

行政院國家科學委員會補助  
大專學生參與專題研究計畫研究成果報告

\*\*\*\*\*  
\* 計畫 \*  
\* : 噪音源聲場分析系統 \*  
\* 名稱 \*  
\*\*\*\*\*

執行計畫學生：周志豪

學生計畫編號：NSC 92-2815-C-218-007-E

研究期間：九十二年七月一日至九十三年二月底止，計八個月

指導教授：劉雲輝 助理教授

執行單位：南台科技大學機械工程系暨研究所

中華民國 92 年 3 月 10 日

## 一、前言

隨著工業時代巨輪的滾動，人們製造機器以供工業使用，尤其使用馬達來當做動力的來源時，使得機器在運作過程中產生振動，進而誘發出噪音，因此鑑別出噪音源是當務之急，並且改善其振動之元件。在以往的機器中，由於其動作較慢且較粗狀，振動量測需求只需要工廠內的老師傅，用他的耳朵去聽和手觸摸機器，或僅使用簡單的光學儀器去量測機器的振動位移，即可滿足我們的需求了。在人們享受了科技所帶來的便利，相對也就有許多的衍生問題產生。生活中舉舉皆是噪音的案例，如簡報時所使用的投影機內部馬達運轉所產生的聲音。試想，在會議中，這些噪音必定會干擾演講者的聲音，影響會議現場的氣氛；而辦公室電腦主機中的風扇、硬碟、光碟機運轉聲，都會帶給人有點煩躁、焦慮、分心等情形發生。而在各種的污染源中，噪音污染當然也包含在其中之一！它不僅對我們的聽力會造成傷害，而在心理上也會產生不良的影響，進而影響我們的工作效率導致生產力降低，這些因素在在說明了噪音的防治是有必要的，基於如此，本專題所架構之『噪音源聲場分析系統』將作為噪音源鑑別與量測分析之準則。

## 二、研究目的

近年來國內走向精密製程之趨勢，因此，無論是機器的振動影響著定位的精度，和製程後產品的品質缺陷，以及關於3C電腦（通訊裝置、電腦、消費性電子）為主之應用產品、筆記型電腦、單槍投影機之噪音風扇，而引發出的噪音也將導致人員的生產效率降低。若能改善這些機器所產生的噪音，那將會是帶給人民心理或生理上極佳的舒適感。故本專題所要研究的是建構一個專業化之『噪音源聲場分析系統』，目的就是偵測在一個噪音環境中聲場分佈的情形，在每個欲掃描點進行量測

之噪音分析，進而找到最大的噪音源位置並且結合專家系統加以分析是什麼樣的因素導致噪音如此大。然後也可以得知噪音聲場的分佈方向以及噪音源聲功率之大小。藉此改進機械所引發振動之噪音源，增加相關產品的品質與競爭力。

## 三、實驗方法與步驟

本專題『噪音源聲場分析系統』之開發研究是以下面五大部分來著手進行：

### 3.1 資料蒐集與系統規劃：

首先蒐集整理有關於噪音量測分析相關的技術資料，以規劃各個子系統的架構與規格。並且藉由與指導老師的指導和討論，架構此系統相關重要資料之相關技術。

### 3.2 機構設計製作與組裝：

材料的選取將採用鋁材來做為主結構，搭配二個型號4H5609S0308，規格0.9精度、電流0.42 A、電壓12 V、最大扭矩5 kg-cm的步進馬達和導螺桿分別為X軸與Y軸的驅動系統、另外將使用微步進驅動器來使得步進馬達達到0.11度，走一步可達1.33mm之精度，以及麥克風所構成的自動掃描系統作為目標定位偵測噪音源的主體。其作動原理係利用馬達驅動XY螺桿旋轉，帶動在XY軸上的平台，達到讓麥克風移動量測的目的。傳動元件部分採用滑動接觸之導螺桿，螺帽即為X與Y平台，將螺帽固定，旋轉導螺桿即可移動平台，達到所要求的動作。

### 3.3 電路設計與製作：

應用運算放大器與電子零件做成類比訊號處理電路，其中包含了電源供應器、低通濾波器、以及訊號放大電路。所以為了量測到微小的訊號，最關鍵的元件是感測器。而前置放大器的功能就是有效應用

這種感測器的性能，並將其放大到容易處理的信號位準。所以在前置放大器電路設計與製作上考慮了以下因素：

- (1) 在前置放大器內部很少產生雜音，不易受外來雜音的影響。
- (2) 前置放大器的輸入阻抗比感測器的輸出阻抗高很多。
- (3) 增益-頻率特性涵蓋所需要的頻帶。
- (4) 有必要的增益，對溫度變化很穩定。
- (5) 增益的直線性良好，失真很少。
- (6) 能得到必要的輸出電壓，輸出阻抗很低，不易受負載的影響。

基於以上的要素，著手製作麥克風感測器電路，將收得的訊號經由放大，由於此訊號是高阻抗微小訊號，因此將高阻抗微小電壓做反相或非反相放大，轉成較強的低阻抗信號且放大至易於處理的位準信號，以便後續訊號傳輸及處理，其中運算放大器選用 NE5532 來做放大，圖 3-1 為其放大電路圖。

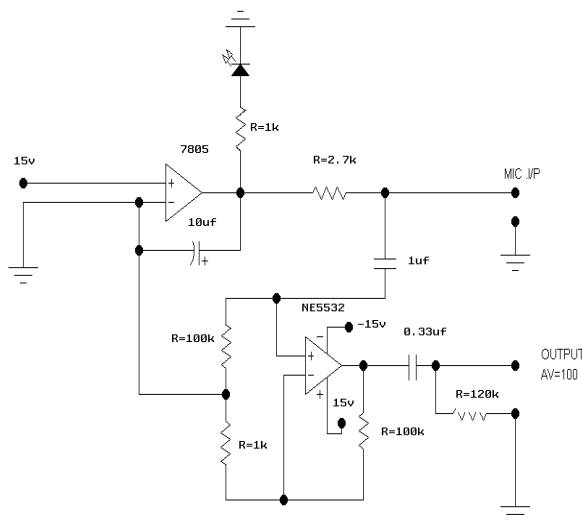


圖 3-1 NE5532 運算放大器

其在圖中之放大電路採用非反相放大，因非反相放大電路中的輸入阻抗為趨近無限大，所以不需要為了提高輸入阻抗加入額外電阻，增加電阻時會產生熱雜

訊，將導致訊號會失真。其次利用輸入電阻將電流轉換成電壓，然後再加以放大，實現電流輸入型放大器，亦即電壓隨耦器，其非反相放大電路之電壓增益值 A 由式(3.1)可求出。圖 3-2 為非反相放大器示意圖。

$$A = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \dots\dots\dots(3.1)$$

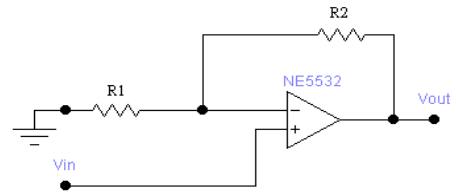


圖 3-2 非反相放大器示意圖

在電路中 RC 部分所構成的電路圖，如圖 3-3，將放大器 Vout 輸出端加入此電路圖，亦即構成低頻截止電路，亦是高通濾波器，其截止頻率  $f_c$  (cutoff frequency)，其可由式(3.2)得知。

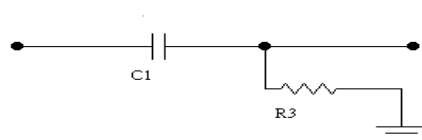


圖 3-3 RC 高通濾波電路圖

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_3 C_1} \dots\dots\dots(3.2)$$

除了製作高通濾波器外，另採用主動低通濾波器，如圖 3-4。其中  $f_c$  可由式(3.3)求出。

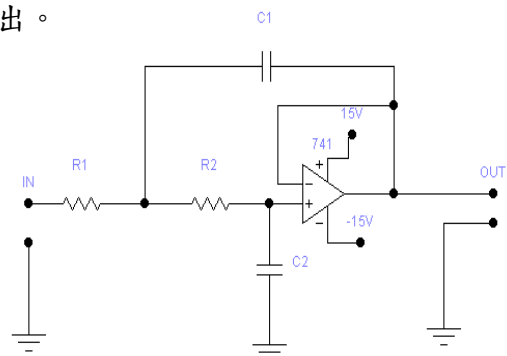


圖 3-4 主動低通濾波器

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_t C_t} \dots\dots\dots(3.3)$$

$$R_t = R_1 = R_2; C_t = C_1 = C_2$$

電路中電源部分採用雙電源用於供應類比放大器及高通與主動低通濾波器，如圖 3-5。由於信號源能夠直接輸入腳，所以採用橋式整流，另外加穩壓電路，避免 AC 電源電壓變動之影響。

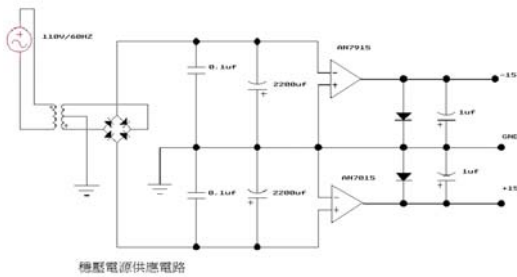


圖 3-5 電源供應電路

在其做好放大器之焊接後，經由一個固定音壓源 114dB 從 50~12KHz 之頻率測試其靈敏度，以大約 100~10K 為最理想之狀態，附錄 7.2 為 A 與 B 麥克風之測試圖，經由比較之，將採用 A 麥克風做為其感測器。

一個感測器的靈敏度是其最重要的特性之一，其它的重要特性是頻率響應，通常這兩個變數之間具有互變性。麥克風靈敏度的定義可由式(3.4)表示。

$$S = \frac{\text{電氣輸出}}{\text{機械輸入}} \dots\dots\dots(3.4)$$

故 A 麥克風在其 125 與 250、500Hz 時，靈敏度分別為  $11.52 \text{ mV/Pa}$ 、 $11.88 \text{ mV/Pa}$ 、 $11.71 \text{ mV/Pa}$ 。

### 3.4 分析軟體與設計

本專題『噪音源聲場分析系統』之系

統組成與架構，如圖 3-6;

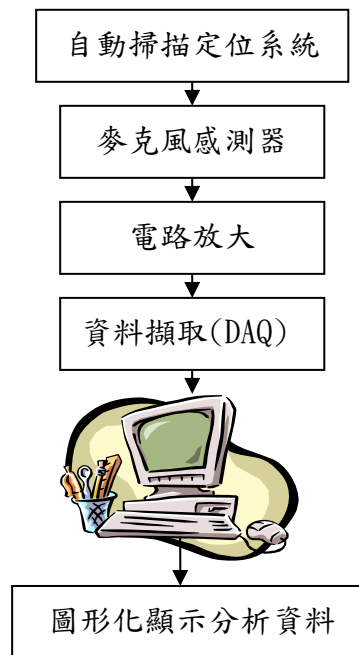


圖 3-6 系統架構

由圖 3-6 之架構得知，本專題的軟體設計將由以下的敘述說明，首先由電腦設定相關的參數，驅動自動掃描量測定位系統，接著由定位系統透過感測器傳回設定之量測點訊號，經過訊號放大、濾波，透過 DAQ 卡擷取訊號，再將時域訊號轉換為頻譜圖，分析其訊號代表之意義。應用圖控式程式語言「LabVIEW」作為系統整合之應用，而在資料擷取方面的介面卡採用美商慧基儀器股份有限公司所發行的 NI 6035E 之介面卡，在「LabVIEW」之架構下，控制自動定位系統、以及分析噪音來源信號，進而達成本研究計劃所要的結果。接著，將以三大部分說明本系統程式之撰寫流程。

#### 3.4.1 自動化掃描

在本專題其控制方法採用開迴路控制，以脈波控制其步進馬達已到達定位，而在其設計是利用其自動掃描方法，擷取一定範圍之預設點，其中範圍可以任意輸入掃描列與掃描點，但因為本系統掃描之有限面積為  $35*35\text{cm}^2$ ，欲輸入掃描範圍不

得超過此面積。

### 3.4.2 頻譜分析

將由麥克風收得之信號，經由取樣呈現在時間域上，再經由傅利葉轉換 (Fourier transform; FT) 到其頻域上，可得知噪音源訊號是由幾個頻率成份組成，藉以得知個別頻率佔整個訊號中之比重多寡為何，透過量測到的噪音訊號經由頻譜分析轉換成頻率域資料，並且配合其他關於噪音源的重要訊息，如轉動頻率等等，可以鑑別噪音產生的主要原因與發生處。另外，噪音訊號經適當轉換 (如 FFT) 可以展現很多設備狀態訊息，並可判斷機器運行狀態是否正常與否，並為日後之保養做為參考的依據。在頻譜分析方面，將外界類比訊號經由資料擷取卡取樣後的數值，分佈在不同時間點上的數列，稱為其在時域中的取樣值。然而，在許多的應用上，對於其訊號上的頻率是比對一個訊號的振幅隨時間變化更加的有興趣。因此，離散傅立葉轉換 (Discrete Fourier Transform ; DFT) 就是將時域中的觀測值轉換到頻域中的觀測值得一種演算法。

假設利用 DAQ 卡對一個訊號做  $N$  次取樣，將取樣得到的數列表示為  $x[i]$ ， $0 \leq i \leq N-1$ ，將 DFT 應用到  $x[i]$ ，新數列則為  $X[i]$ ， $0 \leq i \leq N-1$ ，數列  $x[i]$  與  $X[i]$  的關係式如 (3.5) 式：

$$X_k = \sum_{i=0}^{N-1} x_i e^{-j2\pi ik/N} \quad \text{for } k=0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (3.5)$$

當我們運用 (3.5) 式計算含有  $N$  個元素的數列的 DFT 則約要  $N^2$  次的複數運算，這是非常耗費時間的計算過程。因此，若數列的大小恰為 2 的某次方，即  $N=2^m$ ，for  $m=1, 2, 3 \dots$ ，則計算此數列的 DFT 將可簡化為只需要  $N \log_2(N)$  次的複數運算，將此

種演算法稱為快速傅利葉轉換 (Fast Fourier transform ; FFT)。FFT 其實就是當輸入數列的樣本數  $N$  恰為 2 的次方比計算 DFT 較快速的演算法而已，並不具有其他特殊的物理意義。

由於在轉換過程中，因為取樣時間為有限值，所以會發生頻譜漏失 (Spectral leakage)。原因是由於在轉換時引入的不連續點產生的高頻雜訊使得能量不再是集中於真正的訊號譜線上，而是分佈到一個廣大的範圍，因此會造成譜線不容易正確的判讀。因此若是取樣時間無限長，紀錄完整的訊號經由 DFT 轉換，如此一來可得到正確之譜線，但實際上無法以無限長的時間取樣，因此發展了一種稱為窗口法的技巧，窗口法就是將每一個週期邊界附近的振幅減小，以減少不連續點的變化，常用的有 Hanning、Hamming... 等等，因此利用一個平滑窗口函數調製取樣得到的數列，將可改善在轉換過程中引起的頻譜漏失。

在設計其頻譜分析方面，以上述演算法做演算，其功能設計上有可選擇之頻寬、解析度、窗口函數，也可選擇以線性尺度或分貝尺度來表示出頻域圖之訊息。其中的取樣設計，奈式取樣理論提供一個考量的起始點，在本專題的頻率分析系統中，在時間域取樣 1024 點進行 FFT，在頻率域以 400 點顯示其分析結果，取樣速率可用下列公式來決定：

$$\text{取樣頻率} = (\text{顯示頻寬}) \times 2.56 \dots \dots (3.6)$$

其中取樣點 1024 並非為固定值，在設計上是可選擇的，而解析度 400 點也是可選擇。顯示頻寬必須包含所有重要訊號，而低通濾波器的截止頻率即設定為顯示頻寬，如此可以避免混疊效應。

### 3.4.3 音壓場分佈

由於其聲音在空氣自由傳播時，每增一倍距離會減少 6dB。其中在噪音源聲場分佈的做法，是利用牛頓萬有重力定律 (Newton's law of universal gravitation) 來算出分佈點的值，因為其式子為：

$$F = \gamma \frac{mm'}{r^2} \dots\dots\dots(3.7)$$

兩物體之間其作用力與二者的質量成正比，以及與二者之間距離的平方成反比，因為其在噪音量測中，其一參數聲強與距離有著萬有引力式子的距離的平方成反比之特性，故內插的計算方式以此式子為其推導之應用。

設計之構想亦是採用牛頓萬有重力定律，假設在其自由聲場，音源以其球面波傳導下，從音源放射的音波能量中，單位時間通過單位面積而傳送的能量大小為音強度。設音源的音響輸出為  $W$ 、音的強度為  $I(W/m^2)$ 、包圍音源之面的面積為  $S(m^2)$ ，則下示關係成立， $W$  的單位為  $W$  (瓦特)

$$W = SI \dots\dots\dots(3.8)$$

其中圓球面積  $S=4\pi r^2$ ， $I$  與  $r^2$  成反比，亦即強度隨著距離增加而衰減。

音的強度與音壓實效值的關係，設音的強度為  $I(W/m^2)$ ，音壓實效值為  $P(Pa)$ ，兩者之間有下列之關係，音的強度正比於音壓的平方

$$I = \frac{P^2}{\rho c} \dots\dots\dots(3.9)$$

$\rho$  為空氣密度，在 1 氣壓溫度 15°C 的乾燥空氣約  $1.226kg/m^3$ ， $\rho c$  在常溫附近不大因

溫度而變化，約  $400Pa \cdot s/m$ 。

因此由 (3.8) 式可以求出其聲功率  $w$ ，其以下說明幾點，為何要量測聲功率，有幾點原因可考量：

- (1) 在噪音環境中，可以從聲源的幅射聲功率、聲源位置與距離、以及聽覺的環境來預知環境中任何位置的音壓位準。
- (2) 可以比較不同型式聲源的噪音幅射量。
- (3) 在工程實務上，能協助開發較為安靜之機器和設備。
- (4) 一個產品品質優劣可以由幅射聲功率大小來決定之，如單槍投影機。

通常進行量測時，所採用的是將音源的附近罩起一個全球體這是屬於小範圍，但若是大型物體，或者是外面的實際測量，通常都是採用半球體。接著計算由音源所輻射出的能量在其球表面積佔了多少百分比，如此可得知聲功率結果。由於靠近音源附近是球面波，但依距離的增加將導致球面波接近於平面波，故本系統是以其二維平面去掃描噪音源，但其在分析時所採用的演算式符合其聲波傳導特性。其中在畫出音壓分佈等高線圖 (contour)，選取出掃描範圍內四點，然後將四點內的分佈值以 (3.10) 式求出其值，假設四點分別為  $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_3$ 、 $V_4$ ， $V_i$  為任一點值，單位為  $Pa$ ， $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$  分別為  $V_i$  到  $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_3$ 、 $V_4$  之直線距離。

$$V_i = \frac{\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} + \frac{V_4}{R_4}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} \dots\dots\dots(3.10)$$

其中  $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_3$ 、 $V_4$  是由 (3.11) 算出，稱為均方根值，亦為音壓實效值；

$$V = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x^2(i)} \dots\dots\dots(3.11)$$

$N$  為取樣點，其  $x^2(i)$  為其時域振幅值  
 因此，將這四點內之分佈值算出後，  
 在其他的範圍亦是如此算出，之後將各個  
 範圍內之分佈點集合畫出等高線圖。一個  
 噪音源的輻射量可藉由聲場分析，以等高  
 線來表現出聲場的分佈情形以及噪音源所  
 輻射出來的密度，達成欲想要之結果。

### 3.5 整合與測試：

完成所有設計之後，做系統的測試以  
 及實地量測，找出需要改進與加強之地  
 方，以達到本專題所要求的正確性、快速  
 性。

## 四、結論與建議

### 4.1 結果與討論

經由本專題所開發的『噪音源聲場分  
 析系統』，證實可在任何一種情況底下，經  
 由擷取訊號可得知噪音由何處產生以及音  
 壓大小分佈圖。音源鑑別分析藉由專家系  
 統從頻譜得知是設備本身迴轉件的平衡不  
 良、機件鬆動、潤滑度變差、軸承損壞、  
 主軸偏心、設備附近之機殼所引起之諧  
 振，可由其中一項決定是何者主要引起的

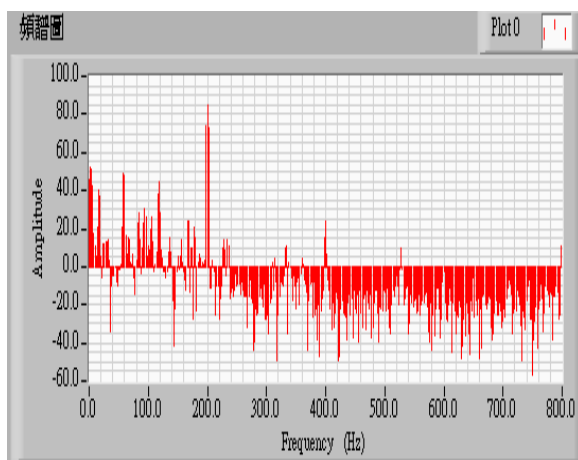


圖 4-1 200Hz 頻譜圖(logarithm scale)

噪音。另外，聲功率的大小決定了產品的  
 品質，聲場分析也可得知聲音的分佈方  
 向。圖 4-1 為本系統在其一音源頻率 200Hz  
 量測之頻譜圖。以及圖 4-2 為其相對應之  
 聲場音壓分佈圖。

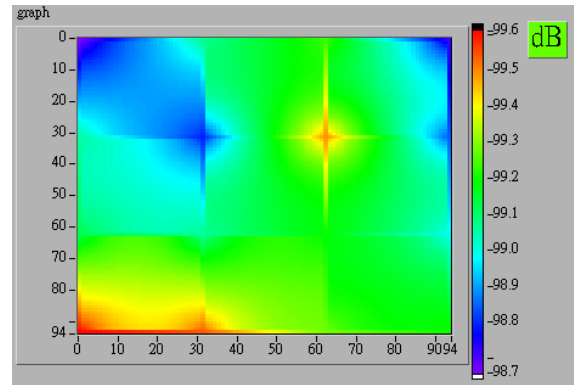


圖 4-2 200Hz 聲場音壓分佈圖

### 4.2 問題與應對方法

製作本系統時，遇到之製作問題與應  
 變方法，在此提出來討論；

(1)在機構運轉時，會出現莫名的振動噪  
 音，足以影響到量測的準確性。因此，經  
 過幾番調校與測試後，發現是由馬達產生  
 振動，引起底板與框架間輕微碰撞所產生  
 的噪音。所以決定加強底板與框架間的密  
 合，分別在兩者間固定兩根螺絲得以解  
 決。為了將馬達引起的震動減至最小，我  
 們另外在軸承、馬達下方加上一層薄橡膠  
 墊，讓橡膠墊產生吸振以改善此情形。

(2)XY 定位系統移動時，經過特定某一  
 點時會有不順暢的情形，輕微時系統斷斷  
 續續移動，嚴重時整個定位系統會卡在該  
 點無法繼續進行。經過拆裝調整數次後仍  
 會發生，但卡死點卻不盡相同；此情形嚴  
 重影響 XY 定位系統在運轉時的穩定性。  
 因此在數次調整的經驗下，經過討論，可  
 歸納出幾點影響較嚴重的問題：

- <1>機件間未能完全配合。
- <2>機件受外力變形。
- <3>XY 定位系統潤滑不足。
- <4>設計上的尺寸，在加工時多少會產生誤差，當誤差累積超過容許範圍時就會影響正常作動。

所以我們試著把與 XY 定位系統有接觸的地方放鬆，讓機件之間有些微餘隙，移動不順暢的情形就有所改善了。

因此我們重新修正機件尺寸，讓配合之間保留餘度。因為由於<1>問題的情形，造成安裝機構上的困難，為了讓機構順利組裝，固定時會將兩接點鎖上造成緊配合。此點亦是造成機件變形的原因之一，而在不恰當的配合下運轉，再次使機構產生變形。拆卸時，就因為機件間過度配合而使工件變形，機件變形處以手工方式調整。在完成先前兩點的修正工作後，剩下的就是潤滑傳動系統，減低不順暢情形。

線性滑軌機構為點接觸，本身就具有良好移動性，但因拆封後置放在外多日，原先附著的潤滑油已消耗殆盡，使用上不如以往順暢，故上油後已恢復原有性能，而 XY 定位系統負荷較線性滑軌重，選用牛油來做為 XY 定位系統潤滑。調整上述三點後，原先移動不順暢的情形已改善，可在容許範圍內作動。

(3)當單獨驅動一方向 XY 定位系統時，會出現另一方向亦自行移動，因此會造成該方向運轉相當不順暢，進而產生噪音。因此經過調整之後，發現是控制盒中的電路配線方面的問題，重新檢查電路是否接錯線後，得以解決此問題。

(4)電路部分，在感測器產生微小的高阻抗訊號，很容易被外在的雜訊干擾，因此將感測器與放大器間的訊號傳輸線距離縮

短。

(5)將設計好的電路實際焊在多孔板上，應注意電源線及訊號線不宜作互相交叉重疊，減少訊號干擾。

(6)為了避免異常的振盪等問題，利用 0.1uf 的電容在 IC 正負端子電源作傍路。

(7)主要的電源供應部分，亦是很重要的一環，其運算放大器需要穩定的電壓來作動，減少放大時產生的誤差，也利用雙電源來作運算放大器的供應。

(8)對於微小信號與 AC 電源作隔離，將類比訊號放大電路與電源供應電路做獨立分開製作，以防止 AC 電源會干擾訊號放大電路。

(9)在做遠距離的信號傳輸，採用對絞接地線而成的雙絞線(twist pair)纜線(shield cable)。

(10)測量的噪音源也要是穩定噪音源，若為非穩定噪音源，則要增加感測器的數量以達到量測的正確性

(11)在取樣頻率的討論，發現若取樣率為由原始訊號中最大頻率 2.56 倍，可得到與原始訊號相似程度較佳的效果。

(12)在量測的主體不可做為密封的構造，將會造成迴音以至於分析上的誤判。

#### 4.3 未來研究方向之建議

本專題所開發的『噪音源聲場分析系統』，可以有效的分析出噪音源的發生位置、噪音產生的機制、噪音的流動方向以及各種噪音相關的量測值。其中本系統的可靠性及正確性都獲得證實及測試。當然在往後的研究中，建議可改善麥克風的型態以做為更好的感測器、以及機構改為可攜帶性之量測儀器，以發揮其最大的優勢。以及量測場所應該在其無迴響室測量和消除其背景噪音，在演算法方面可以更深入之計算探討，增加更多噪音源訊號



分析之訊息與建立標準化之音源鑑別。

## 五、計劃成果自評

本專題包含分析軟體設計、馬達定位控制、麥克風訊號放大濾波電路設計製作、系統整合等等工作項目，不但完成實用之噪音量測分析系統，亦讓參與製作的我們從工作中學習各種實務的技術。

### 致謝

行政院國科會大專生研究專題計畫，計畫編號 92-2815-C-218 -007 -E，謹此致謝。

## 六、參考文獻

1. 國科會工程科技推展中心，「振動與噪音研究成果發表會 論文集」May 15，1998。
2. Upton,Roger，「聲功率量測研討會」，必凱科技股份有限公司 ( *Briuel & Kjaer* )。
3. 劉雲輝，「精密製程設備隔振系統設計與性能測試」December 17，2001。
4. 洪振毓，「冷卻風扇振動與噪音品質檢驗方法之建立」，民國 90。
5. 楊肅慶，「旋轉機械故障之振動診斷研究」，民國 87。
6. NATIONAL INSTRUMENTS，「LabVIEW™Data Acquisition (DAQ) Course Manual」，January 2001 Edition。
7. 曹以正，「電腦週邊產品噪音簡介」，機械月刊，2001 年，七月。
8. 陳興，「振動量測」，機械月刊，1995 年，11 月。
9. 謝華孫 譯，「物理學」，東華書局。
10. 井澤 實 著，「精密定位技術及其設計

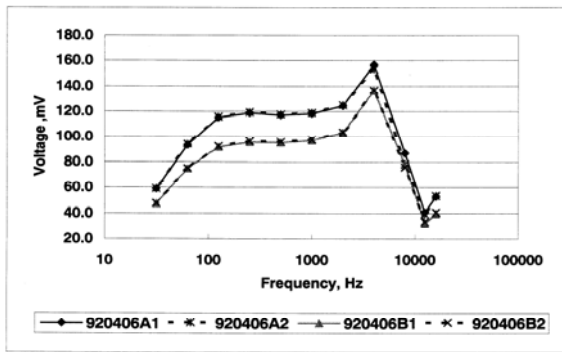
技術」，建宏出版社。

11. 張柏成 譯，「噪音控制之原理及實務」，徐氏基金會出版。
12. 張錦松、韓光榮 編著，「噪音振動控制」，高立圖書有限公司。
13. 賴耿陽，編著「環境噪音防止技術」，復漢出版社。
14. 中野有朋著、黃忠良譯著，「噪音工學的基礎」，復漢出版社。
15. 胡俊源 編譯，「實用工商業噪音控制」，南台圖書。
16. 白明憲 編著，「聲學理論與應用-主動式噪音控制」，全華出版。
17. 邱創乾 編著，「資料擷取系統實務」，立治有限公司出版。
18. 高海濱 編譯，「放大器電路設計指南」，全華出版。
19. 蔡國猷 編譯，「運算放大器電路」，建興出版社。
20. 卓聖鵬 編譯，「量測用類比電路設計」，全華科技圖書股份有限公司。
21. 蕭子健·周森益·鄭博修·林珮瑜·黃欽章 編著，「LabVIEW 分析篇」，高立圖書有限公司。
22. 蕭子健、儲昭偉、王智昱 編著，「LabVIEW 進階篇」，高立圖書有限公司。

## 七、附錄



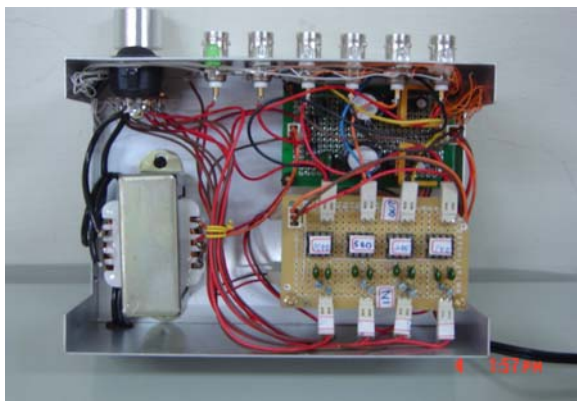
附錄 7.1 『噪音原聲場分析系統』實體圖



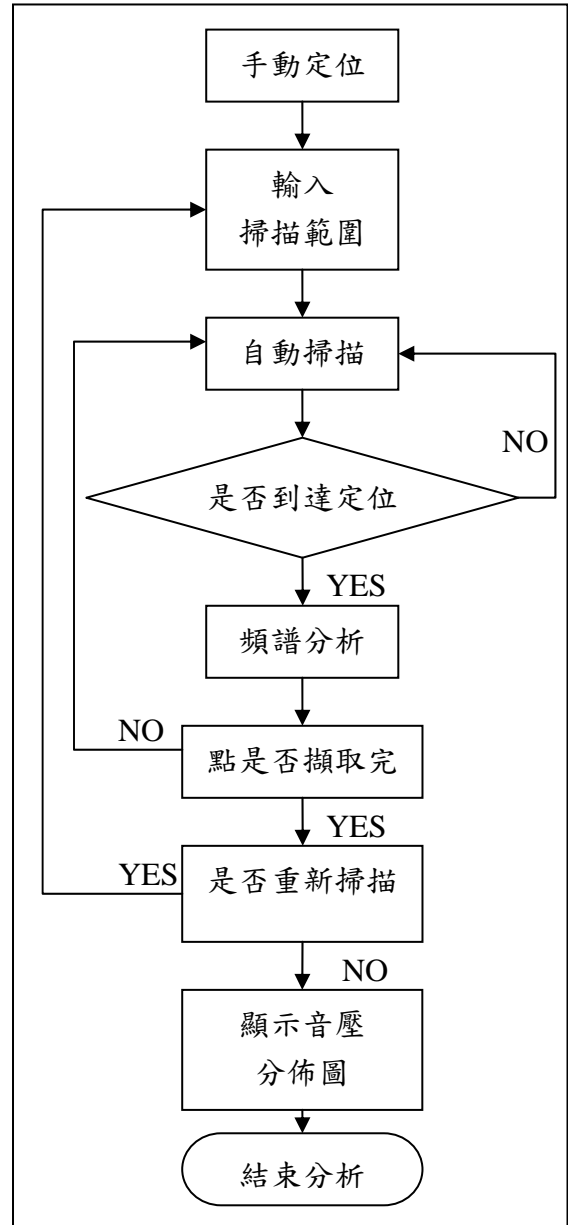
附錄 7.2 A 與 B 麥克風之電壓值



附錄 7.3 放大器



附錄 7.4 濾波器



附錄 7.5 程式流程圖