

風扇振動之嵌入式品質檢測器

熊京民 王柏村 巫崧佑 林志祥
國立屏東科技大學

摘要

本研究之主要目的是自製乙型可量測風扇振動並據以分析風扇品質優劣之檢測器。此檢測器經由加速度計將安置於量測基座上之風扇振動信號讀入，經放大器放大，濾波器濾除 Nyquist 頻率以上之高頻信號，然後由 A/D 轉換器取樣成為數位信號。檢測器內的數位信號處理器經過分析程式運算後將風扇之振動基本頻率及其振幅顯示於檢測器之 LCD 顯示幕上，以供品管員使用。

研究的結果顯示，此自製之檢測器所量測之結果與實驗室內精密、昂貴之頻譜分析儀所得的結果誤差在±1.123%之內。量測速度亦可相比。但具有便宜及可彈性調整、彈性使用的優點，可嵌入於生產線上做為自動化的品質檢測之用。

關鍵字：風扇、嵌入式檢測器、振動檢測、數位信號處理

一. 緣由與目的

個人電腦工業是台灣蓬勃發展的重點工業，每年為台灣創造大量的財富。電腦上的冷卻風扇是電腦散熱的最主要工具，對電腦的正常工作是不可或缺的。台灣製造的個人電腦風扇佔有世界產量的 40% 以上〔1〕，支持了台灣個人電腦工業在世界上的地位。

作者於民國 87、88 年間前往位於屏東市及高雄市的兩家電腦冷卻風扇專業廠商參觀訪問，得悉該二公司正計畫將其生產線上的各種檢測設備自動化，以提高其生產效率及品質。目前有關振動測試，仍以人的手做振動的感覺量測，原因是現有的量測方法及模組無法達到快速、可靠的程度。測試時間太長，在每一個風扇皆百分之百檢查下，會造成生產成本太高。因為風扇單價太低，業者希望測試時間在 6~7 秒以內，並且設備成本要低。另外為配合品管員工素質，設備必須易於操作。在此背景下，製作一個可嵌入於風扇生產線上，容易操作、單價便宜的振動檢測器，可以協助國內業者生產自動化、精簡人事成本、縮短檢驗時間、提高產品品質等好處。

根據作者〔2〕較早的研究發現，將風扇架於懸臂樑式測試基座上作振動測試確實可行。其研究中並已具體指出測試裝置之設計及測試之規範（如測試之頻寬，window 加權函數等等）。然而，其研究中所使用之核心量測儀器是 B & K 公司之頻譜分析儀 BK 3550。頻譜儀是價值昂貴（約 80 萬元）、用途廣泛、品質精密的儀器，固然極適合於研究、發展階段的工作，但是如果用於生產工廠的生產線上，做線上即時之品管把關工具並不適合。而將頻譜儀分析的結果，由研究人員再轉移到個人電腦上做後續計算、

分析，則無法做到自動化並且耗時費力。

因此本研究之目的，是根據前期研究所得之數據，針對多條生產線上作風扇振動量測之即時檢測的架構、專門的需求，開發一種價錢便宜、處理速度快速、功能專一的生產線上可使用之嵌入式電腦冷卻風扇振動品質檢測器。

二. 設備與方法

本研究裝置之架構如圖 1。上方為懸臂量測試基座，其材料性質如表 1。待測之風扇以蜂臘固定在懸臂樑之自由端上方，風扇通風方向與懸臂樑長度方向一致，出風口方向向外。加速度計以蜂臘固定在懸臂樑之自由端正下方中央，其信號用導線經過電荷放大器後用 T 型 BNC 接頭分別接於訊號分析儀之 A 輸入模組與自製之放

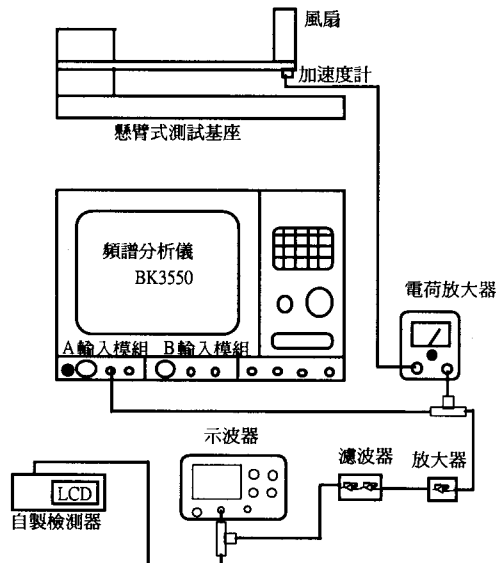


圖 1 本研究裝置之架構圖

大器輸入端，經自製之放大器放大後的信號再經過低通濾波器，並以 T 型 BNC 接頭分別接至示波器與 AD 轉換器。其中示波器的功能在檢查信號經放大後是否有超過放大器的飽和電壓，避免信號的失真與電壓過大而導致 AD 轉換器錯誤。取樣後的信號再送入 DSP 作頻譜的分析與其它計算後將結果顯示於 LCD 上。當使用於生產線上作振動檢測器時，放大器及濾波器將安裝於自製檢測器之內部，圖 1 中置於自製檢測器之外是為了實驗之方便。

表 1 懸臂樑之材料性質

材料	鋼
長度 (L_b)	0.10m
寬度 (b_b)	0.026m
厚度 (t_b)	0.005m
密度 (ρ_b)	7870kg/m ³
楊氏係數 (E_b)	207×10 ⁹ N/m ²
蒲松比 (ν_b)	0.292

本研究自製之檢測器其功能方塊圖如圖 2。首先信號由加速度計讀入系統，這裡使用的加速度計是 B&K PCB 309A，讀入系統前先經電荷放大器 (B&K PCB 480E09) 放大 10 倍。信號進入自製檢測器後再經如圖 2 之自製放大器放大 11 倍以便後續 AD 轉換器匹配得到最佳之解析度。放大器後是反假象低通濾波器，它的 Nyquist 頻率是根據作者前期的研究設在 1.6kHz。AD 轉換器的抽樣速度是設為 Nyquist 頻率之 2 倍為 3.2kHz。此處使用 AD 轉換器之型號為 TI TLC32040CFN，它具有 14 位元信號，電壓在 ... 之間。信號經取樣後進入數位信號處理器 (DSP) 中進行頻譜分析及其它必須的計算。此處使用的數位信號處理器是 TI TMS320C50 的 16 位元 DSP 一顆，使用的時鐘頻率為 ...

每 50ns 可進行一行程式的運算 [3]。分析後的輸出值會傳送到 LCD 顯示幕上，供品管員使用。此自製之檢測器原型機如圖 3，數位信號處理模組與 LCD 放入白鐵製成的盒子裡，尺寸為：長 22.1 cm，寬 10.5 cm，高 4.2 cm，外露的部分有 LCD：像素為 180×240，一對輸出入 RCA 插座，AC 9V 電源插頭與 RS 232 插座各一個。

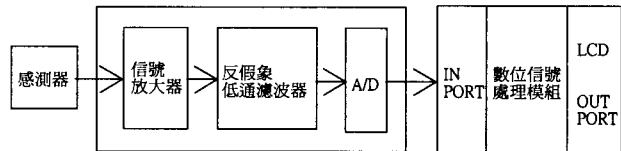


圖 2 自製之檢測器功能方塊圖

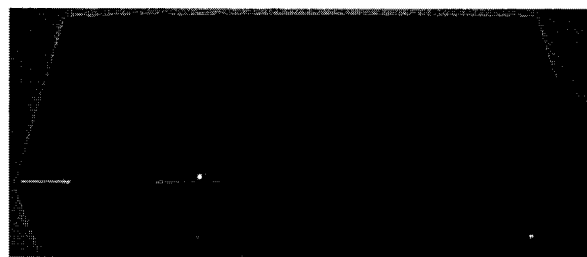


圖 3 自製之檢測器原型機

2.1 自製之檢測器設備說明

自製之檢測器設備中所包含的放大器、濾波器與 AD 轉換器，其細部說明如下：

- A. 放大器：電路名稱爲非反向放大器 (Noninverting amplifier)，其電路圖如圖 4，放大倍率 B 爲

$$B = 1 + \frac{R_f}{R_i}$$

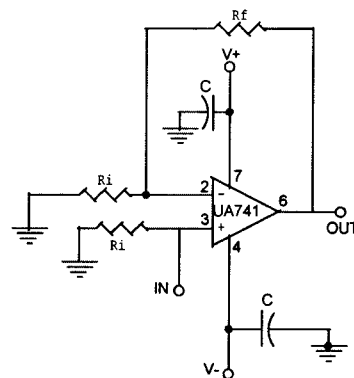


圖 4 非反向放大器

- B. 濾波器：電路名稱爲低通 Butterworth 濾波器其 Roll-off rate 爲 -60 dB/decade，其電路圖如圖 5，電壓增益 (比) 一頻

率圖如圖 6。

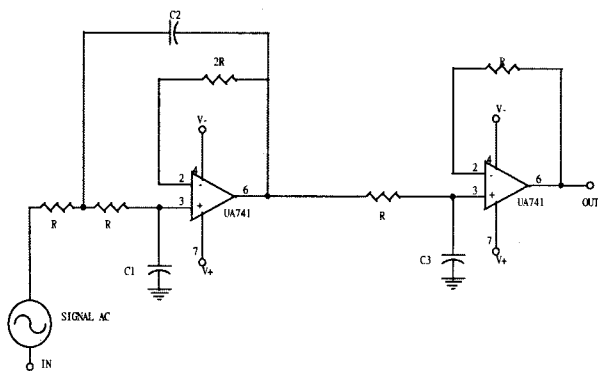


圖 5 低通 Butterworth 濾波器

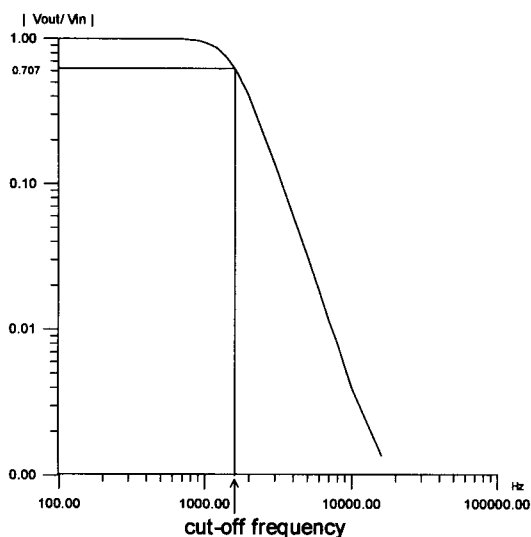


圖 6 電壓增益(比)一頻率圖

C. AD 轉換器 TLC32040CFN :

TLC32040CFN 是 TI 公司製造的 14 bits AD 轉換器，其抽樣速率可由程式規劃，在自製檢測器內設定為 3.2kHz 但在不同場合可以很容易的加以調整。調整之方式在技術文件〔4〕中有詳細說明。

2.2 實驗量測程序：

為了證明自製之檢測器能夠正確地擷取風扇的振動信號、計算分析出風扇品質，必須與 BK 3550 一同實驗且驗證信號經頻譜分析的結果是否與 BK 3550 相符合，才能達到本研究預設之目的。

此次實驗使用廠商提供的 8 顆風扇，每顆風扇進行 5 輪實驗。詳細的 BK 3550 之操作與細部設定請見操作手冊〔5〕。以下為實驗量測的步驟與參數之設定：

A. 架設設備如圖 1。BK 3550 的內部設定為：

- a. 使用 FOURIER SP 函數。
- b. 使用 FLAT TOP 加權函數。

c. 頻寬設定為 1.6kHz

d. 平均次數定為 75 次。

B. 待測之風扇預先運轉 1 分鐘，讓達到風扇穩定之工作狀態。

然後可由示波器上檢查信號的電壓是否超過 $\pm 2.5V$ ，以免信號失真。

C. 從個人電腦下載分析程式到自製之檢測器 DSP 內。

D. 當程式下載完畢欲開始執行程式的同時，按下 BK 3550 的“START”鍵。此目的在於兩者能分析同時間內之信號。

E. 約 38 秒後，BK 3550 已經計算完成 75 筆資料的平均；相同的，自製檢測器亦計算完成 100 筆資料之平均。抄下基本頻率與其振幅，列於表 2 中，以便計算偏心質量距。

F. 跳至 B 步驟，重複 4 次，共登記 5 次的數值。

2.3 量測所得之數據：

實驗結果列於表 2，第 1 欄為 5 次的實驗次數與 5 次的平均值，第 2 欄為標示各個風扇編號與其質量，第 3、4、5 欄為自製檢測器所量得的風扇基本頻率轉速、振幅與計算出的偏心質量距，第 6、7、8 欄為 BK 3550 所量得的風扇基本頻率轉速、振幅與計算出的偏心質量距，計算方法見〔2〕，第 9 欄為自製檢測器與 BK 3550 兩者所計算出的偏心質量距之比值。

表 2 實驗結果匯總表

1 號風扇	自製檢測器			A	BK 3550		B	
實驗次數	重量 g	轉速 Hz	振幅	偏心質量距	轉速 Hz	振幅	偏心質量距	A/B
1	7.82	190.00	18.57	100.33	190.00	7.25	38.42	2.61
2	7.82	192.00	19.63	98.56	192.00	7.24	37.58	2.62
3	7.82	190.00	19.63	100.62	192.00	7.24	37.58	2.68
4	7.82	190.00	18.74	101.20	192.00	7.30	37.89	2.67
5	7.82	192.00	18.58	98.28	192.00	7.25	37.63	2.61
平均		190.80	19.63	99.80	191.60	7.26	37.82	2.64

2 號風扇	自製檢測器			A	BK 3550		B	
實驗次數	重量 g	轉速 Hz	振幅	偏心質量距	轉速 Hz	振幅	偏心質量距	A/B
1	7.87	166.00	7.21	51.11	168.00	2.83	19.22	2.66
2	7.87	166.00	7.48	53.04	168.00	2.96	20.10	2.64
3	7.87	168.00	7.68	53.18	168.00	3.04	20.65	2.58
4	7.87	166.00	7.94	56.26	168.00	3.06	20.78	2.71
5	7.87	168.00	7.87	54.51	168.00	3.04	20.65	2.64
平均		166.80	7.64	53.62	168.00	2.99	20.28	2.64

3 號風扇	自製檢測器			A	BK 3550		B	
實驗次數	重量 g	轉速 Hz	振幅	偏心質量距	轉速 Hz	振幅	偏心質量距	A/B
1	7.76	182.00	13.71	80.02	184.00	5.48	30.71	2.61
2	7.76	184.00	14.11	80.57	186.00	5.64	30.94	2.60
3	7.76	182.00	13.56	79.16	182.00	5.36	30.69	2.58
4	7.76	182.00	14.28	83.35	184.00	5.62	31.49	2.65
5	7.76	184.00	14.53	82.97	186.00	5.68	31.16	2.66
平均		182.80	14.04	81.21	184.40	5.56	31.00	2.62

4 號風扇	自製檢測器			A	BK 3550		B
-------	-------	--	--	---	---------	--	---

實驗次數	重量 g	轉速 Hz	振幅	偏心質量距	轉速 Hz	振幅	偏心質量距	A/B
1	7.92	176.00	8.94	56.89	178.00	3.49	21.30	2.67
2	7.92	174.00	8.72	56.71	178.00	3.47	21.18	2.68
3	7.92	176.00	8.77	55.82	178.00	3.43	20.93	2.67
4	7.92	176.00	8.83	56.18	178.00	3.44	20.99	2.68
5	7.92	174.00	8.77	57.08	178.00	3.43	20.93	2.73
平均		175.20	8.77	56.54	178.00	3.45	21.07	2.68

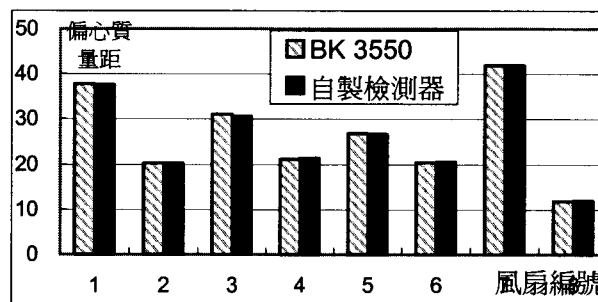


圖 7 偏心質量距比較長條圖

2.4 BK 3550 與自製檢測器之比較：

表 2 之中由 BK 3550 所量測計算出之偏心質量距 (B 欄) 與自製檢測器所量測計算出之偏心質量距 (A 欄)，兩者的偏心質量距比相加後除以平均值得到 2.65 的倍數關係。所以將自製檢測器獲得的振幅除上 2.65，再帶入偏心質量距在計算一次，得到的偏心質量距與 BK 3550 的偏心質量距再比較一次，其結果列於表 3，並做成圖 7 以利觀察。其中，表 3 第 9 欄為 BK 3550 與自製檢測器兩者所計算出的偏心質量距之百分比誤差。

三. 結果與討論

本研究以自製之檢測器與 BK 3550 依據作者 [2] 的研究結論進行風扇的振動量測與分析，並完成比較表如圖 7 與表 3，並得到 3 點結論：

1. 頻譜分析的速度比較

以 1 號風扇為例 (其它的風扇也有類似之結果)，以 BK 3550 進行 38 秒的頻譜分析，可以分析 75 筆 2048 點之數據，而以自製之檢測器可進行 100 筆 1024 點之數據分析。若分析之品質相等，則自製之檢測器資料處理之速度較快。

2. 頻譜分析的結果比較

由表 2 的第 9 欄顯示以 BK 3550 及自製檢測器依次對個風扇同時進行 38 秒 (BK 3550 75 筆，自製檢測器 100 筆) 振動數據分析所得振幅值。兩欄加以比較，發現再將自製檢測器作 2.6 倍修正後，兩欄資料誤差在 $\pm 1.123\%$ 之內。由此可證明自製之檢測器在頻譜分析之品質上與 BK 3550 是相等的。

3. 品質指標的計算及指標調整之彈性

表 2 第 5、8 欄顯示的是品質指標「偏心質量距」之計算。若以 BK 3550 為頻譜分析儀，則此處之計算必須另外加以其它計算工具進行之，但在自製之檢測器上，所有之計算都可在數位信號處理器內進行，因此自製之檢測器提供了計算之便利。

5 號風扇		自製檢測器		A	BK 3550		B	A/B
實驗次數	重量 g	轉速 Hz	振幅	偏心質量距	轉速 Hz	振幅	偏心質量距	
1	7.83	168.00	10.15	69.90	170.00	4.04	26.67	2.62
2	7.83	170.00	10.15	68.29	170.00	4.07	26.87	2.54
3	7.83	168.00	10.10	69.56	170.00	4.05	26.74	2.60
4	7.83	166.00	10.20	71.91	172.00	4.12	26.58	2.71
5	7.83	166.00	10.39	73.28	170.00	4.14	27.33	2.68
平均		167.60	10.20	70.59	170.40	4.08	26.84	2.63

6 號風扇		自製檢測器		A	BK 3550		B	A/B
實驗次數	重量 g	轉速 Hz	振幅	偏心質量距	轉速 Hz	振幅	偏心質量距	
1	7.84	172.00	8.12	53.55	174.00	3.21	20.29	2.64
2	7.84	174.00	8.25	53.13	176.00	3.24	20.03	2.65
3	7.84	172.00	8.43	55.54	174.00	3.25	20.54	2.70
4	7.84	172.00	8.37	55.15	174.00	3.26	20.61	2.68
5	7.84	174.00	8.37	53.91	174.00	3.21	20.29	2.66
平均		172.80	8.31	54.25	174.40	3.23	20.35	2.67

7 號風扇		自製檢測器		A	BK 3550		B	A/B
實驗次數	重量 g	轉速 Hz	振幅	偏心質量距	轉速 Hz	振幅	偏心質量距	
1	7.81	154.00	13.49	109.96	156.00	5.34	41.64	2.64
2	7.81	154.00	13.71	111.76	156.00	5.33	41.56	2.69
3	7.81	156.00	13.71	108.98	156.00	5.29	41.25	2.64
4	7.81	154.00	13.82	112.65	156.00	5.45	42.49	2.65
5	7.81	154.00	13.67	111.46	154.00	5.28	42.22	2.64
平均		154.40	13.68	110.96	155.60	5.34	41.83	2.65

8 號風扇		自製檢測器		A	BK 3550		B	A/B
實驗次數	重量 g	轉速 Hz	振幅	偏心質量距	轉速 Hz	振幅	偏心質量距	
1	7.81	164.00	4.47	32.24	166.00	1.80	12.43	2.59
2	7.81	162.00	4.36	32.19	166.00	1.72	11.88	2.71
3	7.81	164.00	4.36	31.43	166.00	1.69	11.67	2.69
4	7.81	162.00	4.36	32.19	166.00	1.69	11.67	2.76
5	7.81	166.00	4.36	30.69	166.00	1.69	11.67	2.63
平均		163.60	4.36	31.75	166.00	1.72	11.87	2.68

表 3 偏心質量距比較表

風扇號碼	風扇質量	自製檢測器		A	BK 3550		B	(A-B)/B
		轉速 Hz	振幅	偏心質量距	轉速 Hz	振幅	偏心質量距	
1	7.816	190.8	19.63	37.659	191.600	7.256	37.820	-0.426%
2	7.780	166.8	7.64	20.234	168.000	2.986	20.280	-0.228%
3	7.865	182.8	14.04	30.647	184.400	5.556	30.995	-1.123%
4	7.760	175.2	8.77	21.334	178.000	3.452	21.067	-1.268%
5	7.916	167.6	10.20	26.636	170.400	4.084	26.837	-0.747%
6	7.825	172.8	8.31	20.473	174.400	3.234	20.351	0.602%
7	7.842	154.4	13.68	41.872	155.600	5.338	41.830	0.100%
8	7.811	163.6	4.36	11.981	166.000	1.718	11.866	0.965%

同時對計算參數的調整，比如更改懸臂量尺寸、風扇重量等，相對應的數位信號處理器上的修改只是更改分析的程式參數而已，是較有彈性的。

綜合上數的三項結果發現，研究中自製之振動量測器其頻譜分析品質與 BK 3550 相當，分析之速度較快，而更具有可彈性調整計算參數及執行頻譜分析以外所必須之分析項目的能力。而且其製作之成本將遠小於 BK 3550 等精密而昂貴之分析儀器，符合本研究預設之目的，可以推薦使用於電腦風扇之生產線上做為線上品質管制之檢測器。

四. 未來工作

當自製檢測器正式使用於生產線上做為線上品質管制之檢測器之前，尚須進行下列工作：1. 耐久性測試。基於本檢測器將使用於實際生產線上，故必須經過耐久性的測試。並據以瞭解生產線上的干擾是否會影響檢測器之功能。2. 檢測時間再縮短。目前的實驗裡自製檢測器每個風扇計算 100 筆資料的平均，花了 38 秒，尚無法滿足生產線上需求的速度。是否可以減少平均次數，就能達到平均 100 次的檢驗品質而達到快速檢驗的目的或改善數位信號分析的程式使分析速度提高，仍須再測試探討。3. 檢測設備的建立。目前風扇與加速度計是以蜂臘固定在懸臂樑之自由端，可否設計一基座或卡榫能將風扇與加速度計快速地固定在懸臂樑及其它生產線的調整仍須進行研究。4. 品質指標的確立。目前測試的風扇數量只有 8 顆，尚須請廠商提供大量之風扇樣本做檢測，以進一步確立品質指標之可靠性。

五. 參考文獻

1. 陳有斌，應台發，1997，*散熱風扇產業專題研究*，工業技術研究院光電所。
2. 王柏村、熊京民、黃崇杰，1998，「風扇振動噪音量測實驗方法之探討」，*中華民國音響學會第十一屆學術研討會論文集*，第199-206頁。
3. SPRU056C, 1997, "TMS320C5X User's Guide", Texas Instruments.
4. SLAS014E, 1987, "TLC32040C, TLC32040I, TLC32041C, TLC32041I Analog Interface Circuits", Texas Instruments.
5. Brüel & Kjær, 1992, "Technical Documentation, Multichannel Analysis System Type 3550", Brüel & Kjær.