

# 東南技術學院機械工程系

## 專題製作報告

### 電流變液避震器懸吊系統的模擬分析

指導老師：郭文化 老師

學 生：劉文亮 2902077

蕭儒謙 2902115

王文宏 2902083

葉志遠 2902102

中華民國九十一年十一月十八日

# 摘要

本專題製作是利用 Matlab 之 Simulink 軟體及氣液壓系統模擬分析用的 HyPneu 軟體，來模擬分析車輛懸吊系統的特性。

以這兩種不同軟體分別建立車輛懸吊系統的模式，使用現有車輛懸吊系統的模擬參數，輸入不同路面的狀況，及改變不同的組尼係數，其模擬的結果相同。顯示使用這二種軟體所建立車輛懸吊系統的模式，可做為修改、設計及模擬分析車輛懸吊系統及阻尼器的參考。

由本專題製作可瞭解 Matlab 之 Simulink 與 HyPneu 軟體的使用，並可瞭解車輛懸吊系統的結構及特性，以及如何應用此二軟體作為電腦輔助分析的工具。

# 目錄

摘要 .....	i
目錄 .....	ii
第一章 前言 .....	1
第二章 懸吊系統之簡介 .....	3
2-1 前言.....	3
2-2 懸吊系統的組成.....	4
2-3 電流變液避震器的簡介 .....	5
第三章 懸吊系統的模式 .....	8
第四章 模擬方塊圖的建圖步驟.....	10
4-1 Simulink 建構模型.....	10
4-2 HyPneu 建構模型 .....	19
第五章 Matlab-Simulink 與 HyPneu 的模擬... ..	28
5-1 Simulink 模擬果 .....	28
5-2 HyPneu 模擬結果 .....	31
第六章 結論 .....	36
參考文獻.....	37

# 第一章 前言

汽車駕駛環境及操作控性一直是汽車設計及製造的課題之一，然而影響這方面的因素幾乎完全取決底盤系統，尤其是懸吊系統。但是不同人對於駕駛環境及操控性所要求的「品質」不同，例如年輕人與老人，男人與女人，可能都有他們相當主觀的「品質」要求。因此要設計一個固定型車子以適合不同「品質」要求是幾乎不可能的！更何況因為汽車底盤系統是由許多次系統組成，而這些次系統除了完全為動態非線性系統外，其間都有非常密切的交互作用。這些交互作用及動態特性使得底盤系統設計工作變得相當複雜，而懸吊系統是汽車底盤系統最重要的一部份，對汽車的操控性及舒適性控制有決定性的影響，因此，使用可調整阻尼器是一種可行的方法，不管是被動、半主動或主動控制之懸吊系統都是為達到此目的[1]，電流變液避震器之懸吊系統也是一種可以控制阻尼係數的新方法。

電流變液(Electro-rheological fluid)是一種由不導電液體與可極化之微細粉顆粒均勻攪拌混合而成的，在電場的作用下，其黏度會產生明顯的變化，不只使流體變稠，甚至凝固而變成塑性體，並具有抗剪切降伏應力。當電場消失時，電流變液立即變稀並迅速恢復原有的液體狀態，這種變化稱為電流變效應(Electro-rheological effect)，其變化

過程是可逆，而且可以連續控制[2]，應用廣範[3] [4]，電流變液避震器就是利用此特性，用電場來控制阻尼係數，以改變組尼特性[5]。

若使用感測器及設計一控制器控制阻尼特性，可隨振動狀況自動改變組尼特性，即所謂的半主動控制[6]，本專題使用被動調整的方式來改變阻尼特性。

本專題製作是以電腦輔助工程分析之技術，探討汽車懸吊系統避震之性能。以現有汽車的參考資料如：車身、彈簧、阻尼器及輪胎等資料[6]，利用電腦模擬軟體來分析汽車避震系統，透過電腦模擬分析來瞭解避震系統的性能，並可改裝現有的避震器，或設計新的避震系統。使用 Matlab 之 Simulink[7]~[10] 及氣液壓動態模擬分析軟體之 HyPneu[11][12]，模擬不同路面的狀況，從電腦模擬中，瞭解出汽車受撞擊後，車身與車上的人的受震情形，作為判斷汽車在駕駛時舒適性與操控性的參考標準。另外，從模擬中改善避震系統的性能，通常是以改變避震器阻尼係數的方法，來控制汽車避震系統的制震效果。經由懸吊系統模式的適當分析，了解減震的功效。本專題使用電流變液避震器的可控性，直接控制電場來改變避震器的阻尼係數，改善汽車懸吊系統的減震特性，以適應不同路面環境及操控性的要求。經由本專題研究的結果，所建立懸吊系統的模式，可作為汽車修改或設計懸吊系統的參考。

## 第二章 懸吊系統簡介

### 2-1 前言

懸吊系統(suspension system)位於車軸與車身或車架之間,其功用為:

- 1、支撐車重。
- 2、緩衝路面上的凹凸不平之衝擊。
- 3、維持輪胎與路面間的牽引力。
- 4、維持車輪之對正。

懸吊系統使車子在行經不平的路面時,車子會有最小的上下運動;也使車子在轉彎之時,具有最小的晃動,以及使輪胎與路面之間,失去牽引力的傾向達到最小。此種緩衝動作,可使道路衝擊(road shocks)對於車上人員及負載的影響減低到最小。道路衝擊是由於輪胎在遇道路面凹凸不平之處而引起之上下移動的動作,懸吊系統主要的目的就是使乘坐者減小這些道路的衝擊振動,並提供汽車乘客的舒適性,但太過舒適會影響車子的操控性,兩者如何兼具是懸吊系統的重要課題。

## 2-2 懸吊系統的組成

懸吊系統是連結車身與輪胎的一種裝置，主要是支持車身的重量及吸收凹凸路面的衝擊，懸吊系統的好壞會直接影響車輛的操控性及乘坐的舒適性，故整車的懸吊系統是一種多自由度的系統，其複雜性增加分析與計算的困難度。為了易於了解與分析，則不考慮車輛的左右及前後搖晃運動，僅以簡化的 1/4 車輛懸吊系統模式來考慮。其主要的組成是由阻尼器、彈簧、輪胎及車身結合而成的一種系統，如圖 2-1 所示，這是一般 1/4 車輛懸吊系統的標準模式。

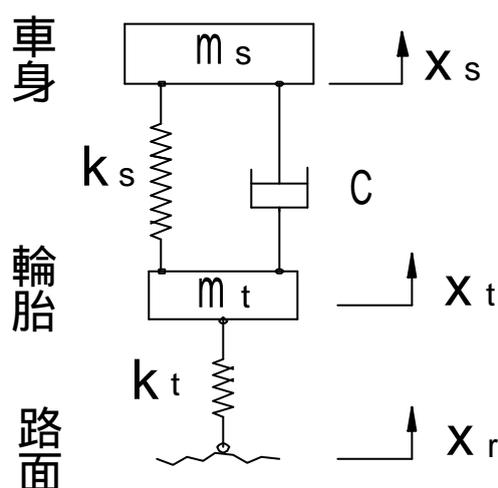


圖 2-1 1/4 車輛懸吊系統的模式

以  $m_s$  表示車身質量， $m_t$  表示輪胎質量， $k_t$  表示輪胎的彈性係數類比為彈簧， $k_s$  為避震器上彈簧的彈性係數， $C$  為阻尼器之阻尼係數，此模式架構通常稱為懸吊系統的 1/4 車輛模式。

電流變液避震器的懸吊系統與傳統的懸吊系統主要的差異，是以可用電場控制的電流變液避震器取代傳統部能調整的液壓避震

器，如圖 2-2 所示。

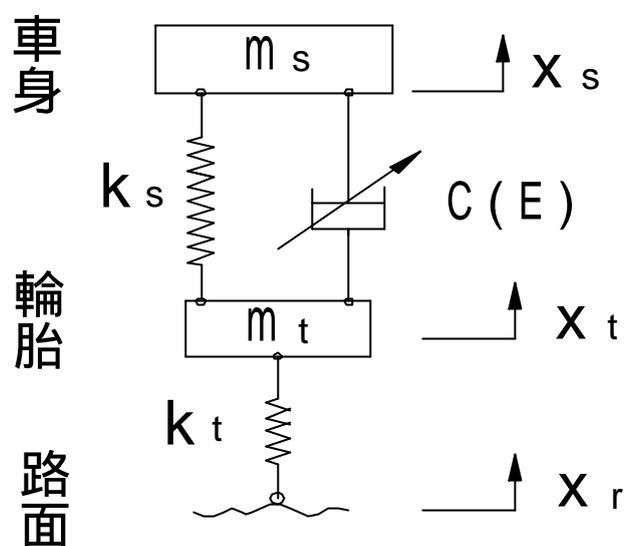


圖 2-2 1/4 車輛電流變液懸吊系統的模式

### 2-3 電流變液避震器的簡介

懸吊系統最主要的組件就是避震器，傳統的避震器是一種管狀的液壓裝置，裝於每一車輪旁邊，以控制或消除彈簧的震動；避震器的一端接在車體或車架上，另一端則連接一個會移動的懸吊組件上，如車軸外殼或控制臂，彈簧長度的改變則可讓避震器伸長或縮短。液壓避震器是由彈簧和阻尼器組成的，彈簧的功能主要是暫時儲存輪胎受道路面凹凸的衝擊所產生的能量，而使彈簧壓縮，讓這些衝擊能量不至於直接傳至車身及乘客。但是輪胎離開凹凸處，彈簧開始伸張，此能量又被釋放出來；而阻尼器就是用來消耗彈簧儲存的能量，使車輛

的振動逐漸消除。

車輛行進時本身就是一個動態系統，其震動產生的原因非常多，例如路面凹凸、引擎震動、風向及風速等等。車輛工程師一直努力避免讓這些震動干擾乘客或盡量減輕乘客的震動，其中一個最直接有效的方法就是加裝液壓阻尼器，藉由控制液壓阻尼器之阻尼力達到避震效果。一個傳統的液壓阻尼器基本上由液壓阻流閥及液壓缸所組成，如圖 2-3 所示，有單管型及雙管型兩種液壓阻尼器。

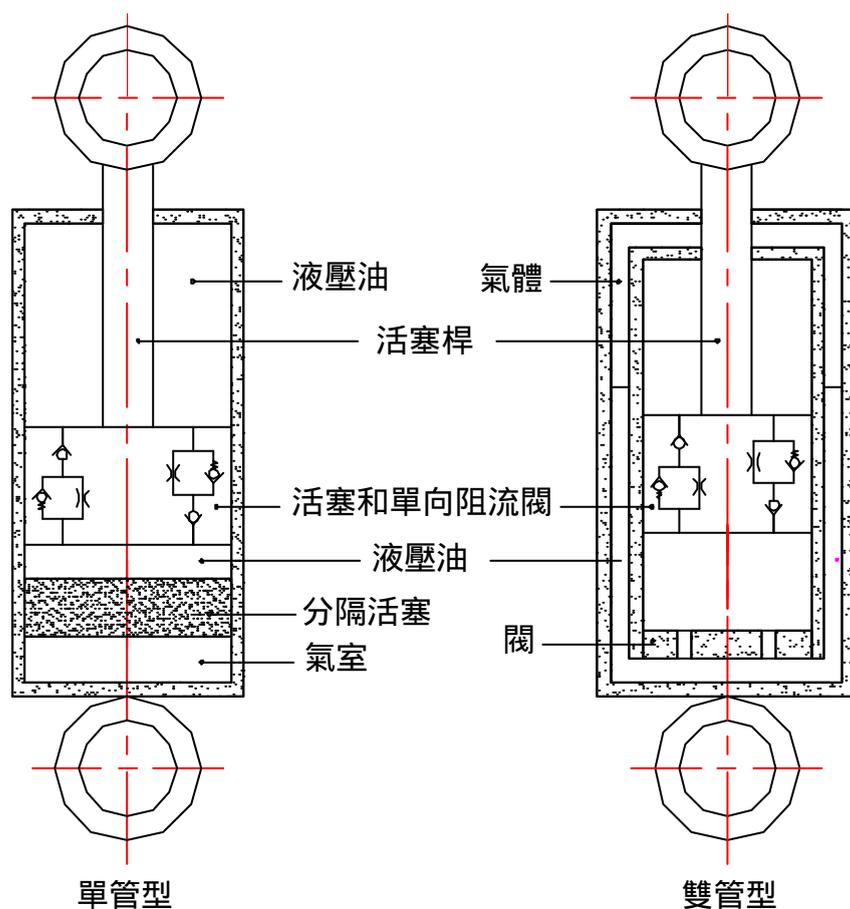


圖 2-3 液壓阻尼器

如何設計避震器，使其產生應有的避震效果，是一重要的課題。如果阻尼器的阻尼係數太小，則系統無法提供足夠的阻尼力，所以無法有效分散衝擊所造成的能量；但如果阻尼係數太大，可能會使輪胎與地面無法有良好的接觸，這會影響控制的安全性，要達到這種效果，就是使用可以調整阻尼係數的避震器，而電流變液避震器就具備此效果的新式避震器。

電流變液避震器是由電流變閥與壓缸組合而成，如圖 2-4 所示。電流變閥是用來控制壓缸活塞上面伸張室及下面壓縮室之間的壓力，而其壓力可由電場強度來調整。

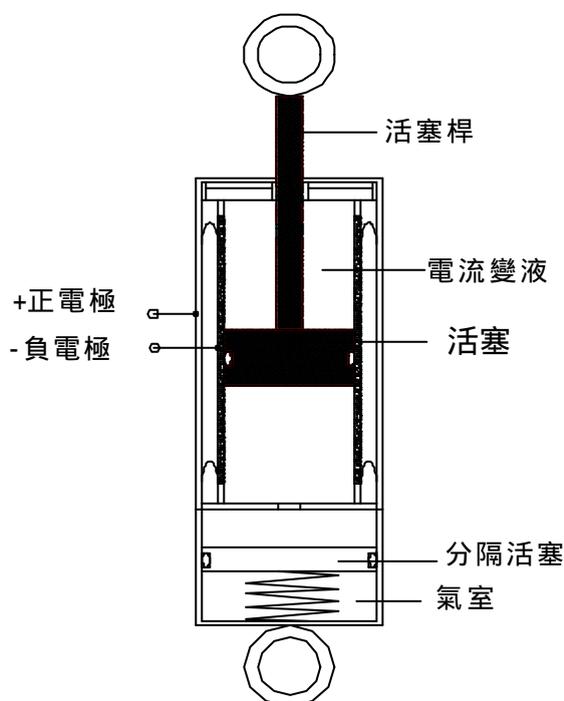


圖 2-4 電流變液避震器

### 第三章 懸吊系統的模式

使用電流變液之懸吊系統的模式，其阻尼器之阻尼係數是可隨電場強度而變，故阻尼係數  $C(E)$  是電場強度的函數，其懸吊系統的模式，如圖 3-1。電流變液懸吊系統模式使用牛頓定律及平衡原理可導出系統的數學模式，將電流變液懸吊系統模式分解成兩個自由體圖，依平衡原理： $\Sigma F = 0$ ，再由牛頓定律： $F = ma$ ，可導出下列的數學式子。

將車身及輪胎當作一自由體圖，車身質量由彈簧力及阻尼力來支撐，而輪胎質量由輪胎彈簧力來支撐，並承受避震器的彈簧力及阻尼力兩負載，由力平衡原理可得下列數學式子：

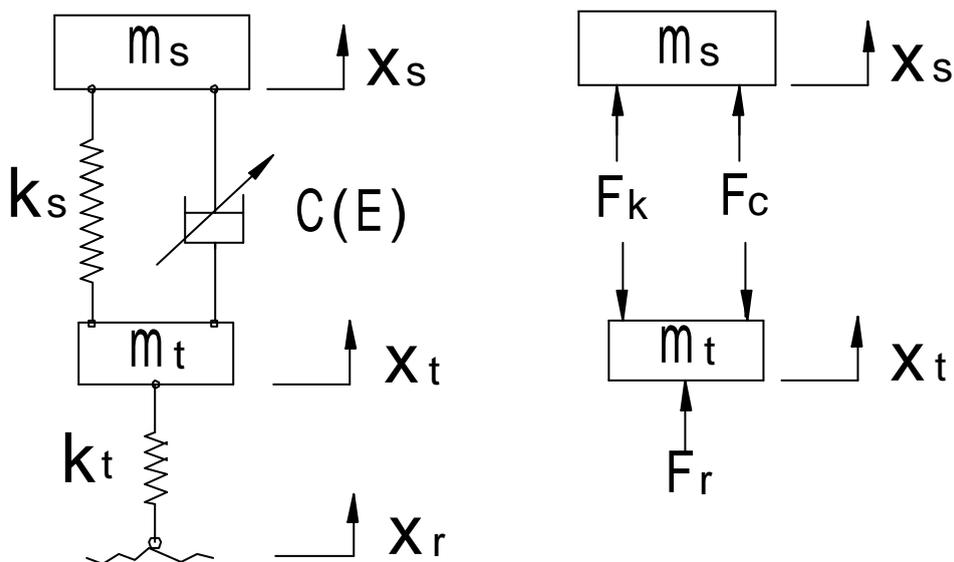


圖 3-1 電流變液之懸吊系統的模式自由體圖

由車身的自由體圖  $\Sigma F = 0$

車身的慣性力 + 阻尼器的阻尼力 + 彈簧的彈簧力 = 0

$$F_s + F_c + F_k = 0 \quad (1)$$

$$\text{車身的慣性力} \quad F_s = ma = m_s \ddot{x}_s \quad (2)$$

$$\text{阻尼器的阻尼力} \quad F_c = C(E)(\dot{x}_s - \dot{x}_t) \quad (3)$$

$$\text{彈簧的彈簧力} \quad F_k = k(x_s - x_t) \quad (4)$$

$$m_s \ddot{x}_s + C(E)(\dot{x}_s - \dot{x}_t) + k_s(x_s - x_t) = 0 \quad (5)$$

同理，由輪胎的自由體圖  $\Sigma F = 0$

輪胎的慣性力 - 阻尼器的阻尼力 - 彈簧的彈簧力 + 輪胎的彈簧力 = 0

$$F_t - F_c - F_k + F_r = 0 \quad (6)$$

$$\text{輪胎的慣性力} \quad F_t = ma = m_t \ddot{x}_t \quad (7)$$

$$\text{阻尼器的阻尼力} \quad F_c = C(E)(\dot{x}_s - \dot{x}_t) \quad (8)$$

$$\text{彈簧的彈簧力} \quad F_k = k_s(x_s - x_t) \quad (9)$$

$$\text{輪胎的彈簧力} \quad F_r = k_t(x_t - x_r) \quad (10)$$

$$m_t \ddot{x}_t - C(E)(\dot{x}_s - \dot{x}_t) - k_s(x_s - x_t) + k_t(x_t - x_r) = 0 \quad (11)$$

由式子(5)及(11)整理得下列二式：

$$\ddot{x}_s = -\frac{1}{m_s} [C(E)(\dot{x}_s - \dot{x}_t) + k_s(x_s - x_t)] \quad (12)$$

$$\ddot{x}_t = \frac{1}{m_t} [C(E)(\dot{x}_s - \dot{x}_t) + k_s(x_s - x_t) - k_t(x_t - x_r)] \quad (13)$$

## 第四章 模擬方塊圖的建圖步驟

本章將建立模擬方塊圖的模式，使用 Matlab 之 Simulink 圖形化的方塊界面建構懸吊系統的模型及使用氣液壓動態模擬軟體 HyPneu 圖形化建構同樣懸吊系統的模型，並比較其模擬結果。

### 4-1 Simulink 建構模型

由式子(12)及(13)，使用 Simulink 圖形化的方塊界面建構懸吊系統的模型，其建構模型的步驟如下：如圖 6 所示。

步驟(一)：打開 Simulink 之 Window 視窗，如圖 4-1。

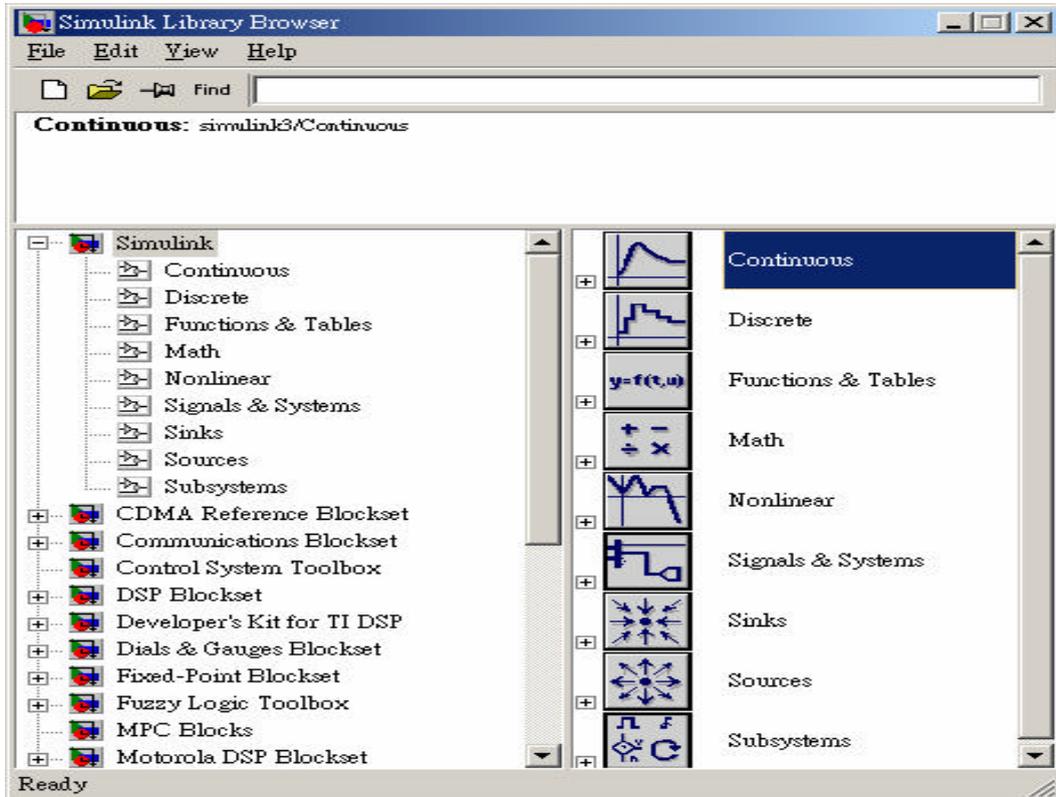


圖 4-1

步驟(二)：選擇圖控元件 -- Gain，如圖 4-2。

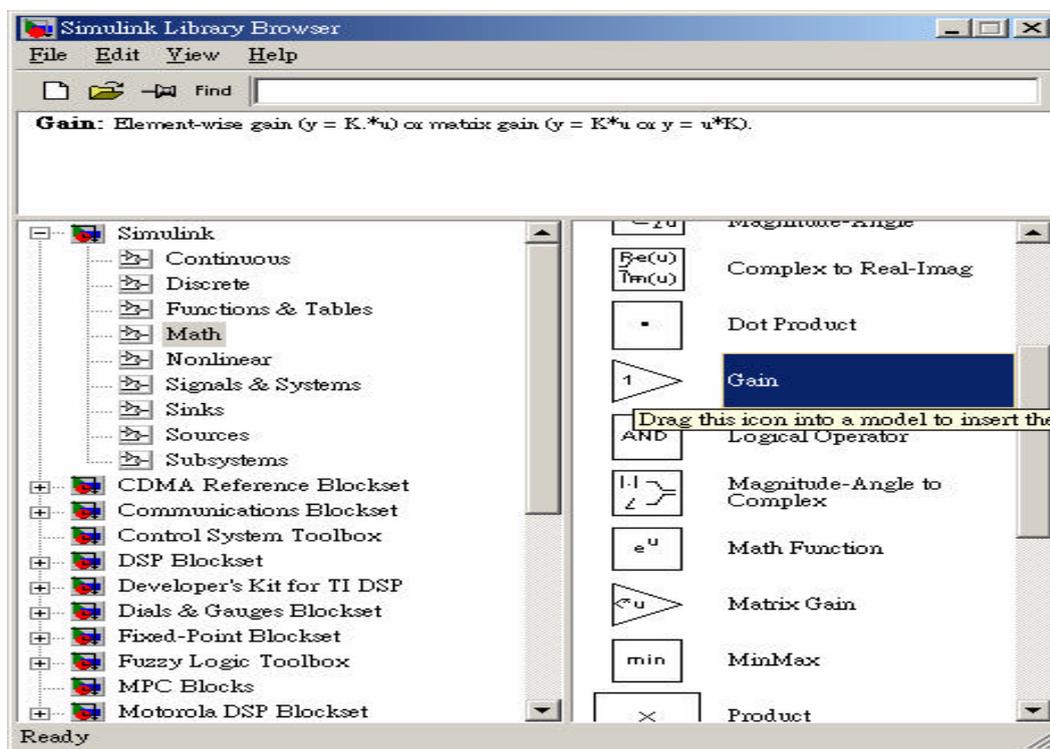


圖 4-2

步驟(三)：選擇圖控元件 — Step，如圖 4-3。

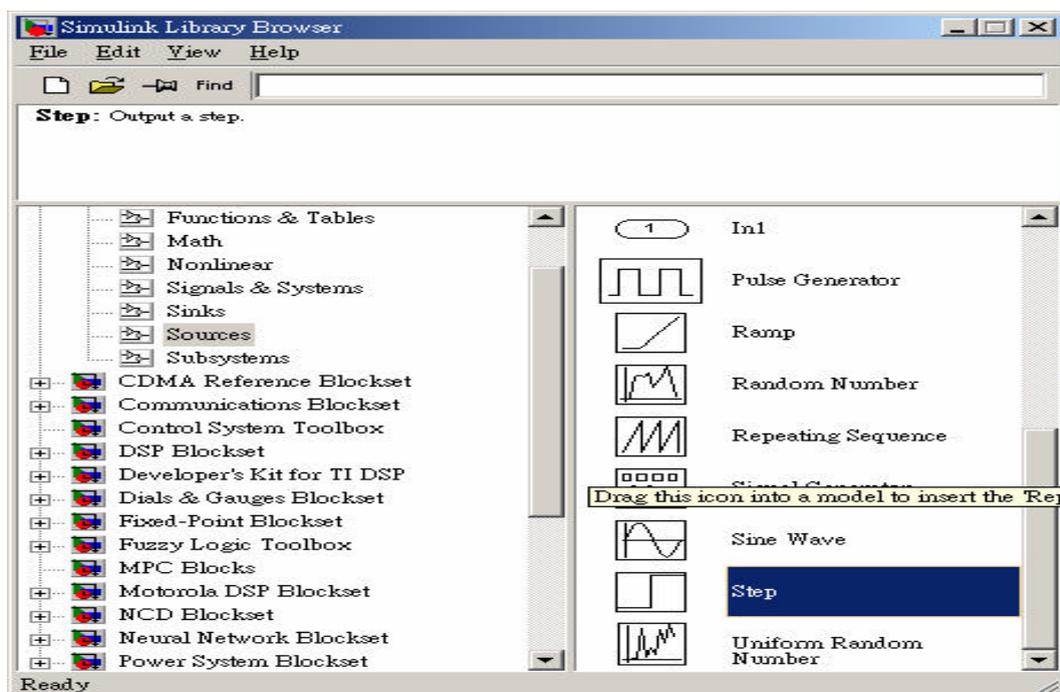


圖 4-3

步驟(四)：選擇圖控元件 — Sum，如圖 4-4。

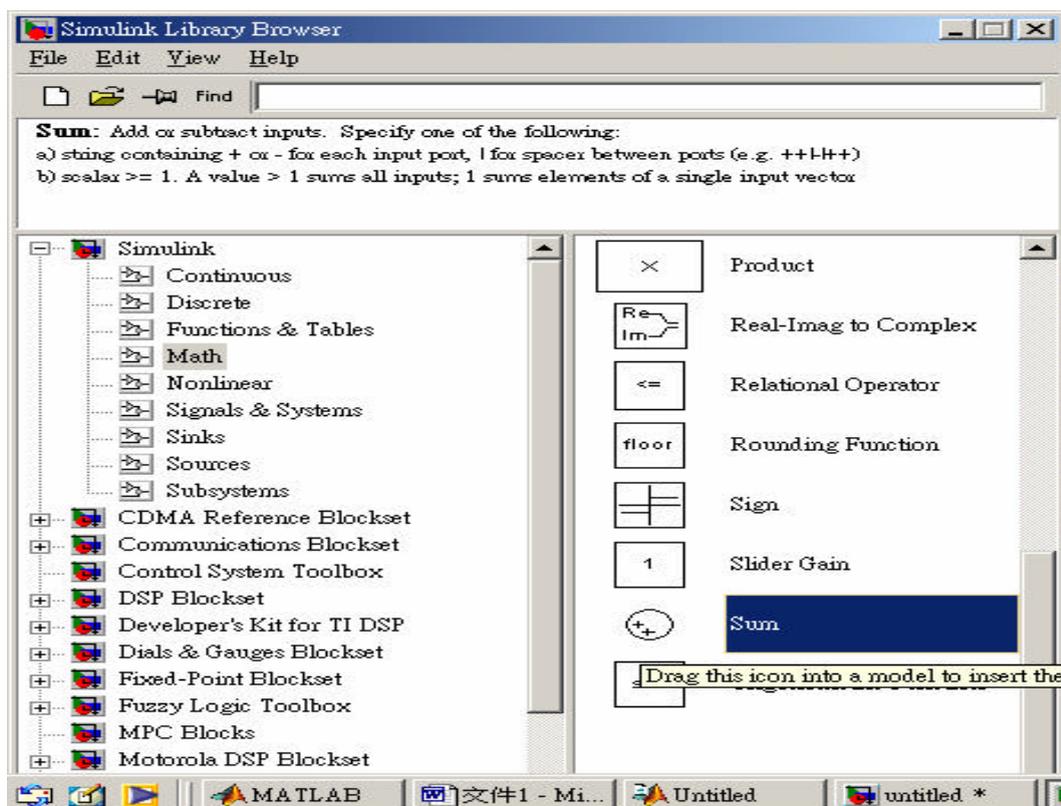


圖 4-4

步驟(五)：選擇圖顯示元件 — XY Graph，如圖 4-5。

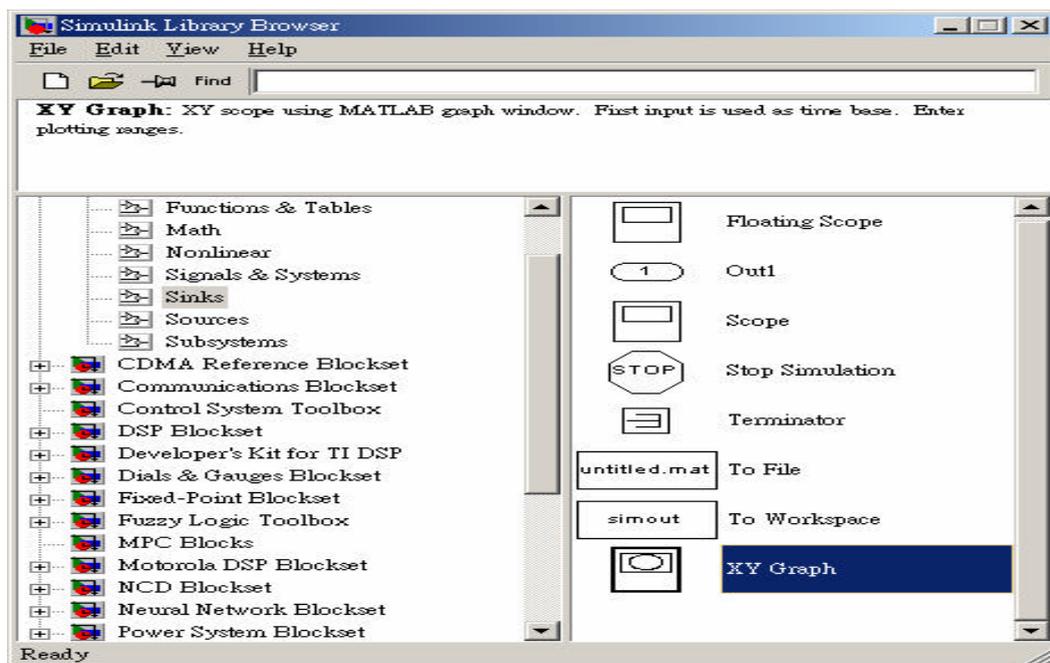


圖 4-5

步驟(六)：選擇圖顯示元件 — Scope，如圖 4-6。

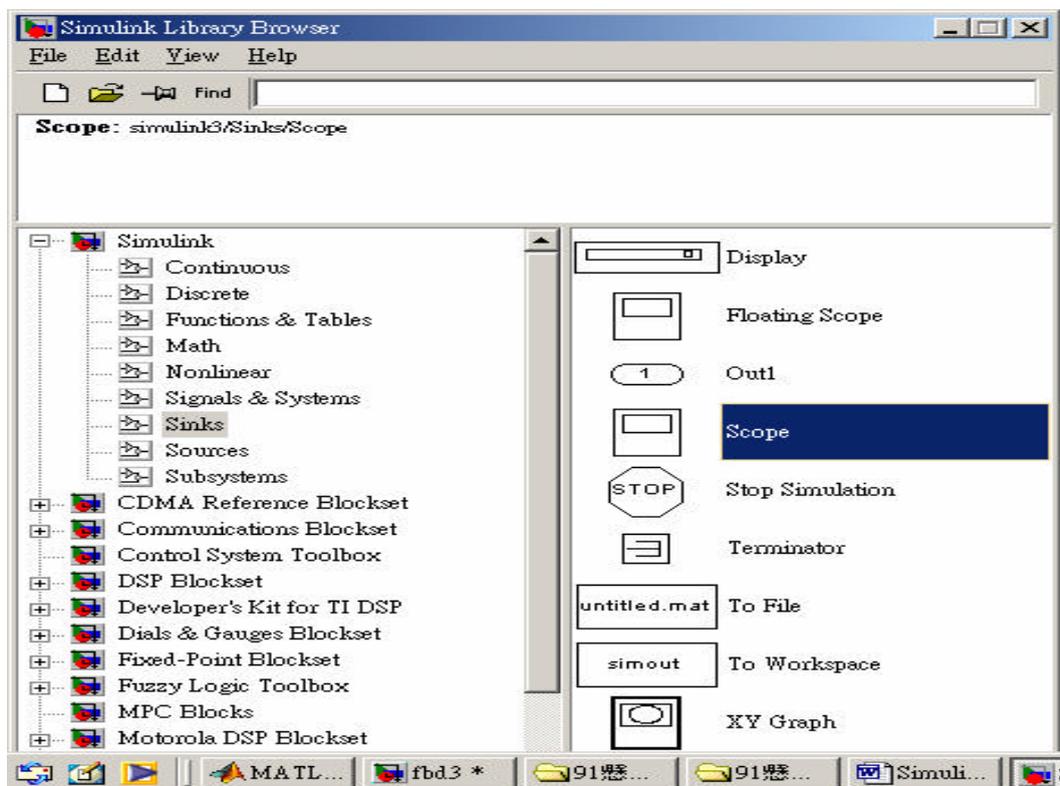


圖 4-6

步驟(七)：將所有圖控元件依上述方法載入同一視窗內，如圖 4-7。

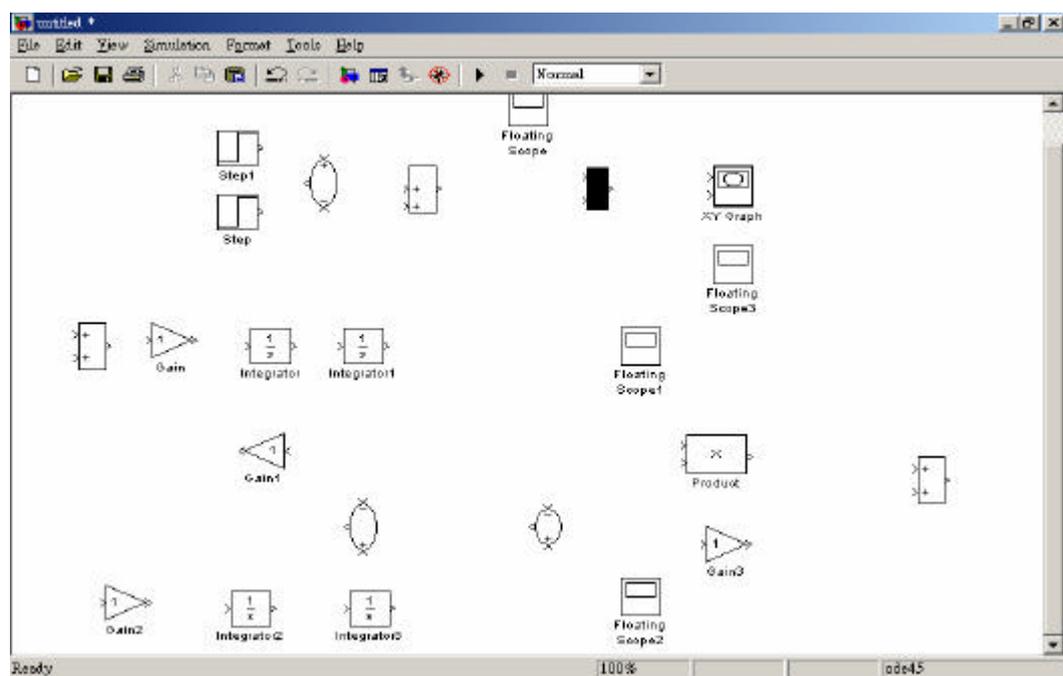


圖 4-7

步驟(八)：將所有圖控元件依運動方程式(12)及(13)式之相互關係用線連接起來，其步驟如下：

(a) 將(12)及(13)式中相同阻尼力及彈簧力的式子先畫出，如圖

4-8。

$$C(E)(\dot{x}_s - \dot{x}_t) + k_s(x_s - x_t)$$

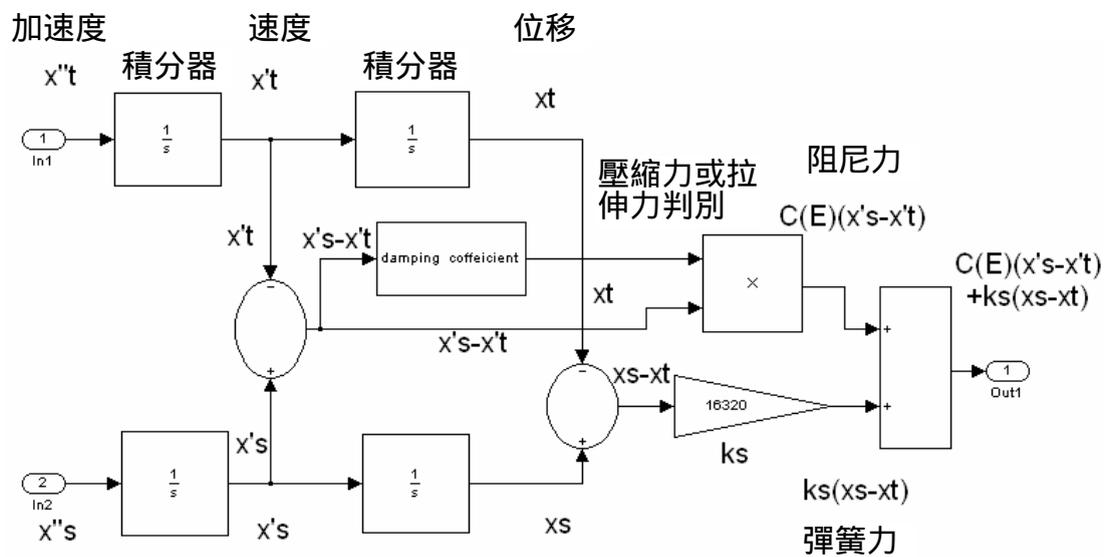


圖 4-8

上列方塊圖可簡化成子系統(subsystem)，如圖 4-9。

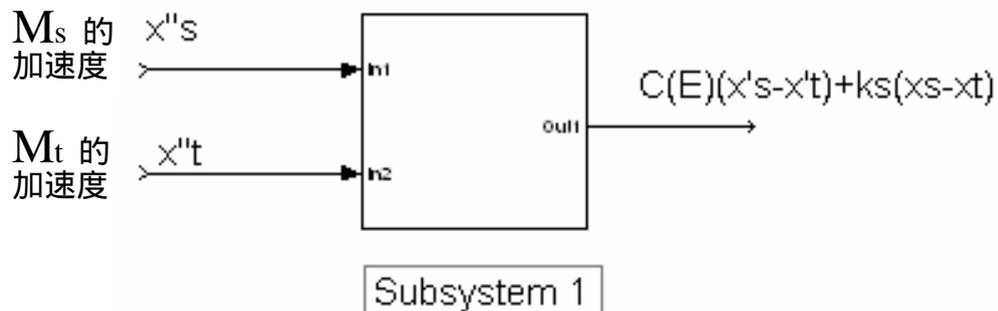


圖 4-9

(b) 建立判斷壓縮行程或拉伸行程的圖控程式，阻尼係數並非常數，而且車輛避震器在壓縮行程時，阻尼力通常遠小於拉伸行程，故壓縮行程與拉伸行程的阻尼係數不同，必須設計一可判斷壓縮行程或拉伸行程的圖控程式，如圖

4-10。當車身垂直上下運動的速度與輪子垂直上下運動的速度相減大於 0 時，即為拉伸行程，選用拉伸行程的阻尼係數  $C_r$ ；若相減小於 0 時，則為壓縮行程，選用壓縮行程的阻尼係數  $C_c$ 。以數學式子表示為

$$\text{若 } In1 = (\dot{x}_s - \dot{x}_f) > 0 \quad Out1 = C_r,$$

$$\text{若 } In1 = (\dot{x}_s - \dot{x}_f) < 0 \quad Out1 = C_c。$$

電流變液避震器則使用被動式的控制方式來調整電場，以改變拉伸行程的阻尼係數及壓縮行程的阻尼係數，在模擬時則直接修改阻尼係數值。

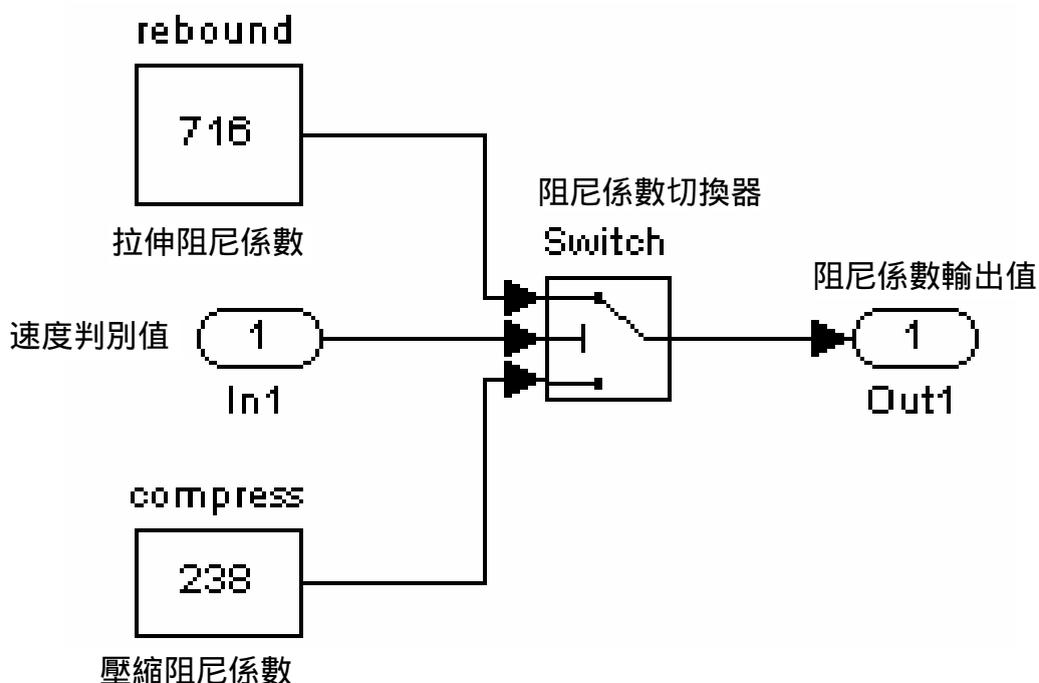


圖 4-10

(b)輸入函數圖控方塊圖的連線，如圖 4-11。車輛撞到凸起的路面狀況，可使用兩個階梯函數相減得到  $x_r$ 。公式(13)之

$$k_t(x_t - x_r)$$

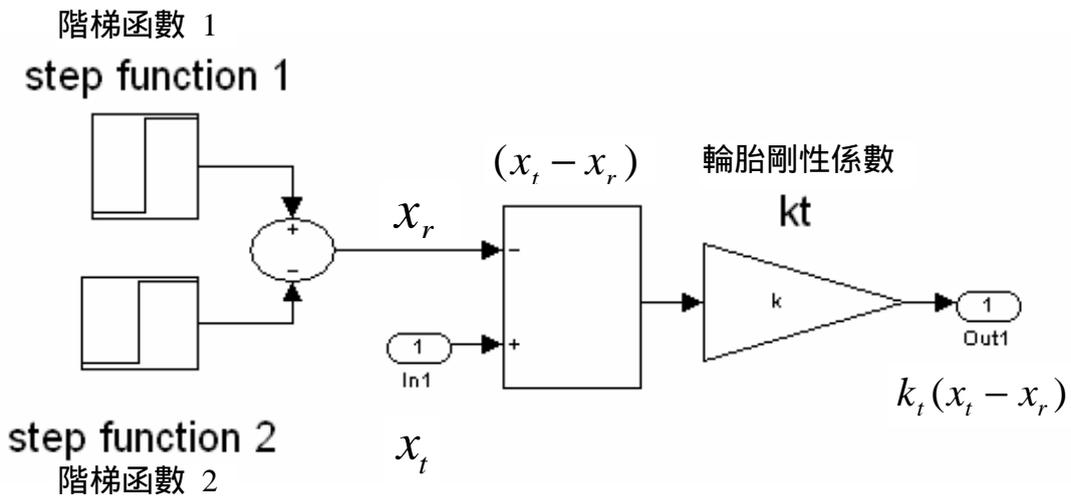


圖 4-11

圖 4-11 可簡化成子系統如圖 4-12。

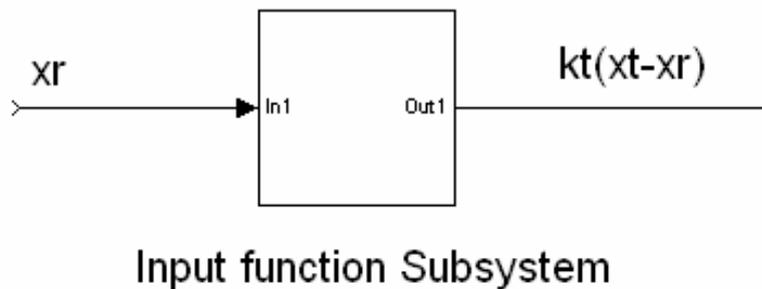


圖 4-12

若將圖 4-9、圖 4-12、 $1/M_t$  及  $1/M_s$  連起來的簡圖如圖 4-13，但是太簡化，則不易了解，故改以圖 4-14 來表示，較為清楚。

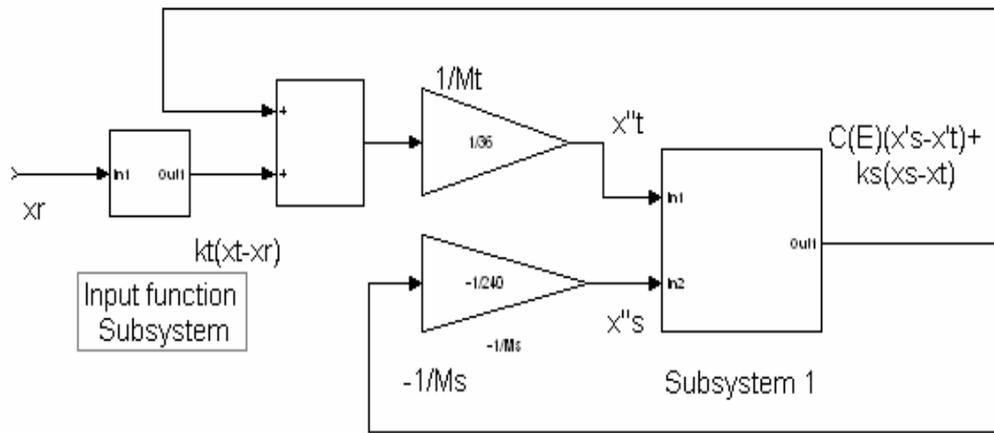


圖 4-13

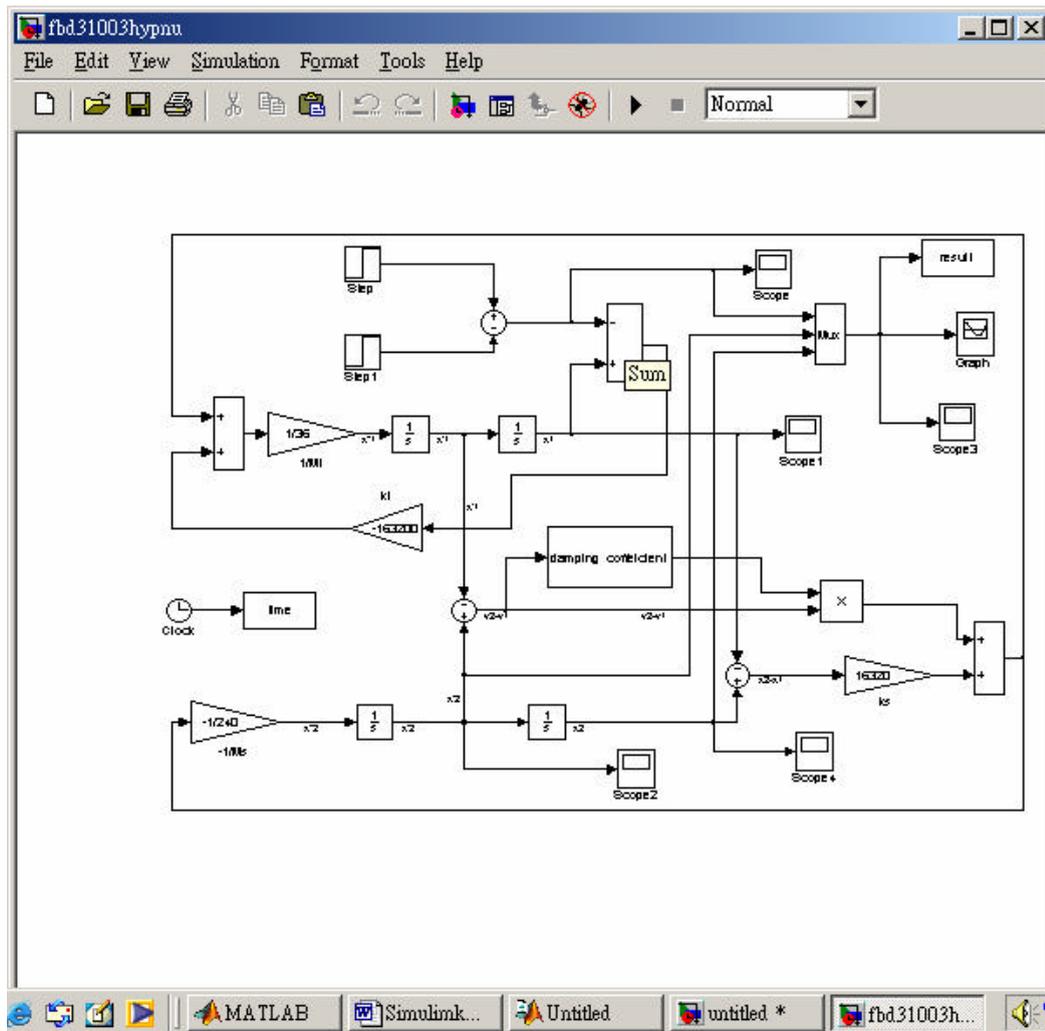


圖 4-14

步驟(九)：將所有圖控元件相互關係用線連接起來後，試 RUN 並調整如下圖。

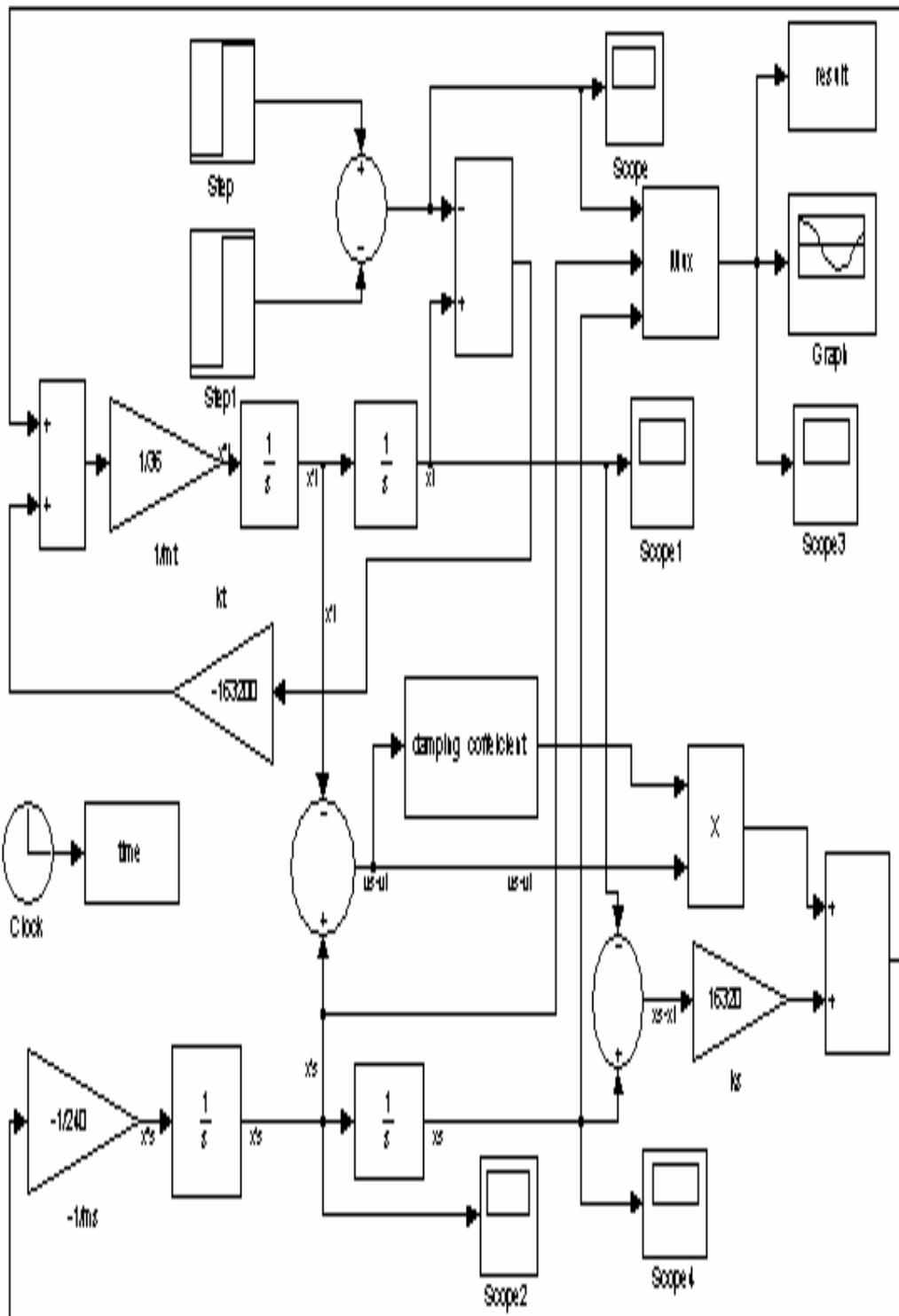


圖 4-14 懸吊系統的 Simulink 圖控方塊圖

## 4-2 HyPneu 建構模型

HyPneu 是氣液壓元件及系統動態模擬軟體，包含機械、電子、氣壓及液壓元件及系統的電腦輔助分析軟體，以下將此軟體作簡要的介紹。

### 4-2-1 HyPneu軟體的介紹

HyPneu是由兩個字組合而成Hydraulic+Pneumatic的縮寫，取Hydraulic之字首Hy音，加上Pneumatic之字首Pneu音組合即成，HyPneu是一個「空油壓元件及系統模擬」之電腦輔助分析軟體。Windows 版的HyPneu能將油壓、氣壓、機械、電子等元件整合在同一系統內，進行油氣壓及伺服控制系統之設計、分析、診斷等工作。HyPneu在各方面之應用，例如飛機起落架、戰車火炮控制系統、衛星作動組件、汽車避震系統、汽車排檔傳動系統、建設機械、生產自動化機械、工作母機、射出成型機、製鋼壓鑄設備"等系統之設計與分析。

本專題利用 HyPneu 電腦輔助設計分析電液變液避震系統，此軟體亦可對車輛底盤之各種次系統進行動態模擬分析。所謂次系統包含：避震器、避震系統頻率分析、氣壓懸吊系統、動力方向盤系統、煞車系統等。並說明如何將底盤各次系統模式化，及如何完成動態模

擬分析及設計關鍵。HyPneu 是種非常方便的電腦輔助分析軟體工具。此軟體由 C++寫成，為一完全圖形介面程式。HyPneu 內建 405 多種元件模式，包含液壓、氣壓、機械及電控等四大類。這些元件模式均以圖式建構，完全做到所謂視覺化模式的功能。使用者可直接以圖示的方式取用 HyPneu 所有元件的模式，建構自己的系統迴路，然後指定元件規格及特性，即可進行系統動態分析。

#### 4-2-2 HyPneu軟體模型的建構程序

運用HyPneu 將系統繪成迴路圖，以下將建模步驟簡要說明如下：

步驟(一)：打開 HyPneu 之 Window 視窗，如圖 4-15。

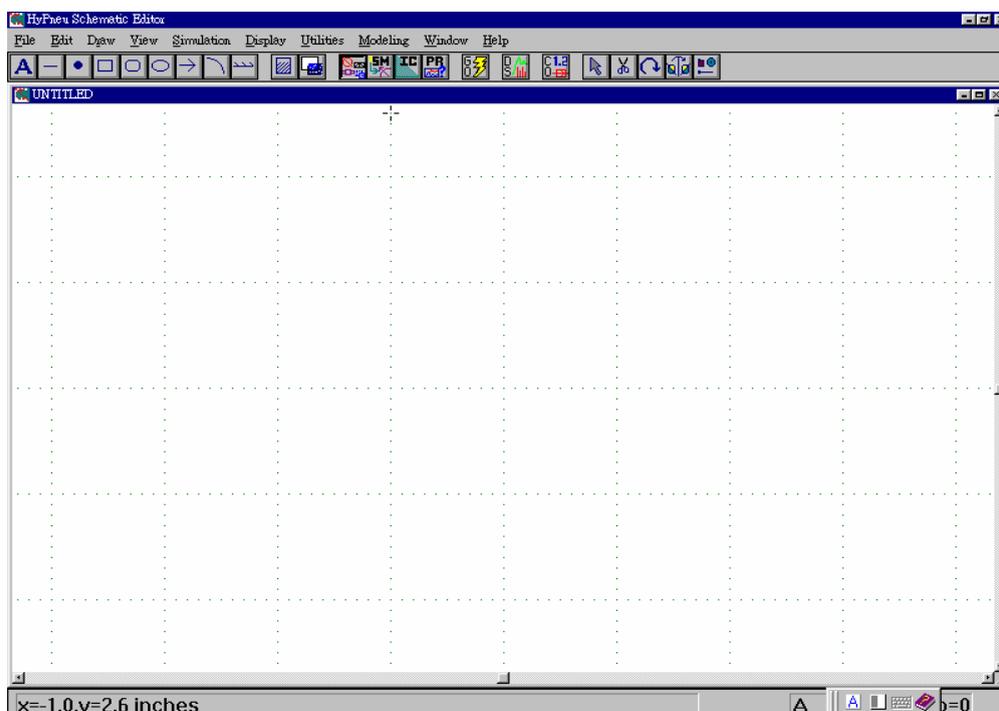


圖 4-15

步驟(二)：選取目錄，如圖 4-16。

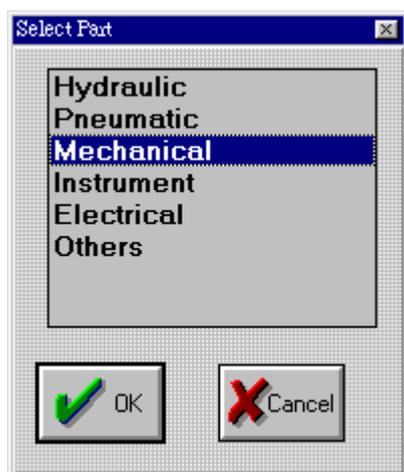


圖 4-16

- 1.Hydraulic(油 壓)
- 2.Pneumatic(氣 壓)
- 3.Mechanical(機 械)
- 4.Instrument(儀 器)
- 5.Electrical(電 子)
- 6.Others(其 他)

步驟(三)：選取機械圖示目錄，如圖 4-17。

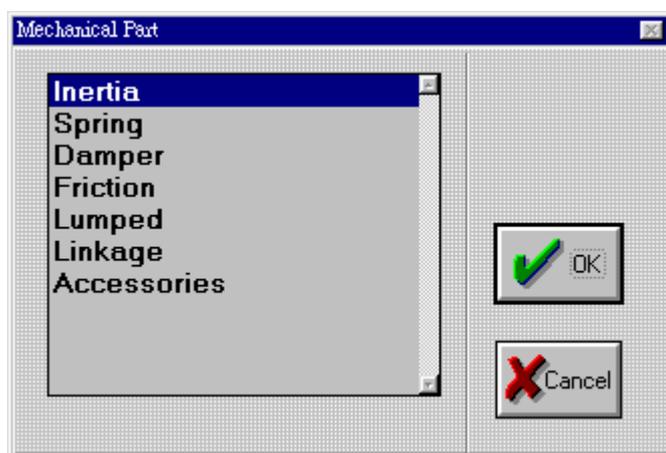
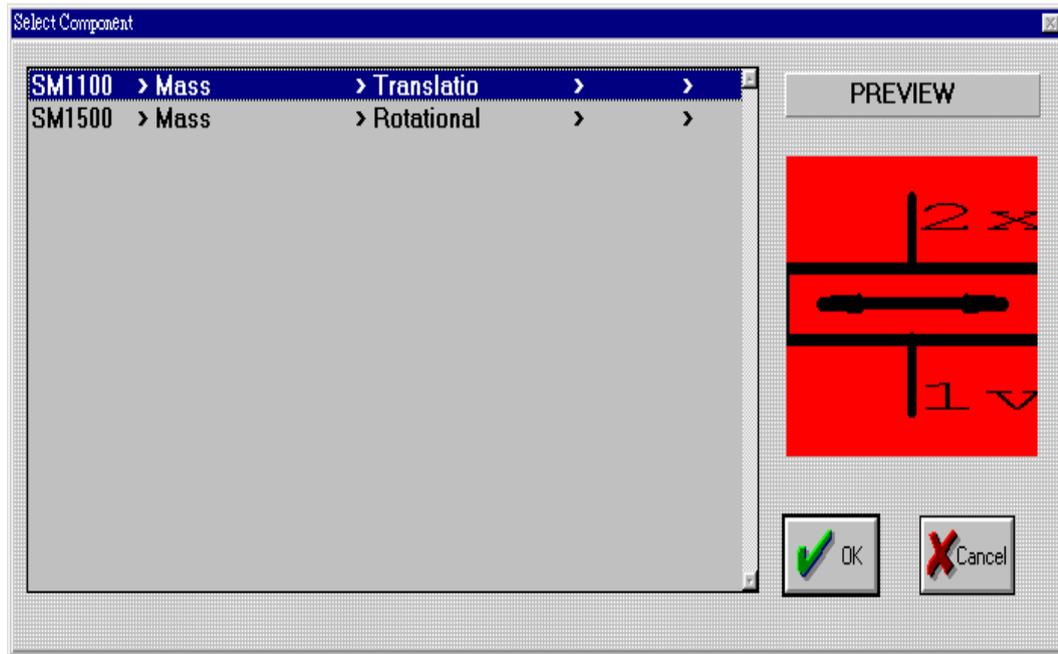


圖 4-17

- 1.Inertia(質 量)
- 2.Spring(彈 簧)
- 3.Damper(組尼器)
- 4.Friction(摩 擦)
- 5.Lumped
- 6.Linkage(連 桿)
- 7.Accessories(配 件)

步驟(四)：選取質量元件，如圖 4-18。



Translation=直線運動

Rotational=旋轉運動

圖 4-18

步驟(五)：貼到視窗，如圖 4-19。

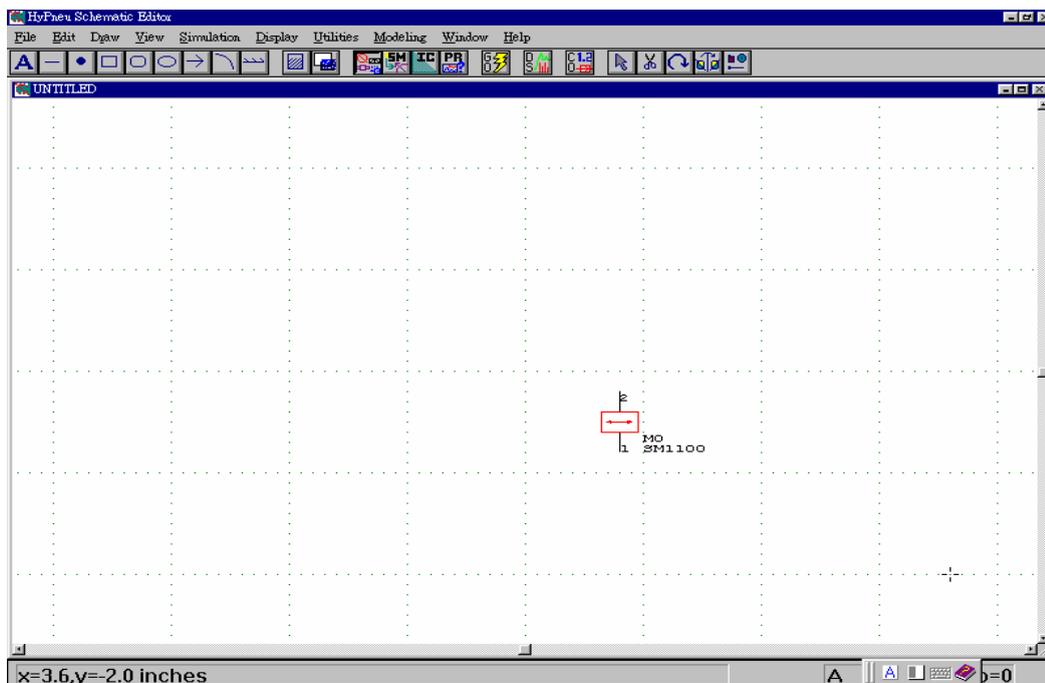


圖 4-19

步驟(六)：選取另一質量元件，如圖 4-20。

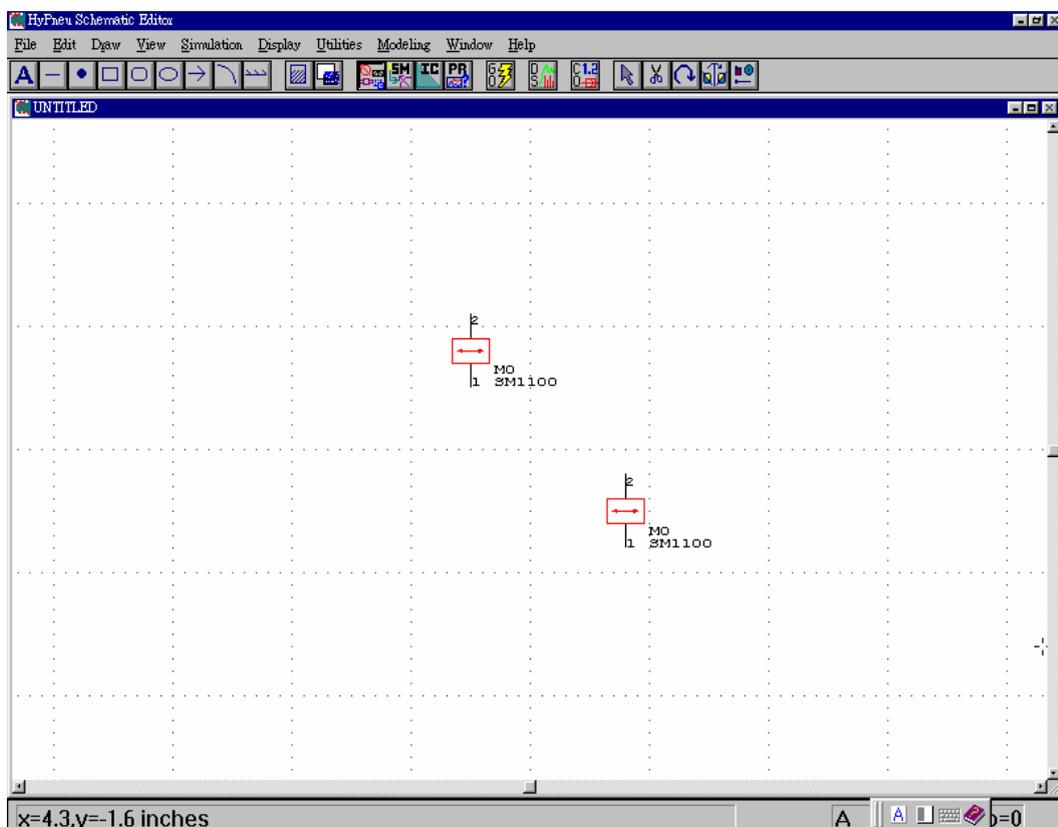
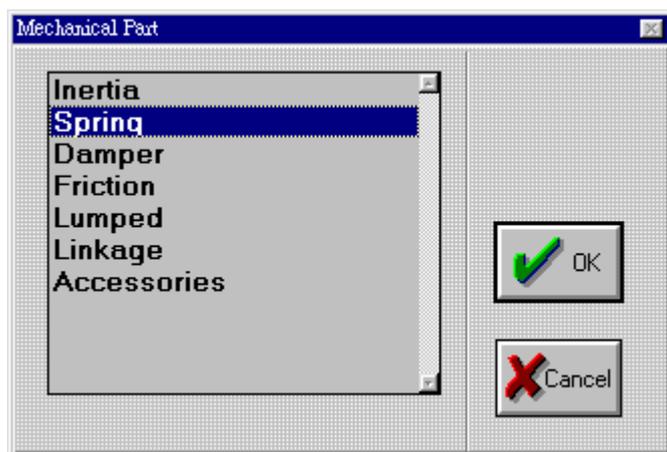


圖 4-20

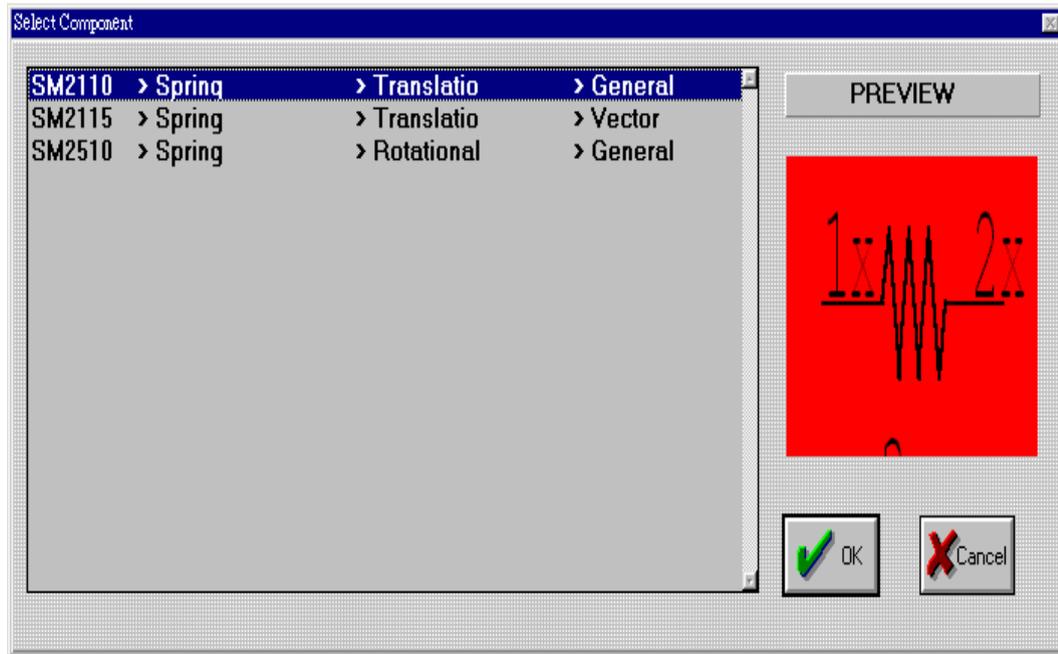
步驟(七)：選取機械圖示目錄，如圖 4-21。



1. Inertia(質量)
2. Spring(彈簧)
3. Damper(組尼器)
4. Friction(摩擦)
5. Lumped
6. Linkage(連桿)
7. Accessories(配件)

圖 4-21

步驟(八)：選取彈簧元件，如圖 4-22。



Translato = 直線運動    Rotational = 旋轉運動

General = 純量    Vector = 向量

圖 4-22

步驟(九)：將選取的兩各彈簧貼到視窗，如圖 4-23。

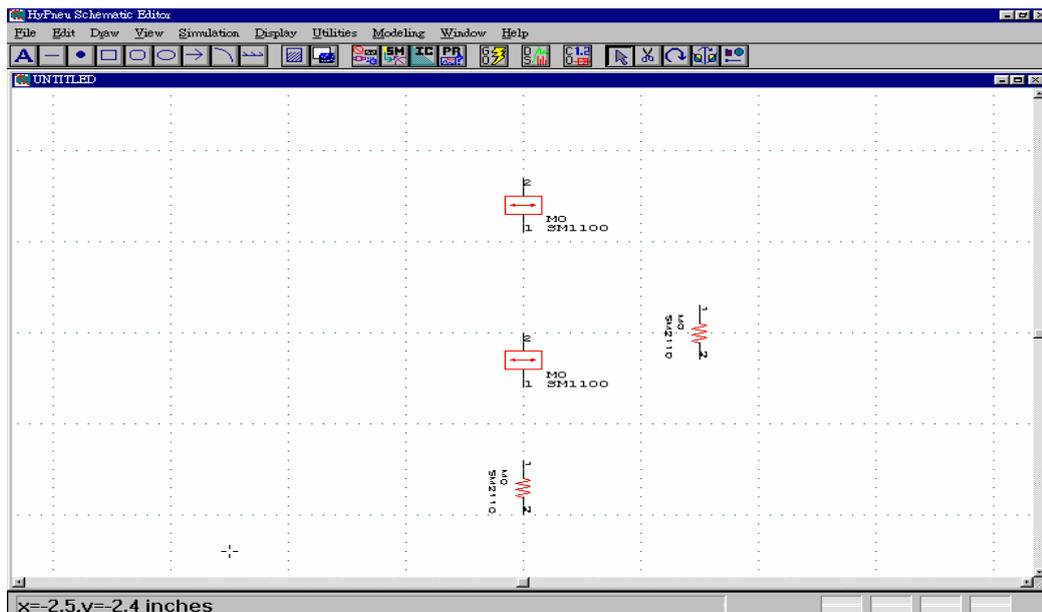


圖 4-23

步驟(十)：選取阻尼器元件，如圖 4-24。

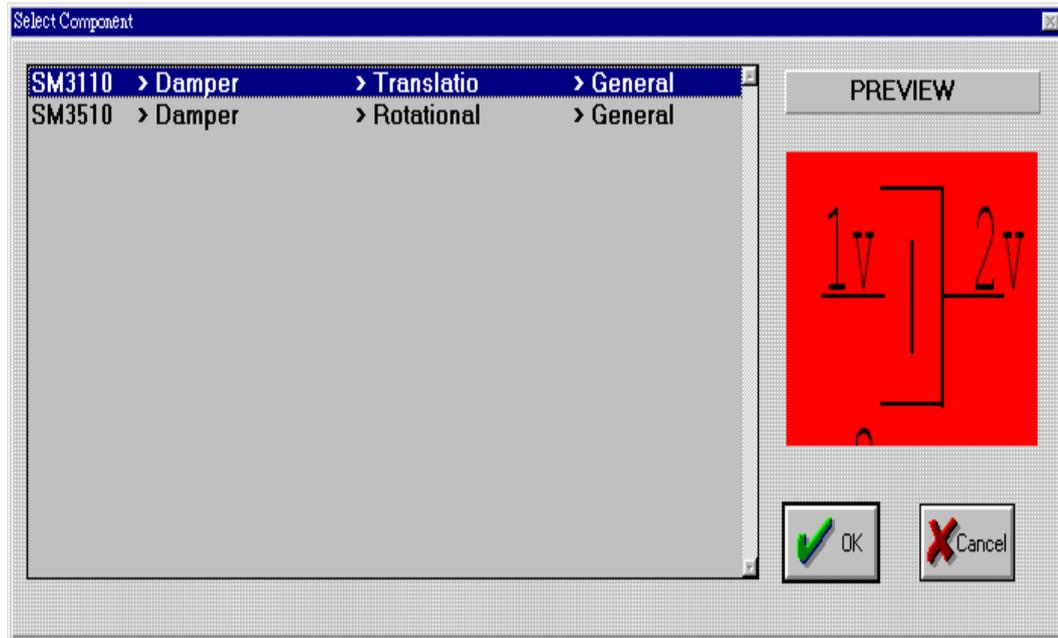


圖 4-24

步驟(十一)：將選取的阻尼器元件貼到視窗，如圖 4-25。

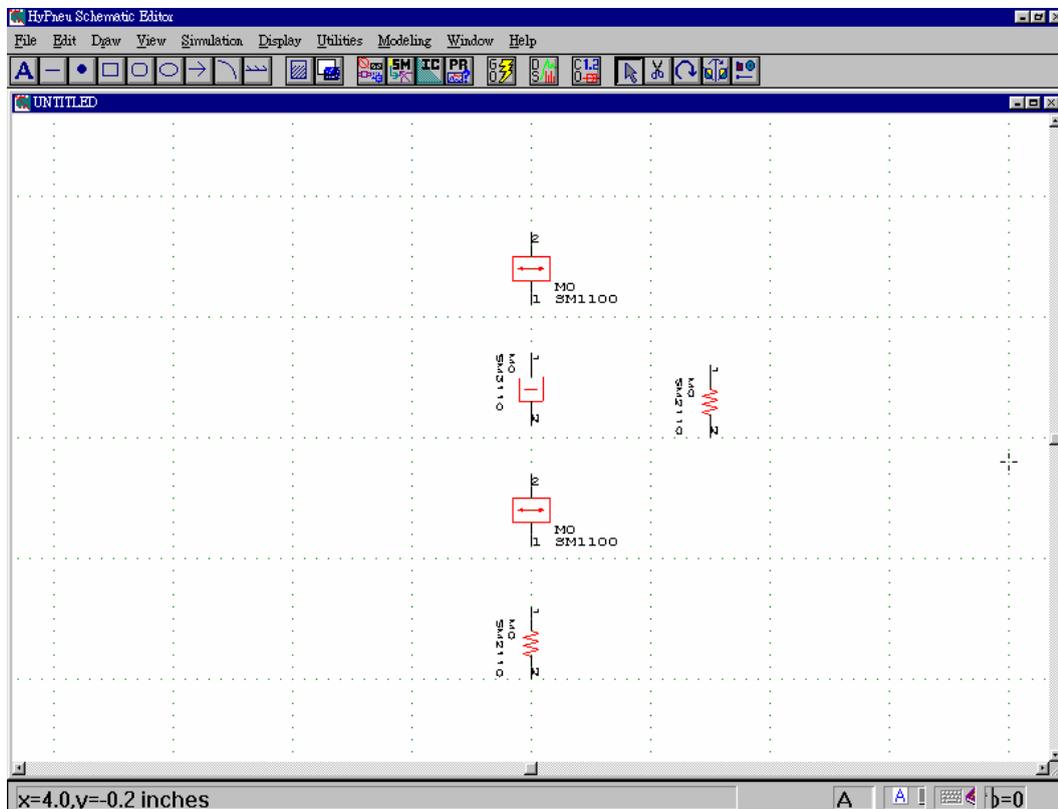


圖 4-25

步驟(十二)：打開訊號目錄，如圖 4-26。

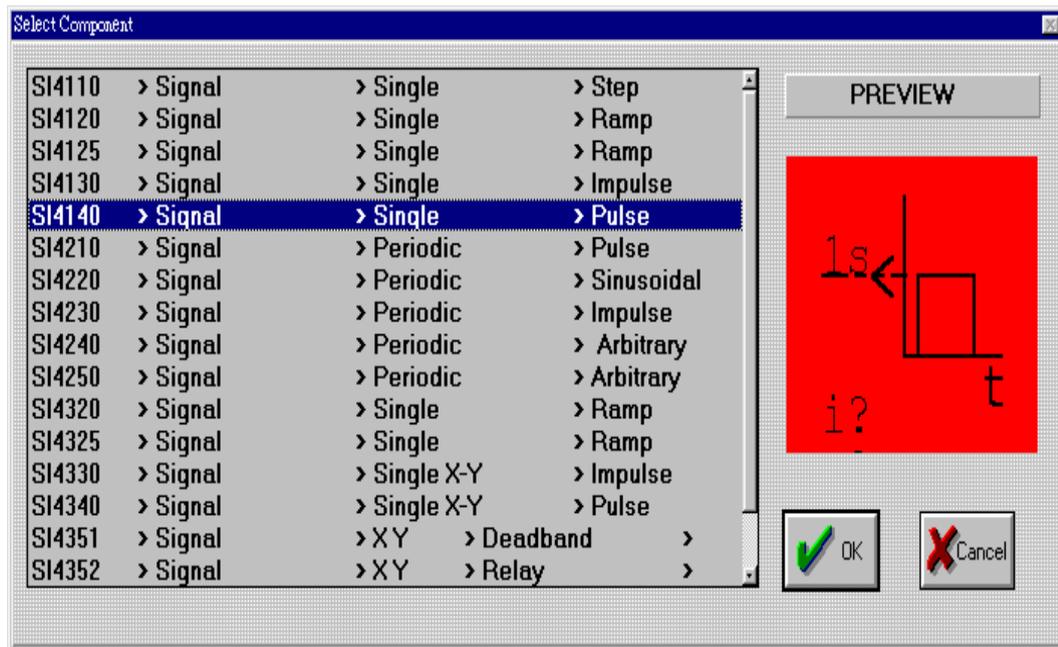


圖 4-26

步驟(十三)：將選取的階梯訊號貼到視窗，如圖 4-27。

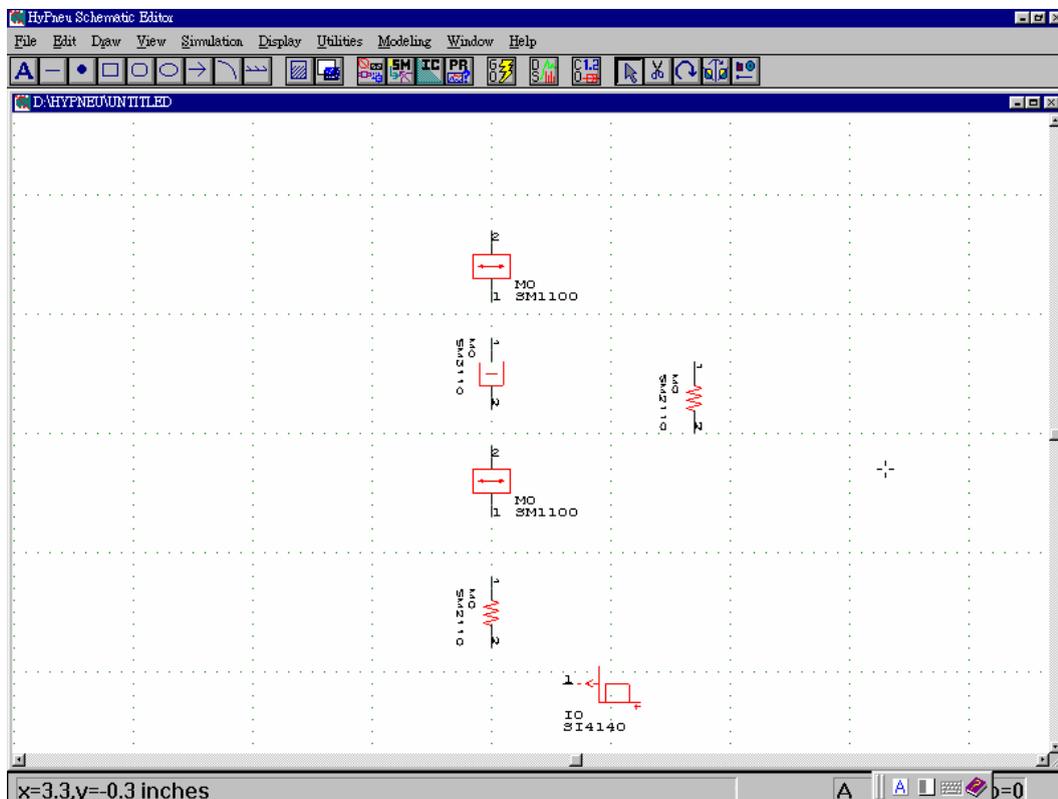


圖 4-27

步驟(十四)：所有圖控元件用線連接起來，如圖4-28，即可進行模擬。

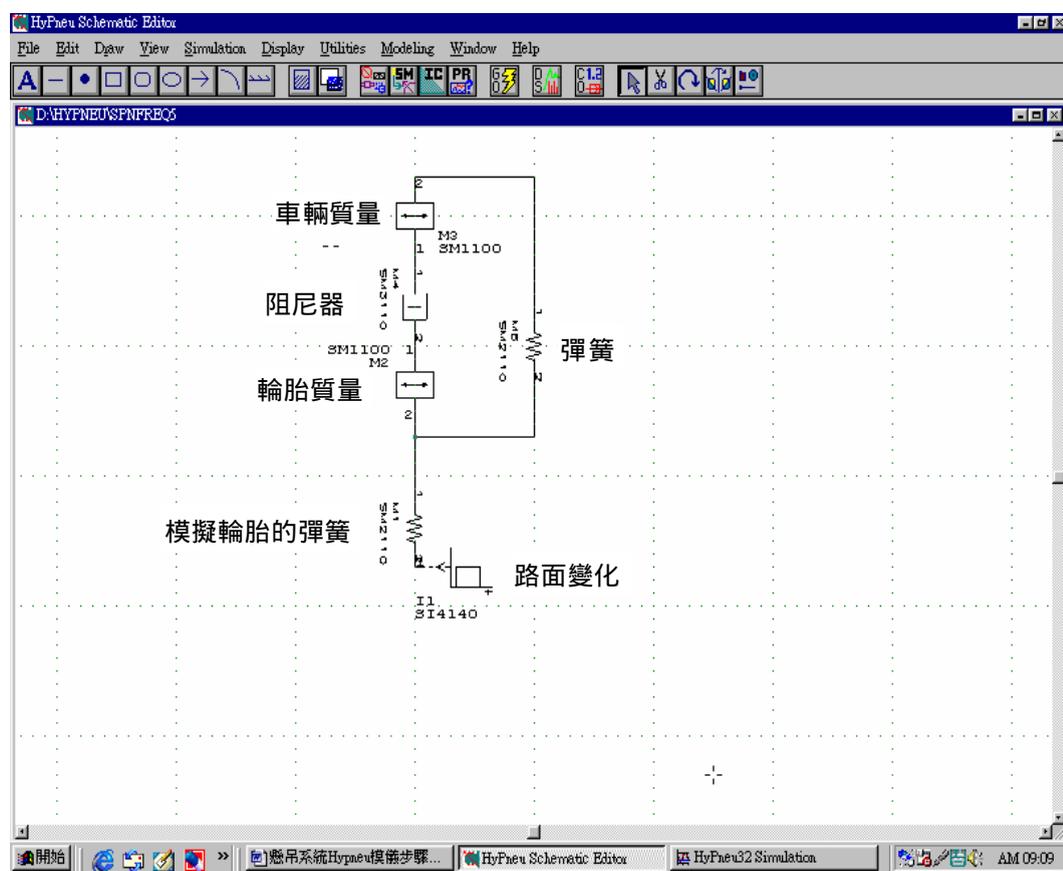


圖 4-28 Hypneu 模擬 1/4 車輛懸吊系統的模式

## 第五章 Simulink 與 HyPneu 的模擬結果

將 Simulink 及 HyPneu 兩種軟體輸入相同的條件，即相同的系統參數及輸入參數，以比較其結果，系統參數如下：

車身質量  $M_s=240$  kg，輪胎質量  $M_t=36$  kg，避震器彈簧之彈簧係數  $K_s=16320$  N/m，輪胎之彈簧係數  $K_t=163200$  N/m，阻尼器之阻尼係數  $C$  為可變，其值隨路面狀況而定。以下將可變參數改變並模擬其結果如下：

### 5-1 Simulink 模擬結果

Simulink 模擬方塊圖，如圖 4-14。

(a) 模擬參數如下：

$M_s=240$  kg ;  $M_t=36$  kg ;  $K_s=16320$  N/m ;  $K_t=163200$  N/m ;  
 $C=716$  N\*s/m

輸入訊號：階梯函數  $t_s=0$  sec ,  $t_f=0.1$  sec ,  $h=1$  cm (1 為 1 unit)

模擬結果如圖 5-1。

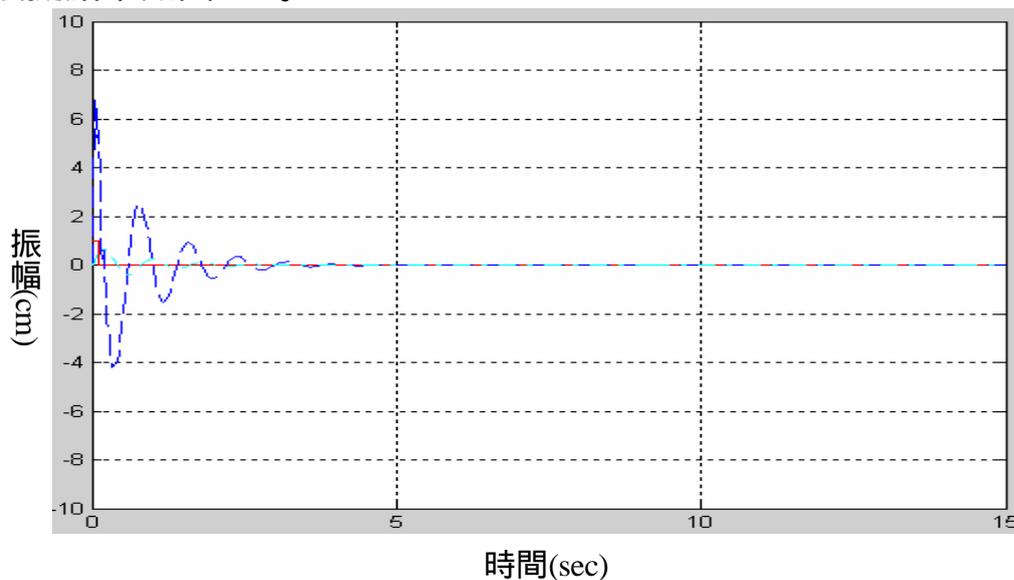


圖 5-1

(b) 模擬參數為：

$M_s=240 \text{ kg}$  ;  $M_t=36 \text{ kg}$  ;  $K_s=16320 \text{ N/m}$  ;  $K_t=163200 \text{ N/m}$  ;  
 $C=2505 \text{ N*s/m}$

輸入訊號：階梯函數  $t_s=0 \text{ sec}$  ,  $t_f=0.1 \text{ sec}$  ,  $h=1 \text{ cm}$

模擬結果如圖 5-2。

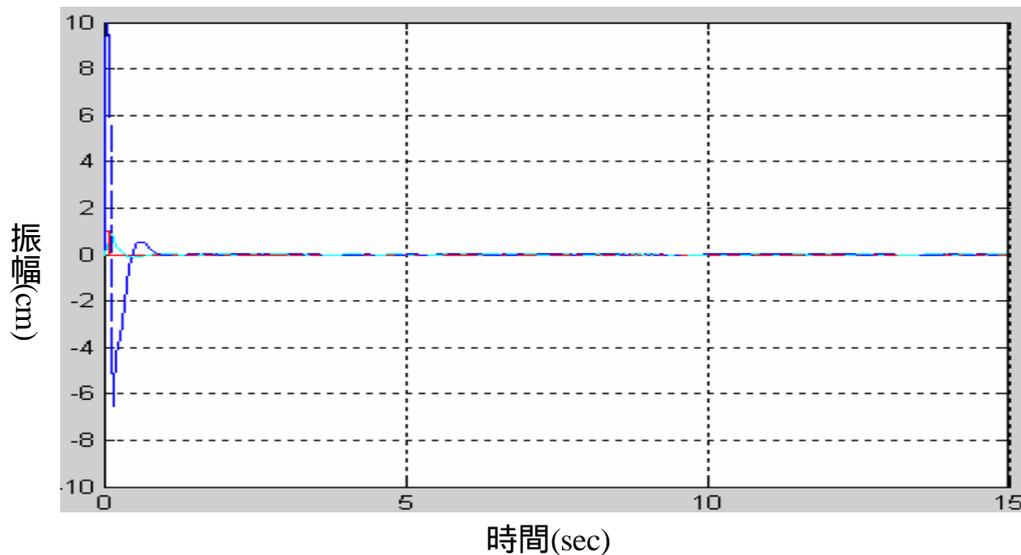


圖 5-2

(c) 模擬參數為：

$M_s=240 \text{ kg}$  ;  $M_t=36 \text{ kg}$  ;  $K_s=16320 \text{ N/m}$  ;  $K_t=163200 \text{ N/m}$  ;  
 $C=716 \text{ N*s/m}$

輸入訊號：階梯函數  $t_s=0 \text{ sec}$  ,  $t_f=10 \text{ sec}$  ,  $h=1 \text{ cm}$

模擬結果如圖 5-3。

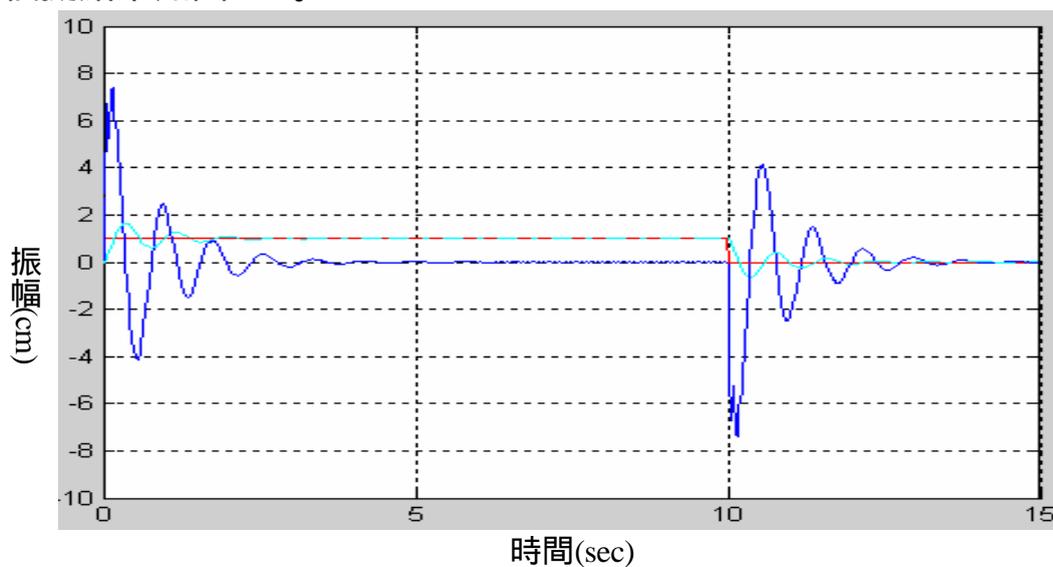


圖 5-3

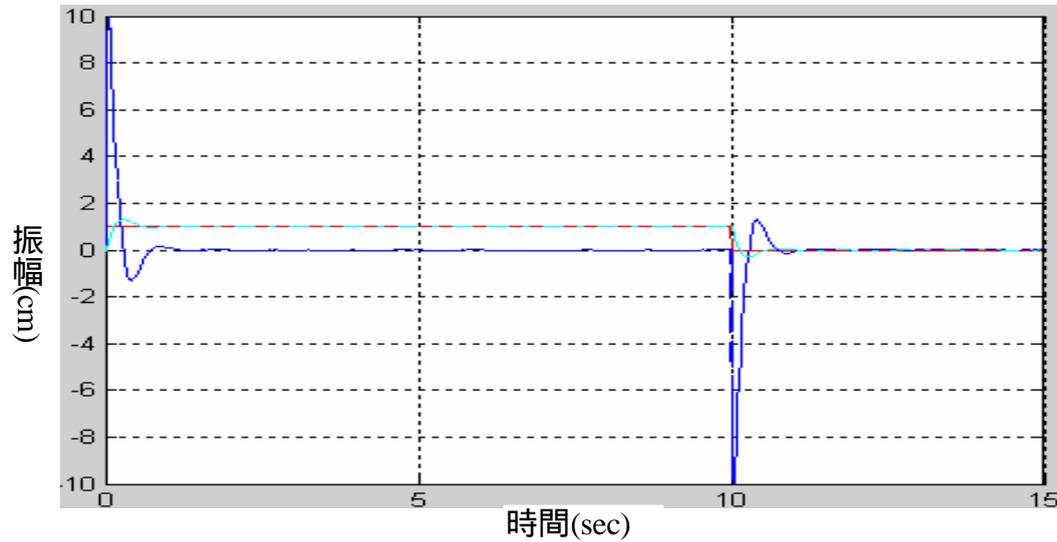
(d) 模擬參數為：

$M_s=240 \text{ kg}$  ;  $M_t=36 \text{ kg}$  ;  $K_s=16320 \text{ N/m}$  ;  $K_t=163200 \text{ N/m}$

$C=2505 \text{ N*s/m}$

輸入訊號：階梯函數  $t_s=0 \text{ sec}$  ,  $t_f=10 \text{ sec}$  ,  $h=1 \text{ cm}$

模擬結果如圖 5-4。



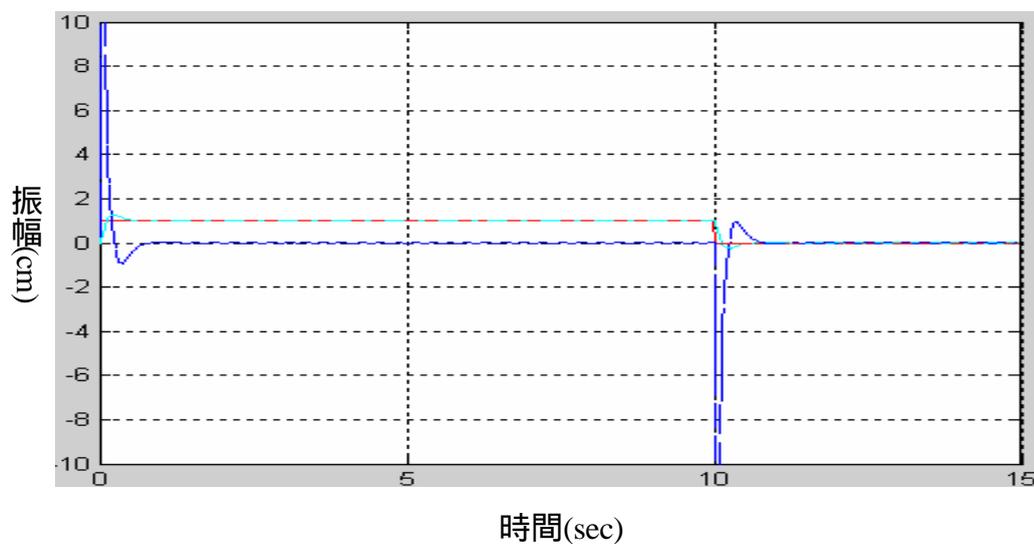
(e) 模擬參數為：

$M_s=240 \text{ kg}$  ;  $M_t=36 \text{ kg}$  ;  $K_s=16320 \text{ N/m}$  ;  $K_t=163200 \text{ N/m}$  ;

$C=3222 \text{ N*s/m}$

輸入訊號：階梯函數  $t_s=0 \text{ sec}$  ,  $t_f=10 \text{ sec}$  ,  $h=1 \text{ cm}$

模擬結果如圖 5-5。



## 5-2 HyPneu 模擬結果

HyPneu 模擬方塊圖：

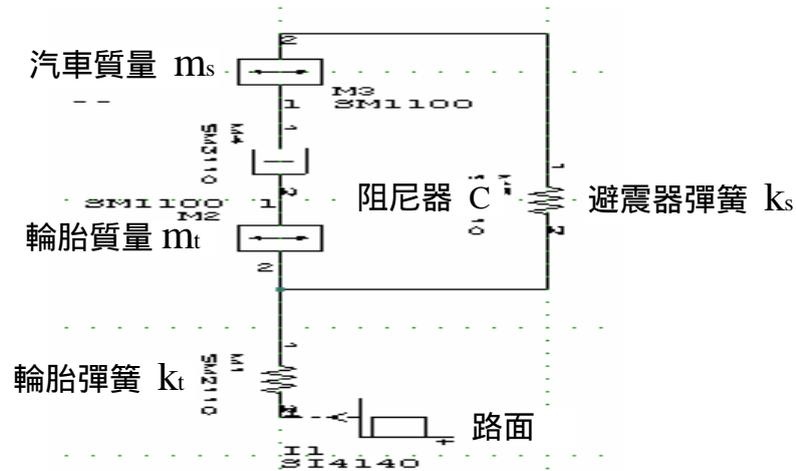


圖 5-6

(a) 模擬參數為：

$M_s=240 \text{ kg}$  ( 528 lbm) ,  $M_t=36 \text{ kg}$  (79.2 lbm) ,  $K_s=16320 \text{ N/m}$  (91.2 lbf/in)

$K_t=163200 \text{ N/m}$  (912 lbf/in) ,  $C= 716 \text{ N*s/m}$  (4 lbf\*sec/in)

輸入訊號(Input signal)：

階梯函數(step function)  $t_s = 0 \text{ sec}$ ,  $t_f = 10 \text{ sec}$ ,  $h=1 \text{ cm}$  ( 1 unit)

模擬結果如圖 5-7。



Input 輸入路面的訊號    out vel 車身的速度    out disp 車身的位移

圖 5-7

(b) 模擬參數為：

$M_s=240$  kg ( 528 lbm) ,  $M_t=36$  kg (79.2 lbm) ,  $K_s=16320$  N/m (91.2 lbf/in)

$K_t=163200$  N/m (912 lbf/in) ,  $C=2505$  N\*s/m (14 lbf\*sec/in)

輸入訊號(Input signal) :

階梯函數(step function)  $t_s = 0$  sec,  $t_f = 10$  sec,  $h=1$ cm ( 1 unit)

模擬結果如圖 5-8。



Input 輸入的訊號 , out vel 車身的速度 , out disp 車身的位移

圖 5-8

(c) 模擬參數為：

$M_s=240$  kg ( 528 lbm) ,  $M_t=36$  kg (79.2 lbm) ,  $K_s=16320$  N/m (91.2 lbf/in)

$K_t=163200$  N/m (912 lbf/in) ,  $C=3222$  N\*s/m (18 lbf\*sec/in)

輸入訊號(Input signal) :

階梯函數(step function)  $t_s = 0$  sec,  $t_f = 10$  sec,  $h=1$ cm ( 1 unit)

模擬結果如圖 5-9。



Input 輸入的訊號 , out vel 車身的速度 , out disp 車身的位移

圖 5-9

(d) 模擬參數為：

$M_s=240$  kg ( 528 lbm) ,  $M_t=36$  kg (79.2 lbm) ,  $K_s=16320$  N/m (91.2 lbf/in)

$K_t=163200$  N/m (912 lbf/in) ,  $C=716$  N\*s/m (4 lbf\*sec/in)

輸入訊號(Input signal) :

階梯函數(step function)  $t_s = 0$  sec,  $t_f = 0.1$  sec,  $h=1$  cm ( 1 unit)

模擬結果如圖 5-10。



Input 輸入的訊號    out vel 車身的速度    out disp 車身的位移

圖 5-10

(e) 模擬參數為：

$M_s=240$  kg ( 528 lbm) ,  $M_t=36$  kg (79.2 lbm) ,  $K_s=16320$  N/m (91.2 lbf/in)

$K_t=163200$  N/m (912 lbf/in) ,  $C=2505$  N\*s/m (14 lbf\*sec/in )

輸入訊號(Input signal) :

階梯函數(step function)  $t_s = 0$  sec,  $t_f = 0.1$  sec,  $h=1$  cm ( 1 unit)

模擬結果如圖 5-11。



Input 輸入的訊號    out vel 車身的速度    out disp 車身的位移

圖 5-11

(f) 模擬參數為：

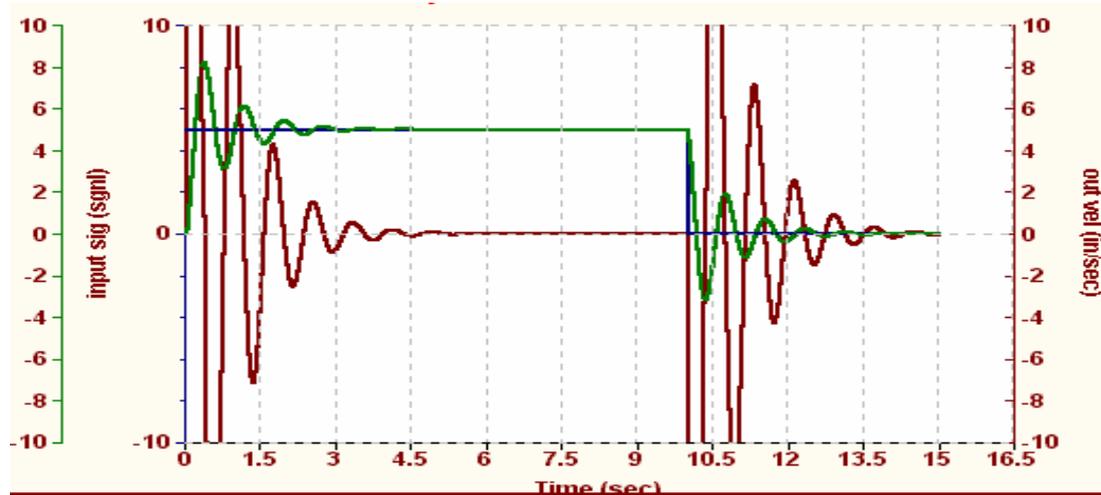
$M_s=240$  kg ( 528 lbm) ,  $M_t=36$  kg (79.2 lbm) ,  $K_s=16320$  N/m (91.2 lbf/in)

$K_t=163200$  N/m (912 lbf/in) ,  $C=716$  N\*s/m (4 lbf\*sec/in)

輸入訊號(Input signal) :

階梯函數(step function)  $t_s = 0$  sec,  $t_f = 10$  sec,  $h=5$  cm ( 5 unit)

模擬結果如圖 5-12。



Input 輸入的訊號    out vel 車身的速度    out disp 車身的位移

圖 5-12

(g) 模擬參數為：

$M_s=240$  kg ( 528 lbm) ,  $M_t=36$  kg (79.2 lbm) ,  $K_s=16320$  N/m (91.2 lbf/in)

$K_t=163200$  N/m (912 lbf/in) ,  $C=3222$  N\*s/m (10 lbf\*sec/in )

輸入訊號(Input signal) :

階梯函數(step function)  $t_s = 0$  sec,  $t_f = 10$  sec,  $h=5$  cm ( 5 unit)

模擬結果如圖 5-13。



Input 輸入的訊號    out vel 車身的速度    out disp 車身的位移

圖 5-13

(h) 模擬參數為：

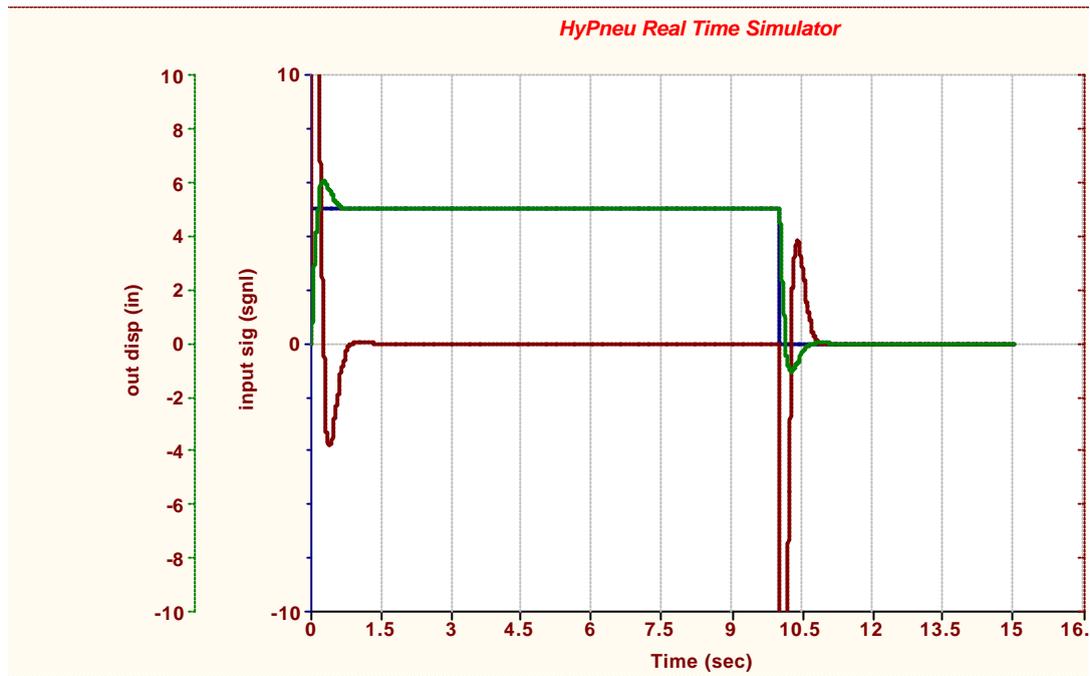
$M_s=240$  kg ( 528 lbm) ,  $M_t=36$  kg (79.2 lbm) ,  $K_s=16320$  N/m (91.2 lbf/in)

$K_t=163200$  N/m (912 lbf/in) ,  $C=3222$  N\*s/m (18 lbf\*sec/in)

輸入訊號(Input signal) :

階梯函數(step function)  $t_s = 0$  sec,  $t_f = 10$  sec,  $h=5$  cm ( 5 unit)

模擬結果如圖 5-14。



Input 輸入的訊號      out vel 車身的速度      out disp 車身的位移

圖 5-14

## 第六章 結論

1. 以 1/4 車輛懸吊系統模型來建立數學模式,使用 Matlab 之 Simulink 圖形化的方塊界面建構懸吊系統的方塊圖及 HyPneu 建構懸吊系統的方塊圖,可模擬車輛之避震系統的性能,配合車輛車身質量、輪胎質量、彈簧及各種不同路況的不同,改變不同阻尼係數,可以分析車輛懸吊系統減振的效果。
2. 使用 Simulink 及 HyPneu 軟體建構的懸吊系統,以電腦輔助模擬分析,可以模擬被動、半主動即主動控制的減振控制。
3. 從 HyPneu 模擬汽車懸吊系統與 Matlab 模擬出來的結果相同,驗證兩者對輔助模擬分析,都具有很強的功能。
4. Matlab 必須撰寫程式, Simulink 只需建構方塊圖,但兩者都需事先建立數學模式,才能寫程式或建構方塊圖,而 HyPneu 前兩者都不需要即可建構方塊圖來直接模擬,因此更加方便,是一種功能很強的機、電、氣液壓元件及系統的電腦輔助模擬分析軟體。
5. 這次的專題製作,讓我們學習到 Matlab、Simulink 及 HyPneu 這三種軟體,並且也親自驗證了 Matlab 之 Simulink 和 HyPneu 一樣可以模擬汽車懸吊系統,而且得到相同的結果,同時也幫助瞭解對整個汽車懸吊系統之架構有了更進一步的認知了解,使這次的專題讓我們獲益良多。

## 參考文獻

- [1] 賴耿陽，汽車懸吊裝置總覽，復漢出版社，1991。
- [2] 郭文化，電流變液的特性及其應用，東南機械工程，第 5 期，2000，pp37-43。
- [3] 郭文化，電流變液及其在液壓工程上的應用，機械月刊，Vol.26，No.9，2000，pp322-333。
- [4] 魏宸官，電流變技術-機理.材料.工程應用，北京理工大學出版社，2000。
- [5] 吳聰能，郭振華，陳義男，郭文化，可控制電流變液壓避震器之研究，機械月刊，Vol.312，2001，7，pp298~311。
- [6] 高晶敏，電流變液減震器及其控制系統之研究，北京理工大學車輛與交通工程學院，博士論文，1999 年 6 月，p34-36。
- [7] 李宜達，動態模擬與繪圖—使用 MATLAB/SIMULINK，全華科技圖書公司，1998。
- [8] 鄭錦聰，莊鎮嘉，MATLAB 進階含 SIMULINK，全華科技圖書公司，1998。
- [9] 楊智旭，張嘉峰，彭嵐霖 著，MATLAB 程式應用及問題範例，滄海書局，2000。

[10] 林群超，自動控制系統設計與 MATLAB 語言，全華科技圖書公司，1997。

[11] Fitch,E.C. and Hong,I.T., HyPneu User 's Manual Component Library Tutorials,BarDyne,Inc.2000.

[12] Fitch,E.C. and Hong,I.T. Hydraulic Component Design and Selection. BarDyne,Inc.1997.