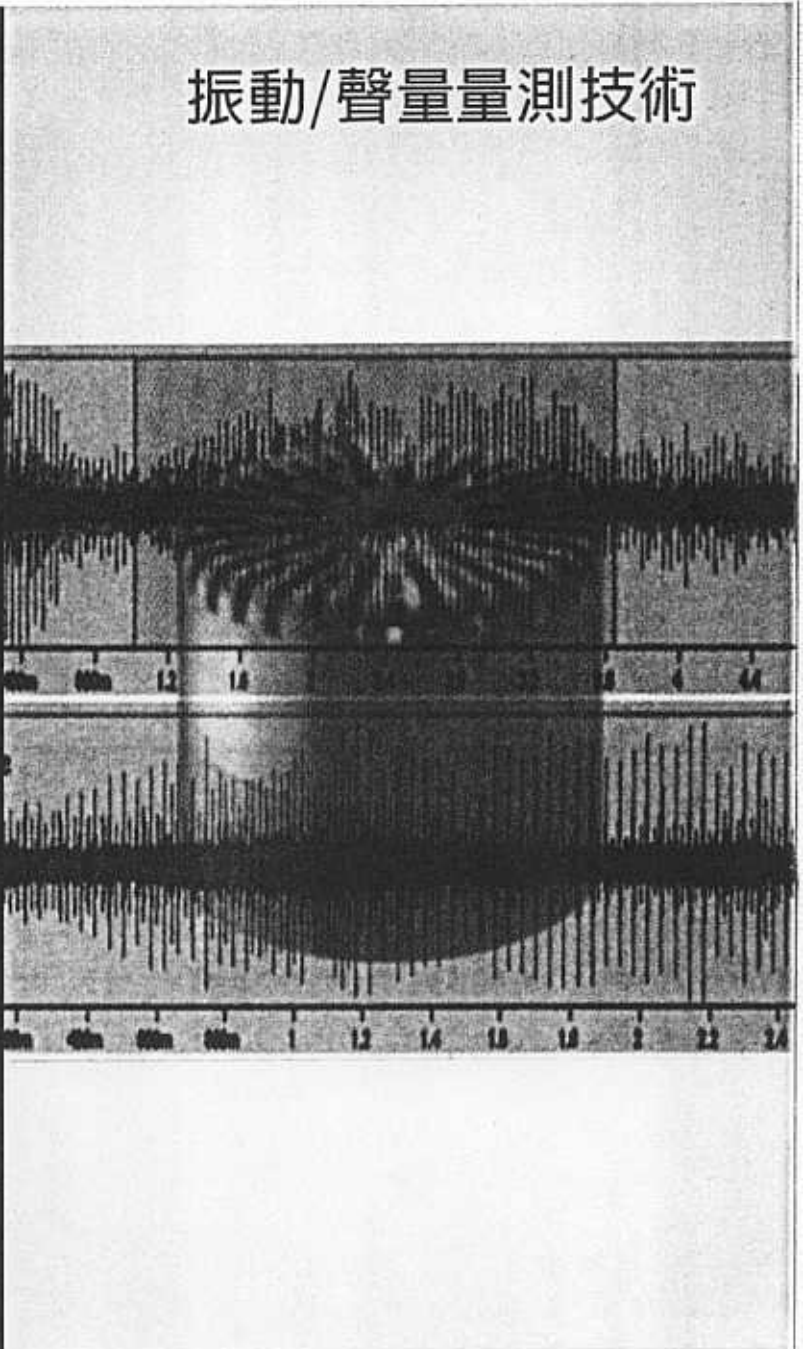
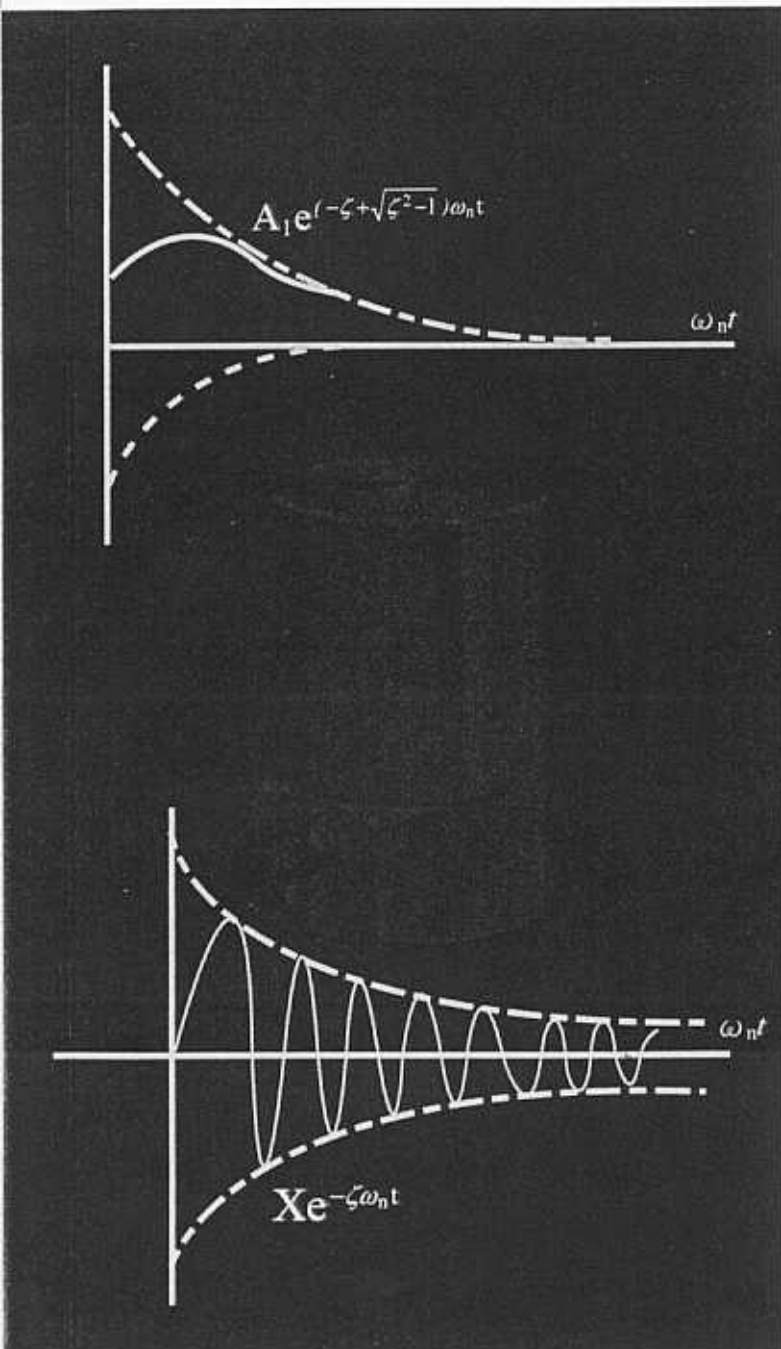


量測資訊

雙
月
刊

MEASUREMENT INFORMATION

振動/聲量量測技術



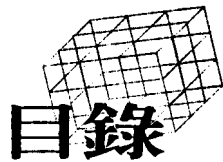
國家度量衡標準實驗室
NATIONAL MEASUREMENT LABORATORY R.O.C.
www.nml.org.tw



財團法人
工業技術研究院
量測技術發展中心
www.cms.itri.org.tw

84

中華民國九十一年三月



專輯：振動與聲量量測技術

- 實驗室慣性質量隔振台性能測試 黃宇中 8
- 實驗室之環境微振動評估 陳榮亮、崔廣義 14
- 設備暨環境之振動噪音改善技術 江文旺、何展効 18
- 正向入射吸音係數測試系統 何展効、江文旺、郭淑芬 24
- 以條紋計數法評估改良之低頻校正系統量測不確定度 李百堂、何展効 31

計量儀器與技術

- FFT訊號分析儀之功能測試 陳榮亮、王栢村 35
- 阻抗式濕度感測元件之研製 蘇平貴、吳仁彰 40

品保/認證/驗證焦點

- 掌握2000年版ISO 9000 推動管理革新系列之七
如何依照ISO 9001：2000執行資源管理 樊國紀 43
- 落實ISO 17025 確保測試服務品質系列之七
如何依照ISO 17025：1999建立測試方法 樊國紀、蔡榮一、廖光磊、陳秀貞 47
- 一種更為可靠的量測不確定度評定方法 沙定國、蘇大圖 52

國內產經動向

- 入世新紀元 標準檢驗局扮演技術性質貿易障礙協定諮詢窗口/國家標準修訂 歡迎全民參與/產品分等檢驗制度廢止/經濟部推動創研中心計畫 鎖定3G無線通訊與奈米科技等產業/國家游離輻射標準實驗室落成/國家設計中心92年成立/中華電信研究所通過電信終端設備驗證機構認可/ITIS新書出版 編輯室輯 55

全球計量動向

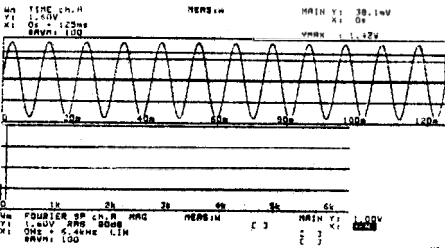
- 製造技術標準規範/NIST提供半導體、電子製造業線上計量資訊/計量自動化協會發展共通機械介面/調查顯示ISO9000與ISO14000品質系統驗證持續成長/量測中心探討通訊及自動化光學檢測儀器技術發展趨勢/測試領域之不確定度評估專書上市/量測不確定度導入環境聲音位準之量測/品質相關網站搜尋 編輯室輯 59

新產品/新技術櫥窗

- 差壓感測器/攜帶式加速規校正器/經由聲音信號對旋轉機械進行故障診斷/超音波振動計/可攜式數位傾斜儀/攜帶式超音波冷凝式露點計/電磁相容試驗室/真值均方根電流換能器/粒子計數器/減少射頻雜訊之實際設計要領/一氧化碳感測器/LED在氣體偵測上之應用/奈米範圍之量測/攜帶型流量計/可攜式輻射功率計/藍光雷射模組/電感式感測器 編輯室輯 64



FFT 訊號分析儀之功能測試



■量測中心標準與技術發展組副工程師 陳榮亮
■國立屏東科技大學機械工程技術系教授 王栢村

前言

合理的實驗結果是每一個實驗者所追求的目標，然而獲得合理結果的前提則需盡量避免實驗誤差。這些實驗誤差包括實驗前的假設是否合理客觀、系統模擬是否合乎要求，以及實驗儀器是否精確等，都深深影響實驗結果。其中實驗儀器所造成的誤差大都是因為使用之方法錯誤或儀器老舊造成儀器失真等。一般而言，此類誤差最易被忽視，但也最易避免，只要在實驗之前對儀器測試即可避免。除此之外，儀器設備應定期進行校正比對，以確保儀器之準確性

本文將對訊號頻譜分析儀 (Signal Spectrum Analyzer) 進行測試與說明，檢查訊號頻譜分析儀之各種運算是否正確、功能是否正常等。由於訊號頻譜分析儀主要之功用是將訊號做快速傅立葉轉換 (Fast Fourier Transform, FFT)[1]，所以對訊號頻譜分析儀之測試主要是檢查快速傅立葉轉換的功能，以確保儀器功能之

正確性。快速傅立葉轉換分為正弦與餘弦波檢查、反假象濾波器檢查 (Antialiasing Filter Check)[2]、頻率響應函數與相位角檢查 (FRF & Phase Check)[3]、自身能量密度函數檢查 (Power Spectrum Check)[4]、動態範圍檢查 (Dynamic Range Check) 等五個項目，本文針對上述五項測試的原理、測試步驟以及測試結果的敘述加以詳細說明，其中五項測試原理乃節錄 Mitchell 之教材 [5]。

測試原理

確認訊號頻譜分析儀之快速傅立葉轉換無誤之五個步驟如下：正弦與餘弦波之快速傅立葉轉換檢查、反假象濾波器檢查、頻率響應函數及相位角檢查、自身能量密度函數檢查、動態範圍檢查。其原理依序簡介如下：

一、正弦與餘弦波之快速傅立葉轉換檢查

正弦波之時間域數學表示式如下所示：

$$x(t) = A \sin(2\pi f_0 t) \dots \dots \dots (1)$$

式中 A：訊號振幅； f_0 ：訊號頻率；t：時間。

其傅立葉轉換為：

$$X(f) = -j \frac{A}{2} \delta(f - f_0) + j \frac{A}{2} \delta(f + f_0) \dots (2)$$

若僅考慮正頻率則：

$$X(f) = -jA \delta(f - f_0) \dots \dots \dots (3)$$

由此可知， $X(f)$ 之實數部為零，虛數部為 -A。

餘弦波之時間域表示式為：

$$x(t) = A \cos(2\pi f_0 t) \dots \dots \dots (4)$$

其傅立葉轉換為：

$$X(f) = \frac{A}{2} \delta(f - f_0) + \frac{A}{2} \delta(f + f_0) \dots (5)$$

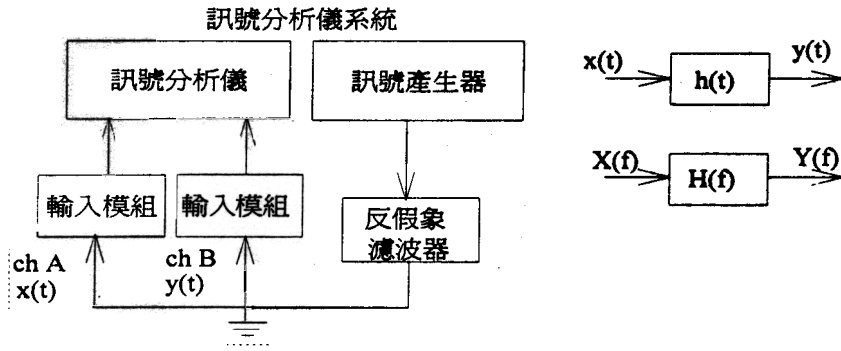
若僅考慮正頻率則：

$$X(f) = A \delta(f - f_0) \dots \dots \dots (6)$$

其傅立葉轉換之結果剛好與正弦波之傅立葉轉換結果相反， $X(f)$ 之實數部為 A，虛數部為零。其動作原理如圖一所示，由訊號產生器產生一個正弦或餘弦波，訊號經過反假象濾波器，再經由導線傳入頻道 A 的輸入模組，再傳入頻譜分析儀作分析。

二、反假象濾波器檢查

假象是指訊號在頻率域進行傅立葉轉換時所產生不正常之現象，主要是因取樣 (Sampling) 時



圖一 訊號分析儀系統示意圖

因取樣頻率(Sampling Frequency)低於訊號頻率，導致高頻訊號映射到低頻頻域造成訊號失真，所謂取樣頻率低於訊號頻率是指取樣頻率(f_s)低於二倍的訊號頻率(f_0)，因為 $f_{nyq} = f_s / 2$ ，其中 f_{nyq} 是指解析頻率，所以只要 f_0 大於 f_{nyq} 即會產生假象的現象。解決訊號假象之現象的方法有二：提高取樣頻率及加上訊號反假象濾波器；反假象濾波器是將高於 f_{nyq} 之頻率濾掉，使得高頻訊號不會再映射過低頻之頻域，如式(7)所示：

$$x(t) = \cos(f_{nyq} + 0.2f_{nyq}) \dots \dots \dots (7)$$

如果並無反假象濾波器，則在 $0.8f_{nyq}$ 會有數值出現；反之則不會有任何數值出現。因此可藉此驗證具有反假象濾波器之頻譜分析儀是否有假象之情形發生。

其動作原理如圖一所示，由訊號產生器產生一正弦或餘弦波訊號，再將訊號傳入反假象濾波器將高頻之訊號濾掉，才將訊號由輸入模組傳入頻譜分析儀。

三、頻率響應函數及相位角檢查

若於兩個輸入頻道皆輸入相同之隨機訊號，則：

$$x(t) = y(t) \dots \dots \dots (8)$$

其傅立葉轉換亦相同，如下所示：

$$X(f) = Y(f) \dots \dots \dots (9)$$

則其頻率響應函數與相位角為：

$$|H(f)| = \left| \frac{Y(f)}{X(f)} \right| = 1 \dots \dots \dots (10)$$

$$H_1(f) = \frac{G_y(f)}{G_x(f)} \dots \dots \dots (11)$$

$$H_2(f) = \frac{G_y(f)}{G_x(f)} \dots \dots \dots (12)$$

$$\angle H(f) = 0^\circ \dots \dots \dots (13)$$

因為 $X(f)$ 與 $Y(f)$ 相等，所以 $H(f)$ 等於1，頻率響應函數的計算分為 $H_1(f)$ 、 $H_2(f)$ ，分別是假設訊號在輸出與輸入端有雜訊，且其相位 $\angle H(f)$ 為0度。其動作原理如圖一所示，由訊號產生器產生兩個相同之隨機訊號，經過反假象濾波器，再分別由輸入模組傳到頻譜分析儀作分析。

四、自身能量密度函數檢查

訊號 $x(t)$ 之自身能量密度函

數 $G_{xx}(f)$ 與其平方平均根值 x_{rms} 關係如下所示：

$$\int_0^\infty G_{xx}(f) df = (x_{rms})^2 \dots \dots \dots (14)$$

可藉由式(14)驗證經過訊號頻譜分析儀所得之自身能量密度函數是否正確。其動作原理如圖一所示，由訊號產生器產生一隨機訊號，經由反假象濾波器及輸入模組將訊號傳入頻譜分析儀作分析。

五、動態範圍檢查

動態範圍是指頻譜分析儀對訊號振幅之解析度，即頻率響應最大值與最小值之差，其範圍大小是由 A/D 轉換器所決定，所以每一個頻譜分析儀之動態範圍不一定相同。兩個頻道分析過程中，一個頻道輸入隨機訊號，另一頻道接地，觀察其頻率響應函數之最大值與最小值之差，即為頻譜分析儀之動態範圍。其動作原理如圖一所示，由訊號產生器產生隨機訊號，經過反假象濾波器將訊號傳入輸入模組，將頻道 B 接地，再將兩個輸入模組之訊號傳入頻譜分析儀作分析。

測試步驟

一般訊號頻譜分析儀系統包括三部份：輸入模組(Input Modulus)2至4組、頻譜分析儀和訊號產生器各1組。輸入模組雙頻道接收器，可接收來自電壓源、加速度計、麥克風等不同的訊號；其次訊號產生器可產生正



弦波、多重正弦波(Multi-sine)、脈衝訊號、隨機訊號等不同之訊號。而頻譜分析儀為系統最重要之部分，主要是將訊號做快速傅立葉轉換運算，可求得頻率響應函數、自身能量密度函數、自身相關函數等函數。頻譜分析儀基本規格如表1所示。

一、正弦與餘弦波快速傅立葉轉換檢查步驟

(一)由頻譜分析儀產生1V、頻率為96Hz之弦波。

(二)量測頻道設為頻道A，量測模式為頻譜平均方式，頻譜條數設為800條。

(三)觸發源設為頻道A，並設定觸發位準。

(四)設定訊號延遲時間，分別產生正弦波與餘弦波。

(五)採線性平均型態，並設定平均次數。

(六)頻寬設為6.4kHz。由此可知總頻寬為6.4kHz，每條間之解析頻率為8Hz，所以輸入之弦波信號96Hz剛好為8Hz之倍數，因此可構成一個完整週期之弦波，可讓訊號在無洩漏下作分

析。

(七)採用Rectangular加權函數。

(八)觀察傅立葉轉換(Fourier Spectrum)的振幅大小及實數部與虛數部。

二、反假象濾波器檢查步驟

(一)由頻譜分析儀產生1V、頻率為70Hz之弦波。

(二)量測頻道設為頻道A，量測模式為頻譜平均方式，頻譜條數設為800條。

(三)觸發源設為頻道A，並設定觸發位準。

(四)採線性平均型態，並設定平均次數。

(五)頻寬設為50Hz，總頻寬為50Hz，訊號頻率為70Hz，所以訊號本身之頻率大於解析頻率，若分析儀無反假象濾波裝置時，會在30Hz產生假象頻率。

(六)採用Rectangular加權函數

(七)觀察傅立葉轉換的振幅大小。

三、頻率響應函數及相位角檢查步驟

(一)由頻譜分析儀產生1V之全頻隨機信號。

(二)量測頻道設為雙頻道，量測模式為頻譜平均方式，頻譜條數設為800條。

(三)觸發源設為FREE RUN。

(四)採線性平均型態，並設定平均次數。

(五)頻寬設為3.2kHz。

(六)採用Rectangular加權函數。

(七)觀察頻率響應函數(Frequency Response) H_1 的振幅大小及相位角。

四、自身能量密度函數檢查

(一)由頻譜分析儀產生1V之全頻隨機信號。

(二)量測頻道設為頻道A，量測模式為頻譜平均方式，頻譜條數設為800條。

(三)觸發源設為頻道A，並設定觸發位準。

(四)採線性平均型態，並設定平均次數。

(五)頻寬設為3.2kHz。

(六)採用Rectangular加權函數。

(七)觀察自身能量密度函數。

五、動態範圍檢查

(一)由頻譜分析儀產生1V之全頻隨機信號。

(二)量測頻道設為雙頻道，量測模式為頻譜平均方式，頻譜

參數項目	參數值
訊號輸入通道	2-4 channels
量測之最大頻率	≥ 25 kHz
頻率解析條數	達800條以上
動態範圍	≥ 80 dB
通道間振幅匹配	± 0.2 dB
通道間相位匹配	± 0.5 deg
觸發方式	RPM, time trigger, free run, channel, external
輸入電壓	至少7 ranges, from 10mV to 5V
分析及顯示特性	time history, linear spectrum, auto spectrum, cross spectrum, FRF, coherence, real, imaginary, nyquist, magnitude, phase, waterfall



條數設為800條。

(三) 觸發源設為FREE RUN。

(四) 採線性平均型態，並設定平均次數。

(五) 頻寬設為6.4kHz。

(六) 採用Rectangular加權函數。

(七) 觀察頻率響應函數振幅 H_1 大小，以及關聯性函數 r^2 (Coherence Function)。

測試結果

一、正弦與餘弦波快速傅立葉轉換檢查

由訊號產生器所產生之正弦波訊號如圖二(a)所示，振幅大小設定為1V，此1V為訊號之RMS值，因此實際正弦波振幅為1.414V。此正弦波之傅立葉轉換如圖二(b)所示，實數部為37.9mV，虛數部為-1.42V，理

論上實數部應為0V，虛數部為-1.414V，所以實驗之結果與理論之結果相當吻合。

訊號產生器產生之餘弦波訊號如圖三(a)所示，其傅立葉轉換如圖三(b)所示，振幅大小之結果與正弦波相同，由於正弦波與餘弦波剛好成90度之相位差，所以實數部與虛數部之結果剛好與正弦波相反，由結果可看出與理論之結果相當一致。

二、反假象濾波器檢查

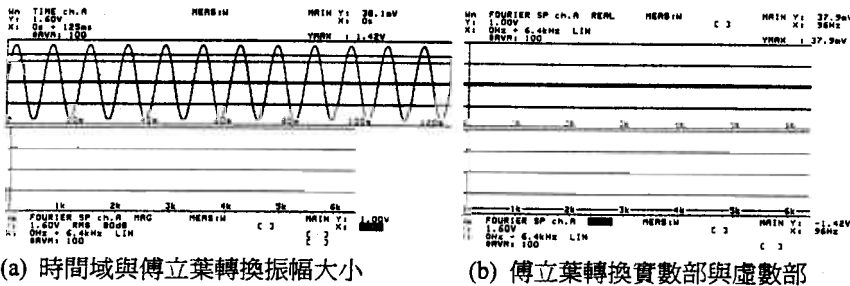
由於本實驗中所輸入之 $f_s=100\text{Hz}$ ，所以 $f_{nyq}=50\text{Hz}$ ，訊號之頻率為70Hz，所以理論上頻率域在30Hz會有反假象之現象發生，實驗之結果如圖四所示，在30Hz並無訊號產生，顯示訊號已被濾除，所以證明反假象濾波器已有作用且無問題。

三、頻率響應函數及相位角檢查

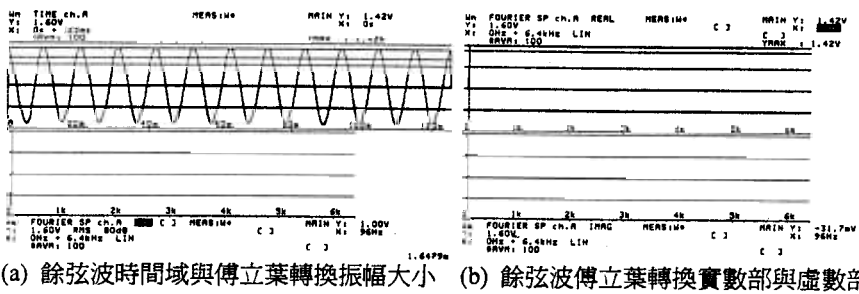
由訊號產生器所產生之時間域隨機訊號如圖五(a)所示，由圖五(b)發現頻率響應函數 H_1 振幅大小為1，相位角為0度，完全與理論情形相同，表示頻譜分析儀的頻率響應函數運算無誤。

四、自身能量密度函數檢查

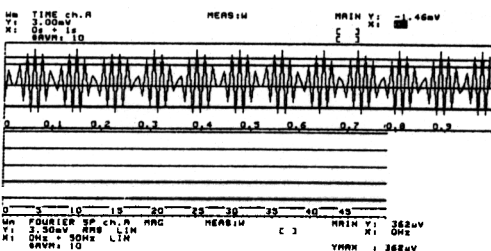
實驗之結果如圖六所示，自身能量密度函數之頻譜單位方式為PSD(Power Spectral Density)，值約為 $319\mu\text{V}^2/\text{Hz}$ ，乘上總頻寬3.2kHz為 1.0208V^2 ，再將 1.0208V^2 開根號即是RMS值，所以實驗之RMS約為1.01V與實際



圖二 正弦波快速傅立葉轉換檢查結果



圖三 餘弦波快速傅立葉轉換檢查結果



圖四 反假象濾波器檢查時間域與傅立葉轉換

輸入之1V相差很小，因此證明自身能量密度函數之運算正確。

五、動態範圍檢查

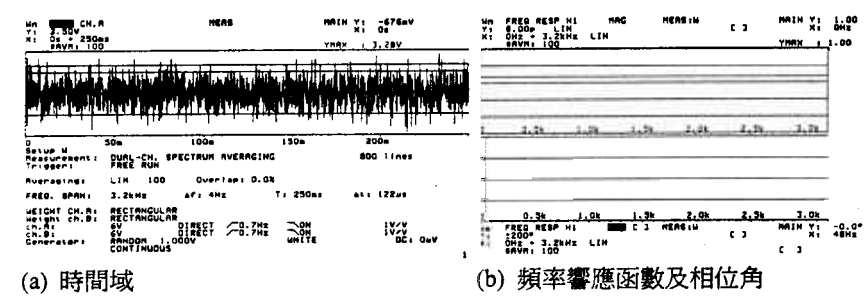
實驗之結果如圖七(a)與圖七(b)所示，在頻率響應函數 H 的大小值差約介於80-120dB之間，與本實驗之機台的動態範圍相當吻合，且其關聯性函數 r^2 甚小於1，表示所輸入之兩個訊號完全無關。

本文介紹典型頻譜分析儀之功能測試方法，主要測試訊號分析儀之正弦與餘弦波檢查、反假象濾波器檢查、頻率響應函數與相位角檢查、自身能量密度函數檢查、動態範圍檢查等五個功能項目，對從事振動與噪音實驗量測或分析，不論是使用各種型式之分析儀或自製信號處理器均可採用，以確保實驗量測及分析之正確性。

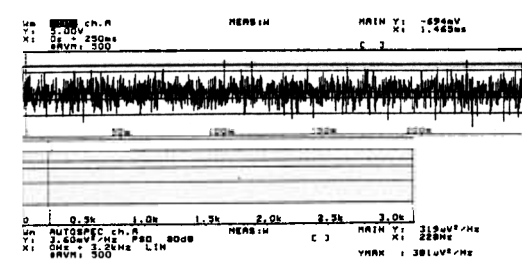
結論

參考資料

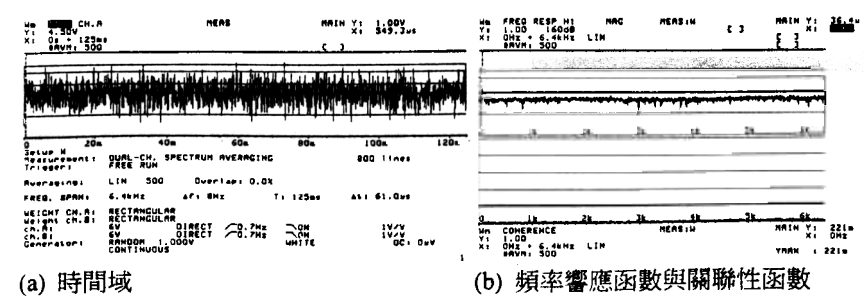
1. MultiChannel Analysis System 3550 Documentation, BK Inc., 1992.
2. Oppenheim, A. V., and Schaffer, R. W. Discrete-Time Signal Processing. Printice-Hall International, Inc., 1989.
3. Park, Y., "Improved Estimation of Frequency Response Function", Modal Analysis: The International Journal of Analytical and Experimental Modal Analysis V. 9, n. 2(Apr. 1994): 99-110.
4. Bendat, J. S. "Definitions and frequency domain procedures for dynamic data analysis", International Journal of Vehicle Design Vol. 2, No. 2 (1981).
5. Mitchell, L. D. "Experimental Modal Testing Class Note", Department of Mechanical Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University, 1990.



圖五 頻率響應函數及相位角檢查結果



圖六 自身能量密度函數檢查與時間域之圖形



圖七 動態範圍檢查結果