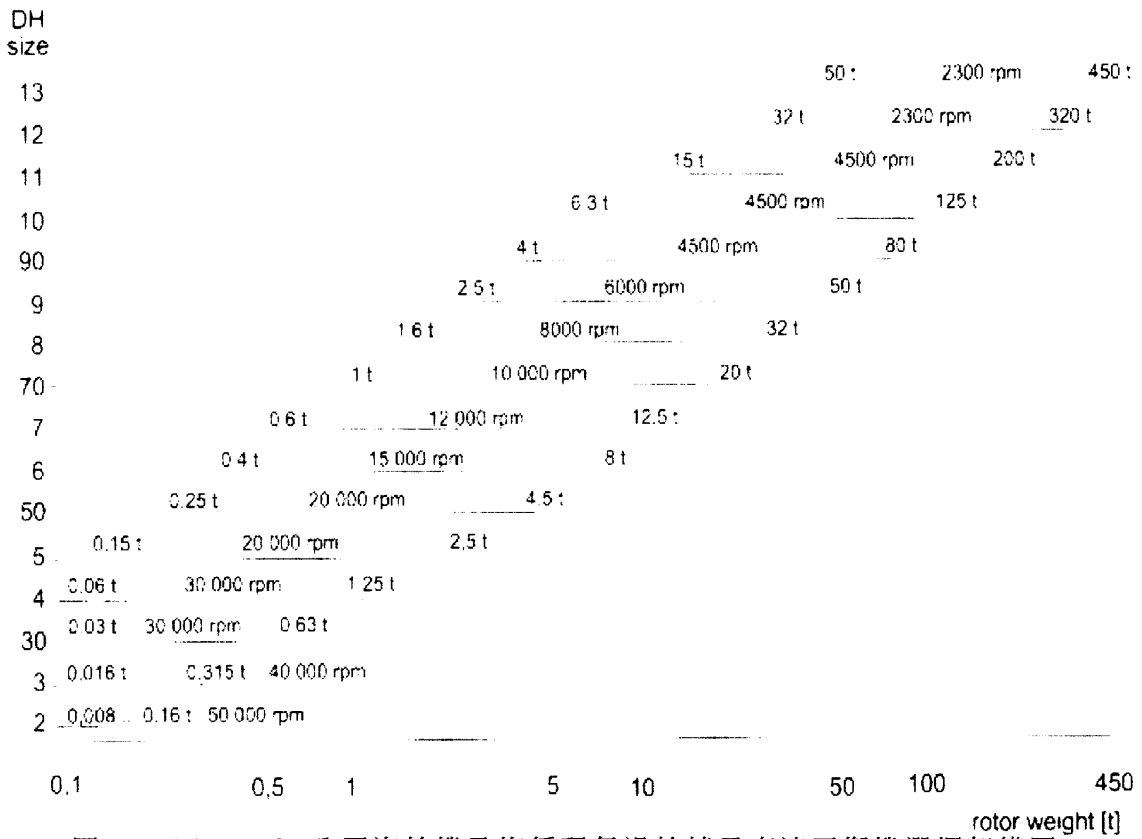


圖14 SCHENCK公司汽輪機及複循環氣渦輪轉子高速平衡機選擇架構圖



圖15、16 SCHENCK公司高速轉子平衡機的失敗案例

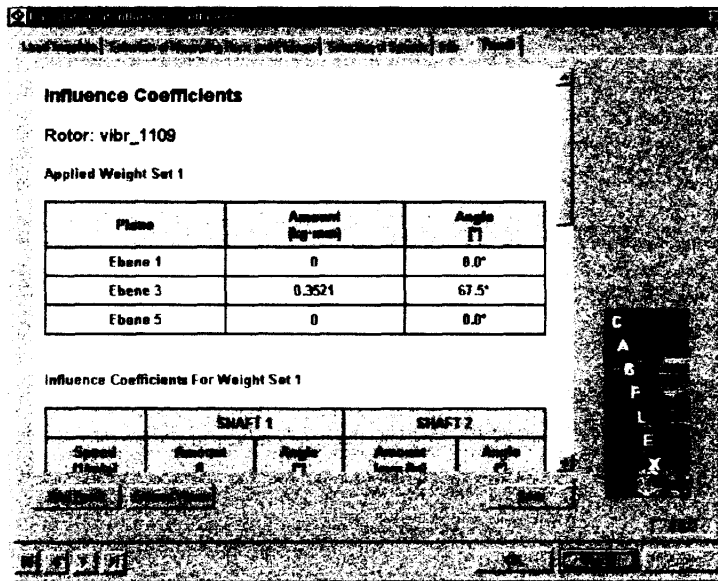


圖17 Cabflex++預先估計轉子--軸承系統的模態,計算各平衡面影響係數

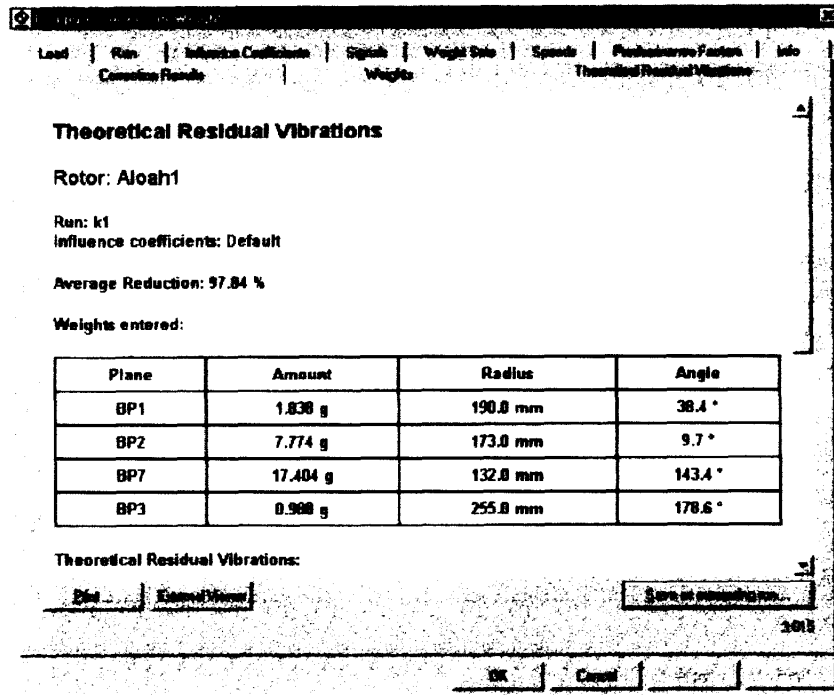


圖18 Cabflex++依據各平衡面影響係數,預先估計配重後的殘留振動值

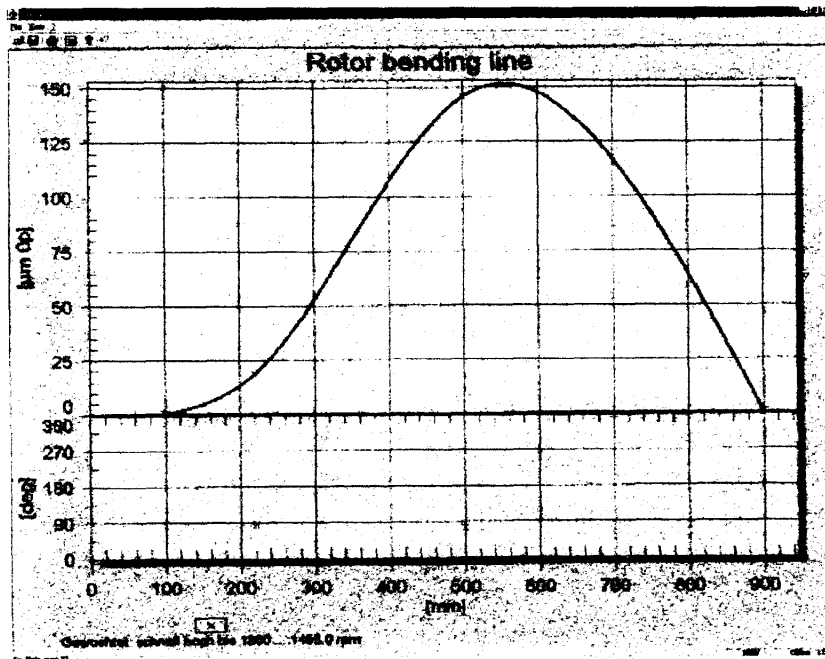


圖 19 Cabflex++ 依據各量測點振動值，繪製特定轉速下轉子彎曲線 (Bending line) 藉由此一假想曲線可找出系統的節點(Node point).

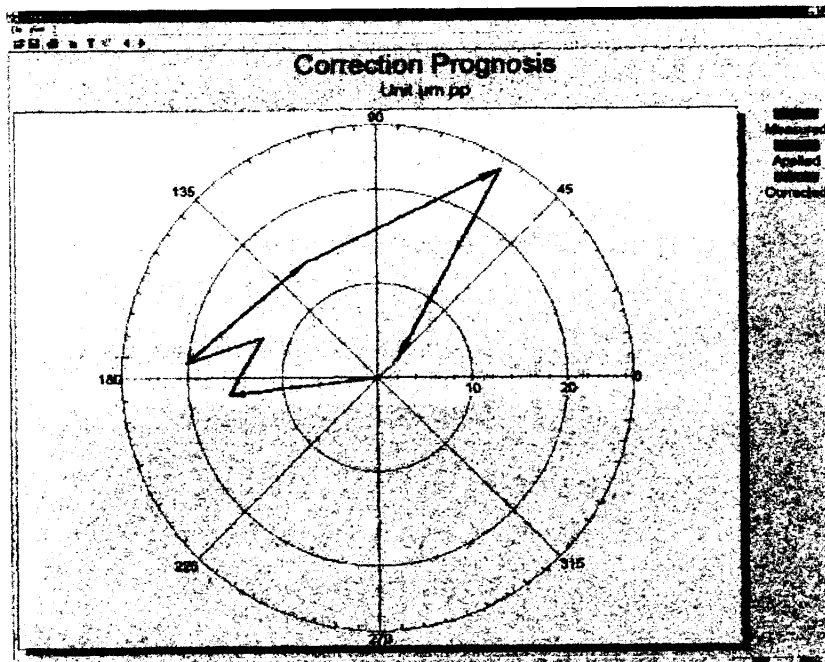


圖 20 Cabflex++ 依據各平衡面影響係數，繪製各平衡面之向量合成圖。

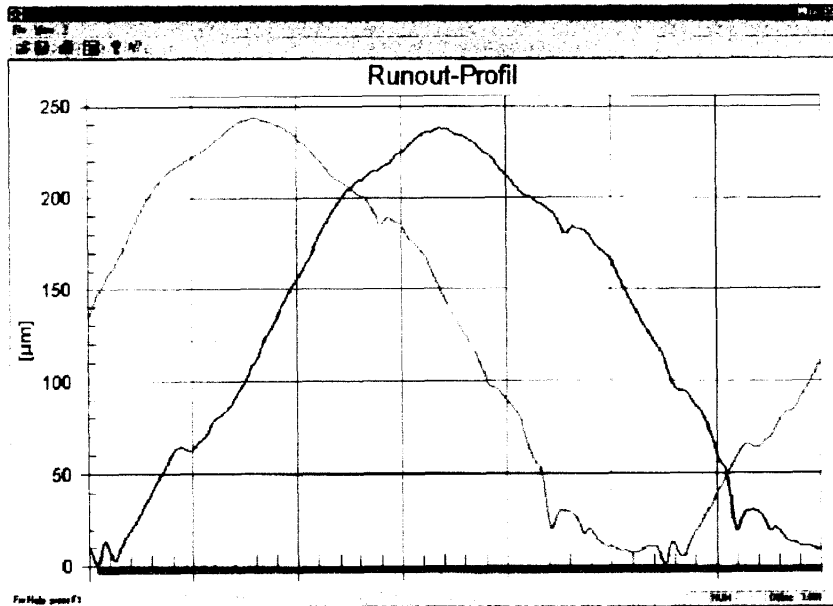


圖21 Cabflex++依據各量測點振動值，繪製特定點轉軸之Runout.

Summary - Shop Verification Test according to API 617

Rotor: C1311002

Used runs

Index	Name of run	Date/Time
15	Gewichtet ganz langsam (0.5) hoch bis 1400 0.2 Hz Abw fix	2002.11.08 13:54:29
16	Gewichtet-375mgEB2 ganz langsam (0.5) hoch bis 1400 0.2 Hz Abw fix	2002.11.08 14:03:21

Used signals

Index	Signal name 1	Signal name 2
1	WS1H	WS1V
2	WS2H	WS2V

圖22 Cabflex++將最終測試值驗證內建的各種振動標準(如API 617或ISO)

Applied weights: none

Measuring Values

Speed [rpm]	Time [s]	L1 pod. 1		L2 pod. 2		WSTH Wellenschwüfung Pos. 1 hor		WSTV Wellenschwüfung Pos. 1 vert	
		Amount [mm/s rms]	Angle [°]	Amount [mm/s rms]	Angle [°]	Amount [mm/s rms]	Angle [°]	Amount [mm/s rms]	Angle [°]
600.0	-	0.0014	348.7	0.0015	21.8	15.33	54.2	14.78	127.4
880.0	-	0.0041	348.7	0.0043	349.4	15.33	35.8	14.68	138.8
1030	-	0.0055	346.0	0.0059	354.8	16.47	33.0	13.62	120.5
1240	-	0.0061	336.8	0.0060	347.2	17.61	41.8	15.62	135.0
1470	-	0.1070	288.4	0.1068	287.3	79.09	118.1	36.34	141.2
1510	-	0.2158	278.4	0.2061	277.4	58.68	281.4	198.3	239.7
1800	-	0.0781	346.3	0.0658	349.5	6.551	288.4	6.366	12.5

圖23 Cabflex++最後的測試結果一覽表，在各轉速下各平衡面的殘留不平衡量及振動值。

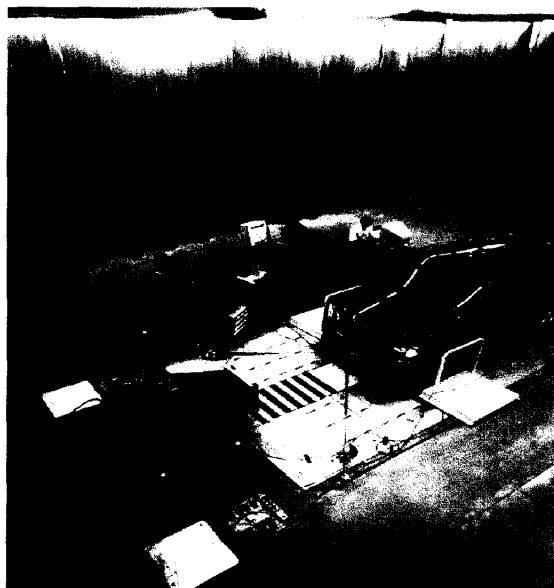


圖24 LMS公司無響試驗室

2.5 LMS 公司之運轉模態分析

LMS 公司是一家位於魯汶大學旁的振動模態測試研發公司，令我印象深刻的是公司內部擁有五座兩層樓高的無響試驗室(如圖 24)，全世界許多知名的汽車廠(如 Audi、Benz、BMW、Volkswagen 等)原型車都送至 LMS 這個測試中心；到這個研測中心主要目的是實習利用本處目前 CADA-X 的架構提升至運轉時的模態分析技術。

由於汽輪機組及複循環氣渦輪機組發展迅速，而原有機組又運轉多年，爲了機組運轉安全、確保發電品質及延長氣機壽命，尤其機組冷機起動運轉溫度變化大，藉運轉模態分析可更深入了解機組振動肇因；本處及電力綜合研究所目前所採行傳統模態分析方法(如表 2&圖 25~)爲利用 SIMO 或 MIMO 測得 Transfer Function(Frequency Response Function)，再應用曲線嵌合(Curve Fitting)求得各段轉子的模態參數(自然頻率、阻尼與振型)用以驗證由 FEM 所建立的參數(Model Mass、Model Damping & Model Stiffness)，用以推估汽輪及複循環氣渦輪機組的轉子動態行爲；至於將各段轉子聯結後運轉的振動行爲模式，電綜所則是利用監測轉軸扭振的技術在中五機及中八機裝設應力應變規(Stress Gauge)，透過無線發報載波的技術將扭振信號解析出，信號顯示在通過結構自然頻率時 Bending 振幅高於 Torsion 振幅。

<u>Normal Mode</u>	<u>Transfer Function</u>
Sinusoidal Excitation	Broadband Excitation (random, transient, swept sine)
One Mode at a Time	Many Modes at Once
No Post-Processing Required	Curve Fitting Required
Analog Instrumentation	FFT-Based Digital Instrumentation

表2 傳統模態分析的方法

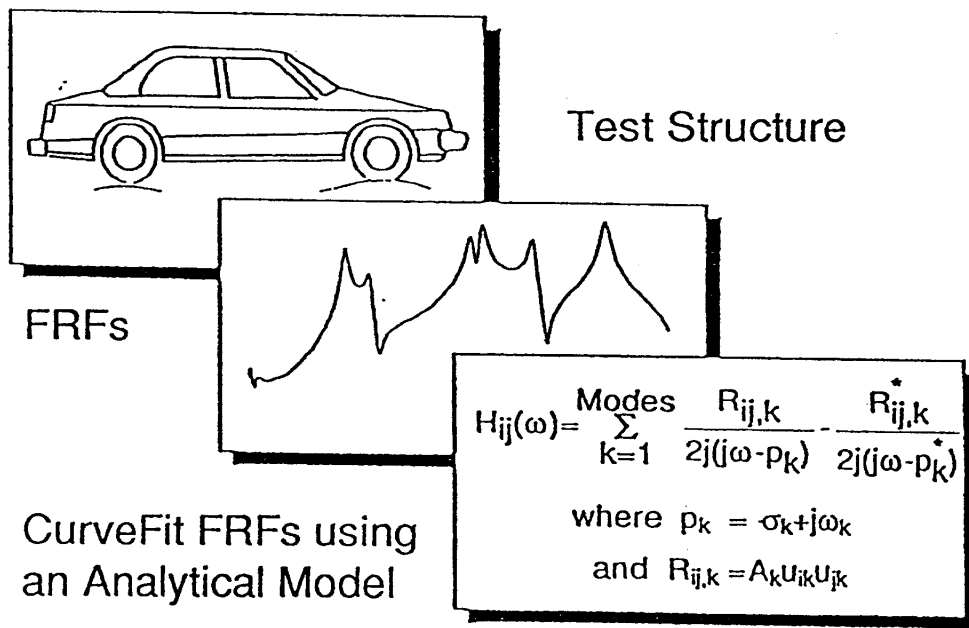


圖25 利用曲線拟合(Curve Fitting)的方法找出系統的模態參數

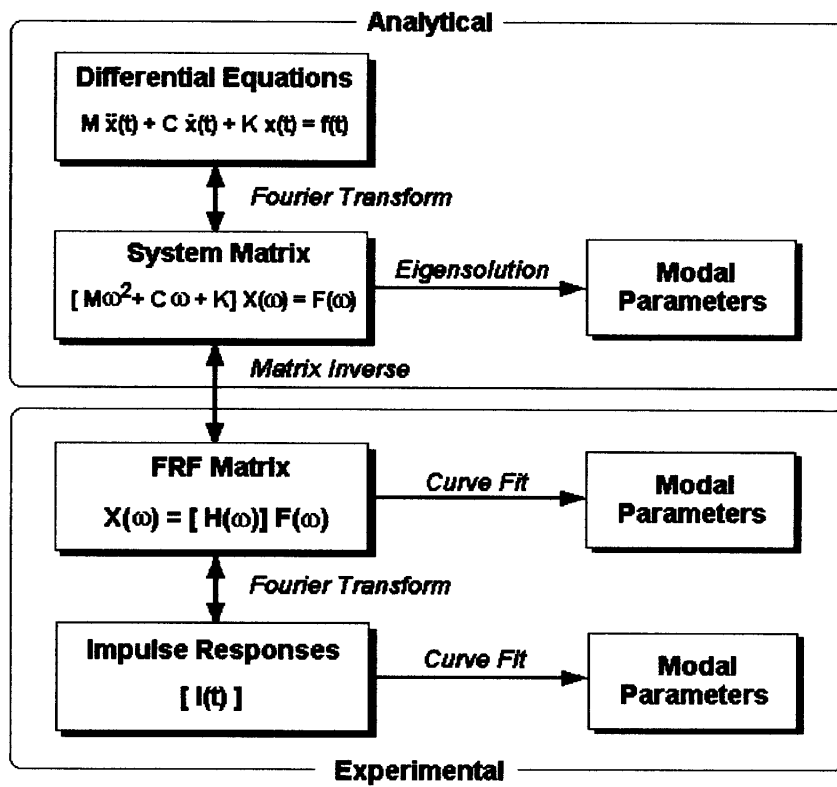


圖26 利用分析及測試的方法找出系統的模態參數

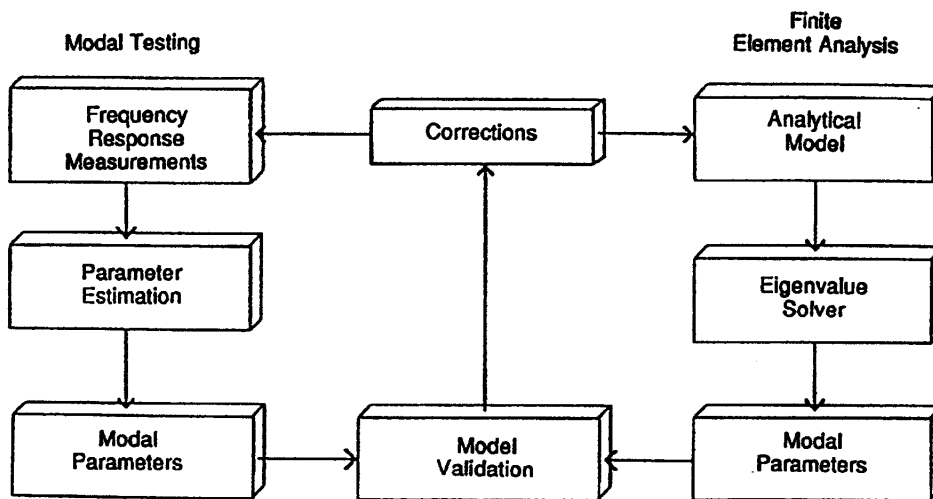
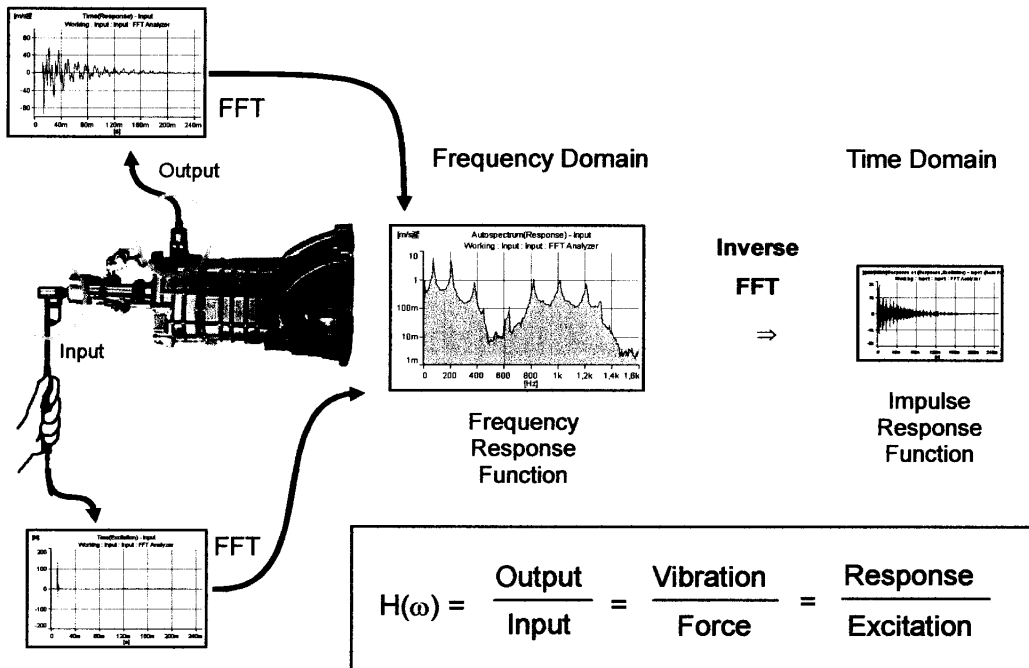


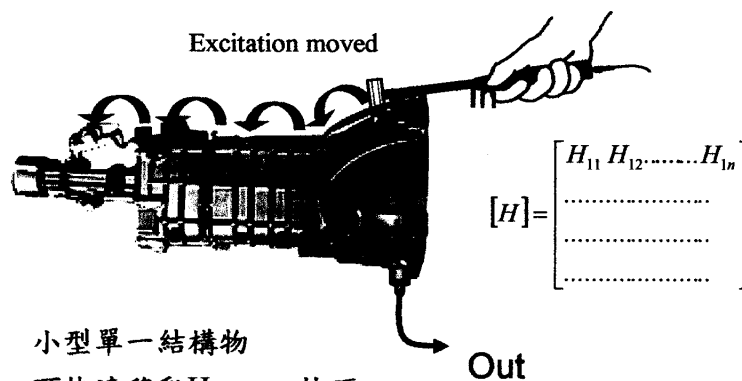
圖27 利用FEM的分析與Modal Testing驗證系統的模態參數

2.5.1 傳統模態測試-移動量測(Mobility Measurements)



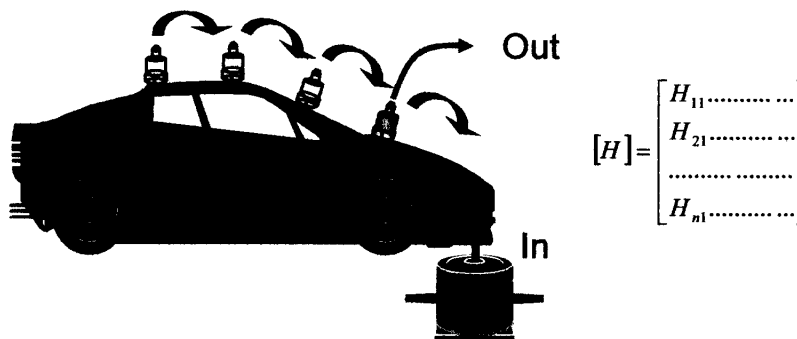
2.5.2 傳統模態測試-移動激勵法 (Traditional Modal Testing)

A. 敲擊槌(Hammer)激勵法



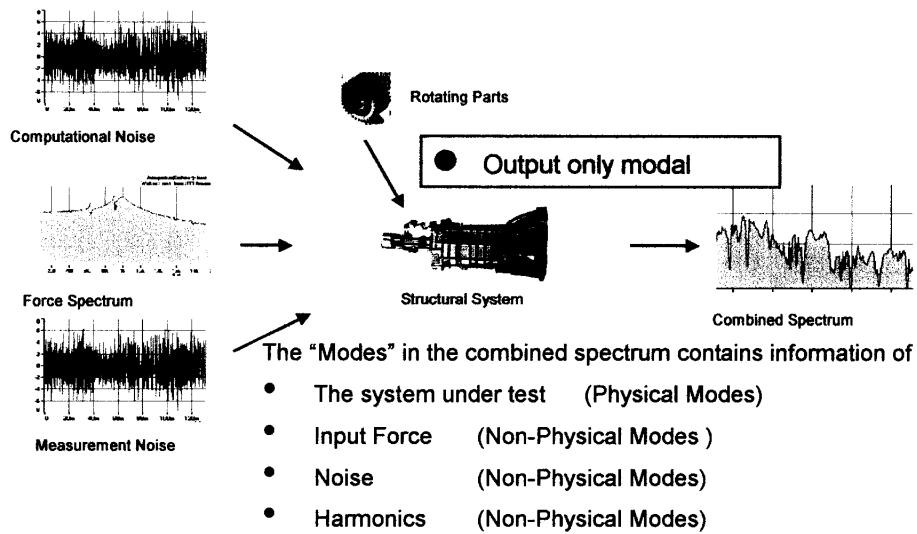
- 小型單一結構物
- 可快速移動Hammer技巧
- Polyreference的技巧

B. 激振器(Shaker) 激勵法



- 針對大型或複雜的結構
- 可利用各種不同的激振信號
- 組立費時

2.6 運轉模態分析技術 Operation Model Analysis (OMA)



- 由自然的激振外力求得模態參數(Natural Frequency、Modal Damping 及 Mode Shape).
- 藉由移動的加速度規量測多階的 DOF's.
- 採用 SRMO(multiple data sets with single references) or MRMO(multiple data sets and multiple references)一個或多個加速度規當固定參考點
- 採用響應頻譜(response spectra)及相關函數(correlation functions)的合成 Synthesis 作為驗證
- 透過多次測試的振型 mode shapes 作為 MAC(Modal Assurance Criterion)的驗證

2.6.1 運轉模態分析技術之優缺點(Advantages & Disadvantages)

優點(Disadvantages)

不須外加激振力

可獲得真實操作情況下的模態(Modal model)

- 非假設理想條件下的邊界條件而是True boundary conditions
- 真實的激振力與振動準位Actual force and vibration levels

可縮短測試組立架構的時間.

不受shakers and stingers dynamic loading之困擾.

不受hammers crest factor problems的影響.

對測試的結構物不會有潛在破壞的疑慮.

缺點(Disadvantages)

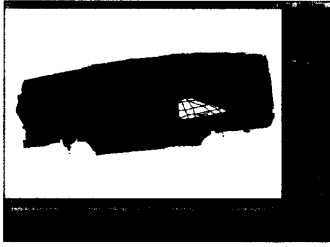
因為沒有外力響應與模擬，測試之模態是相對值(Unscaled)

操作者必須具備額外的技巧

- 最好擁有一些apriori knowledge.
- 完成測試前的分析.
- 測試前的規劃(包括蒐集時間、分析頻寬及input range的調整以獲得較佳測試感度等測試技巧).
- 歷史測試記錄的應用(包括同型設備).

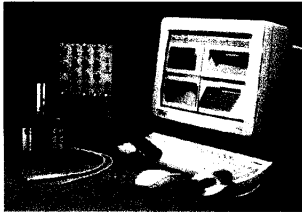
需要有資料高速運算處理的能力(Higher computational power)

2.6.2 運轉模態分析技術之流程(Flow Chart)



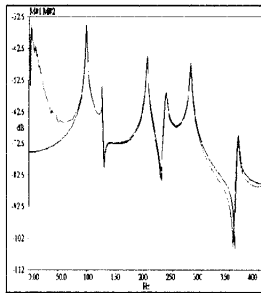
建模(Modeling)

- 架構幾何圖形Geometry
- Degree of Freedom definition
- 軸系定義(X or XYZ direction)



測試(Measurements)

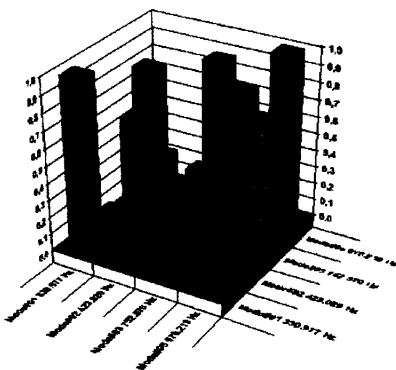
- 量測Power Spectrum Density (Time Histories – PSD Matrices)
- 機組起動昇速自然激振(Natural excitation)
- 驗證STFT, Autospectra, Overall etc.



曲線嵌合(Curve fitting)求得模態參數

- 自然頻率(Frequency)
- 阻尼(Damping)
- 振型(Residues)

Modal Assurance Criterion



驗證(Validation)

- MAC (Modal Assurance Criteria)
- SDEV of Frequency and Damping
- Model vs. Measurements

2.6.3 運轉模態分析測試原理

對於輕阻尼結構系統(Lightly damped structure)而言，當系統因受外力(White noise)而產生變形時，量測之加速度規其輸出電壓因而產生變化。

依據數學多項式展開可以得到 Power Spectral Density (PSD)公式，

(一)測試之Power Spectral Density (PSD)值：

受一外力(White noise)激勵

$$G_{yy}(j\omega) = \bar{H}(j\omega)G_{xx}H(j\omega)^T \quad \text{----- (1)}$$

$G_{yy}(j\omega)$ ：測得之信號

G_{xx} ：標準的 White noise

$\bar{H}(j\omega)I_{n \times n}H(j\omega)^T$ ：正交轉換矩陣

$\bar{H}(j\omega)$ ：系統轉移函數特性矩陣



應用部分分式展開特性矩陣

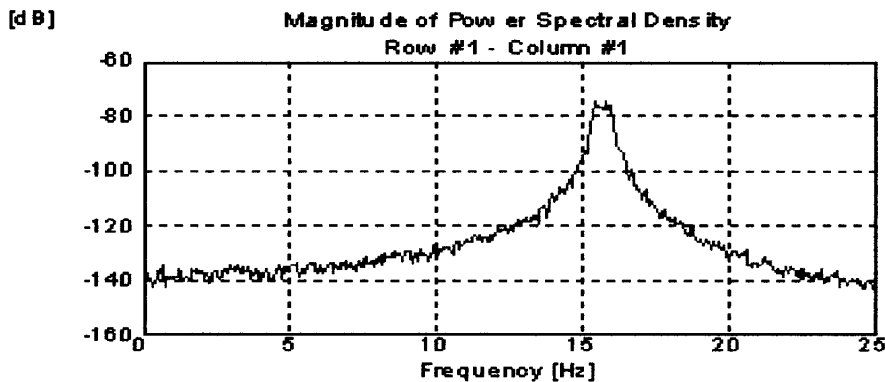
$$H(j\omega) = \sum_{k=1}^n \frac{R_k}{j\omega - \lambda_k} + \frac{\bar{R}_k}{j\omega - \bar{\lambda}_k}, \quad R_k = \phi_k \gamma_k^T \quad \text{----- (2)}$$

$R_k = \phi_k \gamma_k^T$ ：殘值 Residue, 振型

λ_k ：系統的特徵值 Eigenvalue

所以量測得之信號應為

$$G_{yy}(j\omega) = \sum_{k=1}^N \frac{d_k \phi_k \bar{\phi}_k^T}{j\omega - \lambda_k} + \frac{\bar{d}_k \bar{\phi}_k \phi_k^T}{j\omega - \bar{\lambda}_k} \quad \text{----- (3)}$$



(二)由Hermetian矩陣求解特徵值及特徵向量(Singular values & Singular vectors) :

$$[A] = [V] [S] [V]^H = s_1 v_1 v_1^H + s_2 v_2 v_2^H + \dots \text{----- (4)}$$

$[V] = \{v_1\} \{v_2\} \{v_3\} \dots \{v_n\}$ 特徵向量矩陣(正交矩陣)

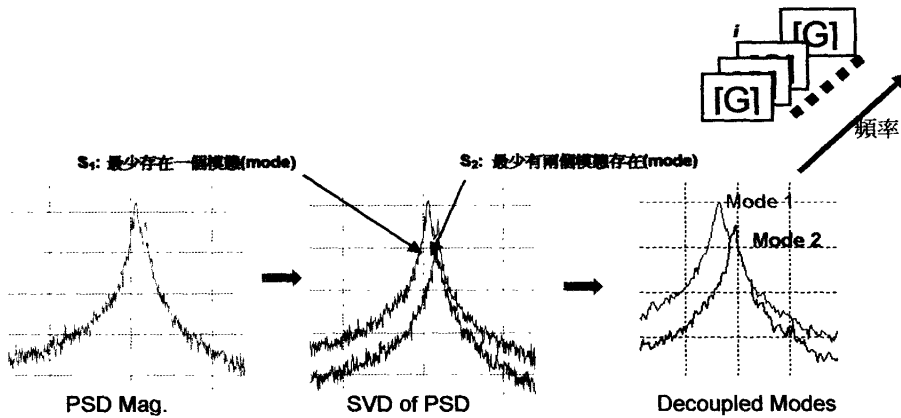
$$[S] = \begin{bmatrix} s_1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & s_2 & 0 & & & \\ 0 & 0 & & & & \\ 0 & & & s_p & & \\ \dots & & & & 0 & \\ & & & & & 0 \\ 0 & & & & & 0 \end{bmatrix} \text{ 特徵值矩陣(對角矩陣)}$$

(三)由PSD求解每一頻率之特徵值(Singular values) :

在PSD中

$$G_{yy}(j\omega_i) = \sum_k \frac{d_k}{j\omega_i - \lambda_k} \phi_k \phi_k^H + \frac{\bar{d}_k}{j\omega_i - \bar{\lambda}_k} \bar{\phi}_k \bar{\phi}_k^H \approx \sum_k s_k \phi_k \phi_k^H \text{----- (5)}$$

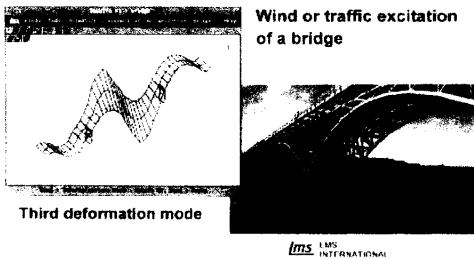
s_k : 為一給定頻率之常數



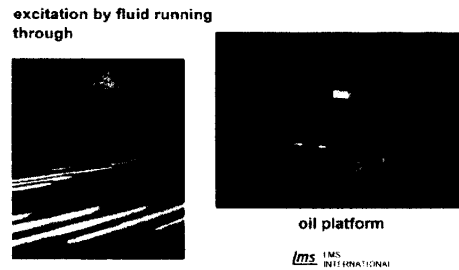
2.6.4 運轉模態分析測試之應用

- 藉由輸出響應測試決定系統的模態參數
 - 不須量測外加或自然操作的激振力
 - 與Operational Deflection Shapes (ODS)相類似的量測方式
 - 可在現場操作條件下測試In-situ testing
- 已成功應用於土木工程Civil Engineering
 - 例如橋樑、海上探鑽平台結構物及大型建物的操作模態分析

Ambient Excitation of Civil Structures

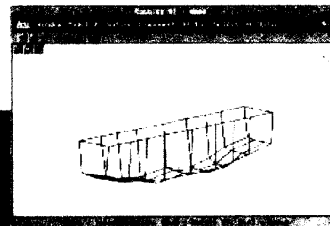
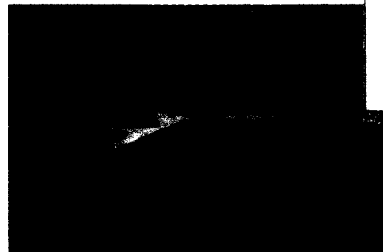


Excitation by Environment : Industrial Applications



- 火車、汽車及飛行航空器的應用實例
 - 迴轉機械的應用
 - 火車及汽車之On-road testing、飛行航空器之in-flight testing

Modal model from data in 'running' conditions



first deformation mode of a floor of a carriage

LMS INTERNATIONAL

flight tests



aero-elastic interaction



三、感想及建議

- 1.即時監測及診斷分析技術對於維護機組安全運轉有密不可分的關係，**Brüel & Kjær Vibro** 公司對於即時監測系統的規劃技術及想法與目前本處使用中的系統 DM2000 有些差異；其 AI 的規劃技術值得本處研測人員之效法。
- 2.由 Run-up 或 Run-down 的 Orbit Cascade 技術，可比較機組在經過組裝或操作條件改變後其運轉模式的改變，值得往後大修前後測試驗證。
- 3.SCHENCK 公司的轉子高速平衡機，對於汽機及氣渦輪機組轉子平衡轉速操作高於共振頻率以上，必須採用軟支撐平衡機而剛性強度低與實際軸承條件不同且需藉由標準轉子作調整，目前不適合作為大修中機組轉子之平衡校整。
- 4.LMS 公司利用 OMA 的分析技術可在設備起動或操作運轉時，求得模態參數(自然頻率 Natural Frequency、阻尼 Modal Damping 及振型 Mode Shape)，可對設備運轉時變形情形的瞭解：設計修正的重要參數(剛性 stiffness,質量 mass 及阻尼 damping)改變共振頻率，或運轉模式必須加以修正，以避開結構自然頻率。
- 5.LMS 公司利用振噪 Vibro-acoustic Modal Analysis 的分析技術，針對無法接觸量測的輕型結構或設備求得模態參數(自然頻率 Natural Frequency、阻尼 Modal Damping 及振型 Mode Shape)，這項技術目前還未成熟，未來必須審慎規劃方能進行。

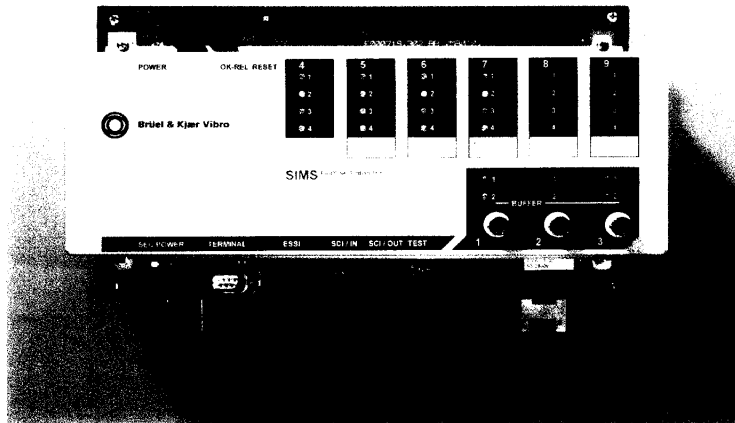


圖28 Brüel & Kjær Vibro即時監測及診斷分析卡片

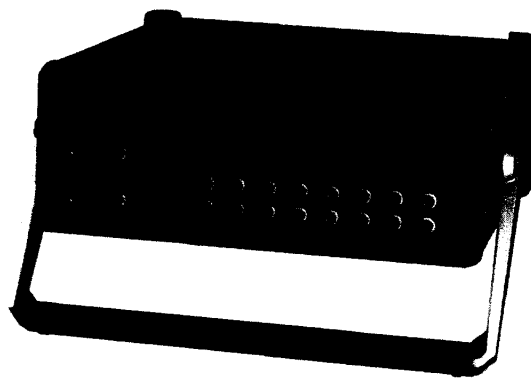


圖29 手提式振動監測分析設備VIBRODAU 5000

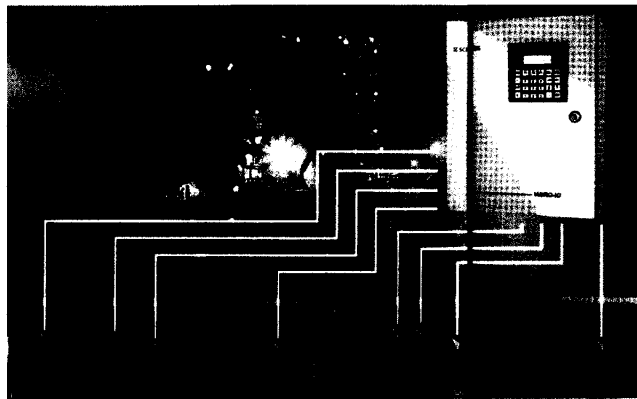


圖30 VIBRO-IC監測及診斷分析模組架構

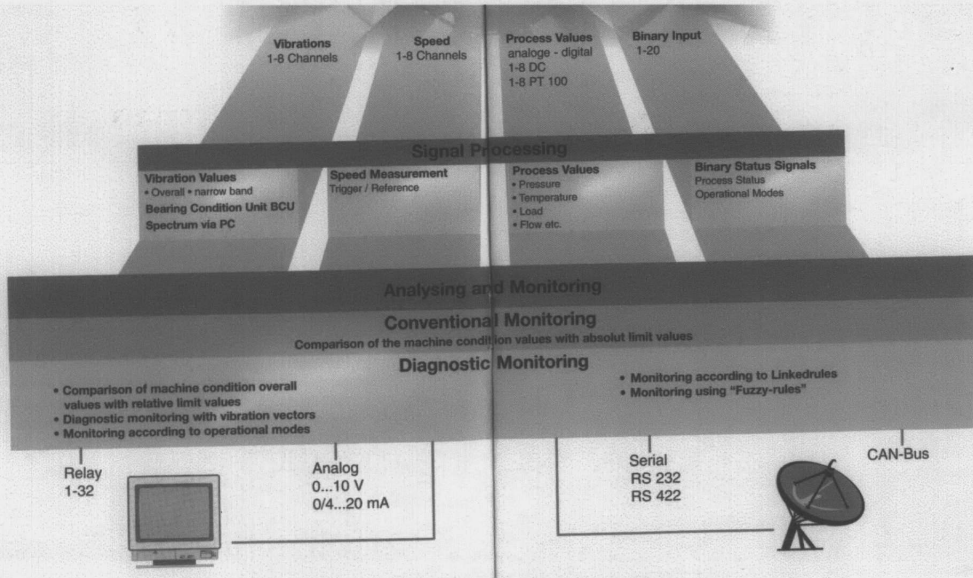


圖31 Brüel & Kjær Vibro即時監測及診斷分析系統架構

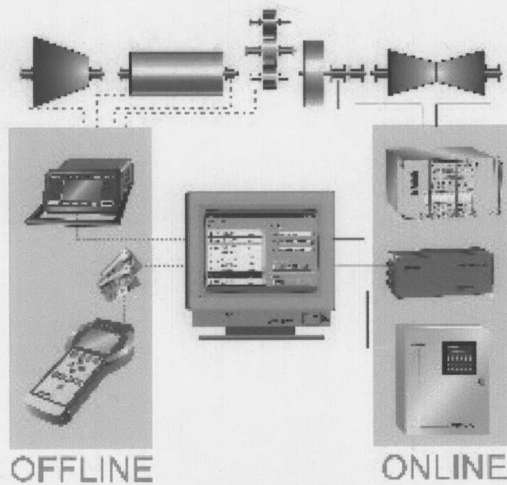


圖32Brüel & Kjær Vibro公司離線(Offline)&線上(Online)即時監測儀器

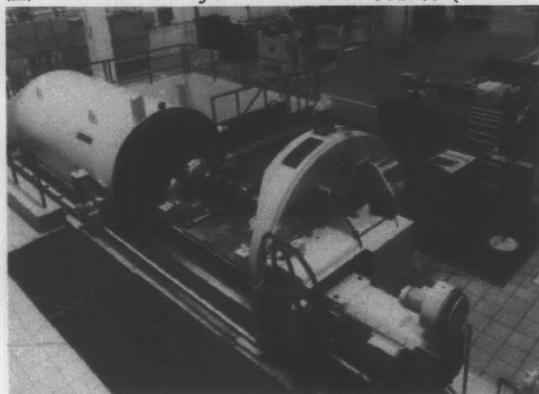


圖33 SCHENCK公司曲柄軸平衡機

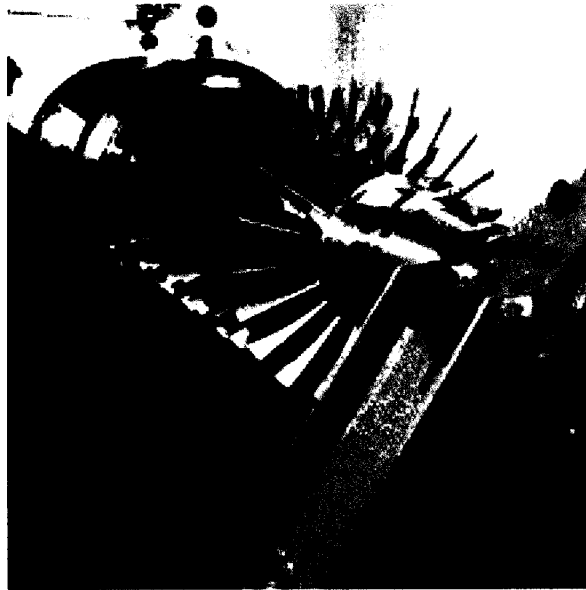


圖34 SCHENCK公司低速平衡機

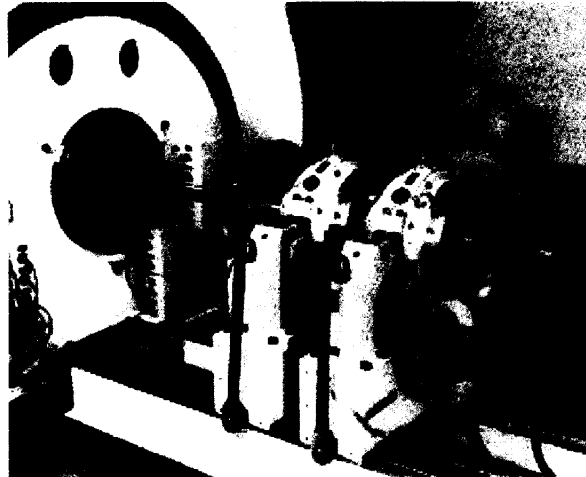


圖35 SCHENCK公司小容量高速平衡機

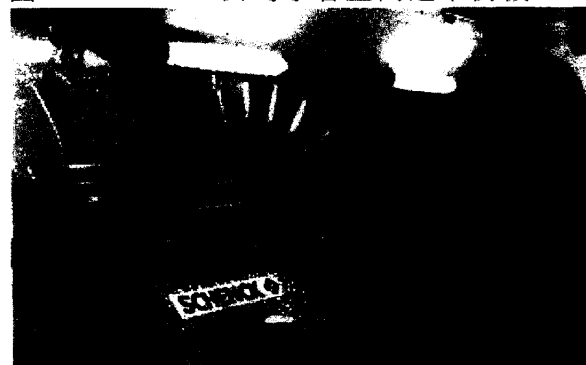


圖36 SCHENCK公司電樞轉子平衡機



圖37 SCHENCK公司發電機平衡機

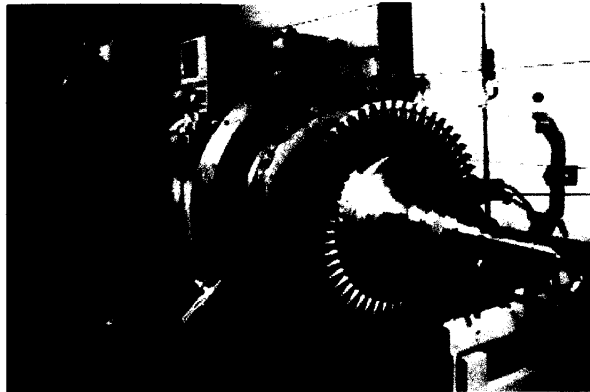


圖38 SCHENCK公司小汽機平衡機

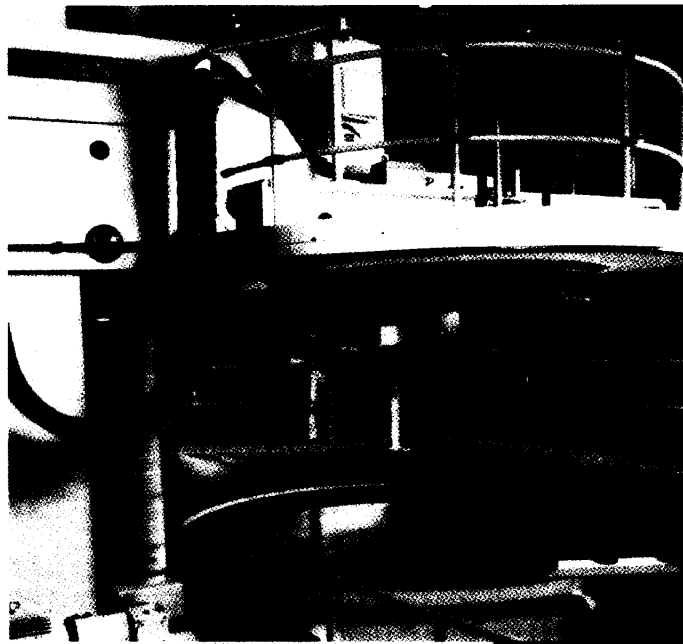


圖39 SCHENCK公司聯軸器平衡測試

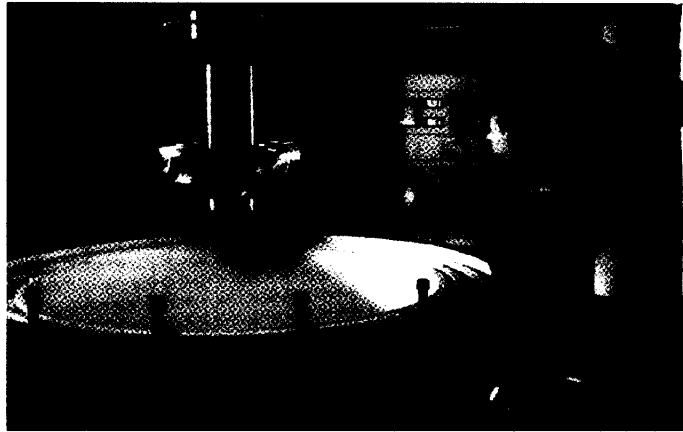


圖40 SCHENCK公司Spin-Testing平衡機



圖41 SCHENCK公司馬達風扇轉子平衡機



圖42 SCHENCK公司小型電樞轉子平衡機



圖43 LMS公司外觀

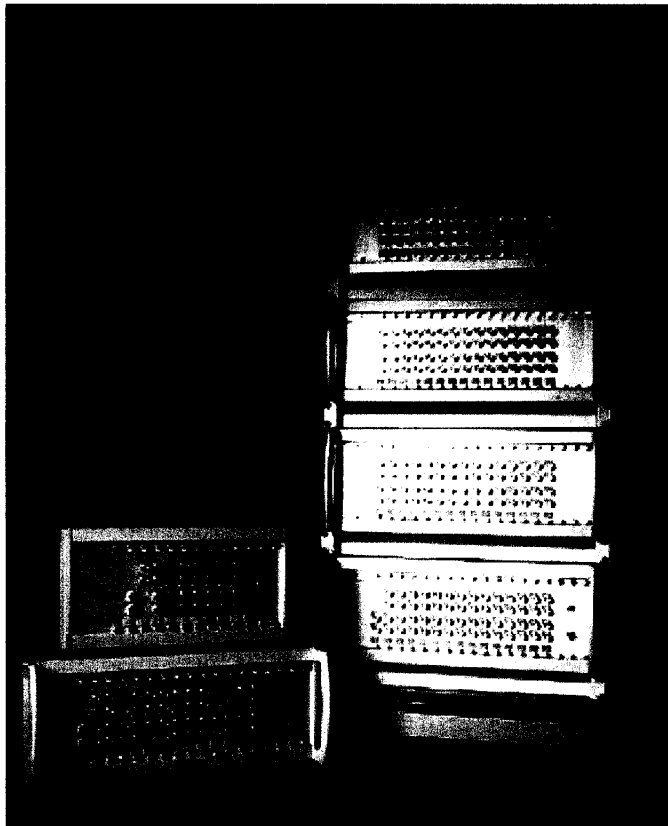


圖44 LMS公司之CADA-X外觀



圖45 LMS公司之SCADAS III外觀

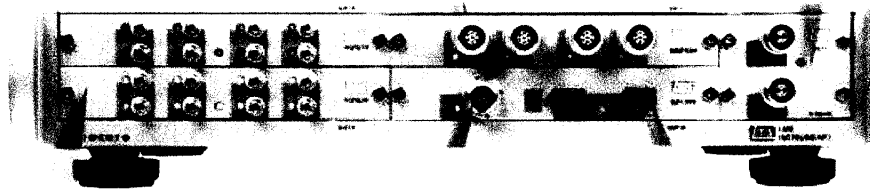


圖46 LMS公司之Palmetto外觀

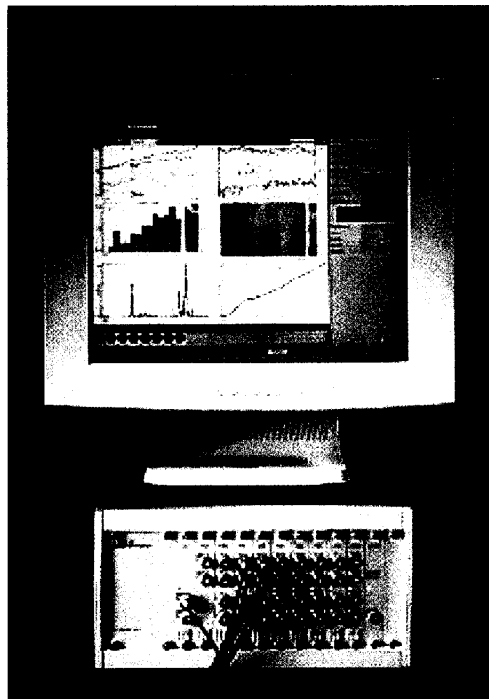


圖47 本處現有之CADA-X外觀

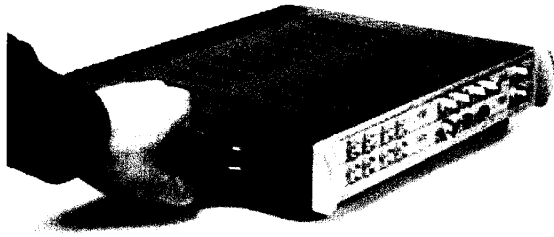


圖48 LMS公司之可攜式Palmetto外觀



圖49 德國高速公司旁的風力發電機組

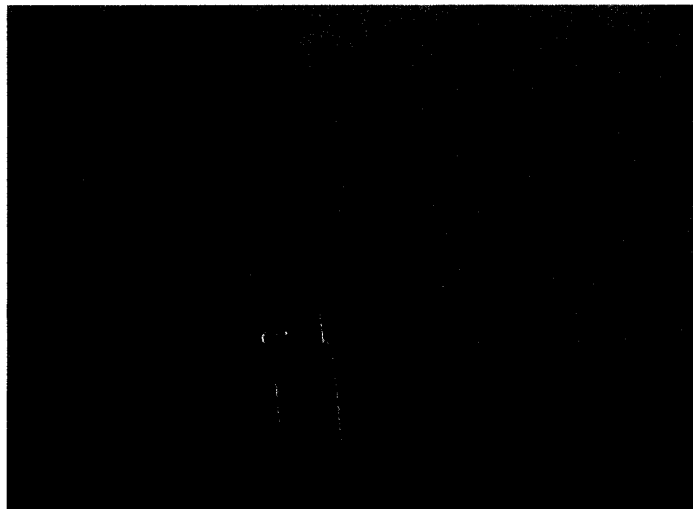


圖50 風力發電機組於歐洲大陸隨處可見



圖 51 Brüel & Kjær Vibro公司之模擬測試轉子

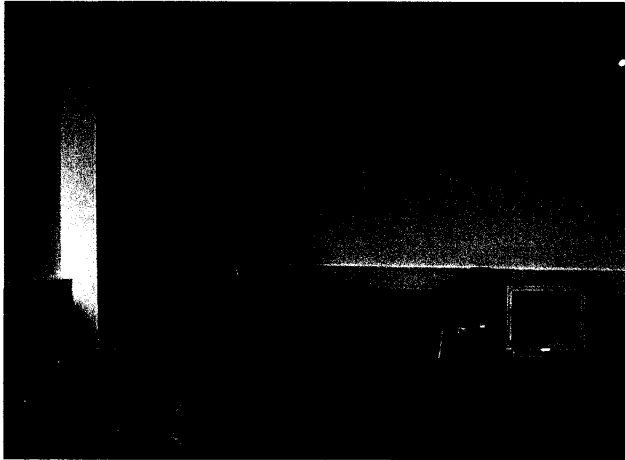


圖 52 Brüel & Kjær Vibro公司技術及應用訓練部門的Mr. Richard



圖 53 LMS公司技術服務部門的Mr. Den



圖 54 德國鐵路旁美麗的景緻

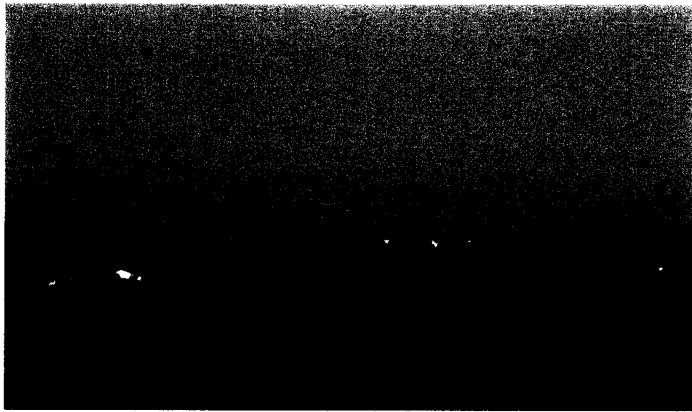


圖 55 德國鐵路旁美麗的景緻

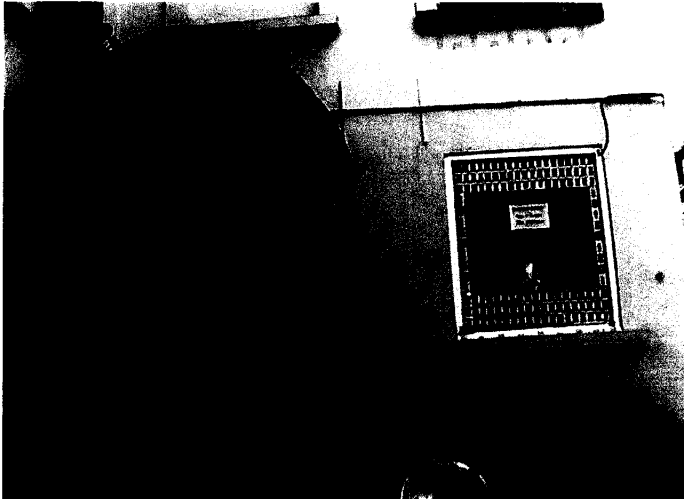


圖 56 比利時布魯塞爾之著名景點—尿尿小童的景緻



照片8 阿姆斯特丹鐵路旁港口的景緻



照片9 筆者於德國Darmstadt車站



照片10 筆者於繁忙的史基浦車站