



(19) 中華民國智慧財產局

(12) 發明說明書公告本

(11) 證書號數：TW I411766 B

(45) 公告日：中華民國 102 (2013) 年 10 月 11 日

(21) 申請案號：099113154

(22) 申請日：中華民國 99 (2010) 年 04 月 27 日

(51) Int. Cl. : G01C19/56 (2012.01)

G01C25/00 (2006.01)

(71) 申請人：國立交通大學 (中華民國) NATIONAL CHIAO TUNG UNIVERSITY (TW)

新竹市大學路 1001 號

(72) 發明人：陳宗麟 CHEN, TSUNG LIN (TW) ; 紀建宇 CHI, CHIEN YU (TW) ; 李嘉緯 LEE, CHIA WEI (TW)

(74) 代理人：黃志揚

(56) 參考文獻：

TW I286201

TW 200504334A

JP 2000-504106A

US 2006/0033588A1

C.-Y. Chi, Y.-P. Peng, and T.-L. Chen, "Compensation of Interface Circuit Errors for MEMS Gyroscopes Using State Observer," IEEE, The 3rd International Conference on Sensing Technology, Tainan, Taiwan, Nov 2008.°

吳柏洋，新式平面微型陀螺儀之設計與動態分析，國立成功大學機械工程學系碩士論文，2007/7

審查人員：吳耿榮

申請專利範圍項數：2 項 圖式數：15 共 0 頁

(54) 名稱

具有瑕疵補償之單軸控制輸入陀螺儀系統。

(57) 摘要

本發明為一種具有瑕疵補償之單軸控制輸入陀螺儀系統，係包含一陀螺儀及一狀態觀察裝置；陀螺儀包含一機械結構，機械結構的動態行為可利用複數個系統參數及複數個動態方程式加以描述，該些系統參數包含陀螺儀的質量、主軸剛性係數、跨軸剛性係數、主軸阻尼係數、跨軸阻尼係數及一物體的待量測角速度。陀螺儀輸入一單軸控制訊號，而輸出複數個系統動態於兩軸，且單軸控制訊號包含至少兩個頻率訊號。狀態觀察裝置耦接於陀螺儀，並以陀螺儀系統動態輸出作為輸入，藉以回授補償於狀態觀察裝置，並於具機械結構瑕疵狀況下量測出待量測角速度。

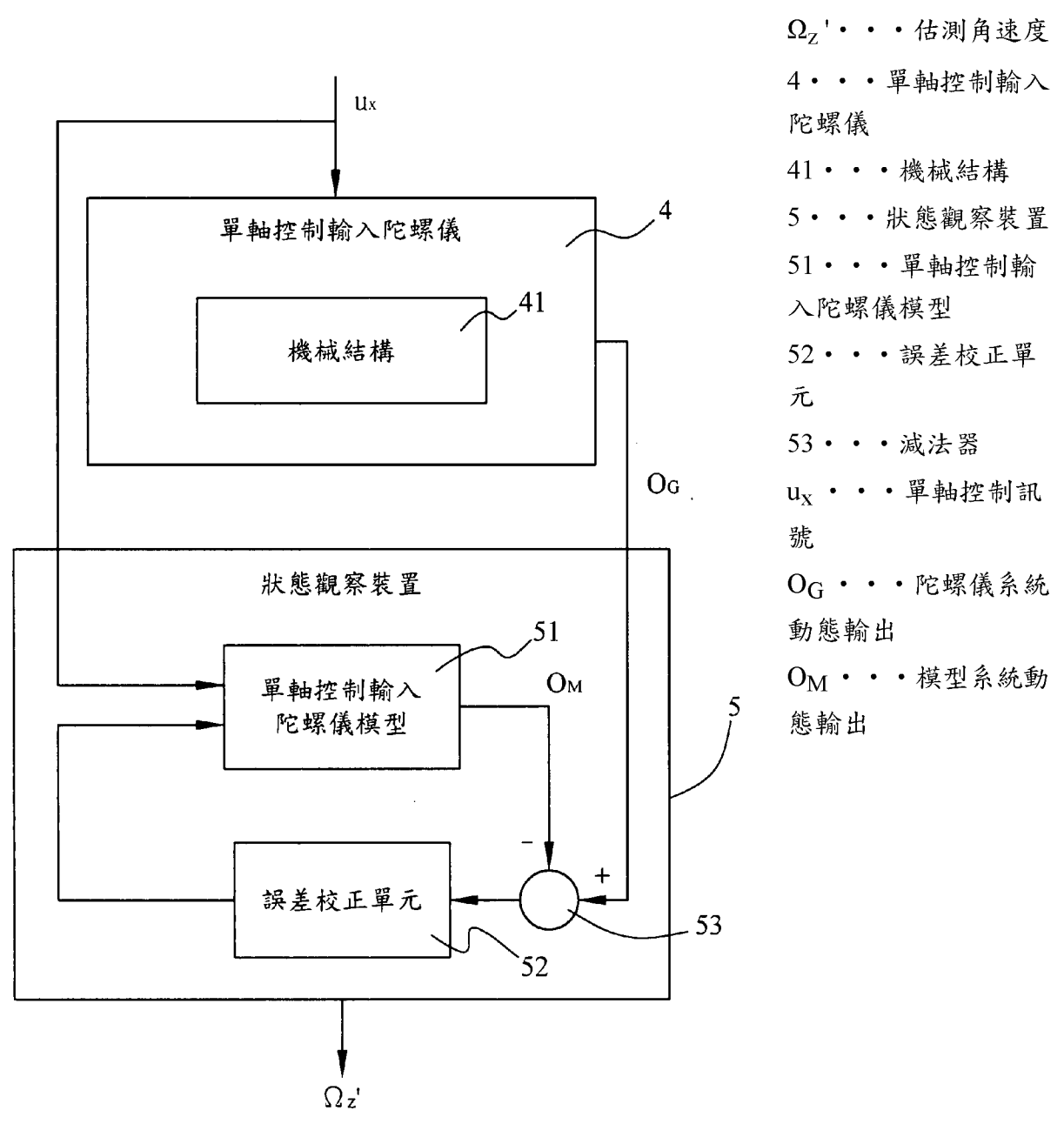


圖 2



公告本

日期: 102年08月20日

發明專利說明書

(本說明書格式、順序, 請勿任意更動, ※記號部分請勿填寫)

※申請案號: 99113154

※申請日: 99.4.27

※IPC 分類: G01C 19/56 (2012.01)  
G01C 25/00 (2006.01)

## 一、發明名稱:(中文/英文)

具有瑕疵補償之單軸控制輸入陀螺儀系統。

## 二、中文發明摘要:

本發明為一種具有瑕疵補償之單軸控制輸入陀螺儀系統, 係包含一陀螺儀及一狀態觀察裝置; 陀螺儀包含一機械結構, 機械結構的動態行為可利用複數個系統參數及複數個動態方程式加以描述, 該些系統參數包含陀螺儀的質量、主軸剛性係數、跨軸剛性係數、主軸阻尼係數、跨軸阻尼係數及一物體的待量測角速度。陀螺儀輸入一單軸控制訊號, 而輸出複數個系統動態於兩軸, 且單軸控制訊號包含至少兩個頻率訊號。狀態觀察裝置耦接於陀螺儀, 並以陀螺儀系統動態輸出作為輸入, 藉以回授補償於狀態觀察裝置, 並於具機械結構瑕疵狀況下量測出待量測角速度。

## 三、英文發明摘要:

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：圖(2)。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

$\Omega_z'$  · · 估測角速度

4 · · 單軸控制輸入陀螺儀

41 · · 機械結構

5 · · 狀態觀察裝置

51 · · 單軸控制輸入陀螺儀模型

52 · · 誤差校正單元

53 · · 減法器

$u_x$  · · 單軸控制訊號

$O_G$  · · 陀螺儀系統動態輸出

$O_M$  · · 模型系統動態輸出

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

## 六、發明說明：

### 【發明所屬之技術領域】

本發明有關於一種陀螺儀系統，特別是指使用於單軸控制輸入，而估測出機械結構瑕疵造成系統動態效應改變及獲得正確角速度的一種具有瑕疵補償之單軸控制輸入陀螺儀系統。

### 【先前技術】

陀螺儀為一種慣性感測裝置，其可應用於定位、穩定控制、導航等領域，過去的陀螺儀因為體積龐大，再加上成本高昂，因此無法得到廣泛的實務應用。近年來，由於微機電的技術蓬勃，使得微機電式陀螺儀的設計製作門檻以及成本隨之降低。新興的微機電式陀螺儀廣為應用於遊戲元件、3D 滑鼠、攝錄機影像穩定系統、車輛導航系統等電子產品。

於微機電式陀螺儀的製造過程包括相當多的製作程序，每一個程序皆無可避免地產生某些瑕疵(imperfections)，實質上該等瑕疵可包含機械結構瑕疵(mechanical structure imperfections)以及電路瑕疵(circuit imperfections)。於機械結構瑕疵，例如：陀螺儀機械結構上的不對稱或者尺寸上的誤差；而於電路瑕疵，例如：寄生電容(parasitic capacitance)。因微機電元件尺寸微小化，因此減少了微機電系統對瑕疵的容許度(tolerance)，造成該等缺陷於微機電系統特別顯著。本發明所意欲補償者主要係在於機械結構瑕疵，亦即因微機電元件製作以及結構設計過程中誤差，所造成系統動態的不確定性，進而無法正確估算待測的角速度。

於習用技術中，為了提高陀螺儀的性能，特別是對於影響微機電元件精度甚劇的機械結構瑕疵，多使用「後製程」(post-processes)進行修正。但是，此方式除製程技術較高且複雜外，成本亦較為昂貴。另外，少數方法是採用回授控制(訊號處理)來補償機械結構瑕疵於陀螺儀運作時的效應，進而獲

得正確的角速度。但是，此方式一般都使用於雙軸控制輸入的陀螺儀；惟，目前商品化的微機電陀螺儀多為單軸控制輸入，因此無法直接利用回授控制的方式進行修正。

另外，為改善陀螺儀瑕疵，有改變陀螺儀系統機械結構設計者。如美國專利第 6,928,874 號之「Dynamically amplified micro-machined vibratory angle measuring gyroscopes, micro-machined inertial sensors and method of operation for the same」，其採用雙軸控制輸入的陀螺儀，並且改良環形結構為內外雙環結構，避免輸入與輸出的相互影響。但是，該專利的機械結構複雜，且必須同時量測雙軸的位置以及速度資訊。另外，亦有美國專利第 6,934,660 號之「Multi stage control architecture for error suppression in micro-machined gyroscopes」，其設計兩階段式控制器；惟該專利必須假設陀螺儀系統的阻尼係數為對稱、且無耦合項的存在等太過於理想化的前提，且其採用雙軸控制輸入的陀螺儀，此外，同於前述另一專利，必須同時量測雙軸的位置以及速度資訊。

#### 【發明內容】

因此，本發明之一目的在於提供一種架構簡單、成本低廉，並具有高準確度的陀螺儀系統，其使用單軸控制輸入的陀螺儀，並且應用控制系統的訊號處理，對陀螺儀機械結構瑕疵的效應進行補償。本發明利用一具有跨軸彈性係數以及跨軸阻尼係數的陀螺儀機械結構，以單軸輸入至少兩個頻率的訊號，來估測陀螺儀的系統參數以及待量測的角速度，因此架構簡單、成本低廉且具有高準確度。

本發明的另一目的在於提供一種具有瑕疵效應補償之陀螺儀系統，其包含一狀態觀察裝置，可利用控制系統的訊號處理，回授並補償陀螺儀機械結構的瑕疵，量測出正確的角速度，因此免除昂貴的後製程修正程序。

本發明之具有瑕疵補償之單軸控制輸入陀螺儀系統，其包

含一陀螺儀以及一狀態觀察裝置；該陀螺儀包含一機械結構，該機械結構的動態行為可利用複數個系統參數與複數個動態方程式加以描述；該陀螺儀輸入一單軸控制訊號，並輸出複數個系統動態於兩軸，該單軸控制訊號包含至少兩個的頻率訊號；其中該狀態觀察裝置耦接於該陀螺儀，並以該陀螺儀的其中兩個系統動態輸出作為輸入，藉以回授補償於該狀態觀察裝置，並可於具補償機械結構瑕疵效應下，估測出一物體的待量測角速度。

有關本發明的詳細技術內容及較佳實施例，配合圖式說明如後。

### 【實施方式】

以下的說明以及範例用以解釋本發明之細節。然，熟習此項技藝之人士應該輕易瞭解，於本發明之實施例所涵蓋下，所述及之該些實施例應有相當之變化以及改良。因此，後載之實施例並非用於限制本發明之保護範疇。

請參見圖 1 所示，其顯示一個微機電線性振動式陀螺儀 (linear vibratory gyroscope) 的機械結構模型。於圖 1 的機械結構模型中，一陀螺儀質量塊 (proof mass) 1 (以  $m$  表示) 的質心設置於旋轉座標  $x, y$  軸的原點，並以一具有雙軸彈性係數的彈簧 3，將該質量塊連接至一固定框架 2，使質量塊 1 的動態被限制於  $xy$  平面，形成一個彈簧 - 質量 - 阻尼系統 (spring-mass-damper system)。於實務上的製程中，該彈簧 3 常以彎延結構 (serpentine) 加以實施，而彎延結構常引入一跨軸剛性係數。

旋轉座標中的  $x, y$  軸之其中一軸為驅動軸，而另一軸則為感測軸。舉例而言，如以  $x$  軸作為驅動軸，由  $x$  軸產生驅動力，使得質量塊 1 沿著  $x$  軸進行相同頻率之振動，倘若固定框架 2 亦同時進行旋轉運動 (角速度  $\Omega$ )，此時感受到與其於驅動軸  $x$  上振動速度與  $z$  軸角速度乘積 (以  $\Omega_z \dot{x}$  表示) 成正比之科氏力

(Coriolis force)。該科氏效應致使陀螺儀質量塊 1 於感測軸  $y$  上振動，如藉由對感測軸  $y$  進行處理，則可獲致角速度  $\Omega_z$  訊號。

陀螺儀質量塊 1 於  $xy$  雙軸的系統動態可利用動力學 (dynamics) 推導並且簡化為：

$$m\ddot{x} + D_{xx}\dot{x} + D_{xy}\dot{y} + K_{xx}x + K_{xy}y = u_x + 2m\Omega_z\dot{y} \dots\dots\dots(1)$$

$$m\ddot{y} + D_{xy}\dot{x} + D_{yy}\dot{y} + K_{xy}x + K_{yy}y = u_y - 2m\Omega_z\dot{x} \dots\dots\dots(2)$$

其中  $m$  為陀螺儀質量塊 1 的質量； $D_{xx}$  與  $D_{yy}$  為  $x$  以及  $y$  軸的主軸阻尼係數(damping coefficients)； $K_{xx}$  與  $K_{yy}$  為  $x$  以及  $y$  軸方向的主軸剛性係數(spring constants)； $D_{xy}$  與  $K_{xy}$  為跨軸 (cross-axis) 的阻尼係數以及剛性係數；而  $u_x$  與  $u_y$  為  $x$  軸以及  $y$  軸的控制輸入(control inputs)。

對於公式(1)以及公式(2)進行歸一化(normalization)，可獲得：

$$\ddot{x} + d_{xx}\dot{x} + d_{xy}\dot{y} + k_{xx}x + k_{xy}y = \frac{u_x}{m} + 2\Omega_z\dot{y} \dots\dots(3)$$

$$\ddot{y} + d_{xy}\dot{x} + d_{yy}\dot{y} + k_{xy}x + k_{yy}y = \frac{u_y}{m} - 2\Omega_z\dot{x} \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{其中 } d_{xx} = D_{xx}/m; d_{yy} = D_{yy}/m; d_{xy} = D_{xy}/m;$$

$$k_{xx} = K_{xx}/m; k_{yy} = K_{yy}/m; k_{xy} = K_{xy}/m。$$

公式(3)以及(4)中， $d_{xy}$  與  $k_{xy}$  係為跨軸係數，分別為跨軸阻尼係數以及跨軸剛性係數，乃源自於陀螺儀機械結構的不對



稱(asymmetric)或尺寸誤差，因此造成 x 軸以及 y 軸的動態耦合(dynamic coupling)。相同地，基於機械結構的瑕疵影響， $m$ 、 $d_{xx}$ 、 $d_{yy}$ 、 $k_{xx}$  以及  $k_{yy}$  等系統參數亦皆可能相異於原始設計值。因此，共有  $d_{xx}$ 、 $d_{yy}$ 、 $d_{xy}$ 、 $k_{xx}$ 、 $k_{yy}$ 、 $k_{xy}$ 、 $m$  以及  $\Omega_z$  共八個未知系統參數皆受到機械結構瑕疵的影響。

將公式(3)以及公式(4)改寫為矩陣型式，則：

$$\dot{X} = f(X) + BU \dots \dots \dots (5)$$

$$Z = CX + \text{雜訊} \dots \dots \dots (6)$$

其中  $X = [x \quad \dot{x} \quad y \quad \dot{y} \quad \Omega_z \quad k_{xx} \quad k_{yy} \quad k_{xy} \quad d_{xx} \quad d_{yy} \quad d_{xy} \quad m]$

$$f(x) = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ -k_{xx}x - k_{xy}y - d_{xx}\dot{x} - d_{xy}\dot{y} + 2\Omega_z\dot{y} \\ \dot{y} \\ -k_{xy}x - k_{yy}y - d_{xy}\dot{x} - d_{yy}\dot{y} - 2\Omega_z\dot{x} \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}_{12 \times 1}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 1/m & 0 & 0 & [0]_{2 \times 8} \\ 0 & 0 & 0 & 1/m & [0]_{2 \times 8} \end{bmatrix}^T$$

$$U = \begin{bmatrix} u_x \\ u_y \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & [0]_{2 \times 8} \\ 0 & 0 & 0 & 1 & [0]_{2 \times 8} \end{bmatrix}$$

為簡化系統，於本發明中可將公式(6)中的雜訊項加以忽略，並且假設所有系統參數  $d_{xx}$ 、 $d_{yy}$ 、 $d_{xy}$ 、 $k_{xx}$ 、 $k_{yy}$ 、 $k_{xy}$ 、 $m$  以及  $\Omega_z$  皆為定值加以模擬。

圖 2 顯示根據本發明之「具有瑕疵補償之單軸控制輸入陀螺儀系統」之一實施例，其包含一單軸控制輸入陀螺儀 4 以及一狀態觀察裝置(state observer)5，該單軸輸入控制陀螺儀 4 包含一機械結構 41。所述的「單軸控制輸入陀螺儀」，更具體而言，係於「微機電振動式單軸控制輸入陀螺儀」同義。本發明所謂的「單軸控制輸入陀螺儀」，為於前揭公式(2)、公式(4)以及公式(5)的 U 陣列中，未有 y 軸控制輸入  $u_y$ ，而僅以 x 軸的  $u_x$  作為控制輸入，如圖 2 所顯示。因此，稱  $u_x$  為單軸控制訊號，而稱該陀螺儀系統為單軸控制輸入陀螺系統。為簡化並方便說明，本說明書以及申請專利範圍將「微機電振動式單軸控制輸入陀螺儀」簡稱為「單軸控制輸入陀螺儀」。

如圖 2 所顯示，該狀態觀察裝置 5 耦接於該單軸控制輸入陀螺儀 4。所謂的狀態觀察裝置是一種用以模擬真實系統的裝置，藉由真實系統的輸入與輸出訊號，以估測出真實系統的內部狀態(internal state)。

本發明一實施例中的狀態觀察裝置 5 包含一單軸控制輸入陀螺儀模型(model)51、一誤差校正單元(error correction unit)52 以及一減法器 53；其中，該單軸控制輸入陀螺儀模型 51 可利用忽略公式(2)、公式(4)以及公式(5)中的 y 軸控制輸入  $u_y$  後，加以建立並模型化單軸控制輸入陀螺儀 4 的機械結構 41。該單軸控制輸入陀螺儀模型 51 可利用複數個系統參數以及複數個動態方程式加以描述，該些系統參數包含前揭公式中的陀螺儀質量塊的質量  $m$ 、剛性係數  $k_{xx}$ 、 $k_{yy}$ 、 $k_{xy}$ 、阻尼係數  $d_{xx}$ 、 $d_{yy}$ 、 $d_{xy}$ ，以及角速度  $\Omega_z$ 。

所述單軸控制輸入陀螺儀 4 以 x 軸的單軸控制訊號  $u_x$  作為輸入，並且產生複數個陀螺儀系統動態輸出  $O_G$ ，該些陀螺儀系統動態輸出  $O_G$  可經由量測而取得。單軸控制輸入陀螺儀

模型 51 亦以單軸控制訊號  $u_x$  作為輸入，產生相對應於陀螺儀系統動態輸出  $O_G$  的複數個模型系統動態輸出  $O_M$ 。該些陀螺儀系統動態輸出  $O_G$  包含  $x$  軸位置( $x$ )、 $y$  軸位置( $y$ )，及/或  $x$  軸速度( $\dot{x}$ )、 $y$  軸速度( $\dot{y}$ )，及/或  $x$  軸加速度( $\ddot{x}$ )、 $y$  軸加速度( $\ddot{y}$ )，及/或更高階的雙軸動態；而前述「相對應」一詞，表示單軸控制輸入陀螺儀模型 51 將產生和陀螺儀系統動態輸出  $O_G$  一一對應的輸出。

於減法器 53 中，該些模型系統動態輸出  $O_M$  的其中至少兩個與相對應的兩個陀螺儀系統動態輸出  $O_G$  進行差值運算，並將估算出的相對誤差值傳遞至誤差校正單元 52，計算相對應的補償值後再回饋於單軸控制輸入陀螺儀模型 51，藉以修正其模型系統動態輸出  $O_M$ ，使其逐漸逼近陀螺儀系統動態輸出  $O_G$ ，進而且估測出八個系統參數，包括陀螺儀估測角速度  $\Omega_z'$ 。另外須解釋的是，「動態輸出」一詞係指輸出訊號與時間呈函數關係，因此前揭的估測為一隨時間取樣而進行之迭代(iteration)或回授(feedback)，亦即第  $n+1$  次的系統參數估測係根據第  $n$  次的估測而產生的動態輸出來修正，俾使最終的系統參數以及估測角速度  $\Omega_z'$  可逐漸收斂至其對應的真實值。

用以輸入減法器 53 進行比較的兩個陀螺儀系統動態輸出，可選擇自陀螺儀 4 的  $x$  軸位置( $x$ )以及  $y$  軸位置( $y$ )、 $x$  軸速度( $\dot{x}$ )以及  $y$  軸速度( $\dot{y}$ )、 $x$  軸加速度( $\ddot{x}$ )以及  $y$  軸加速度( $\ddot{y}$ )、或者更高階的相對應雙軸微分。

於建立一個狀態觀察器之前，必須先確認與其耦接之陀螺儀的可觀察性(observability)。如一系統的觀察性矩陣呈現滿秩(full rank)的情形下，該系統為具有可觀察性的。根據公式(5)以及(6)，陀螺儀的觀察矩陣  $W_0$  可整理為：

$$W_0 = \begin{bmatrix} [C_1]_{4 \times 4} & [0]_{4 \times 8} \\ [0]_{8 \times 4} & [W_{kd}]_{8 \times 8} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (7)$$

$$W_{kd} = \begin{bmatrix} 2\ddot{y} & -\dot{x} & 0 & -\dot{y} & -\ddot{x} & 0 & -\ddot{y} & x^{(3)} \\ -2\ddot{x} & 0 & -\dot{y} & -\dot{x} & 0 & -\ddot{y} & -\ddot{x} & y^{(3)} \\ 2y^{(3)} & -\ddot{x} & 0 & -\ddot{y} & -x^{(3)} & 0 & -y^{(3)} & x^{(4)} \\ -2x^{(3)} & 0 & -\ddot{y} & -\ddot{x} & 0 & -y^{(3)} & -x^{(3)} & y^{(4)} \\ 2y^{(4)} & -x^{(3)} & 0 & -y^{(3)} & -x^{(4)} & 0 & -y^{(4)} & x^{(5)} \\ -2x^{(4)} & 0 & -y^{(3)} & -x^{(3)} & 0 & -y^{(4)} & -x^{(4)} & y^{(5)} \\ 2y^{(5)} & -x^{(4)} & 0 & -y^{(4)} & -x^{(5)} & 0 & -y^{(5)} & x^{(6)} \\ -2x^{(5)} & 0 & -y^{(4)} & -x^{(4)} & 0 & -y^{(5)} & -x^{(5)} & y^{(6)} \end{bmatrix}$$

$$\text{其中 } C_1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -k_{xx} & 0 & -k_{xy} & 0 \\ -k_{xy} & 0 & -k_{yy} & 0 \end{bmatrix}$$

且  $x^{(n)}$  與  $y^{(n)}$  分別代表對  $x$  的  $n$  階微分以及對  $y$  的  $n$  階微分。

經過檢視  $W_{kd}$  發現，只要  $x \neq y$ 、 $\dot{x} \neq \dot{y}$ 、 $\ddot{x} \neq \ddot{y}$ 、....，亦即陀螺儀系統的控制輸入存在至少兩個頻率的動態，則  $W_{kd}$  將為滿秩，亦即陀螺儀系統包括角速度  $\Omega_z$  在內的八個系統參數（質量  $m$ 、剛性係數  $k_{xx}$ 、 $k_{yy}$ 、 $k_{xy}$  以及阻尼係數  $d_{xx}$ 、 $d_{yy}$ 、 $d_{xy}$ ），皆可經由狀態觀察裝置 5 估測而得。

比較於公式(5)以及公式(6)，該狀態觀察裝置 5 可設計為：

$$\dot{\hat{X}} = f(\hat{X}) + BU + LC(X - \hat{X}) \dots \dots \dots (8)$$

$$\hat{Z} = C\hat{X} \dots \dots \dots (9)$$

其中 L 為狀態觀察裝置 5 的增益值(gain)，可藉由習知的狀態觀察裝置 5 的建構方式以獲致該增益值。因此，本發明之具有瑕疵補償之單軸控制輸入陀螺儀系統可於回授並補償機械結構的瑕疵狀況下，求得具補償機械瑕疵下的角速度  $\Omega_z$ ，即估測角速度  $\Omega_z'$  將漸漸逼近正確角速度  $\Omega_z$ 。

承上之論述，如選用的控制輸入為至少兩個頻率的訊號，則陀螺儀 4 系統具有可觀察性，因此陀螺儀 4 的控制輸入可表示為至少兩個頻率的訊號：

$$U = \begin{bmatrix} \sin(\omega_1 t) + \sin(\omega_2 t) \\ 0 \end{bmatrix} \dots \dots \dots (10)$$

其中  $\omega_1$ 、 $\omega_2$  為任意選取的兩個頻率。

本發明之一實施例選擇如表一的數值參數進行模擬，以驗證本發明的瑕疵補償效能。

表一 模擬參數值

參數	數值
$\Omega_z$	$\sin(2 \times \pi \times 100t)$ rad/sec
$k_{xx}$	$(2 \times \pi \times 3000)^2 \text{ sec}^{-2}$
$k_{xy}$	$(2 \times \pi \times 900)^2 \text{ sec}^{-2}$
$k_{yy}$	$(2 \times \pi \times 3000)^2 \text{ sec}^{-2}$
$d_{xx}$	$10 \text{ sec}^{-1}$
$d_{xy}$	$0 \text{ sec}^{-1}$
$d_{yy}$	$10 \text{ sec}^{-1}$
M	0.9

圖 3A 顯示陀螺儀系統以一隨時間變化的單軸控制訊號  $u_x$  作為其輸入，該單軸控制訊號  $u_x$  為兩個頻率訊號的組成，如

公式(10)所表示。該陀螺儀 4 因單軸控制訊號  $u_x$  而輸出複數個陀螺儀系統動態輸出  $O_G$ ，該些陀螺儀系統動態可包含  $x$  軸位置以及  $y$  軸位置、或者  $x$  軸速度以及  $y$  軸速度，如圖 3B 至圖 3E 虛線所顯示。狀態觀察裝置 5 由陀螺儀 4 輸入陀螺儀系統動態輸出  $O_G$ ，與模型系統動態輸出  $O_M$  進行一差值運算，進行回授補償，藉此估測出系統動態  $O_M$ ，以及八個系統參數，包括角速度  $\Omega_z$ ，如前所論述。圖 3B 至圖 3E 同時顯示由狀態觀察裝置 5 所估測的模型系統動態  $O_M$ (以實線表示)將逐漸逼近實際的陀螺儀系統動態輸出  $O_G$ 。

圖 4A 至圖 4H 顯示狀態觀察裝置所估測出的八個系統參數，包含質量  $m$ 、剛性係數  $k_{xx}$ 、 $k_{yy}$ 、 $k_{xy}$ 、阻尼係數  $d_{xx}$ 、 $d_{yy}$ 、 $d_{xy}$  以及角速度  $\Omega_z$ ，八個系統參數皆於 80ms 內逐漸收斂逼近表一中的給定模擬參數值。

異於習用技術，本發明提供一種具有瑕疵補償之陀螺儀系統，該系統包含該陀螺儀以及該狀態觀察裝置，利用控制系統的訊號處理，回授並補償陀螺儀機械結構的瑕疵，並且配合陀螺儀機械結構的跨軸彈性係數或者跨軸阻尼係數，估測陀螺儀的系統參數，包含質量  $m$ 、主軸剛性係數  $k_{xx}$  和  $k_{yy}$ 、跨軸剛性係數  $k_{xy}$ 、主軸阻尼係數  $d_{xx}$ 、 $d_{yy}$ 、跨軸阻尼係數  $d_{xy}$ ，以及角速度  $\Omega_z$ ，因此架構簡單、成本低廉且具有高準確度，並可免除昂貴的後製程修正程序。

對於熟習本發明所屬領域之人士，受惠於前述說明以及相關圖式之教導，於不脫離本發明之精神以及範圍內，應可推得本發明各種實質上相等之變更以及其他具體實施例。因此，本發明應不受限於前揭之特定實施例，並應將該等實質上相等之變更以及其他具體實施例納入之後載之申請專利範圍內。

### 【圖式簡單說明】

本發明的實施方式係結合圖式予以描述：

圖 1 顯示一個微機電線性振動式陀螺儀的機械結構模型；

圖 2 顯示根據本發明之「具有瑕疵補償之單軸控制輸入陀螺儀系統」之一實施例；

圖 3A 至圖 3E 分別顯示由陀螺儀之單軸輸入兩頻率的系統動態( $u_x$ )，致狀態觀察裝置輸出模型系統動態之 x 軸位置、y 軸位置、x 軸速度以及 y 軸速度的數值逐漸逼近真實陀螺儀系統動態示意圖；以及

圖 4A 至圖 4H 顯示狀態觀察裝置所估測出的八個系統參數，包含  $k_{xx}$ 、 $k_{xy}$ 、 $k_{yy}$ 、 $d_{xx}$ 、 $d_{xy}$ 、 $d_{yy}$ 、 $m$  以及角速度  $\Omega_z$ ，這些參數值逐漸收斂至模擬設定值示意圖。

#### 【主要元件符號說明】

- $\Omega$  . . . . . 總角速度
- $\Omega'_z$  . . . . . 估測角速度
- $\Omega_z$  . . . . . 待量測角速度(正確角速度)
- 1 . . . . . 陀螺儀質量塊
- 2 . . . . . 固定框架
- 3 . . . . . 彈簧
- 4 . . . . . 單軸控制輸入陀螺儀
- 41 . . . . . 機械結構
- 5 . . . . . 狀態觀察裝置
- 51 . . . . . 單軸控制輸入陀螺儀模型
- 52 . . . . . 誤差校正單元
- 53 . . . . . 減法器
- $u_x$  . . . . . 單軸控制訊號
- $O_G$  . . . . . 陀螺儀系統動態輸出
- $O_M$  . . . . . 模型系統動態輸出

## 七、申請專利範圍：

1. 一種具有瑕疵補償之單軸控制輸入陀螺儀系統，該系統包含一陀螺儀以及一狀態觀察裝置；該陀螺儀包含一機械結構，該機械結構的動態行為可利用複數個系統參數與複數個動態方程式加以描述而模型化；該陀螺儀輸入一單軸控制訊號，並輸出複數個陀螺儀系統動態，該單軸控制訊號包含至少兩個的頻率訊號；其中該狀態觀察裝置耦接於該陀螺儀，並以該些陀螺儀系統動態輸出的其中至少兩個作為該狀態觀察裝置的輸入，藉以回授補償於該狀態觀察裝置，並估測出一物體的一待量測角速度；

其中，該些系統參數包含一陀螺儀質量、兩主軸剛性係數、一跨軸剛性係數、兩主軸阻尼係數、一跨軸阻尼係數、以及該待量測角速度；

其中，該狀態觀察裝置包含一單軸控制輸入陀螺儀模型，該單軸控制輸入陀螺儀模型以該單軸控制訊號作為輸入，並產生複數個模型系統動態輸出；該些模型系統動態輸出與相對應的陀螺儀系統動態輸出進行差值運算，計算出複數個補償值並回饋於該單軸控制輸入陀螺儀模型，藉以估測出該些系統參數及系統動態。

2. 如申請專利範圍第 1 項所述的具有瑕疵補償之單軸控制輸入陀螺儀系統，其中該陀螺儀的該些陀螺儀系統動態輸出被限制於一由 x 軸以及 y 軸所定義的 xy 平面；該單軸控制訊號僅由 x 軸或 y 軸之其一輸入陀螺儀；其中輸入該狀態觀察裝置的模型系統動態輸出恰為兩個，且可為選擇自 x 軸位置以及 y 位置，或者 x 軸速度以及 y 軸速度。



八、圖式：

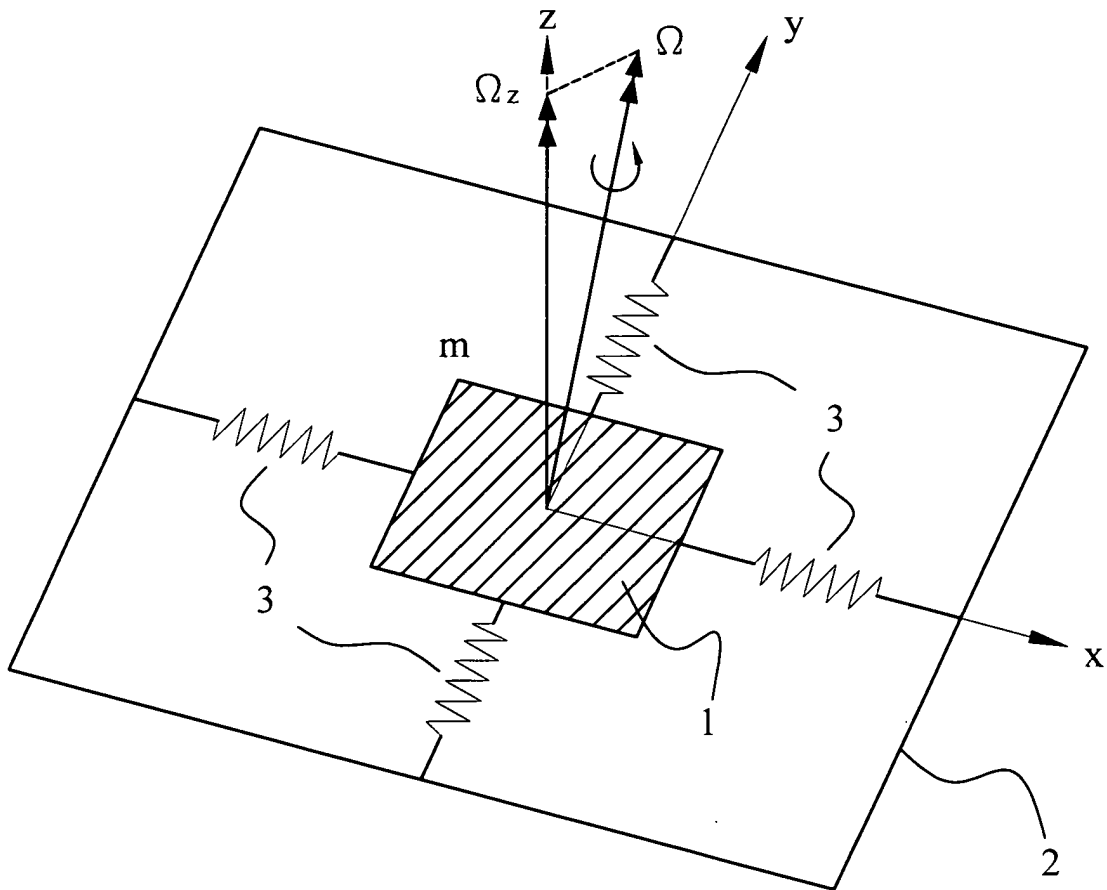


圖 1

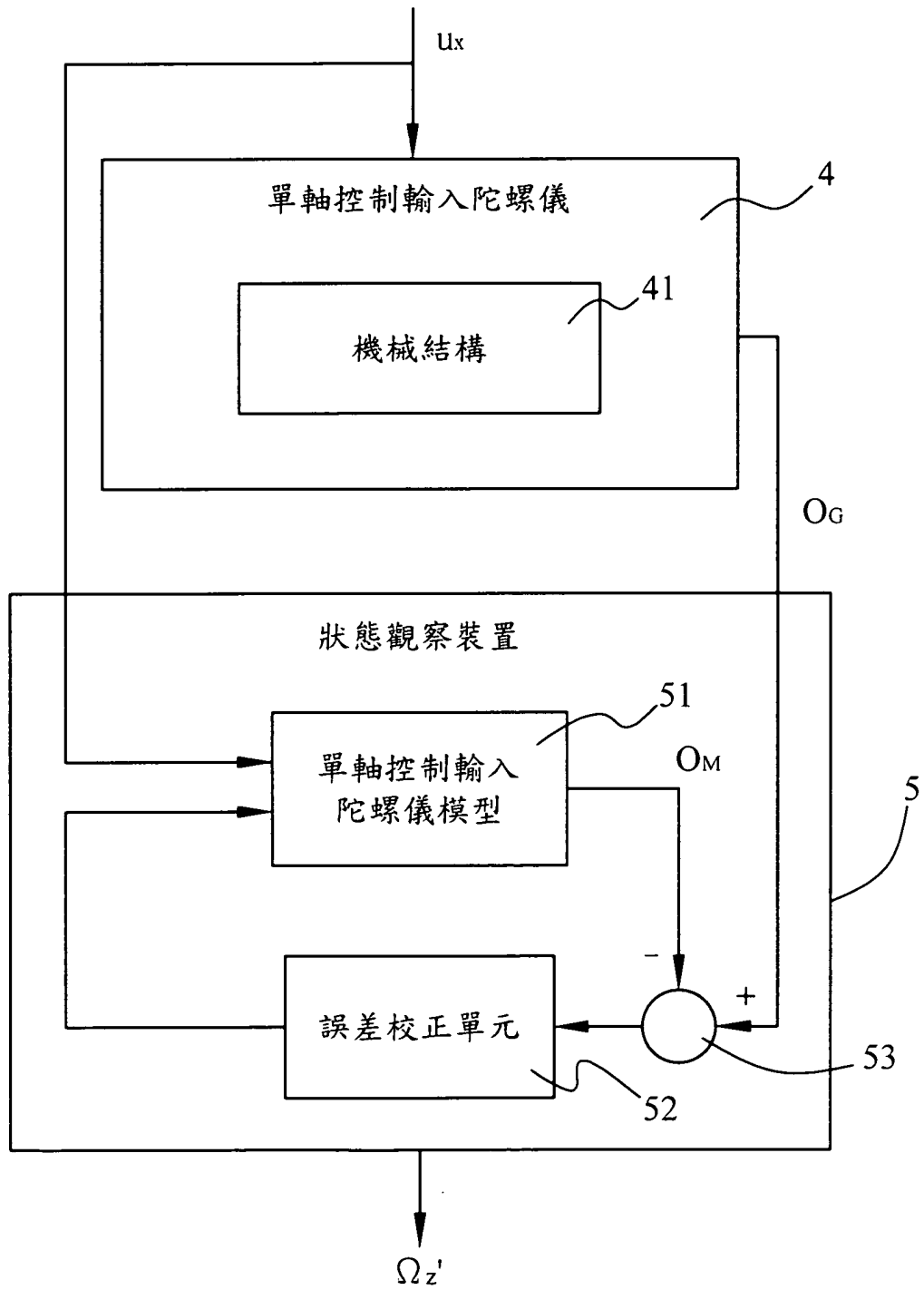


圖 2

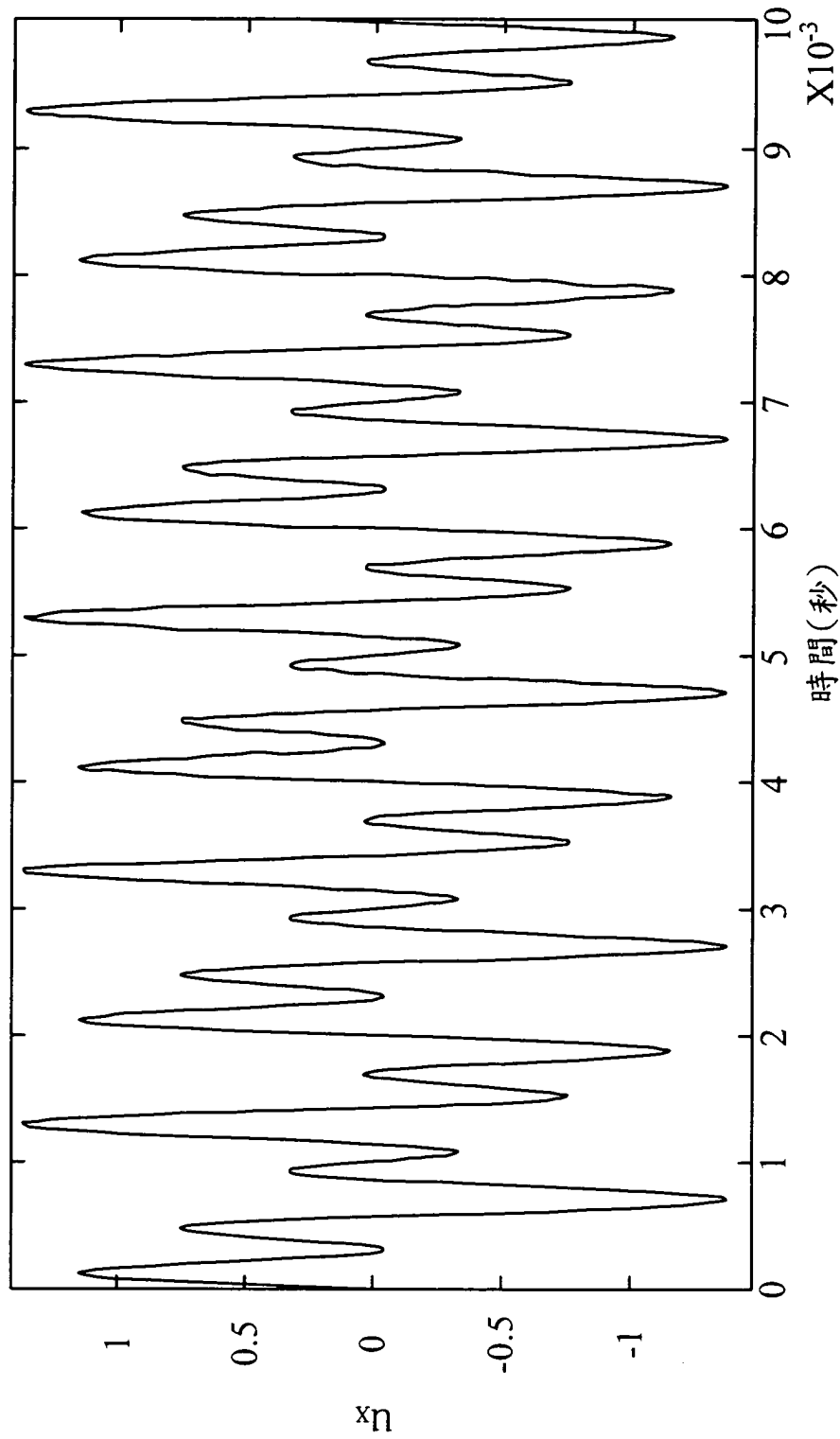


圖 3A

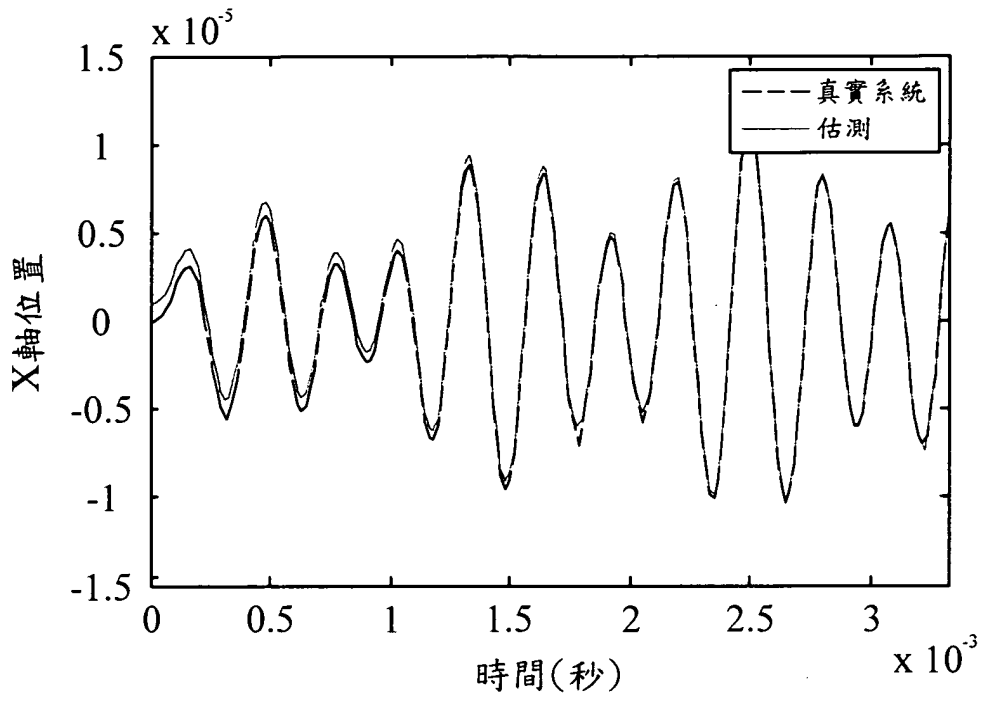


圖 3B

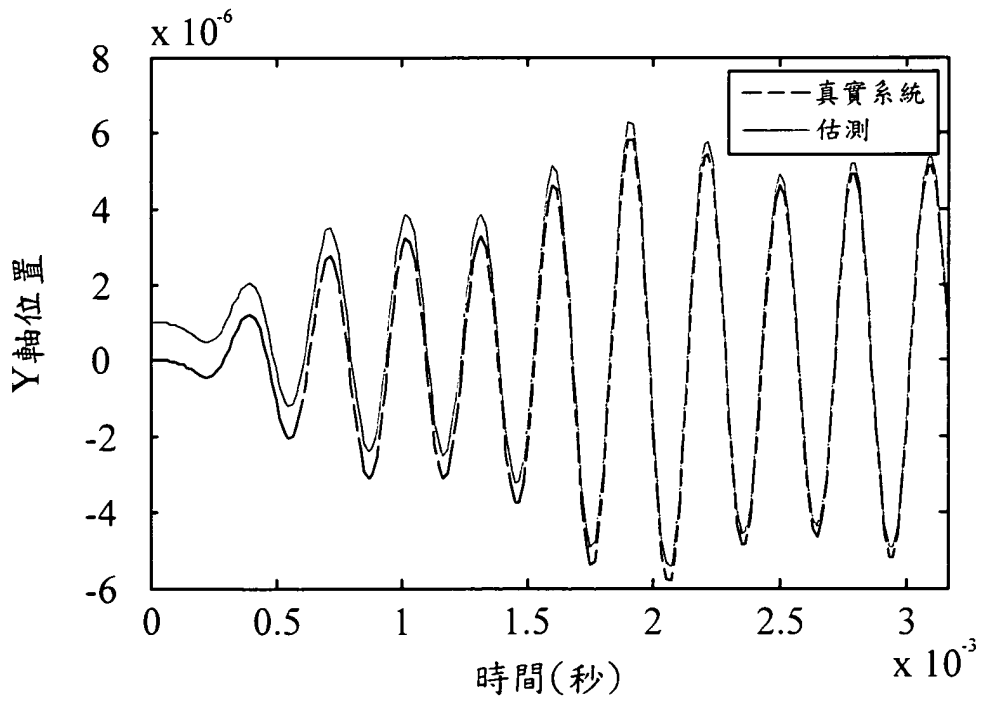


圖 3C

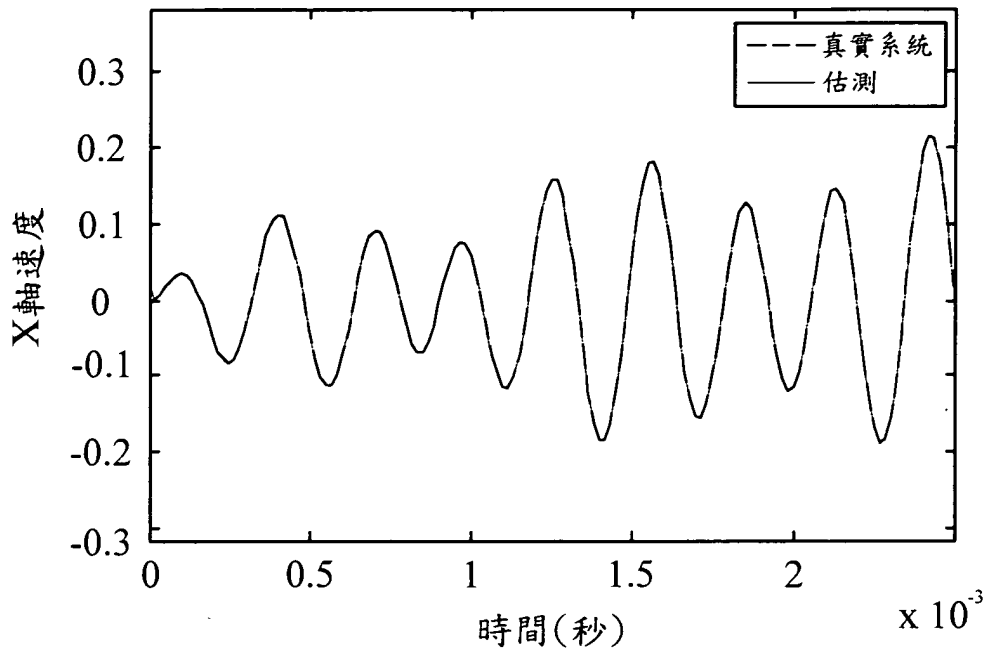


圖 3D

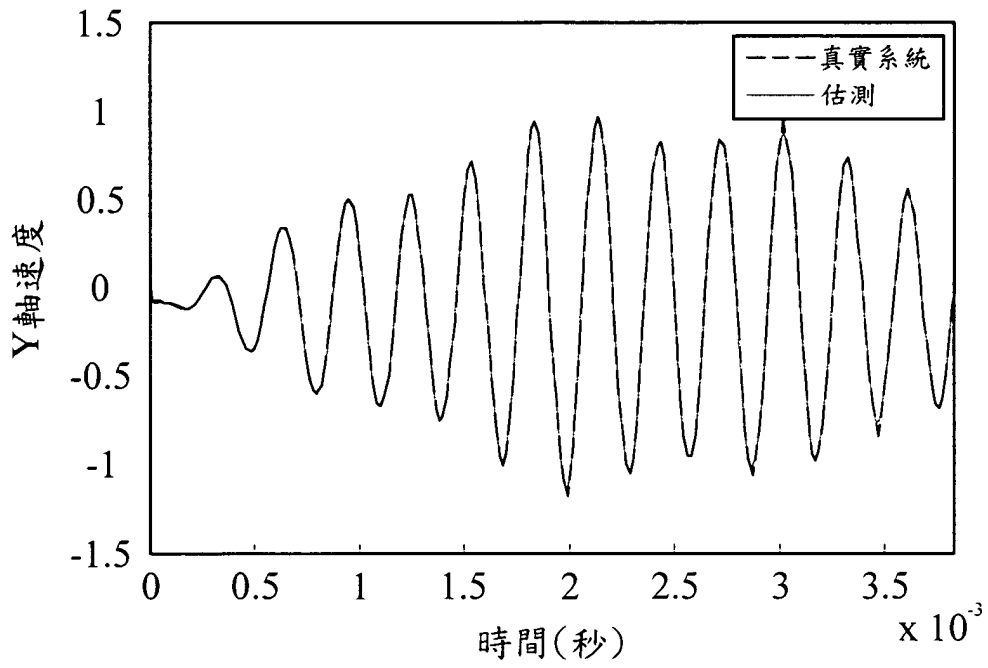
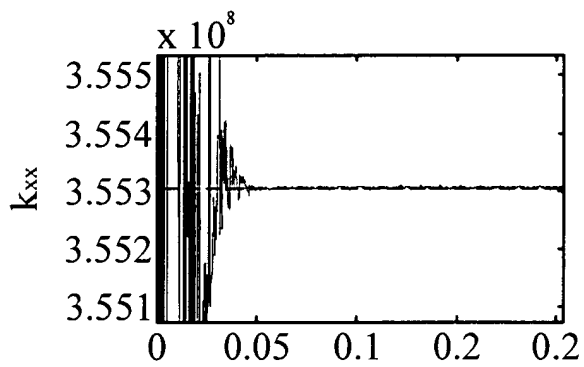
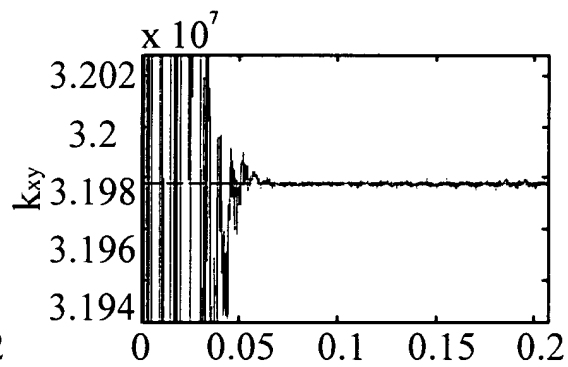


圖 3E



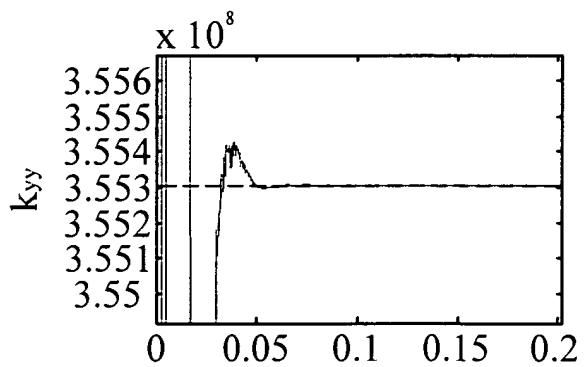
時間(秒)

圖 4A



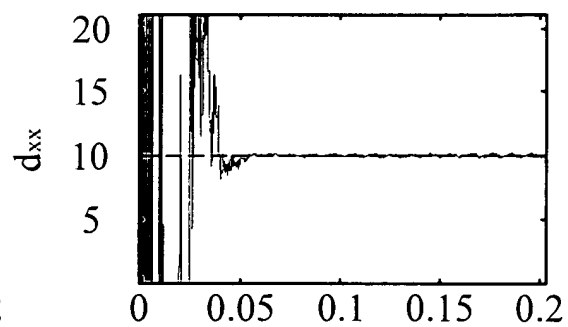
時間(秒)

圖 4B



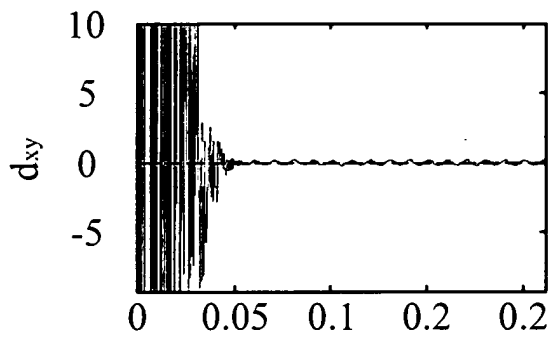
時間(秒)

圖 4C



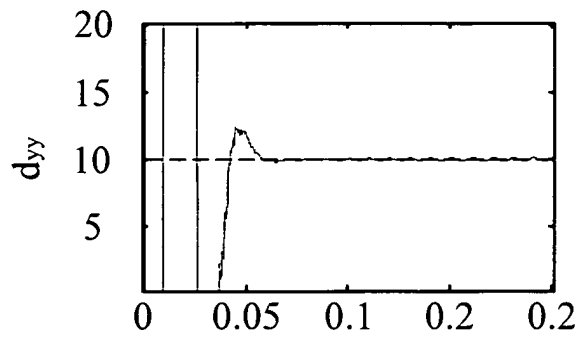
時間(秒)

圖 4D



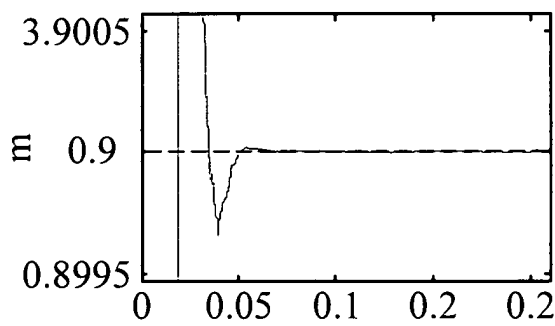
時間(秒)

圖 4E



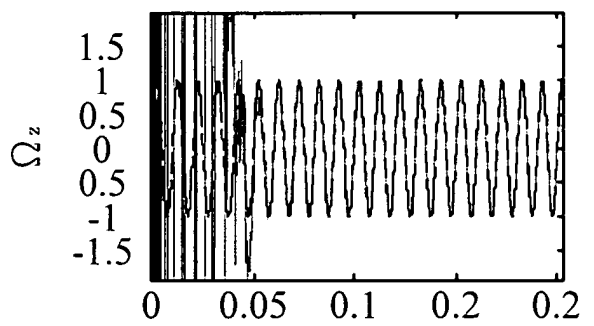
時間(秒)

圖 4F



時間(秒)

圖 4G



時間(秒)

圖 4H