

機械振動教學軟體開發

學生：周哲義、呂芳勇、陳建文、蔡永鵬

指導教授：王柏村 博士

國立屏東科技大學

機械工程系

摘要

本專題是在利用 Fortran 90 程式語言，結合 IMSL 數學分析程式庫以及 Exponent Graphics 繪圖程式庫，發展機械振動教學軟體。以單自由度振動系統為主，分成自由振動、暫態響應、簡諧激振三部分。建立人性化介面，結合視窗與圖形輸出功能，以運用於機械振動教學為目的。

前言

對於工業上的應用而言，振動現象是不利的，特別是對於需要高精密度的系統。生產機器在運轉過程中所產生的振動往往會使整個機構增加疲勞破壞、噪音、降低精確性、使用壽命減少，嚴重破壞工作及環境的品質。

王志宏[1]探討汽機扭轉振動監測系統設計，在發展一種可偵測汽機（或渦輪機）扭轉振動之方法，運用於監測系統。此系統具有自動收集振動信號、分析信號，以及評估轉軸疲勞度之能力。包含理論分析及軟硬體設計兩部份。

SKF Picolog 量測工具[2] 是一種方便且手持式的量測工具，具有振動筆 (Vibration Pen) 及軸承 (See Pen) 之功能，並可儲存 500 個振動資料，將資料透過 RS-232 自動傳輸給管理軟體 Prism2 做機器劣化程度趨勢追縱，達到監測之目的。幫助維修保養人員有效地控制備品數量，減少不預期的停機與降低維修時間。

ARMD 高等旋轉動力及軸承分析軟體[3]是一個可以分析任何軸承轉動機械及傳動系統之軟體，應用於設計、分析、預測與故障排除，此軟體包含旋轉動力、扭轉振動、磨潤分析、軸承分析四部份，其中旋轉軸振動分析包含側向及扭轉振動，可處理轉軸之穩定性、不平衡、不同步之分析。

本組專題重點，主要在於單自由度系統軟體架構上的規劃，以及運動方程式的推導及求解，在軟體研發過程中應用各種不同的工具，如 Microsoft Fortran 來製作視窗化的功能，IMSL 副程式的數值運算以及 Exponent Graphics 的繪圖功能，再配合 Fortran 程式來分析整個運動方程式。完成的軟體部分有自由振動、暫態響應及簡諧激振中的固定基座、基座激振，讓使用者對機械振動有初步的概念。

程式發展流程

一、軟體介紹

(一)Fortran[9]

Fortran 語言在由 IBM 公司中 John Backus 所領導的小組發展出來，Fortran 這個名詞是由 Formula Trans-late 這兩個字各取前 3、4 個字母所組成的，Fortran 語言的標準。委員會往 1991 年訂了新的 Fortran 語言標準，稱為 Fortran 90，Fortran90 特色是加入了物件導向的觀念及工具、提供了指標、加

強了陣列的功能、改良了舊的 Fortran 語法中的寫作「版面」格式，使 Fortran 的語法看起來美觀許多，功能上也增強許多。

Fortran 的特色：

- 1、簡單易學：Fortran 的語法很明確、簡單。
- 2、較易拿來從事數學運算：Fortran 可以寫出很直觀的數學運算式，所以適合用來做理、工上的數值運算，Fortran90 另外還提供了對矩陣、陣列的直接運算。
- 3、較高階：Fortran 比 c 來得高階，所以使用 Fortran 來解決問題可以使我們專注在問題本身之上而不容易分心。
- 4、較容易轉移平台：Fortran 比較高階的另一個好處是，我們可以幾乎不用更動原來的程式碼，直接由個人電腦拿到工作站上面去編譯、執行。

(二) Exponent Graphics 程式繪圖軟體[8]

這套軟體主要以 Microsoft Fortran Power Station 4.0[9]為主架構，Exponent Graphics 附屬於這套軟體之下。以 Fortran 程式語言撰寫所需的內容，並能搭配 IMSL 副程式庫之數值分析方式，撰寫各種所需之圖形。如曲線圖、折線圖、面積圖、方塊圖、柱形圖、等高線圖、溫度分佈圖、區塊分佈圖等 2D 平面或 3D 立體圖均能達成。其程式的格式更能容納 C 語言、F77、F90 等格式，如此龐大的運算架構便是本組用此來繪製本軟體輸出之圖形的依據。

此軟體的特色是能夠以自己本身為主架構撰寫程式繪製出所需之圖形，也能藉由他方輸入所需之數值得以繪製出圖形來，不用再藉由其他形式的程式來撰寫，就由此 Fortran 的程式語法便可以達到。

本專題的架構模式是由使用者輸入所需的數值，經由程式內部繁瑣的運算得到一些數值資料，再經由繪圖輸出得到曲線圖形可供使用者作為參考比對的依據。使用者便能從圖形的變化中，輕易的瞭解到振動分析的過程及變化，不再只是紙上談兵。

(三) IMSL 數值計算程式庫 7]

IMSL 是一套由 Visual Numerics 公司所發展，非常具盛名的數值計算程式庫，為一套獨立的程式庫，不屬於編輯器的一部份，IMSL 為 FORTRAN 語言所使用之程式庫，提供統計，數值分析，包括微分、積分、矩陣等功能。

此數值計算程式庫的特點是對於需要經常使用數值解析法來求解問題的使用者來說，此程式庫為一相當好的工具之一，經由呼叫副程式的方法，可將所提供的資料庫引用至程式主體，如微分、積分、矩陣等，不需再自行另外撰寫，降低程式的繁雜程度。

(四) 視窗表單：

利用 Microsoft Fortran PowerStation 4.0[10]之 Quick Win 模式撰寫具備選單設計功能及多重文件視窗(MDI)的視窗程式。加上對話窗(Dialog)之設計製作是利用 Dialog Resource 的編輯工具，畫出所要使用的對話窗(Dialog)。對話窗(Dialog)之特色：

1. 可以很容易地用滑鼠拖曳 Dialog Resource 編輯工具中所需要的元件至對話窗，編輯完成對話窗的設計。
2. 視窗程式能夠利用每個元件的 ID 代號來讀取對話窗中所輸入之資料。

二、發展流程

目前國內機械振動的教學剛在起步階段，而振動之探討與分析，一值是工業界持續努力且極待解決之問題，有鑑於此，由王教授指導研發一套振動教學軟體，以便於國內在機械振動上初步的認知與瞭解。

1. 決定開發工作軟體

初步考慮 c 語言、Visual Basic、Fortran 三種語言，主要是 Fortran90 有 IMSL 數值運算程式庫可以配合使用，不必另外撰寫副程式，因振動系統數值運算多，如微分、積分、矩陣等，加上具備視窗功能與程式撰寫簡單易寫，所以決定以 Fortran 90 為程式撰寫軟體。

設備

(1) 硬體設備

採用 Pentium 120, 32MB RAM, 1.7GBHDD, 15"VGA, 彩色 32 位元顯示卡, 16 倍速光碟機, 彩色印表機。

(2) 軟體設備

Microsoft Fortran PowerStation 4.0

IMSL® FORTRAN Numerical Libraries Version

2.0

IMSL® Exponent Graphics Version 3.0

整理振動學單自由振動系統理論公式

決定軟體架構, 如圖一, 以及軟體發展流程, 如圖二

製作振動系統之公式輸出/入表, 如表一

製作數學符號與程式變數總表, 如表二

學習使用程式指令, 練習初步程式設計

1) 用 Fortran 程式練習 $ax^2 + bx + c = 0$ 寫成對談

式程式。

2) 練習 IMSL 軟體, 試著去執行 $ax^2 + bx + c = 0$

3) 練習 graphics 任意產生一正弦波圖形, 有兩條分別不同頻率線條。

4) 利用視窗程式結合選單與對話窗(Dialog)輸入設計, 執行 $A \times B = C$

正式撰寫程式

專題程式原本分成 4 層, 分別為主層視窗, 次層分析, 下層為 IMSL 及 EG, 後來 IMSL 如果直接由分析部份運用將較有效率, 於是改為三層, 各層獨立編輯, 執行及除錯, 因為藉由軟體架構圖(圖一)、數學符號與程式變數總表(表二)及振動系統之公式輸出/入表(表一), 各層在撰寫程式時, 應注意變數設定與數值傳輸問題, 使得連結時錯誤降低, 效率將提高。

9. 連結與整合

(1) 程式分析部份:

由下而上來整合, 本專題的 Exponent Graphics 程式應用能繪出曲線圖, 傳遞分析出的數據給予 Exponent Graphics 作繪圖, 是以副程式含值來傳遞, 因為分析程式有很多部份呼叫 Exponent Graphics, 如果使用全域變數的話將可共用變數, 達到簡化程式, 缺點是偵錯不易且可能造成傳入不正確的數據。而副程式含值之傳送, 能夠擁有獨立宣告變數的權力且當副程式結束時, 變數宣告亦結束, 並不影響其他程式。

(2) 程式輸出入控制部份:

視窗程式主要建立表單, 並能接受使用者由視窗輸入數值, 而在傳遞 ID 值轉為程式所需變數時, 可以任意點選程式及操作。由於視窗輸入的值有普遍性, 在連結部份利用全域變數作為值的傳遞。

最後將 Fortran 程式、Dialog、Exponent Graphics 經由編譯器 Compiler, 將程式碼先編譯成*.obj 檔的目的檔, 再由連結器(linker)連結(link)出執行檔來。

10. 程式校正

- (1) 由圖形及數據之結果顯示, 與理論分析作比較, 以便校正式式
- (2) Fortran 最常犯的錯誤是變數使用的錯誤, 比如說某變數 aa 在宣告時位整數, 而在程式中物當作實數使用。
- (3) 某變數在程式中使用了, 但是卻忘了宣告。
- (4) 程式寫的太長超過了 72 行的限制或是連結的兩行忘了在第六行加上連結的符號。
- (5) 在複雜的程式中刮號的錯誤。
- (6) 在循環控制中, 因變數的不當控制而導致的無限循環。
- (7) 在循環控制中, 因不慎在不同的回圈中使用了相同的位址。

- (8) 兩個選擇性控制或兩個循環性控制產生了交集。
- (9) 在一個循環性回圈中包含有另一個回圈時，兩個回圈不慎使用了相同的控制變數。
- (10) 程式中不慎產生了奇異值（某數除以零）或產生不收斂值而爆掉的情況。
- (11) 使用副程式時，主程式與副程式相對的變數有不同的宣告值。
- (12) 變數的長度過長。
- (13) 不完整的回圈結構，比如說在 if 的結構中漏掉了 then 或 end if。
- (14) 將整數當實數處理而產生的數值上的錯誤，比如說變數 a 和 b 宣告為整數，則 a 除以 b 時的商取整數部份，小數部份則略去而產生錯誤。
- (15) 輸出或輸入的格式碼錯誤。

11. 程式最佳化

依據下列檢視程式之最佳化：

- (1) 可以用整數來運算時，就不要使用浮點數。
- (2) 可以用加法來做的事情，就不要用乘法做。
- (3) 可以用乘法來做的事情，就不要用次方做。
- (4) 有庫存函數可以呼叫時，最好使用庫存函數來做計算。
- (5) 儘量減少不必要的計算。

分析範例

例如：一單自由度無外力系統欲計算其位移響應，假設質量為 100 公斤，阻尼為 100N-sec/m，彈簧常數為 10000N/m，初始位移 0.1m，初始速度 0m/sec，由於圖形解析度的問題，我們定義初始時間 $T_i=0\text{sec}$ ，終了時間 $T_j=5\text{sec}$ ，時間間格 $Dt=0.1\text{sec}$ ，產生 50 個數值來繪製圖形。

軟體分析步驟：

步驟一：執行程式 EXE 檔，如圖三。

步驟二：點選程式表單 INPUT，如圖四。

步驟三：輸入所需的數值後按 OK，如圖五。

步驟四：點取單自由度系統暫態響應無外力，如圖六。

步驟五：確定輸入數值後，輸入 1 執行程式，如圖七。

步驟六：輸出圖形和數值，包含有位移圖、速度圖、加速度圖等，如圖八至圖十一。

軟體評估

振動學的內容多半是艱深的理論公式，讓初學者不易對振動分析有深刻的印象，減低學習興趣，所以此機械振動教學軟體是運用人性化介面，以視窗輸入所需數值的方式，引導使用者更方便的輸入參數，並且能夠很快的得到所需的數值解及各種圖形的顯示，達到運算快速，即時圖文顯示的功能，及正確性高。

如此一來，可以由顯示之圖形，如位移圖、速度圖、加速度圖，得知振動模式所產生之響應，而不再是紙上談兵，亦可以對振動更進一步地認識與瞭解。

特點：

1. 在數值的建立上，採用視窗輸入，讓使用者能方便地操作與更改。
2. 分析程式採循序漸進式撰寫，由自由振動，經暫態響應，最後至簡諧激振，方便教學使用。
3. 一般在振動系統所解得之數值解，因運算過程繁雜，且容易出錯，藉由此軟體能夠快速得到圖形顯示，讓使用者能瞭解響應的特性。
4. 軟體運算方面，採用呼叫 IMSL 數值計算程式庫，不必另外撰寫副程式。
5. 系統的輸出顯示十分詳細，如自然頻率及阻尼自然頻率，皆有 rad/sec 與 Hz 兩部份。
6. 執行結果所產生之數值與圖形，容易儲存與列印。

限制：

1. 視窗輸入時，所取時間之間隔數，目前設定在 1000 個以內。

2. 由於 Windows 95/98 系統本身之圖形顯示介面不支援 Exponent Graphics (E.G.), 必須配合 E.G. 軟體才能顯示執行結果之圖形。
3. 圖形顯示必須在程式執行結束依序產生, 無法同時顯示。
4. 視窗選單與 Exponent Graphics 之圖形標題, 無法中文化。

結論

此振動教學軟體, 現階段以單自由度振動部份為主, 利用 Fortran 90、Exponent Graphics 繪圖軟體及 IMSL 數值計算程式庫, 撰寫人性化之視窗程式, 讓使用者容易操作, 及迅速獲得系統響應之數值與圖形, 使其對振動系統更加瞭解。

未來研究方向:

1. 可繼續擴充此軟體至多自由度振動部份。
2. 依照使用者的需要, 增加視窗之選單, 以加強視窗功能。
3. 矩陣之輸入設計及數值傳輸, 為多自由振動部份之發展重點。
4. 使輸出、輸入具有方便性, 將輸出/入之數值儲存成資料檔。

參考文獻

1. 王志宏, 1997, 「汽機扭轉振動監測系統設計」, 清華大學動力機械系固力組, www.pme.nthu.edu.tw/Faculty/王志宏/研究領域.html
2. SKF 股份有限公司, 1998, *SKF Picolog 量測工具*, www.apic.com.tw/products/ins/prod3.htm
3. 上海貿易有限公司, 1998, ARMD 高等旋轉動力及軸承分析軟 <http://www.softhome.com.tw/soft>

/arnd.htm

4. 王柏村 編著, 1996, *振動學*, 台北, 全華科技圖書股份有限公司。
5. 段介夫 編著, 台北, 1997, *MS-FORTRAN 結構化程式設計*, 松崗電腦圖書資料股份有限公司。
6. 彭國倫 編著, 1997, *精通 FORTRAN 90 程式設計*, 基峰資訊股份有限公司。
7. Microsoft, 1995, *IMSL 使用手冊*。
8. Microsoft, 1995, *IMSL EXPONENT GRAPHICS 使用手冊*。
9. Microsoft, 1995, *Fortran PowerStation Reference*
10. Microsoft, 1995, *Fortran PowerStation Programmer's Guide*

表一 振動系統之公式輸出/入表

(a) 自由振動

自由振動	
運動方程式及 IC	
輸入	$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0$
	m, c, k
輸出	$\omega_n = \sqrt{c^2 + 4k}, \omega_d$
	$\zeta = 0$ 無阻尼
	$\zeta > 1$ 過阻尼
	$\zeta = 1$ 臨界阻尼
	$0 < \zeta < 1$ 次阻尼

(b) 暫態響應—受週期性(三角函數)外力

暫態響應	
受外力 (週期性)	
運動方程式及 IC	
輸入	$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F \cos at$
	系統變數 $m, c, k, IC: x(0) = x_0, \dot{x}(0) = v_0, F, \omega$
	數值分析之穩定變數 $\xi, \Delta t$
輸出	理論分析結果: $\omega_n = \sqrt{c^2 + 4k}$ $x(t) = e^{-\zeta \omega_n t} (A_1 \cos \omega_d t + A_2 \sin \omega_d t) + (B_1 \cos at + B_2 \sin at)$ 其中 $A_1 = x_0$ $A_2 = \frac{v_0 + \zeta \omega_n x_0}{\omega_d}$ $B_1 = \frac{F/m (\omega_n^2 - \omega^2)}{(\omega_n^2 - \omega^2)^2 + (2\zeta \omega_n \omega)^2}$ $B_2 = \frac{F/m (2\zeta \omega_n \omega)}{(\omega_n^2 - \omega^2)^2 + (2\zeta \omega_n \omega)^2}$ 當 $\omega = \omega_n$ (共振) 時 $x(t) = e^{-\zeta \omega_n t} (A \cos \omega_d t + B \sin \omega_d t) + B \cos(at - 90^\circ)$ $B = \frac{F_0/k}{\sqrt{B_1^2 + B_2^2}} = \frac{F_0/k}{2\zeta}$ 程式輸出變數: $X(0), X(D), X(D), X(D), X(D)$

表一 振動系統之公式輸出/入表 (續)

(c) 暫態響應—受週期性(指數函數)外力

暫態響應		受 外 力
運動方程式 E.O.M		$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = f(t) = F_0 e^{i\omega t}$
輸入	系統變數	$m \cdot c \cdot k \cdot \omega \cdot F_0 \cdot IC: x(0) = x_0, \dot{x}(0) = v_0$
	數值分析之設定變數	$t_i, t_f, \Delta t$
輸出	理論分析結果:	$\omega_n = \omega_d \cdot \xi \cdot \phi \cdot X $ $x(t) = A_1 \cos \omega_d t + A_2 \sin \omega_d t + X e^{i(\omega t - \phi)}$ 其中 $A_1 = x_0$ $A_2 = \frac{v_0 + \xi \omega_n x_0}{\omega_d}$ $ X = \frac{F_0/m}{\sqrt{(\omega_n^2 - \omega^2)^2 + (2\xi\omega_n\omega)^2}}$ $\phi = \tan^{-1} \left(\frac{2\xi\omega_n\omega}{\omega_n^2 - \omega^2} \right)$ 當 $\omega = \omega_n$ (共振) 時 $x(t) = A_1 \cos \omega_d t + A_2 \sin \omega_d t + X e^{i(\omega t - \phi)}$ $ X = \frac{F_0/m}{2\xi\omega_n}$ 程式輸出變數: TD, XQ, XDQ, XDDQ

(d) 暫態響應—受非週期性之步階力

暫態響應		受外力 (非週期性) 之步階力
運動方程式 E.O.M		$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = f(t) = \begin{cases} F_0 & 0 \leq t < T_0 \\ 0 & t < T_0 \end{cases}$
輸入	系統變數	$m \cdot c \cdot k \cdot F_0 \cdot IC: x(0) = x_0, \dot{x}(0) = v_0$
	數值分析之設定變數	$t_i, t_f, \Delta t$
輸出	理論分析結果:	$\omega_n = \omega_d \cdot \xi \cdot x(t)$ $x(t) = F_0 [s(t) - s(t - T_0)]$ 其中 $s(t) = \frac{1}{k} [1 - e^{-\xi\omega_n t} (\cos \omega_d t + \frac{\xi\omega_n}{\omega_d} \sin \omega_d t)] u(t)$ 程式輸出變數: TD, XQ, XDQ, XDDQ

(e) 暫態響應—受任意外力

暫態響應		受 任 意 外 力
運動方程式 E.O.M		$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = f(t) = \frac{f(t_{i+1}) - f(t_i)}{t_{i+1} - t_i} (t - t_i) = B(A - t) = f(t)$
輸入	系統變數	$m \cdot c \cdot k \cdot IC: x(t = t_i) = x_{0i}, \dot{x}(t = t_i) = v_{0i}, f(t_{i+1}), f(t_i), h(t)$
	數值分析之設定變數	$t_i, t_f, i = 1, 2, 3, \dots$
輸出	理論分析結果:	$\omega_n = \omega_d \cdot \xi \cdot h(t)$ $B_i = \frac{f(t_{i+1}) - f(t_i)}{t_{i+1} - t_i}$ $A_i = \frac{(t_{i+1} - t_i) f(t_i)}{f(t_{i+1}) - f(t_i)} + t_i$ $x(t) = e^{-\xi\omega_n(t-t_i)} \left\{ x_{0i} \cos[\omega_d(t-t_i)] + \frac{v_{0i} + \xi\omega_n x_{0i}}{\omega_d} \sin[\omega_d(t-t_i)] \right\}$ $+ \int_{t_i}^t f(\tau) h(t-\tau) d\tau$ $\int_{t_i}^t f(\tau) h(t-\tau) d\tau = \frac{B}{m\omega_d} (A-t) [1 - e^{-\xi\omega_n(t-\tau)}] \left\{ \frac{\xi}{1-\xi^2} \sin \omega_d(t-\tau) + \cos \omega_d(t-\tau) \right\}$ $+ \frac{B}{m\omega_d \omega_n} \frac{1}{\sqrt{1-\xi^2}} [2\xi\sqrt{1-\xi^2} + e^{-\xi\omega_n(t-\tau)}] [(1-2\xi^2) \sin \omega_d(t-\tau) - 2\xi\sqrt{1-\xi^2} \cos \omega_d(t-\tau) - \omega_d(t-\tau) (\cos \omega_d(t-\tau) + \frac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \sin \omega_d(t-\tau))]$ $h(t) = \frac{1}{m\omega_d} e^{-\xi\omega_n(t-\tau)} \sin \omega_d(t-\tau)$ 程式輸出變數: TD, XQ, XDQ, XDDQ

表一 振動系統之公式輸出/入表 (續)

(f) 暫態響應—無外力

暫態響應		無 外 力
運動方程式 E.O.M		$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0$
輸入	系統變數	$m \cdot c \cdot k \cdot IC: x(0) = x_0, \dot{x}(0) = v_0$
	數值分析之設定變數	$t_i, t_f, \Delta t$
輸出	理論分析結果:	$\omega_n = c_0$ $x(t) = A_1 \cos \omega_d t + A_2 \sin \omega_d t$ $A_1 = x_0$ $A_2 = \frac{v_0}{\omega_d}$ $\dot{x}(t) = -\omega_d A_1 \sin \omega_d t + \omega_d A_2 \cos \omega_d t$ $\ddot{x}(t) = -\omega_d^2 A_1 \cos \omega_d t - \omega_d^2 A_2 \sin \omega_d t$ 程式輸出變數: TD, XQ, XDQ, XDDQ
	理論分析結果:	$\omega_n = c_0$ $x(t) = e^{-\xi\omega_n t} \left(A_1 e^{\omega_d t} + A_2 e^{-\omega_d t} \right)$ $A_1 = \frac{v_0 + (\xi + \sqrt{\xi^2 - 1}) \omega_n x_0}{2\omega_n \sqrt{\xi^2 - 1}}$ $A_2 = \frac{v_0 - (\xi - \sqrt{\xi^2 - 1}) \omega_n x_0}{2\omega_n \sqrt{\xi^2 - 1}}$ 程式輸出變數: TD, XQ, XDQ, XDDQ
	理論分析結果:	$\omega_n = c_0$ $x(t) = (A_1 + A_2 t) e^{-\xi\omega_n t}$ $A_1 = x_0$ $A_2 = v_0 + \omega_n x_0$ 程式輸出變數: TD, XQ, XDQ, XDDQ
	理論分析結果:	$\omega_n = c_0 \cdot \omega_d$ $x(t) = e^{-\xi\omega_n t} (A_1 \cos \omega_d t + A_2 \sin \omega_d t)$ $A_1 = x_0$ $A_2 = \frac{v_0 + \xi\omega_n x_0}{\omega_d}$ 程式輸出變數: TD, XQ, XDQ, XDDQ

(g) 簡諧激振—固定基座

暫態響應		固 定 基 座
運動方程式 E.O.M		$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F_0 \sin \alpha t$
輸入	系統變數	$m \cdot c \cdot k \cdot \omega \cdot F_0$
	數值分析之設定變數	頻率 $f_i, f_f, \Delta f$
輸出	理論分析結果:	$\xi \cdot \gamma \cdot FRF \cdot \phi \cdot \omega_n$ 穩態響應函數 $x_p(t) = \frac{F_0}{m} H(\omega) \sin(\alpha t - \phi) = X_p \sin(\alpha t - \phi)$ 頻率響應函數 FRF $H(\omega) = \frac{1}{\sqrt{(\omega_n^2 - \omega^2)^2 + (2\xi\omega_n\omega)^2}}$ $\gamma = \frac{\omega}{\omega_n}$ $\phi = \tan^{-1} \left(\frac{2\xi\gamma}{1-\gamma^2} \right)$ $X_p = M X_p \sqrt{\omega_n^4 + (2\xi\omega_n\omega)^2}$ $X_p = \frac{F_0}{m} H(\omega) $ $T_r = \frac{F_0}{P_0} H(\omega) \sqrt{1 + (2\xi\gamma)^2}$ 程式輸出變數: XRFQ, XRFDQ, XRFDDQ

表一 振動系統之公式輸出/入表(續)

(h) 簡諧激振—基座激振

簡諧激振		基座激振	
運動方程式及解			
		$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = c\dot{y} + ky, \quad y(t) = Y_0 \sin \omega t$	
系統參數	m, c, k, ω		
輸入	數值分析 元位元變數	頻率 $f, \Delta f, \Delta t$	
輸出	理論分析結果: $\xi \cdot \omega_n \cdot H(\omega) \cdot X_0 \cdot \phi, \quad X_0 = \frac{F_0}{kY_0} \cdot r$ $\xi = \frac{c}{2m\omega_n}, \quad \omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$ $ X_0 = \frac{Y_0 \sqrt{\omega_n^4 + (2\xi\omega_n\omega)^2}}{\omega^2 \sqrt{\omega_n^4 - \omega^2 + (2\xi\omega_n\omega)^2}}$ $\phi = \tan^{-1} \left[\frac{2\xi\omega_n\omega}{(1-r^2) + (2\xi)^2} \right], \quad r = \frac{\omega}{\omega_n}$ 力量傳輸比 $\frac{F_0}{kY_0} = \frac{ X_0 }{Y_0} = \frac{1}{\sqrt{\omega_n^4 - \omega^2 + (2\xi\omega_n\omega)^2}} H(\omega) $ 位移傳輸比 $\frac{ X_0 }{Y_0} = \frac{1}{\sqrt{\omega_n^4 - \omega^2 + (2\xi\omega_n\omega)^2}} H(\omega) $ 程式輸出變數: XRF(I), XRF(D), XRFDD(I)		

表二 數學符號與程式變數總表(續)

(b)

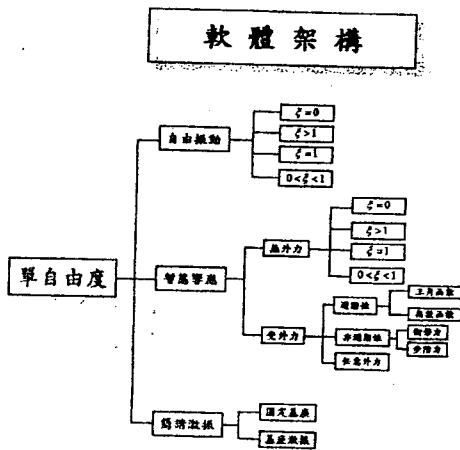
T	時間	Sec	T(I)	陣列
$u(t-a)$	單位步階函數		USF	實數
$S(t)$	單位步階響應函數		USRF	實數
$h(t)$	單位脈衝響應函數		UIRF	實數
$\delta(t)$	單位脈衝函數		UIF	實數
v	速度	m/sec	V	實數
ωf	頻寬	Hz	WF	實數
ω	激振頻率	Hz	WR	實數
ω_d	阻尼自然頻率	Rad/s	WD	實數
ω_n	自然頻率	Rad/s	WN	實數
x	位移	M	X	陣列
$X_0(t)$	穩態位移響應函數		XRF(I)	陣列
\dot{x}	阻尼元件變形速度	m/sec	XD	陣列
$ X_0 $	位移振幅		XXR	實數
x_0	初始位移	M	XO	實數
$f(T)$	外力	N	XFF	實數
\ddot{x}	彎曲加速度	m/sec ²	XDD	陣列
\dot{y}_0	初速度	m/sec	YO	實數
$y(t)$	位移輸入參數	M	YN	實數
Y_0	振幅		YXR	實數
Y	積分傳值		Y	陣列
ξ	阻尼比		Z	實數

表二 數學符號與程式變數總表

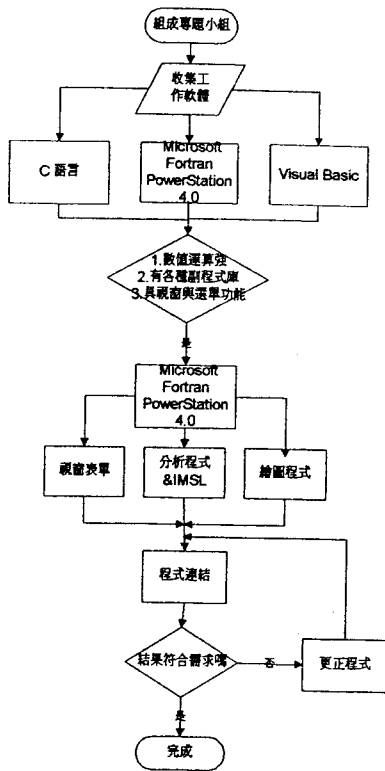
(a)

數學符號	物理意義	單位	程式符號	性質
A_1, A_2	隔LC而理		A1, A2	實數
a	加速度	m/sec ²	A	實數
$ R(r) $	振幅比(amplitude ratio)		AMP	實數
B_1, B_2	隔外力而理		B1, B2	實數
C	臨界阻尼		Cc	實數
T_n	積分時間步長	Sec	DT	實數
F	作用力	N	FF	實數
f_n	頻率	Hz	fn	實數
F_0	激振幅		F0	實數
F_T	時間的作用力	N	Ft	實數
\dot{p}	衝擊力	N	Fimp	實數
$H(\omega)$	頻率響應函數		FRF	實數
$\frac{F_0}{kY_0}$	力量傳輸比		FNR	實數
$ H(\omega) $	頻率響應函數振幅大小		FRFAMP	實數
N	系統回圈次數		N	實數
ϕ	相位角	度	PHI	實數
r	頻率比(frequency ratio)		R	實數
ζ	粘性阻尼係數	N-sec/m	RC	實數
k	彈簧常數	N/m	RK	實數
m	質塊質量	Kg	RM	實數
ω_0	初始頻率	Hz	RNM	實數
$\frac{ X_0 }{Y_0}$	位移傳輸比		SXR	實數
T	第 1 時間 sec	Sec	T0	實數
$t_1 \sim t_2$	作用時間	Sec	T1, T2	實數
T	週期	Hz	T	實數

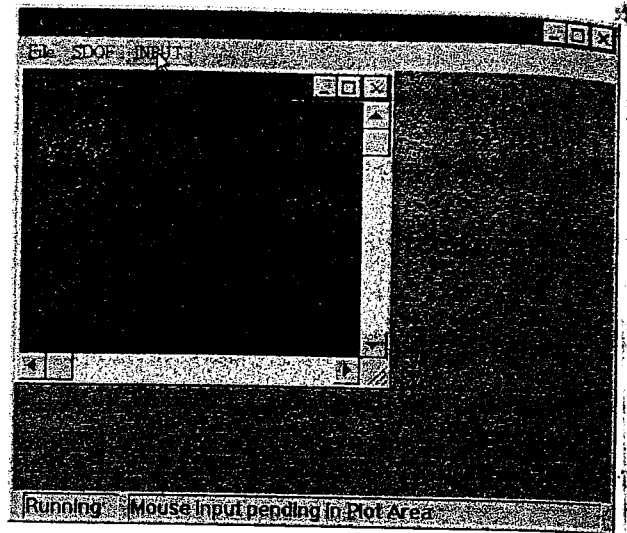
軟體架構



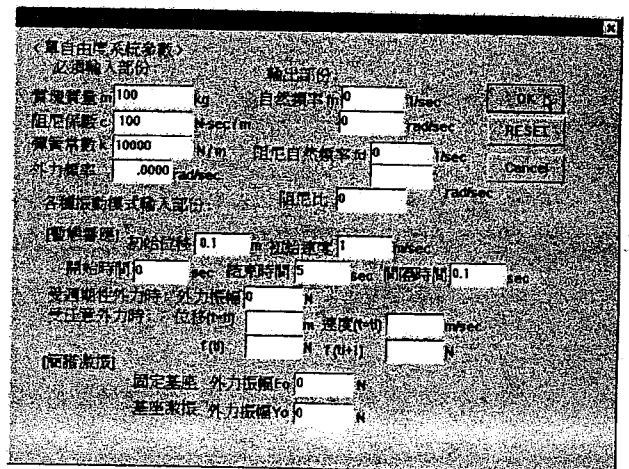
圖一 軟體架構



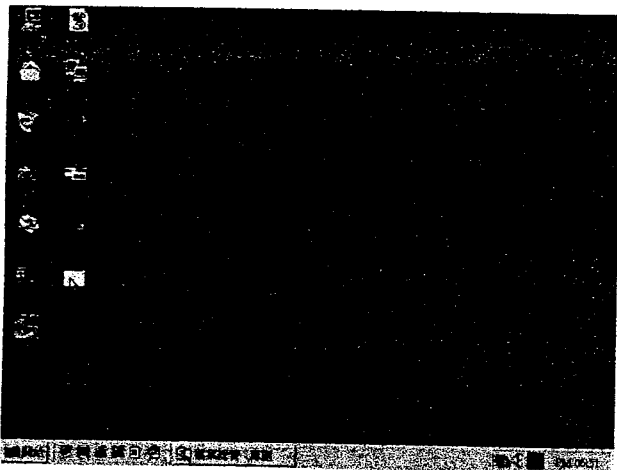
圖二 軟體發展流程



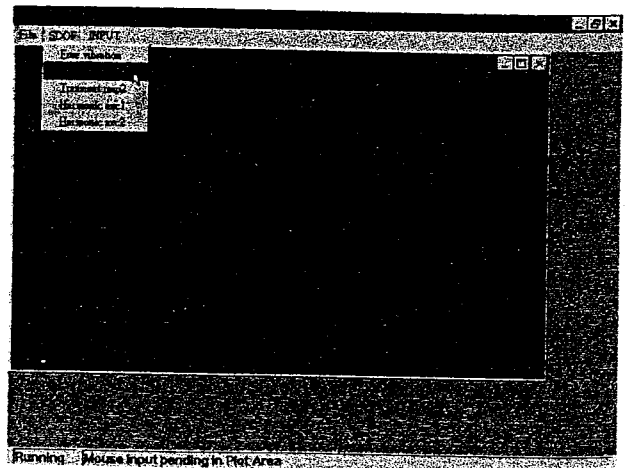
圖四 點選程式表單 INPUT



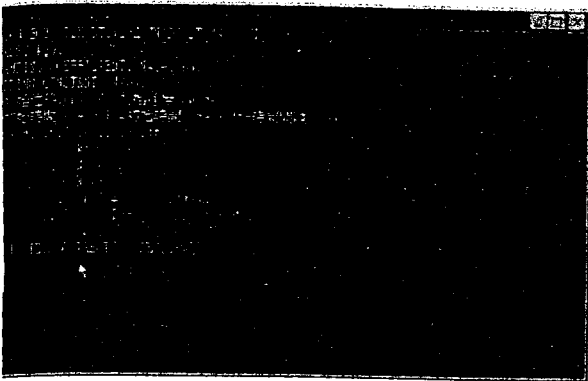
圖五 輸入所需數值



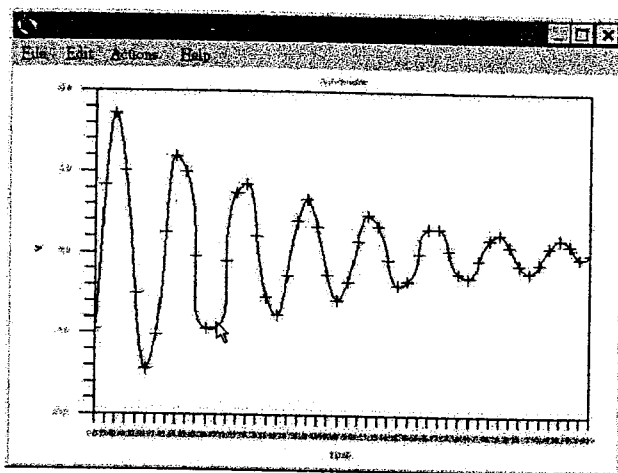
圖三 執行程式 .exe 檔



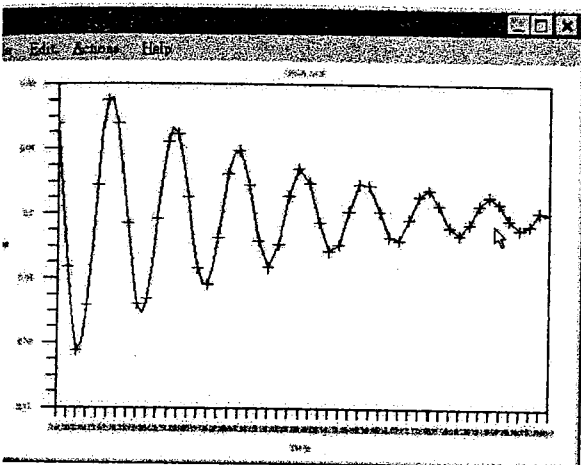
圖六 點選單自由度暫態響應(無外力)



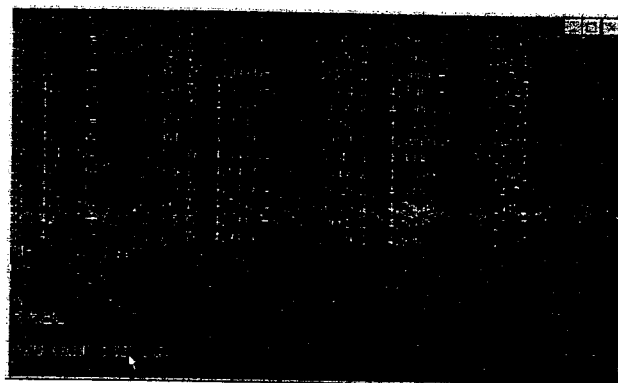
圖七 輸入1執行程式



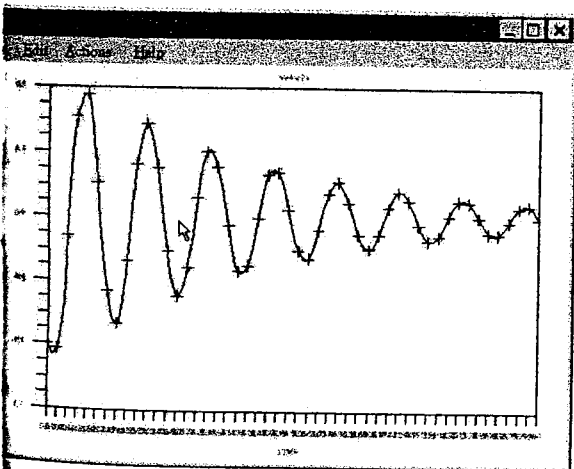
圖十 加速度圖



圖八 位移圖



圖十一 數值輸出



圖九 速度圖

**The Development of Mechanical
Vibration Analysis Software**
 Cha-I Chou Fang-Yang Liu
 Chan-Wen Chen Yang-Pang Cai
 Professor: Bor-Tsuen Wang

Abstract

This work is to develop the mechanical vibration analysis software with use of F90 language in conjunction with IMSL and Exponent Graphics libraries. The Single degree-of-freedom(SDOF) vibration system is considered. The free vibration, transient response analysis and harmonic response analysis are presented, respectively. The software is developed to

construct the teaching tools for vibration analysis. The software is user-friendly in combination with window functions as well as figure display.