

單自由度振動系統教學軟體開發

學生姓名： 林政滄 石明鈞
指導教授： 王栢村 教授

國立屏東科技大學
機械工程系

摘要

本專題是發展出振動系統教學軟體開發，目前只開發到單自由度振動系統部份。利用 Fortran90 程式語言及視窗化功能，Exponent Graphics 繪圖程式庫，來設計製作成人機對話的交談方式，給使用者使用。本專題內又分成模態分析，簡諧響應分析，暫態響應分析，頻譜響應分析四部分，建立人性化的介面，結合視窗與圖形的輸出功能，使用者很明確得知數值圖形來。未來能再進而研究多自由度系統，列印數值圖形，使軟體更近完善，以運用在振動教學目的上。

1.前言

對於工業上的運用而言，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、降低準確度、使用壽命減少嚴重破壞工作及環境品質。例如近因民間企業華邦電子公司、矽統科技相繼以高鐵經過台南科學園區為由，放出撤出南科投資計畫訊息，而使得高鐵振動問題成為各界關注焦點，所以藉由振動軟體的分析，進而解決振動的問題。

現有的軟體如：ANSYS、MATLA...等能，但沒有背景知識或沒有學習 ANSYS、MATLA 者，可能就會不知如何使用了，而且其價格昂貴，如果沒有充裕的資金，那也是一個大問題。為了方便不知振動原理〔2〕的使用者，或是根本沒有學過振動的基礎者，能有效

快速的操作此振動軟體，所以製作一套自己獨立的軟體，讓使用者能駕輕就熟的操作，使其在視窗對話方式下更人性化。

周哲義等〔1〕機械振動教學軟體開發 本專題是在利用 Fortran 90 程式語言〔4〕，Exponent Graphics 繪圖程式庫〔5〕，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、頻譜響應四部份。建立人性化介面，結合視窗與圖形〔5〕輸出功能，以運用於機械振動教學為目的。

本組專題重點，主要在於單自由度振動系統教學軟體上架構上的規劃，以及運動方程式的推導與求解〔2〕，在軟體研發過程中應用到多種不同的工具，如 Microsoft Fortran 〔3〕來製作視窗化的功能，Exponent Graphics 的繪圖功能〔5〕，再配合 Fortran 程式來分析整個運動方程式，可以讓使用者對機械振動有初步的概念。

2.理論分析

本部份是在分析有模態分析，簡諧響應分析，暫態響應分析，頻譜響應分析四部分，內有其運動方程式輸入系統變數、數值分析之設定變數輸出等要素，如以下分析。

2.1 模態分析

若外力 $f(t)$ 等於零，輸入質量 m 、阻尼係數 c 、彈簧常數 k ，得系統無阻尼之系統自然頻率 ω_n 、臨

界阻尼係數 C_c 、阻尼比 ξ 、阻尼自然頻率 ω_d 。 $\xi = 0$ 為無阻尼、 $0 < \xi < 1$ 為次阻尼、 $\xi = 1$ 為臨界阻尼、 $\xi > 0$ 為過阻尼。如表 1.a 模態分析自由振動所示。

2.2 簡諧分析

由運動方程式 $m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = f(t)$ ，假設 $f(t) = Fe^{i\omega t}$ 、 $x(t) = Xe^{i\omega t}$ 、 $f_R(t) = F_R e^{i\omega t}$ ，外力激振、旋轉不平衡之系統圖如圖 1.及表 2.(a)、2.(c)所示、基座激振之系統圖如圖 2.及表 2.(b)所示之輸入系統變數質量 m 、阻尼係數 c 、彈簧常數 k 及數值分析之設定變數：頻率 f ，初始頻率 f_1 ，終止頻率 f_2 ，可得位移激振、外力相位角、反作用力振幅、反作用力相位角。

2.2.1 簡諧分析之外力激振

如圖 1.所示，輸入質量 m ，阻尼係數 c ，彈簧常數 k ，外力基振頻率 f ，初始頻率 f_1 ，終止頻率 f_2 ，得到位移振幅 $|X|$ ，外力相位角 $\angle X$ ，反作用力振幅 $|F_R|$ ，反作用力相位角 $\angle F_R$ 如表 2.(a)簡諧分析之外力激振。

2.2.2 簡諧分析之基座激振

基座激振如圖 2.所示，輸入質量 m ，阻尼係數 c ，彈簧常數 k ，外力基振頻率 f ，初始頻率 f_1 ，終止頻率 f_2 ，得到基座激振之位移振幅大小 $|X|$ ，外力相位角 $\angle X$ ，基座激振之反作用力振幅 $|F_R|$ ，反作用力相位角 $\angle F_i$ 可得到其數值大小如。

2.2.3 簡諧分析之旋轉不平衡

旋轉不平衡如圖 1.所示為系統圖，輸入系統變數質量 m ，阻尼係數 c ，彈簧常數 k ，頻率 f ，外力 $f(t) = m_a e \omega^2 e^{i\omega t}$ ，輸出可得到位移振幅 $|X|$ 、外力相位角 $\angle X$ 、旋轉不平衡之反作用力振幅 $|F_R|$ 、反作用力相位角 $\angle F_i$ 之數值如表 2. (c)簡諧分析之旋轉不平衡所示。

2.3 暫態響應

振動分析，由 $m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = f(t)$ 系統， $x(0) = x_0$ ， $\dot{x}(0) = v_0$ ，無外力 $f(t) = 0$ 如表 3.(a)

所示，受外力週期性如表 3.(b)所示，受外力非週期性，如表 3.(c)所示。

2.3.1 暫態響應之無外力

考慮自由振動分析時，假設無外力作用於系統，即 $f(t) = 0$ 。其輸入質量 m ，阻尼係數 c ，彈簧常數 k 後，設定時間 t 為初始時間 t_1 至終止時間 t_2 ，其結果可分為無阻尼 $\xi = 0$ 、次阻尼 $0 < \xi < 1$ 、臨界阻尼 $\xi = 1$ 、過阻尼 $\xi > 1$ 如表 3.(a)暫態響應之無外力所示。

2.3.2 暫態響應受簡諧力

若假設單自由度無阻尼振動系統時，假設簡諧力 $f(t) = F \cos \omega t$ ，其輸入質量 m ，阻尼係數 c ，彈簧常數 k 後，設定時間 t 為初始時間 t_1 至終止時間 t_2 ，其結果可分為 $\omega_n \neq \omega$ 、 $\omega = \omega_n$ 、 $\omega \approx \omega_n$ ，其 $x(t)$ 為位移響應如表 3. (b)暫態響應受簡諧外力所示。

2.3.3 暫態響應受衝擊力

若系統受衝擊力 $f(t) = \hat{F} \delta(t)$ ，其輸入質量 m ，阻尼係數 c ，彈簧常數 k 後，設定時間 t 為初始時間 t_1 至終止時間 t_2 ，結果可得到位移響應 $x(t)$ 、脈衝響應函數 $h(t)$ ，其中 ω_d 為阻尼自然頻率如表 3.(c)暫態響應受衝擊力所示。

2.4 頻譜響應分析

由隨機外力系統變數質量 m 、阻尼係數 c ，彈簧常數 k ，數值分析之變數頻率 f 計算得到外力激振 $|H(\omega)|^2$ 及能量頻譜密度函數 $S_{xx}(f)$ 。

2.4.1 頻譜響應分析之外力激振

外力激振如圖 1.之系統圖，輸入系統變數質量 m 、阻尼係數 c ，彈簧常數 k ，數值分析之變數頻率 f ，還有初始頻率 f_1 ，終止頻率 f_2 得到外力激振 $|H(\omega)|^2$ 及能量頻譜密度函數 $S_{xx}(f)$ 如表 4.(a)頻譜響應分析之外力激振所示。

2.4.2 頻譜響應分析之基座激振

基座激振如圖 2.支系統圖所示，輸入系統變數質量 m 、阻尼係數 c ，彈簧常數 k ，數值分析之變數頻

率 f ，還有初始頻率 f_1 ，終止頻率 f_2 得到基座激振 $|H(\omega)|^2$ 及能量頻譜密度函數 $S_{yy}(f)$ 如表 4.(b) 頻譜響應之基座激振分析所示。

3. 振動分析程式發展

3.1 程式架構

(1) Fortran90:

簡單易學，Fortran 的語法明確簡單，沒有容易看走眼的語法。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學運算，另外還提供了對矩陣、陣列的直接運算。比較高階，用 Fortran 來解決問題可以使我們專注於問題本身之上而不容易分心。想要用電腦來解決「思考性」，「理論性」較高的問題，語法簡單、不易出錯，在撰寫程式過程中不至於迷失問題本體，Fortran 就會是一個很好的語言。

a. 目錄 Menu:

在程式當中使用選單的方法，和使用滑鼠的原理大致相同。只要先設計好選單的選項內容，在設定好選項被按下時，會自動執行選項內所設計的程式或對話窗。

b. 對話窗:

視窗城市還有一種很普遍的輸入方法，那就是出現一個對話窗來和使用者交談。使用對話窗時，要先使用 Ms Developer Studio 中的資源編輯器來畫出對話窗的長相，再寫作程式碼把這個對話窗較出來使用。

c. Button 按鈕:

Button 是對話窗中的一個按鈕，當被按一下後，會執行程式計算，或者繪出圖形來，在對話窗中式相當常使用到的按鈕。

(2) Exponent Graphics 繪圖程式:

這套軟體主要以 Microsoft Fortran Power Station 4. 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，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 F90 等格式，如此龐大的運算架構便是本組用此來繪製本專題輸出之圖形的依據。

3.2 程式特性:

本軟體是互動式，以對話窗視窗化方式，讓使用者容易觀看了解，及時顯示功能，只要輸入所需數值就可分析計算出所要的數值結果出來，及繪出所要分析觀看的圖形結果。操作簡便，即用即會，不需要會使用 Fortran，讓使用者使用起來更容易上手。由於是使用人機對話的方式，且分析架構明確，故節省了不少運算的時間，大為提高使用者的操作效率。

4. 結果與討論

本專題所討論單自由系統又分成模態分析，簡諧響應分析，暫態響應分析，頻譜響應分析等四部分如圖 4。

(a) 模態(modal)分析，先進入主視窗如圖 4.，在單自由度(SDOF)分析目標選項圖 5.(a) 中模態分析按鈕後，進入圖 5.(b) 輸入參數質量 $m = 100.0kg$ ，阻尼係數 $c = 500.0N - sec/m$ ，彈簧常數 $k = 10000.0N/m$ 後，執行得到結果答案自然頻率 $\omega_n = 10.000000rad/s$ 臨界阻尼係數 $C_c = 2000.000N - sec/m$ ，阻尼比 $\zeta = 2.500000E - 01$ ，阻尼形式為次阻尼，阻尼自然頻率 $\omega_d = 9.682458$ 如圖 5.(c)，其數值與計算結果得的一樣。

(b) 簡諧(harmonic)分析，先進入主視窗如圖 4.，在單自由度(SDOF)分析目標選項圖 6.(a) 中選擇簡諧(harmonic)按鈕後，選擇外力激振，之後出現簡諧外力激振之對話窗，輸入參數質量 $m = 100.0kg$ ，阻尼係數 $c = 500.0N - sec/m$ ，彈簧常數 $k = 10000.0N/m$ ，外力振幅 $Y = 1.0m$ ，外力激振頻率 $f = 0.5Hz$ ，初始頻率 $f_1 = 0.0Hz$ ，終止頻率 $f_2 = 30.0Hz$ 後執行後可得輸出參數位移振幅 $|X| = 1.093028E - 02$ ，外力相位角為

9.886237，反作用力振幅為 111.999800，反作用力相位角為 7.413304 如圖 6.(c)，以及輸出圖形，外力激振位移振幅 $|x|$ 之圖形如圖 6.(d)、外力激振相位角如圖 6.(e)、外力激振反作用力振幅如圖 6.(f)、反作用力相位角如圖 6.(g)，其所得數值與計算結果一樣。簡諧分析之基座激振及旋轉不平衡，與簡諧分析之外力激振數值分析及圖形操作方式相同。

(c) 暫態(transient) 分析，先進入主視窗如圖 4。在單自由度(SDOF)分析目標選項圖 7.(a)中選擇暫態(transient)按鈕後，選擇分析情況 1. $f(t) = 0$ 暫態響應之無外力如圖 7.(b)，之後輸入參數質量 $m = 100.0kg$ ，阻尼係數 $c = 50.0N - sec/m$ ，彈簧常數 $k = 100.0N/m$ ，初始位移 $X_1 = 1.0m$ ，初始速度 $V_1 = 1.0m/sec$ ，位移激振頻率 $f = 1.0Hz$ ，初始時間 $t_1 = 0.0sec$ ，終止時間 $t_2 = 30.0sec$ ，時間 $t_r = 10.0sec$ 執行可得到輸出參數阻尼形式為次組尼，位移響應為 $8.208503E-02$ 如圖 7.(c)以及輸出圖形如圖 7.(d)，其數值與計算結果得到的一樣。暫態分析之暫態響應受簡諧力及受衝擊力，與暫態響應之無外力簡數值分析及圖形操作方式相同。

(d) 頻譜(spectrum)分析，先進入主視窗如圖5。在單自由度(SDOF)分析目標選項圖8.(a)中選擇頻譜(spectrum)按鈕後，選擇分析情況如圖8.(b)之外力激振，之後輸入參數質量 $m = 1.0kg$ ，阻尼係數 $c = 1.0N - sec/m$ ，彈簧常數 $k = 5.0N/m$ ，外力 $S_{ff} = 55N^2/Hz$ ，初始頻率 $f_1 = 0.0Hz$ ，終止頻率 $f_2 = 1.0Hz$ ，頻率等分數 $n_x = 100.0$ 執行可得到輸出參數 $|H(\omega)|^2 = 8.141733E - 04$ $S_{xx} = 4.477953E - 02$ 如圖 8.(c)以及輸出圖形： $|H(\omega)|^2$ 之圖形如圖8.(d)、能量頻譜密度函 $S_{xx}(f)$ 之圖形如圖8.(e)，其分析數值與計算結果得的一樣。而頻譜(spectrum)分析之基座激振，與頻譜(spectrum)分析之外力激振數值分析及圖形操作方式相同。

5. 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，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，目前還在進行當中。

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。
- (5) 能將使用者所要分析的圖形列印出來。

6. 參考文獻

- (1) 周哲義、呂芳勇、陳建文、蔡永鵬、王伯村，1999，「機械振動教學軟體開發」技術報告。
- (2) 王柏村，1996，*振動學*，全華科技圖，台北，書股份有限公司。
- (3) 段介夫，1997，*MS-FORTRAN 結構化程式設計*，松崗電腦圖書資料股份有限公司，台北。
- (4) 彭國倫，1997，*精通 FORTRAN 90 程式設計*，碁峰資訊股份有限公司。
- (5) Microsoft，1995，*IMSL EXPONENT GRAPHICS 使用手冊*。
- (6) Microsoft，1995，*Fortran PowerStation Reference*。
- (7) Microsoft，1995，*Fortran PowerStation Programmer's Guide*。

表 1. 模態分析

(a) 自由振動

運動方程式	$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0$
輸入	m, c, k
輸出	$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$ ω_n 為無阻尼之系統自然頻率
	$c_c = 2m\omega_n = 2\sqrt{km}$ c_c 為臨界阻尼係數
	$\xi = \frac{c}{c_c}, \xi$ 為阻尼比
	$\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \xi^2}$ ω_d 為阻尼自然頻率

表 2. 簡諧分析

(a) 外力激振

運動方程式	$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = f(t)$
輸入	系統變數 $m, c, k, \omega, f(t)$
	數值分析 $f, f_1, f_2, \omega = 2\pi f$
	設定變數
輸出	$\therefore X = \frac{F}{m} H(\omega) $, $ X $ 為位移振幅 $ H(\omega) = \frac{1}{\sqrt{(\omega_n^2 - \omega^2)^2 + (2\xi\omega_n\omega)^2}}$ $\angle X = \text{Tan}^{-1}\left(\frac{2\xi\omega_n\omega}{\omega_n^2 - \omega^2}\right)$ $\angle X$ 為外力相位角 $\therefore F_R = F \sqrt{\omega_n^4 + (2\xi\omega_n\omega)^2} H(\omega) $ $ F_R $ 為反作用力振幅 $\angle F_R = \text{Tan}^{-1}\left(\frac{2\xi\omega_n\omega^3}{\omega_n^2(\omega_n^2 - \omega^2) + (2\xi\omega_n\omega)^2}\right)$ $\angle F_R$ 為反作用力相位角

表 2. 簡諧分析 (續)

(b) 基座激振

運動方程式	$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = c\dot{y} + ky$
系統變數	$m, c, k, \omega, f(t)$

輸入	數值分析 $f, f_1, f_2, \omega = 2\pi f$
	之設定變數
輸出	$\therefore X = Y \sqrt{(\omega_n^2)^2 + (2\xi\omega_n\omega)^2} H(\omega) $ $ X $ 為位移振幅 $ H(\omega) = \frac{1}{\sqrt{(\omega_n^2 - \omega^2)^2 + (2\xi\omega_n\omega)^2}}$ $\angle X = \text{Tan}^{-1}\left(\frac{2\xi\omega_n\omega}{\omega_n^2 - \omega^2}\right)$ $\angle X$ 為外力相位角 $\therefore F_t = mY\omega^2 \sqrt{\omega_n^4 + (2\xi\omega_n\omega)^2} H(\omega) $ $ F_t $ 為反作用力振幅 $\angle F_t = \text{Tan}^{-1}\left(\frac{2\xi\omega_n\omega^3}{\omega_n^2(\omega_n^2 - \omega^2) + (2\xi\omega_n\omega)^2}\right)$ $\angle F_t$ 為反作用力相位角

表 2. 簡諧分析 (續)

(c) 旋轉不平衡

運動方程式	$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = m_u e \omega^2 e^{i\omega t}$
輸入	系統變數 $m, c, k, \omega, f(t)$
	數值分析 $f, f_1, f_2, \omega = 2\pi f$
	之設定變數
輸出	$\therefore X = \frac{m_u e \omega^2}{m} H(\omega) $ $ X $ 為位移振幅 $ H(\omega) = \frac{1}{\sqrt{(\omega_n^2 - \omega^2)^2 + (2\xi\omega_n\omega)^2}}$ $\angle X = \text{Tan}^{-1}\left(\frac{2\xi\omega_n\omega}{\omega_n^2 - \omega^2}\right)$ $\angle X$ 為外力相位角 $\therefore F_R = m_u e \omega^2 \sqrt{\omega_n^4 + (2\xi\omega_n\omega)^2} H(\omega) $ $ F_R $ 為反作用力振幅 $\angle F_t = \text{Tan}^{-1}\left(\frac{2\xi\omega_n\omega^3}{\omega_n^2(\omega_n^2 - \omega^2) + (2\xi\omega_n\omega)^2}\right)$ $\angle F_t$ 為反作用力相位角

表 3. 暫態響應 (續)

(a) 無外力

運動方程式		$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0$ I.C: $x(0) = x_0, \dot{x}(0) = v_0$
輸入	系統變數	m, c, k, x_0, v_0
	數值分析之設定變數	t, t_1, t_2
輸出	$\xi = 0$	<p>理論分析結果：無阻尼</p> $x(t) = A_1 \cos \omega_n t + A_2 \sin \omega_n t$ $A_1 = x_0$ $A_2 = \frac{v_0}{\omega_n}$
	$0 < \xi < 1$	<p>理論分析結果：次阻尼</p> $x(t) = e^{-\xi \omega_n t} (A_1 \cos \omega_d t + A_2 \sin \omega_d t)$ $A_1 = x_0$ $A_2 = \frac{v_0 + \xi \omega_n x_0}{\omega_d}$
	$\xi = 1$	<p>理論分析結果：臨界阻尼</p> $x(t) = (A_1 + A_2 t) e^{-\omega_n t}$ $A_1 = x_0$ $A_2 = v_0 + \omega_n x_0$
	$\xi > 1$	<p>理論分析結果：過阻尼</p> $x(t) = e^{-\xi \omega_n t} (A_1 e^{\omega_n \sqrt{\xi^2 - 1} t} + A_2 e^{-\omega_n \sqrt{\xi^2 - 1} t})$ $A_1 = \frac{v_0 + (\xi + \sqrt{\xi^2 - 1} \omega_n x_0)}{2\omega_n \sqrt{\xi^2 - 1}}$ $A_2 = \frac{-v_0 - (\xi - \sqrt{\xi^2 - 1} \omega_n x_0)}{2\omega_n \sqrt{\xi^2 - 1}}$

表 3. 暫態響應 (續)

(b) 受簡諧力

運動方程式		$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = f(t) = F \cos \omega t$ 、 I.C: $x(0) = x_0, \dot{x}(0) = v_0$
輸入	系統變數	$m, c, k, x_0, v_0, F, \omega$
	數值分析之設定變數	t, t_1, t_2

輸出	$\omega_n \neq \omega$	$x(t) = A \cos(\omega t - \phi_1) + \frac{F_0/m}{\omega_n^2 - \omega^2} \cos \omega t$ <p>$x(t)$ 為位移響應</p> $\phi_1 = \tan^{-1} \left(\frac{A_2}{A_1} \right)$ <p>其中 $A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2}$</p> $A_1 = x_0 - \frac{F_0/m}{\omega_n^2 - \omega^2}$ $A_2 = \frac{v_0}{\omega_n}$
	$\omega = \omega_n$	$x(t) = \left(x_0 \cos \omega_n t + \left(\frac{v_0}{\omega_n} \right) \sin \omega_n t + \frac{F_0/m}{2\omega_n} t \sin \omega_n t \right)$ <p>$x(t)$ 為位移響應</p> <p>其中 $x(0) = x_0$</p> $\dot{x}(0) = v_0$
	$\omega \approx \omega_n$	$x(t) = \frac{F_0/m}{\omega_n^2 - \omega^2} \left(2 \sin \frac{\omega + \omega_n}{2} t \sin \frac{\omega_n - \omega}{2} t \right)$ $\approx \frac{F_0/m}{2\varepsilon \omega} \sin \varepsilon t \sin \omega t$ <p>其中, ε 為一微小值, $\varepsilon \ll \omega_n$</p>

表 3. 暫態響應 (續)

(c) 受衝擊力

運動方程式		$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = f(t) = \hat{F} \delta(t)$ 、 I.C: $x(0) = 0, \dot{x}(0) = 0$
輸入	系統變數	m, c, k
	數值分析之設定變數	t, t_1, t_2
輸出		$x(t) = \frac{\hat{F}}{m\omega_d} e^{-\xi \omega_n t} \sin \omega_d t, t > 0$ <p>$x(t)$ 為位移響應</p> $h(t) = \begin{cases} \frac{1}{m\omega_d} e^{-\xi \omega_n t} \sin \omega_d t, t > 0 \\ 0, t < 0 \end{cases}$ <p>$h(t)$ 為脈衝響應函數</p> <p>其中, $\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \xi^2}$, ω_n 為阻尼自然頻率</p>

表 4. 頻譜響應
(a) 外力激振

運動方程式		$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = f(t)$, $f(t)$ 為隨機外力
輸入	系統變數	m 、 c 、 k
	數值分析之設定變數	f 、 f_1 、 f_2
輸出		$S_{xx}(\omega) = H(\omega) ^2 S_{ff}(\omega)$, $S_{xx}(f)$ 、 $S_{ff}(f)$ 為能量頻譜密度函數 其中 $H(\omega) = \frac{1}{(\omega_n^2 - \omega^2) + i(2\xi\omega_n\omega)}$

表 4. 頻譜響應分析 (續)
(b) 基座激振

運動方程式		$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = f(t)$, $f(t)$ 為隨機外力
輸入	系統變數	m 、 c 、 k
	數值分析之設定變數	f 、 f_1 、 f_2
輸出		$S_{xx}(\omega) = H(\omega) ^2 S_{yy}(\omega)$, $S_{xx}(f)$ 、 $S_{yy}(f)$ 為能量頻譜密度函數 其中 $H(\omega) = \frac{\omega_n^2 + i2\xi\omega_n\omega}{(\omega_n^2 - \omega^2) + i(2\xi\omega_n\omega)}$

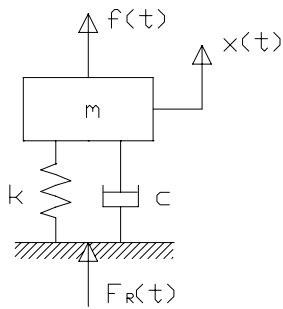


圖 1. 外力激振、旋轉不平衡之系統圖

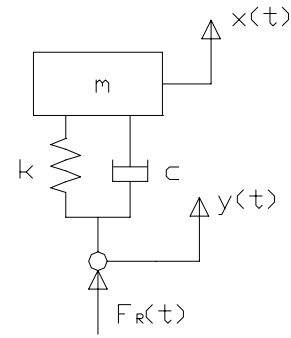


圖 2. 基座基振之系統圖

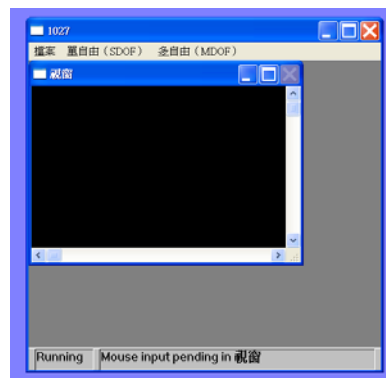
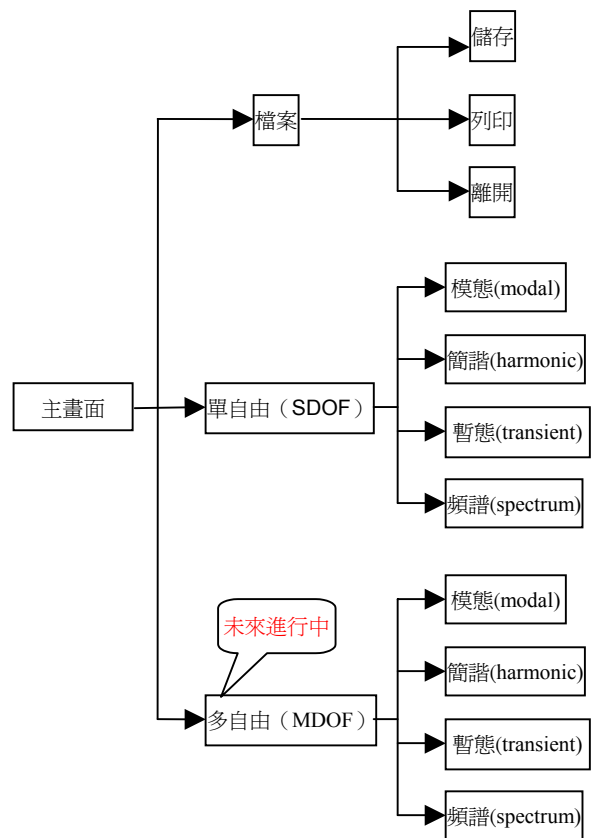
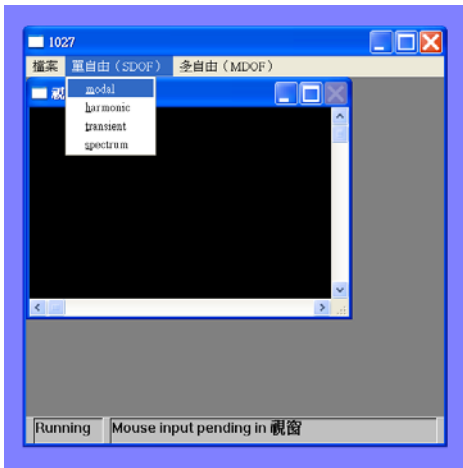
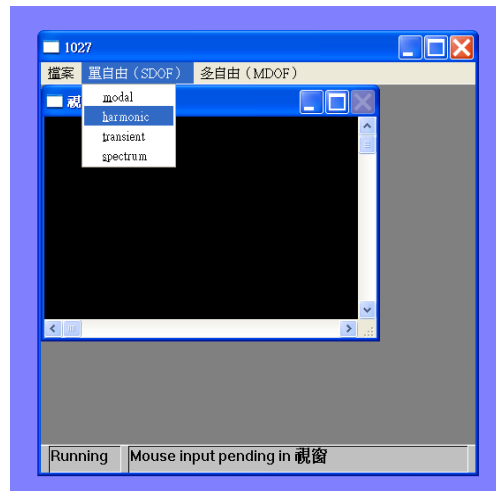


圖 4. 主畫面



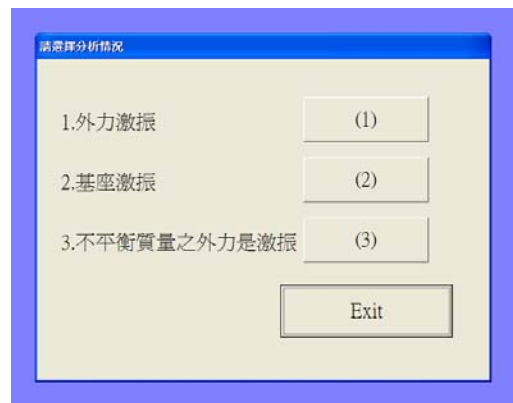
(a)單自由度(SDOF)分析目標選項



(a)主視窗選擇簡諧分析進入



(b)進入模態分析



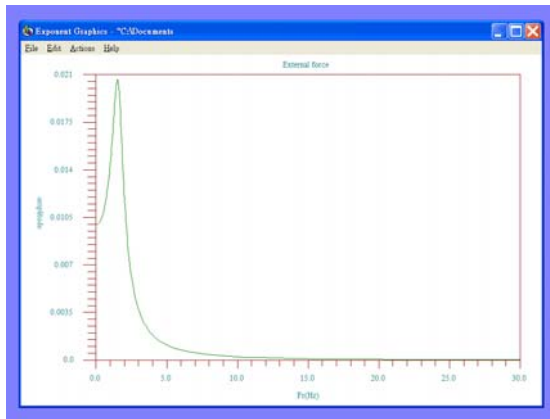
(b)簡諧分析之選項情況



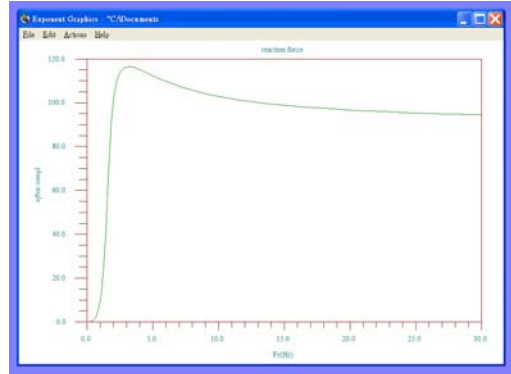
(c)模態分析得到數值
圖.5 模態分析操作之流程



(c)簡諧外力激振之對話窗

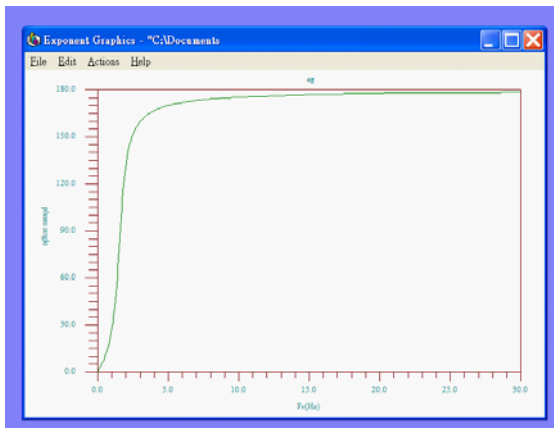


(d)外力激振位移振幅 $|X|$ 之圖形

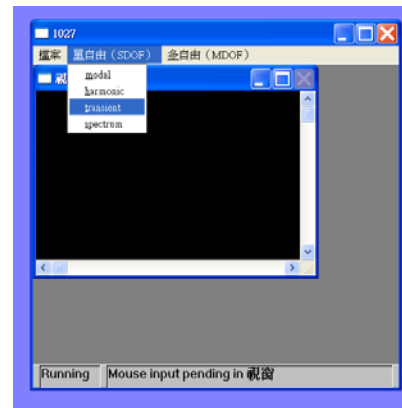


(g)反作用力相位角

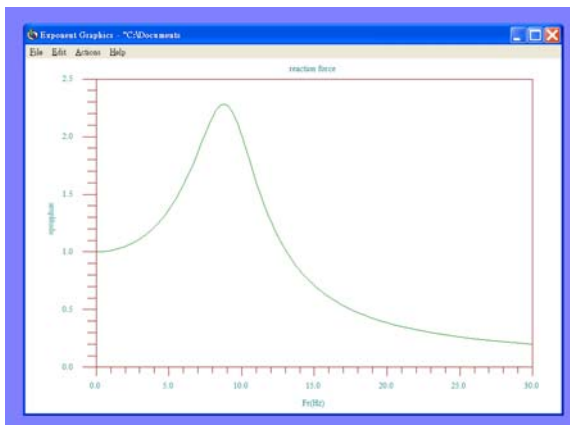
圖 6. 簡諧激振外力激振之流程圖



(e)外力激振相位角



(a)由主視窗進入暫態響應



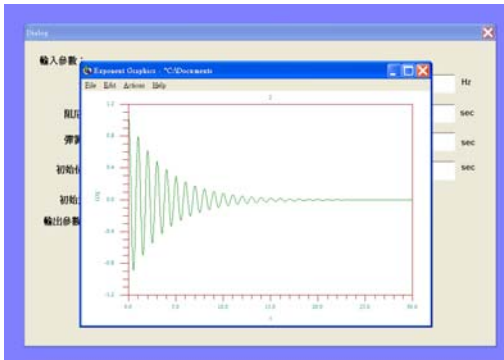
(f) 外力激振反作用力振幅



(b)選擇分析情況 1



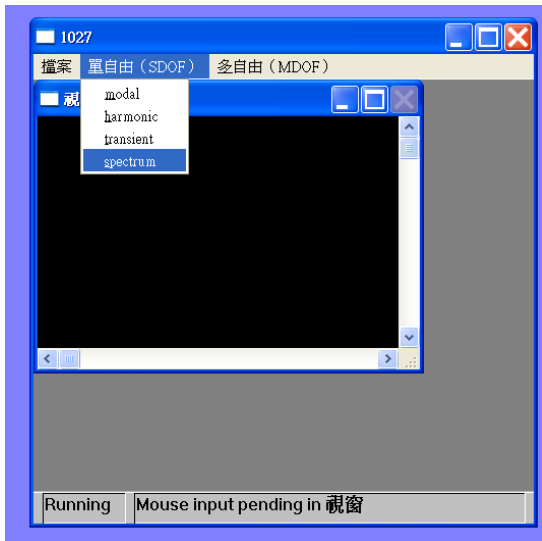
(c)輸入參數按 OK 鈕得到數值



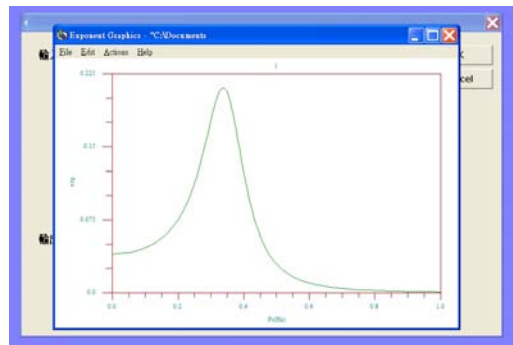
(d)得到次阻尼分析圖形

(c)輸入參數按 OK 鈕得到數值

圖 7. 暫態響應之無外力之操作流程圖

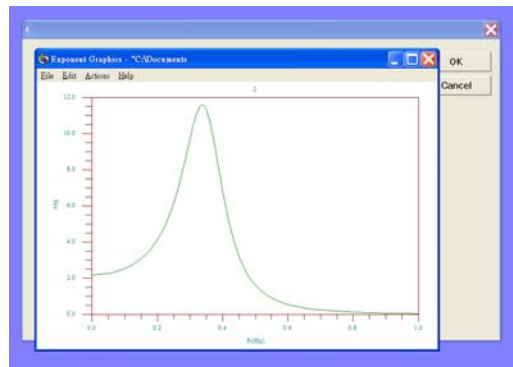


(a)由主視窗進入頻譜響應分析



(d) $|H(\omega)|^2$ 之圖形

(b)選擇分析情況 1



(e)能量頻譜密度函 $S_{xx}(f)$ 之圖形

圖 8. 頻譜響應分析之外力激振之操作流程圖