

發明專利說明書

(本說明書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號：

96146314

※申請日期：

96.12.5

※IPC 分類：

G01D 5/08 (2006.01)

G06F 17/15 (2006.01)

B23Q 17/12 (2006.01)

一、發明名稱：

適應性實時旋轉機械設備之動態訊號處理方法 / Adaptive real-time analyzing method for dynamic signals generated by rotating machines

二、申請人：(共 1 人)

姓名或名稱：國立中央大學 / National Central University

代表人：李羅權 / LEE, LOU-CHUANG

住居所或營業所地址：桃園縣中壢市中大路 300 號 / No. 300, Jhongda Rd., Jhongli City, Taoyuan County 320, Taiwan (R.O.C.)

國 籍：中華民國/Taiwan, Republic of China, R.O.C

三、發明人：(共 3 人)

姓 名：(中文/英文)

1, 潘敏俊 / PAN, MIN-CHUN

2, 吳承學 / WU, CHENG-XUE

3, 葉謙德 / YE, CIAN-DE

國 籍：

1~3, 中華民國 / Taiwan, Republic of China, R.O.C

四、聲明事項：

☐ 主張專利法第二十二條第二項☐第一款或☐第二款規定之事實，其事實發生日期為： 年 月 日。

☐ 申請前已向下列國家（地區）申請專利：

【格式請依：受理國家（地區）、申請日、申請案號 順序註記】

☐ 有主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

☐ 無主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

☐ 主張專利法第二十九條第一項國內優先權：

【格式請依：申請日、申請案號 順序註記】

☐ 主張專利法第三十條生物材料：

☐ 須寄存生物材料者：

國內生物材料 【格式請依：寄存機構、日期、號碼 順序註記】

國外生物材料 【格式請依：寄存國家、機構、日期、號碼 順序

註記】

☐ 不須寄存生物材料者：

所屬技術領域中具有通常知識者易於獲得時，不須寄存。

九、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明為提供一種適應性實時旋轉機械設備之動態訊號處理方法，該方法係改變習知的弗德-卡曼濾波（Vold-Kalman filtering, VKF）階次追蹤方法需以離線運算方式計算，不僅可以達到同時追蹤多個階次的時域波形，且所提出之運算方式更可大幅減少電腦在運算矩陣時所需之記憶體空間及運算時間，並經由一數位訊號處理器(DSP)以達到實時運算並即時監控之效果。

【先前技術】

按，製造業中的旋轉機械設備一旦發生故障和失效問題，將嚴重影響企業的市場競爭力。前述之旋轉機械設備泛指汽、機車之傳動系統、發動機、機械加工平台（如：車床、銑床）及輪船動力系統等。

由於工程應用上之旋轉機械設備皆有一定程度之動態不穩定現象，而且若有一旋轉機械元件缺陷產生，將造成系統之振動量過大；因此，為了要保持該旋轉機械設備之穩定性、及防止因故障而失效，目前已知的作法有利用階次追蹤技術，可診斷旋轉機械設備系統缺陷發生所在。

然而近年來應用該階次追蹤的方法或技術已有多種，而各方法均具有其缺點，以下則係作一概述：

在一國外已知技術上，係揭露有關於一種高解析度智慧型階次診斷系統及其診斷方法，其係用於旋轉設備之頻率階次分析(order analysis)與診斷，包括：資料

擷取裝置、機台資料建立裝置、時頻譜分析和再取樣分析裝置、卡曼濾波器(Kalman filter)或遞迴最小平方演算法(RLS)分析裝置、模糊判斷裝置及視窗介面(GUI)裝置，其中該系統係反覆施行前述各裝置之功能，以隨時獲取該旋轉設備之診斷結果。

在另一國外已知技術上，則係提供一個系統用來監測轉動裝置，並利用適應性訊號處理的方法來決定旋轉機械的轉速。

在又一國外已知技術上，得知提出一個訊號分析系統及方法，來分析一個具有轉動元件的機械系統。該系統將輸入訊號做時頻處理後置入於矩陣中，並對其作反矩陣來得到時域訊號，並將其顯示於人機介面以便觀測該機械系統。

再一國外已知技術上，得知提出一個方法來分析來自機械系統的訊號，該機械系統至少含有一個轉動件。其演算方式則利用 Gabor 轉換的方法來對輸入訊號做時頻轉換。

惟，前述習知各方法之缺點在於：

一、均非利用本發明揭示之適應性實時 (Adaptive Real-Time) 弗德-卡曼濾波 (Vold-Kalman filtering, VKF) 階次追蹤分析，以單步預測(one-step prediction)演算方式作實時(real-time)運算來處理該旋轉機械設備量測訊號之階次追蹤並作後續應用。

二、以弗德-卡曼濾波 (Vold-Kalman filtering, VKF) 為基礎的階次分析，多為離線 (off-line) 運算之階次追

蹤分析與計算，無法達到即時監控的能力。

三、已揭示之階次追蹤分析，其需另行假設所需之訊號轉移函數，會因為訊號種類另作個別假設，因此不具有通用一般性的缺點。

四、以原弗德(Vold)所提出之前後兩代階次分析演算流程，因擷取整段訊號處理，以最小平方(least square)法做演算，在進行矩陣運算時所需之電腦記憶體空間相當大，且計算時間相當長。

是以若能研發出一新技術來避免前述各項之缺點，將可更進一步地對設備和產品的性能狀態進行監測、預測和評估，並按所需制定維護計劃，以防止它們因故障而失效。

【發明內容】

有鑒於上述提及，習知階次追蹤分析技術基本上有無法達到即時監控能力及不具有通用一般性的缺點；因此，發明人依據多年來從事此課題之相關經驗，經過長久努力研究與實驗，並配合相關學理，終於開發設計出本發明之一種「適應性實時旋轉機械設備之動態訊號處理方法」。

本發明之目的，在於提供一種新的、簡易的適應性實時旋轉機械設備之動態訊號處理方法，係利用不同於習知各方法之階次追蹤分析演算法技術，可針對旋轉機械設備運轉時所產生之振動、噪音等動態訊號進行階次追蹤，用以診斷旋轉機械系統缺陷發生所在，同時並解決現有技術未能達到有效即時監控能力及不具有通

用一般性的缺點；除輸出結果具有極高之精確度，對於估測旋轉機械運轉特定階次(order)信號之時域波形，及詮釋相關物理現象有莫大助益外，該方法更可將需追蹤之階次訊號於一數位訊號處理器(DSP)上進行線上即時運算處理，並能夠即時顯示觀測欲追蹤階次的時間波形，因此本發明對於相關之產業(如：資料擷取儀器製造商、旋轉機械及車輛工業製造商等)皆極具應用價值性。

【實施方式】

為便於 貴審查委員能對本發明之技術手段及運作過程有更進一步之認識與瞭解，茲舉一實施例配合圖式，詳細說明如下。

本發明係一種「適應性實時旋轉機械設備之動態訊號處理方法」，該方法係將習知弗德-卡曼濾波(Vold-Kalman filtering, VKF)階次追蹤的結構方程式(structure equation) $y(n) = \sum_{k \in j} a_k(n) \theta_k(n) + \xi(n)$ 與資料方程式(data equation) $\nabla^s a_k(n) = \psi_k(n)$, $s = 2$ ，轉換成與卡曼濾波器(Kalman filter)具有同一型式的程序方程式(process equation) $A(n+1) = F(n+1, n)A(n) + Z(n)$ 與量測方程式(measurement equation) $y(n) = B(n)A(n) + \xi(n)$ ，然後再行運用一單步預測(one-step prediction)演算方式作計算，藉以求解一欲追蹤擷取之階次訊號，其中該 $y(n)$ 為一量測訊號，該 $a_k(n)$ 為一階次 k 信號之複數包絡線，該 $\theta_k(n)$ 為一階次 k 之載波訊號，該 $\xi(n)$ 為一量測信號中雜訊與其他非欲求之階次訊號，該 $\psi_k(n)$ 為一雜訊和其餘信號

所引起之不平滑現象信號。

前述本發明之方法在轉換成卡曼濾波器之型式後採單步預測遞迴(recursive)方式運算，可即時以量測訊號更新之資訊進行估測求解，因此具有實質上適應性及即時運算的優點。

前述本發明之方法不同於習知弗德-卡曼濾波(VKF)階次追蹤方法在求解時，需事先量測整段時間區間之訊號，以離線運算方式，將階次與量測訊號間之關係，以前述結構方程式(structure equation)與前述資料方程式(data equation)表示為一矩陣與向量形式，經過複雜之矩陣運算後求出此段時間區間之階次訊號解。

前述本發明之單步預測(one-step prediction)演算方式為：

$$\mathbf{G}(n) = r(n)\mathbf{F}(n+1, n)\mathbf{K}(n, n-1)\mathbf{B}^H(n)[\mathbf{B}(n)\mathbf{K}(n, n-1)\mathbf{B}^H(n) + \mathbf{Q}_2(n)]^{-1}$$

$$\alpha(n) = y(n) - \mathbf{B}(n)\hat{\mathbf{A}}(n|y_{n-1})$$

$$r(n)\hat{\mathbf{A}}(n+1|y_n) = r(n)\mathbf{F}(n+1, n)\hat{\mathbf{A}}(n|y_{n-1}) + \mathbf{G}(n)\alpha(n)$$

$$\mathbf{K}(n) = \mathbf{K}(n, n-1) - r^{-1}(n)\mathbf{F}(n, n+1)\mathbf{G}(n)\mathbf{B}(n)\mathbf{K}(n, n-1)$$

$$r^2(n)\mathbf{K}(n+1, n) = r(n)\mathbf{F}(n+1, n)\mathbf{K}(n)r(n)\mathbf{F}^H(n+1, n) + r^2(n)\mathbf{Q}_1(n)$$

其中，上述符號所代表的意義如下表所示：

變數 (Variable)	定義 (Definition)	維度 (Dimension)
$\mathbf{A}(n)$	時間 n 時之階次訊號狀態 (State at time n)	$2K$ by 1
$y(n)$	時間 n 時之量測訊號 (Observation at time n)	1 by 1
$\mathbf{F}(n+1, n)$	時間 n 至 $n+1$ 時轉換矩陣 (Transition matrix from time n to time $n+1$)	$2K$ by $2K$
$\mathbf{B}(n)$	時間 n 時量測矩陣 (Measurement matrix at	K by $2K$

	time n)	
$Q_1(n)$	時間 n 時程序雜訊 $Z(n)$ 之自相關矩陣 (Correlation matrix of process noise $Z(n)$)	$2K$ by $2K$
$Q_2(n)$	時間 n 時時量測雜訊 $\xi(n)$ 之自相關矩陣 (Correlation matrix of measurement noise $\xi(n)$)	1 by 1
$\hat{A}(n+1 y_n)$	基於量測訊號 $y(1), y(2), \dots$ 至 $y(n)$ 於時間 $n+1$ 時之估測階次訊號狀態 (Predicted estimate of the state at time $n+1$ given the observations $y(1), y(2), \dots, y(n)$)	$2K$ by 1
$\hat{A}(n y_n)$	基於量測訊號 $y(1), y(2), \dots$ 至 $y(n)$ 於時間 n 時之估測階次訊號狀態 (Filtered estimate of the state at time n given the observations $y(1), y(2), \dots, y(n)$)	$2K$ by 1
$G(n)$	時間 n 時之卡曼增益 (Kalman gain at time n)	$2K$ by 1
$\alpha(n)$	時間 n 時之更新向量 (Innovations vector at time n)	1 by 1
$K(n+1, n)$	時間 $n+1$ 時估測階次訊號狀態 $\hat{A}(n+1 y_n)$ 誤差之自相關矩陣 (Correlation matrix of the error in $\hat{A}(n+1 y_n)$)	$2K$ by $2K$
$K(n)$	時間 n 時估測階次訊號狀態 $\hat{A}(n y_n)$ 誤差之自相關矩陣 (Correlation matrix of the error in $\hat{A}(n y_n)$)	$2K$ by $2K$
$r(n)$	時間 n 時之權重因子 (Weighting factor at time n)	1 by 1

本發明方法之有效性驗證，已藉由處理三組不同階次所合成之模擬訊號，對所揭示之方法與習知方法進行比較，請參閱第一、二、三及四圖所示，其係分別為相近階次模擬訊號之轉頻譜圖、相近階次模擬訊號追蹤 4 階及 4.2 階之振幅，分別利用 (a) 角位移 VKF 階次追蹤，以及 (b) 適應性角位移 VKF 階次追蹤、交錯階次模擬訊號之時頻譜圖、交錯階次模擬訊號追蹤 1、4、9 階之振幅，分別利用 (a) 角位移 VKF 階次追蹤，以及 (b) 適

應性角位移 VKF 階次追蹤之相關圖示，並針對影響其階次追蹤性能之參數，如：權重因子(weighting factor)（請參閱第五圖所示）、程序雜訊(process noise)相關矩陣及對於環境雜訊(environmental noise)干擾之影響等分別進行探討。

以下舉一相關實驗驗證本發明之方法應用在一傳動系統測試平台(transmission system test bench)實際工程上之有效性，其中該傳動系統測試平台係在一旋轉機械，利用加速度規、精密麥克風等量取運轉動態訊號、並以轉速計量測轉速相位訊息，經由資料擷取後，將訊號於一數位訊號處理器(DSP)上做處理，請參閱第六圖所示，則係為測試平台振動訊號之即時監測示意圖，由圖中可清楚得知，測試結果顯示本發明所提出之演算法，已可成功地架構於該數位訊號處理器(DSP)上，即時擷取訊號，並分離階次相近或交錯之多軸轉速系統的階次分量，以達到實時運算即時監控之效果，進而實現在機械故障診斷設備與系統上。

藉上所述可知，本發明之方法有別習用技術關鍵在於：

一、本發明之方法具有新穎性，因為習知的弗德-卡曼濾波(VKF)階次追蹤方法係利用最小平方的觀念求解，使得二誤差能量之和為最小，解出階次信號的時域資料，其需以離線方式計算；但本發明所提出適應性實時旋轉機械設備之動態訊號處理方法，卻為一即時運算方法，使得在實際工程應用上更為有效率。

二、本發明之方法具有進步性，因為以習知弗德-卡曼濾波（VKF）階次追蹤方法求解時，係需先將該結構方程式 (structure equation) 和資料方程式 (data equation) 表示為矩陣與向量的形式，因此，當一量測資料點數極多時，利用電腦運算就需要大量的記憶體空間，且運算時間相當冗長；但本發明所提出適應性實時旋轉機械設備之動態訊號處理方法，則針對此問題進行研究並加以改良，使用單步預測演算方式，而能夠達到即時運算的能力。

三、本發明之方法具有實用性，其為一建構於卡曼濾波器 (Kalman filter) 而成的訊號處理方法，可達到適應性線上 (on-line) 運算即時監測之目的。

四、本發明之方法除輸出結果具有極高之精確度，對於估測旋轉機械運轉特定階次 (order) 信號之時域波形，及詮釋相關物理現象有莫大助益外，更可將需追蹤之階次訊號於該數位訊號處理器 (DSP) 上進行線上即時運算處理，並能夠即時顯示觀測欲追蹤階次的時間波形。

是以本發明之方法實具新穎性、進步性與實用性，同時本發明之方法於相關之產業（如：資料擷取儀器製造商、旋轉機械及車輛工業製造商等）皆極具應用價值性。

按，上述詳細說明為針對本發明之一種較佳之可行實施例說明而已，惟該實施例並非用以限定本發明之申請專利範圍，舉凡其他未脫離本發明所揭示之技藝精

神下所完成之均等變化與修飾變更，均應包含於本發明所涵蓋之專利範圍中。

【圖式簡單說明】

第一圖係為相近階次模擬訊號之轉頻譜圖。

第二圖係為相近階次模擬訊號追蹤 4 階及 4.2 階之振幅，分別利用(a)角位移 VKF 階次追蹤，以及(b)適應性角位移 VKF 階次追蹤。

第三圖係為交錯階次模擬訊號之時頻譜圖。

第四圖係為交錯階次模擬訊號追蹤 1、4、9 階之振幅，分別利用(a)角位移 VKF 階次追蹤，以及(b)適應性角位移 VKF 階次追蹤。

第五圖係為藉由適應性角位移 VKF 階次追蹤，調整各種不同權重因子而得到之階次 9 振幅。

第六圖係為測試平台振動訊號之即時監測示意圖。

【主要元件符號說明】

無

五、中文發明摘要：

本發明揭示一種適應性實時旋轉機械設備之動態訊號處理方法，該方法係延伸習知弗德-卡曼濾波(VKF)階次追蹤技術，將運算邏輯重新改變，使其達到線上即時適應性運算能力；透過模擬訊號及實際工程應用來驗證其有效性，除輸出結果具有極高之精確度，對於估測旋轉機械運轉特定階次(order)信號之時域波形，及詮釋相關物理現象有莫大助益外，該方法更可將需追蹤之階次訊號於一數位訊號處理器(DSP)上進行線上即時運算處理，並能夠即時顯示觀測欲追蹤階次的時間波形。

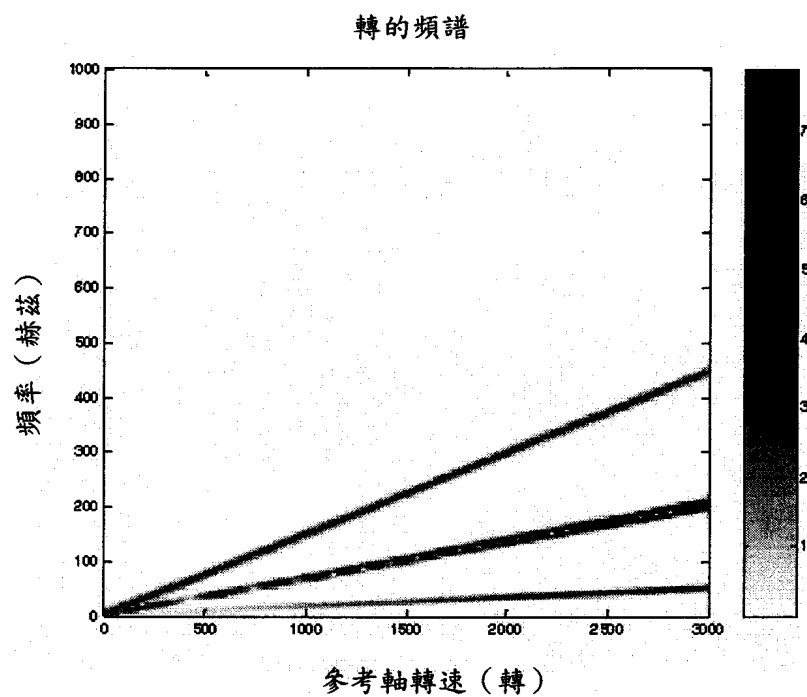
六、英文發明摘要：

An adaptive real-time analyzing method for dynamic signals generated by rotating machines improves Vold-Kalman filtering order tracing technology to renew the algorithm logic so that on-line computation ability is achieved. Through signal simulation and practical engineering application to verify the availability, it shows that the output results are extremely accurate. As such, this method is advantaged to estimate the time-domain waveform of specific order signals for the operation of the rotating machines and to interpret the related physical phenomena. Moreover, this method can be applied for a digital signal processor (DSP) to obtain real-time and on-line computation of the order signals needed to be traced and to display the tracing time-domain waveform instantly.

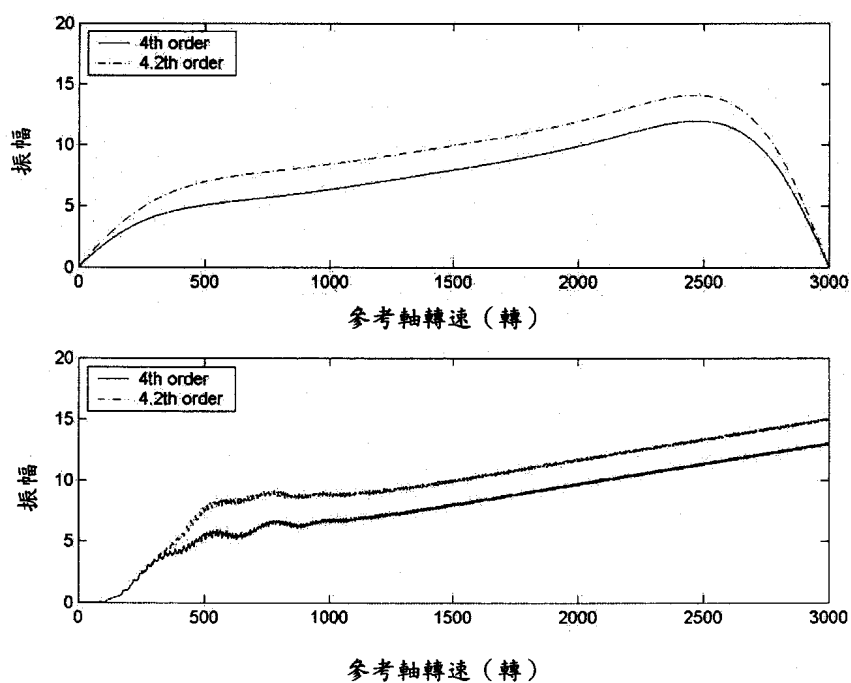
十、申請專利範圍：

- 1、一種適應性實時旋轉機械設備之動態訊號處理方法，
該方法包括：
將習知弗德-卡曼濾波（VKF）階次追蹤的結構方程式與資料方程式，轉換成與卡曼濾波器具有同一型式的程序方程式與量測方程式；
運用一單步預測(one-step prediction)演算方式作計算，藉以求解一欲追蹤擷取之階次訊號。
- 2、如申請專利範圍第 1 項所述之適應性實時旋轉機械設備之動態訊號處理方法，其中該結構方程式與資料方程式係對應為該程序方程式與量測方程式之概念，且該結構方程式中係具有一量測訊號、一階次信號之複數包絡線、一階次之載波訊號、一量測信號中雜訊與其他非欲求之階次訊號；該資料方程式中係具有一雜訊和其餘信號所引起之不平滑現象信號。
- 3、如申請專利範圍第 2 項所述之適應性實時旋轉機械設備之動態訊號處理方法，其中該結構方程式與資料方程式係對應為該程序方程式與量測方程式之數學表現過程。
- 4、如申請專利範圍第 3 項所述之適應性實時旋轉機械設備之動態訊號處理方法，其中該方法係實現在一數位訊號處理器(DSP)及一機械故障診斷設備與系統上。

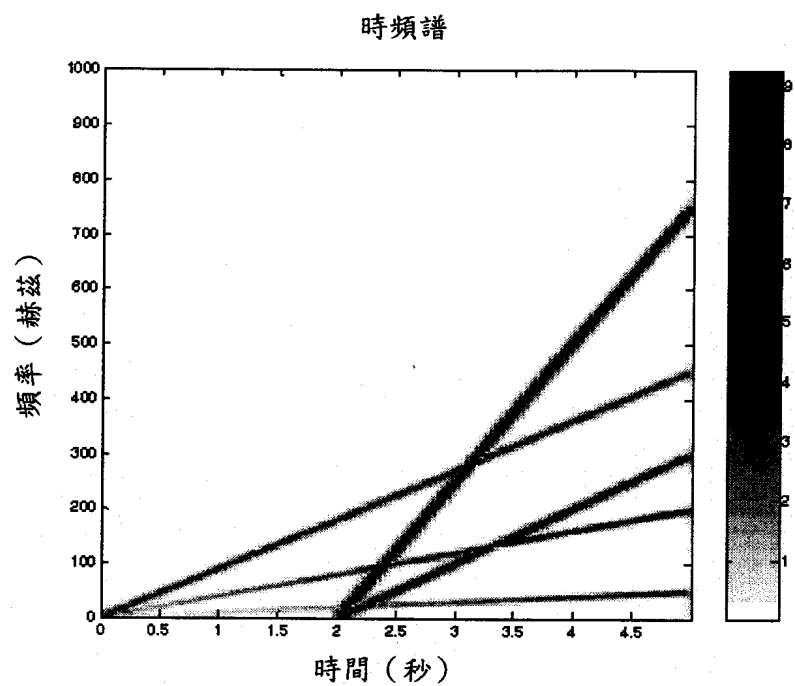
十一、圖式：



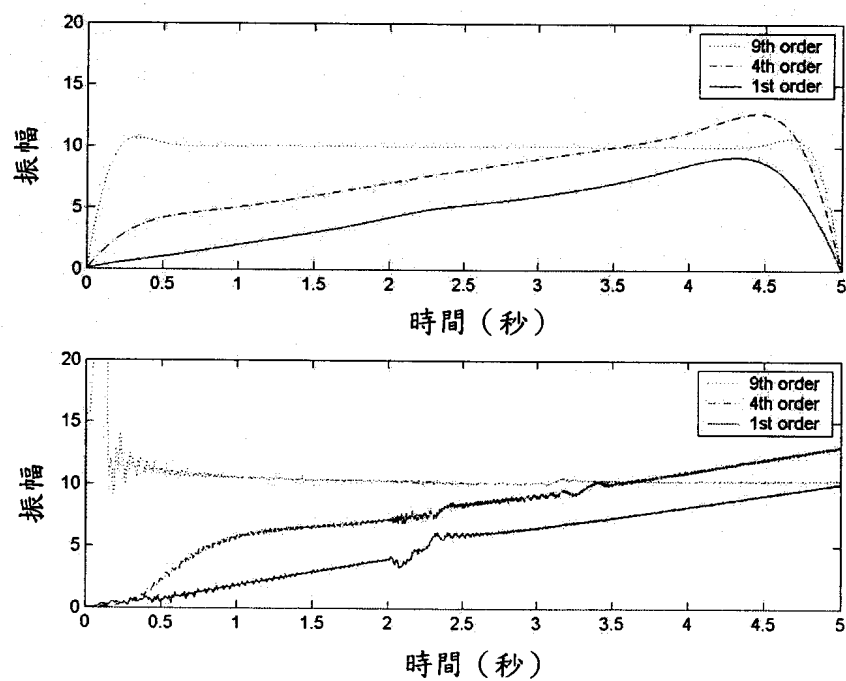
第一圖



第二圖



第三圖



第四圖

七、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第（六）圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

無

八、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：