



(21)申請案號：098123199

(22)申請日：中華民國 98 (2009) 年 07 月 09 日

(51)Int. Cl. : G01C19/04 (2006.01)

G01C19/32 (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)

(74)代理人：高玉駿；楊祺雄

(56)參考文獻：

CN 101109634A

US 6481285B1

US 6928874B2

US 6952965B2

US 7549334B2

審查人員：吳耿榮

申請專利範圍項數：26 項 圖式數：7 共 0 頁

(54)名稱

角度量測陀螺儀系統及角度估算方法

(57)摘要

一種角度量測陀螺儀系統，包含一包括一質量塊的陀螺儀、一感測模組，及一包括一狀態觀察器與一角度計算器的計算模組。該感測模組根據該質量塊的移動產生一組感測信號。該狀態觀察器根據一組估計參數計算一組估計信號，並得到一增益，且根據該陀螺儀的動態方程式、該增益、該組感測信號及該組估計信號更新該組估計參數。該組估計參數與包括該質量塊的位置與速度、該感測模組的感測誤差，及該陀螺儀的轉動角速度之一組系統參數對應。該角度計算器根據該組估計參數中對應位置與速度的參數，及該陀螺儀的剛性係數，計算該陀螺儀的轉動角度。

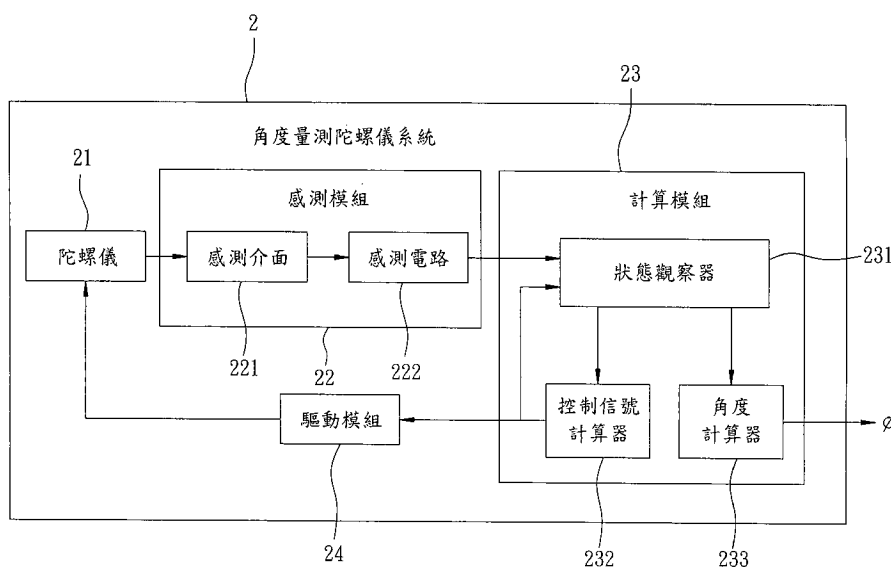


圖3

2... 角度量測陀螺儀系統

21... 陀螺儀

22... 感測模組

221... 感測介面

222... 感測電路

23... 計算模組

231... 狀態觀察器

232... 控制信號計算器

233... 角度計算器

24... 驅動模組

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：98123199

※申請日：98.7.9

※IPC 分類：G01C 19/4 (2006.01)
G01C 19/32 (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

角度量測陀螺儀系統及角度估算方法

二、中文發明摘要：

一種角度量測陀螺儀系統，包含一包括一質量塊的陀螺儀、一感測模組，及一包括一狀態觀察器與一角度計算器的計算模組。該感測模組根據該質量塊的移動產生一組感測信號。該狀態觀察器根據一組估計參數計算一組估計信號，並得到一增益，且根據該陀螺儀的動態方程式、該增益、該組感測信號及該組估計信號更新該組估計參數。該組估計參數與包括該質量塊的位置與速度、該感測模組的感測誤差，及該陀螺儀的轉動角速度之一組系統參數對應。該角度計算器根據該組估計參數中對應位置與速度的參數，及該陀螺儀的剛性係數，計算該陀螺儀的轉動角度。

三、英文發明摘要：

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：圖 (3)。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

2.....	角度量測陀螺儀	23.....	計算模組
系統		231.....	狀態觀察器
21.....	陀螺儀	232.....	控制信號計算器
22.....	感測模組	233.....	角度計算器
221.....	感測介面	24.....	驅動模組
222.....	感測電路		

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】

本發明是有關於一種陀螺儀系統，特別是指一種角度量測陀螺儀系統 (angle-measuring gyroscope system) 及其角度估算方法。

【先前技術】

參閱圖 1 與圖 2，一角度量測陀螺儀系統 1 包括一陀螺儀 11、一感測模組 12 及一計算模組 13。

陀螺儀 11 包括一質量塊 (proof mass) 111 (圖 2 所顯示的是陀螺儀 11 的動態模型，而不是其實際結構)。質量塊 111 在一 XY 平面上振動。當陀螺儀 11 關於一正交於 XY 平面的軸轉動時，質量塊 111 的振動軸 V 不會跟著轉動，因此，對於陀螺儀 11 來說，質量塊 111 的振動軸會進動 (precess)。

感測模組 12 感測質量塊 111 的移動，並產生感測信號。該計算模組 13 根據感測模組 12 所產生的感測信號，計算陀螺儀 11 的轉動角度 ϕ 。

一種習知的計算轉動角度 ϕ 之方式是根據感測信號間接計算出陀螺儀 11 的轉動角度 ϕ ，也就是先根據感測信號計算出陀螺儀 11 的轉動角速度，再對轉動角速度積分，以得到陀螺儀 11 的轉動角度 ϕ 。另一種習知的計算轉動角度 ϕ 之方式是根據感測信號直接計算出陀螺儀 11 的轉動角度 ϕ 。然而，陀螺儀 11 的瑕疵、感測模組 12 的瑕疵、感測信號的飄移及雜訊都會使計算出的轉動角度 ϕ 帶有誤差。

一種習知的降低轉動角度 ϕ 的誤差之方式是使用複雜的結構設計或額外的製程調整來減少陀螺儀 11 的瑕疵所造成的影響，例如美國專利第 6481285 號及美國專利第 6928874 號所揭露的。

另一種習知的降低轉動角度 ϕ 的誤差之方式是使用複雜的電路設計來減少感測模組 12 的瑕疵，例如 2005 年 Proceedings of the Second International Workshop on Network Sensing Systems 第 119-123 頁 "A low noise capacitive sensing amplifier for CMOS-MEMS gyroscope with 1 mili-watt power dissipation" 論文所揭露的。

又一種習知的降低轉動角度 ϕ 的誤差之方式是計算模組 13 更根據感測信號計算控制信號，角度量測陀螺儀系統 1 更利用一驅動模組（圖未示）根據控制信號來控制質量塊 111 的振動，以減少陀螺儀 11 的瑕疵所造成的影響，例如美國專利第 6481285 號、美國專利第 6928874 號、美國專利第 6934660 號、2004 年 Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control 第 126 卷第 4 期第 800-810 頁 "New adaptive mode of operation for MEMS gyroscopes" 論文，及 2008 年 Sensors and Actuators A 第 144 卷第 1 期第 56-63 頁 "Dynamics and control of a MEMS angle measuring gyroscope" 論文所揭露的，但是這無法減少感測模組 12 的瑕疵及感測信號的飄移所造成的影響。

【發明內容】

因此，本發明之目的即在提供一種使用狀態觀察器的

角度量測陀螺儀系統，可以減少感測模組的瑕疵及感測信號的飄移所造成的影響。

於是，本發明角度量測陀螺儀系統包含一陀螺儀、一感測模組及一計算模組。

該陀螺儀包括一質量塊。該質量塊在正交的一第一軸及一第二軸所構成的一平面上振動。

該感測模組用於感測該質量塊的移動，並產生一組感測信號。該組感測信號反應該質量塊於該第一軸之位置及該質量塊於該第二軸之位置。

該計算模組電連接到該感測模組，且包括一狀態觀察器及一角度計算器。

該狀態觀察器用於根據一組估計參數計算與該組感測信號對應的一組估計信號，並根據該陀螺儀的動態方程式得到一增益，且根據該陀螺儀的動態方程式、該增益、該組感測信號及該組估計信號更新該組估計參數。該組估計參數與一組系統參數對應。該組系統參數包括該質量塊於該第一軸的位置、該質量塊於該第二軸的位置、該質量塊於該第一軸的速度、該質量塊於該第二軸的速度、該感測模組於該第一軸的感測誤差、該感測模組於該第二軸的感測誤差，及該陀螺儀於一第三軸的轉動角速度。該第三軸正交於該第一軸及該第二軸。

該角度計算器用於根據該組估計參數中對應位置與速度的參數，及該陀螺儀的剛性係數，計算該陀螺儀於該第三軸的轉動角度。

而本發明之另一目的即在提供一種使用狀態觀察器的角度估算方法，可以減少感測模組的瑕疵及感測信號的飄移所造成的影響。

於是，本發明角度估算方法運用於一包括一陀螺儀及一感測模組的角度量測陀螺儀系統。該陀螺儀包括一質量塊。該質量塊在正交的一第一軸及一第二軸所構成的一平面上振動。該感測模組感測該質量塊的移動，並產生一組感測信號。該組感測信號反應該質量塊於該第一軸之位置及該質量塊於該第二軸之位置。該角度估算方法包含以下步驟：

(a)利用一狀態觀察器來根據一組估計參數計算與該組感測信號對應的一組估計信號，該組估計參數與一組系統參數對應，該組系統參數包括該質量塊於該第一軸的位置、該質量塊於該第二軸的位置、該質量塊於該第一軸的速度、該質量塊於該第二軸的速度、該感測模組於該第一軸的感測誤差、該感測模組於該第二軸的感測誤差，及該陀螺儀於一第三軸的轉動角速度，該第三軸正交於該第一軸及該第二軸；

(b)利用該狀態觀察器來根據該陀螺儀的動態方程式得到一增益；

(c)利用該狀態觀察器來根據該陀螺儀的動態方程式、該增益、該組感測信號及該組估計信號更新該組估計參數；及

(d)根據該組估計參數中對應位置與速度的參數，及該

陀螺儀的剛性係數，計算該陀螺儀於該第三軸的轉動角度。

而本發明之另一目的即在提供一種使用狀態觀察器的角度量測陀螺儀系統，可以減少陀螺儀的瑕疵所造成的影響。

於是，本發明角度量測陀螺儀系統包含一陀螺儀、一感測模組、一計算模組及一驅動模組。

該陀螺儀包括一質量塊。該質量塊在正交的一第一軸及一第二軸所構成的一平面上振動。

該感測模組用於感測該質量塊的移動，並產生一組感測信號。該組感測信號反應該質量塊於該第一軸之位置及該質量塊於該第二軸之位置。

該計算模組電連接到該感測模組，且包括一狀態觀察器、一控制信號計算器及一角度計算器。

該狀態觀察器用於根據一組估計參數計算與該組感測信號對應的一組估計信號，並根據該陀螺儀的動態方程式得到一增益，且根據該陀螺儀的動態方程式、該增益、該組感測信號及該組估計信號更新該組估計參數。該組估計參數與一組系統參數對應。該組系統參數包括該質量塊於該第一軸的位置、該質量塊於該第二軸的位置、該質量塊於該第一軸的速度、該質量塊於該第二軸的速度、該陀螺儀於一第三軸的轉動角速度、該陀螺儀於該第一軸的剛性係數、該陀螺儀於該第二軸的剛性係數、該陀螺儀之影響耦合的剛性係數、該陀螺儀於該第一軸的阻尼係數、該陀

螺儀於該第二軸的阻尼係數，及該陀螺儀之影響耦合的阻尼係數。該第三軸正交於該第一軸及該第二軸。

該控制信號計算器用於根據該組估計參數中對應剛性係數、阻尼係數、位置及速度的參數，以及一預設的目標剛性係數，計算一組控制信號。

該角度計算器用於根據該組估計參數中對應位置與速度的參數，及該目標剛性係數，計算該陀螺儀於該第三軸的轉動角度。

該驅動模組電連接到該計算模組，用於根據該組控制信號產生一組控制力來控制該質量塊的振動。

而本發明之另一目的即在提供一種使用狀態觀察器的角度估算方法，可以減少陀螺儀的瑕疵所造成的影響。

於是，本發明角度估算方法運用於一包括一陀螺儀、一感測模組及一驅動模組的角度量測陀螺儀系統。該陀螺儀包括一質量塊。該質量塊在正交的一第一軸及一第二軸所構成的一平面上振動。該感測模組感測該質量塊的移動，並產生一組感測信號。該組感測信號反應該質量塊於該第一軸之位置及該質量塊於該第二軸之位置。該驅動模組根據一組控制信號產生一組控制力來控制該質量塊的振動。該角度估算方法包含以下步驟：

(a)利用一狀態觀察器來根據一組估計參數計算與該組感測信號對應的一組估計信號，該組估計參數與一組系統參數應該，該組系統參數包括該質量塊於該第一軸的位置、該質量塊於該第二軸的位置、該質量塊於該第一軸的速

度、該質量塊於該第二軸的速度、該陀螺儀於一第三軸的轉動角速度、該陀螺儀於該第一軸的剛性係數、該陀螺儀於該第二軸的剛性係數、該陀螺儀之影響耦合的剛性係數、該陀螺儀於該第一軸的阻尼係數、該陀螺儀於該第二軸的阻尼係數，及該陀螺儀之影響耦合的阻尼係數，該第三軸正交於該第一軸及該第二軸；

(b)利用該狀態觀察器來根據該陀螺儀的動態方程式得到一增益；

(c)根據該組估計參數中對應剛性係數、阻尼係數、位置及速度的參數，以及一預設的目標剛性係數，計算該組控制信號；

(d)利用該狀態觀察器來根據該陀螺儀的動態方程式、該增益、該組感測信號及該組估計信號更新該組估計參數；及

(e)根據該組估計參數中對應位置與速度的參數，及該目標剛性係數，計算該陀螺儀於該第三軸的轉動角度。

【實施方式】

有關本發明之前述及其他技術內容、特點與功效，在以下配合參考圖式之一個較佳實施例的詳細說明中，將可清楚地呈現。

參閱圖 3，本發明角度量測陀螺儀系統 2 之較佳實施例包含一陀螺儀 21、一感測模組 22、一計算模組 23 及一驅動模組 24。

參閱圖 3 與圖 4，陀螺儀 21 包括一質量塊 211（圖 4 所

顯示的是陀螺儀 21 的動態模型，而不是其實際結構)。質量塊 211 在正交的一第一軸 X 及一第二軸 Y 所構成的一 XY 平面上振動，且其振動會受一組控制力影響。

質量塊 211 的動態方程式如式(1)所示：

$$\begin{aligned} m\ddot{x} + d_{xx}\dot{x} + d_{xy}\dot{y} + k_{xx}x + k_{xy}y &= u_x + 2m\Omega_z\dot{y} \\ m\ddot{y} + d_{xy}\dot{x} + d_{yy}\dot{y} + k_{xy}x + k_{yy}y &= u_y - 2m\Omega_z\dot{x} \end{aligned} \quad \text{式(1)}$$

其中， x 、 y 分別是質量塊 211 於第一軸 X 及第二軸 Y 的位置， \dot{x} 、 \dot{y} 分別是質量塊 211 於第一軸 X 及第二軸 Y 的速度（即位置之一次微分）， \ddot{x} 、 \ddot{y} 分別是質量塊 211 於第一軸 X 及第二軸 Y 的加速度（即位置之二次微分）， m 是質量塊 211 的質量， d_{xx} 及 d_{yy} 分別是陀螺儀 21 於第一軸 X 及第二軸 Y 的阻尼係數， k_{xx} 及 k_{yy} 分別是陀螺儀 21 於第一軸 X 及第二軸 Y 的剛性係數， d_{xy} 及 k_{xy} 分別是陀螺儀 21 之影響耦合的阻尼係數及剛性係數， Ω_z 是陀螺儀 21 於一第三軸 Z（正交於第一軸 X 及第二軸 Y）的轉動角速度， u_x 是陀螺儀 21 於第一軸 X 被施加的控制力， u_y 是陀螺儀 21 於第二軸 Y 被施加的控制力。

在質量塊 211 的質量為已知的情況下，可以據此來正規化（normalize）式(1)而得到式(2)：

$$\begin{aligned} \ddot{x} + d'_{xx}\dot{x} + d'_{xy}\dot{y} + k'_{xx}x + k'_{xy}y &= u'_x + 2\Omega_z\dot{y} \\ \ddot{y} + d'_{xy}\dot{x} + d'_{yy}\dot{y} + k'_{xy}x + k'_{yy}y &= u'_y - 2\Omega_z\dot{x} \end{aligned} \quad \text{式(2)}$$

其中， $d'_{xx} = d_{xx}/m$ ， $d'_{yy} = d_{yy}/m$ ， $d'_{xy} = d_{xy}/m$ ， $k'_{xx} = k_{xx}/m$ ， $k'_{yy} = k_{yy}/m$ ， $k'_{xy} = k_{xy}/m$ ， $u'_x = u_x/m$ ， $u'_y = u_y/m$ 。

由於陀螺儀 21 的瑕疵之影響， d'_{xx} 、 d'_{yy} 、 d'_{xy} 、 k'_{xx} 、 k'_{yy} 、 k'_{xy} 及 Ω_z 皆可能不同於設計值。因此，在考慮陀螺儀 21 的瑕疵之情況下，陀螺儀 21 共有 7 個未知參數，也就是 d'_{xx} 、 d'_{yy} 、 d'_{xy} 、 k'_{xx} 、 k'_{yy} 、 k'_{xy} 及 Ω_z 。

值得注意的是，在本實施例中，陀螺儀 21 是一單軸感測陀螺儀，但在其它實施例中，陀螺儀 21 可以是一多軸感測陀螺儀，且本領域中具有通常知識者可以根據以上說明推得多軸感測的情況，因此將不多加說明。

參閱圖 3，感測模組 22 感測質量塊 211 的移動，並產生一組感測信號。該組感測信號包括一反應質量塊 211 於第一軸 X 之位置的第一感測信號及一反應質量塊 211 於第二軸 Y 之位置的第二感測信號。

感測模組 22 包括一感測介面 221 及一感測電路 222。感測介面 221 將質量塊 211 的移動轉換成一種方便量測的形式，例如穿隧電流 (tunneling current)、光學影像、電阻 (利用壓阻 (piezoresistance) 或壓電 (piezoelectric) 效應) 或電容 (利用可變電容器) 等。感測電路 222 電連接到感測介面 221，並將感測介面 221 轉換出的形式轉換成呈電壓形式的該組感測信號。

值得注意的是，在本實施例中，感測介面 221 是採用梳狀 (comb) 可變電容器架構，感測電路 222 是採用電荷積分架構，但本領域中具有通常知識者可以根據以下說明推得其它架構的情況，因此將不多加說明。

參閱圖 5 與圖 6，感測介面 221 在第一軸 X 及第二軸 Y

中的每一軸上形成兩個差動的可變電容器 2211、2212，其中，可變電容器 2211 具有一接收一第一直流偏壓 +V 的第一端，及一第二端，且其初始電容值是 C_{o1} ，可變電容器 2212 具有一電連接到可變電容器 2211 之第二端的第一端，及一接收一第二直流偏壓 -V 的第二端，且其初始電容值是 C_{o2} 。

對於每一軸 X、Y 而言，在考慮質量塊 211 原本即偏離一初始位置 d 的情況下，可變電容器 2211 的初始電容值 C_{o1} 及可變電容器 2212 的初始電容值 C_{o2} 之差異如式(3)所示，且當質量塊 211 的位置改變時（對第一軸而言為 x ，對第二軸而言為 y ），可變電容器 2211 的電容值變為 $C_{o1} + \Delta C_1$ ，可變電容器 2212 的電容值變為 $C_{o2} - \Delta C_2$ ，可變電容器 2211、2212 的電容值變化 ΔC_1 、 ΔC_2 如式(3)所示：

$$\begin{aligned} C_{o1} - C_{o2} &= 2N\varepsilon \frac{W}{Z} d \\ \Delta C_1 = \Delta C_2 = \Delta C &= N\varepsilon \frac{W}{Z} x \end{aligned} \quad \text{式(3)}$$

其中， N 為梳狀架構的對數（圖 5 只繪出 $N=3$ 的情況）， ε 為介電常數（permittivity）， W 及 Z 分別為重疊區域的寬度及間隔距離。

感測電路 222 對於第一軸 X 及第二軸 Y 中的每一軸利用一電荷積分器（未標號）來進行轉換。每一電荷積分器包括一運算放大器 2221、一回授電容器 2222 及一回授電阻器 2223，其中，運算放大器 2221 包括一反向輸入端、一電連接到地的非反向輸入端，及一輸出感測信號 V_o 的輸出端（對第一軸 X 而言是輸出第一感測信號，對第二軸 Y 而言是輸出第二感測信號），回授電容器 2222 電連接在運算放

大器 2221 的反向輸入端及輸出端之間，回授電阻器 2223 電連接在運算放大器 2221 的反向輸入端及輸出端之間。

在考慮運算放大器 2221 的輸入偏置電壓 (offset voltage) (其值為 V_{os}) 及導線所產生的寄生電容 (其值為 C_p) 的情況下，感測信號 V_o 如式(4)所示：

$$V_o = -\frac{2V}{C_f} \cdot \Delta C - (C_{o1} - C_{o2}) \cdot \frac{V}{C_f} + (C_{o1} + C_{o2} + C_p + C_f) \cdot \frac{V_{os}}{C_f}$$

式(4)

在式(4)中，等號右邊的第一項是質量塊 211 的位置與感測信號之理想關係，等號右邊的第二項是感測介面 221 的瑕疵所造成的影響，等號右邊的第三項是感測電路 222 的瑕疵所造成的影響。

結合式(3)與式(4)，並考慮感測信號的飄移及雜訊，該組感測信號可以修正為如式(5)所示：

$$\begin{bmatrix} V_{ox} \\ V_{oy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{2V}{C_{fx}} \cdot N_x \varepsilon \frac{W_x}{Z_x} x + \Phi_x + n_x \\ -\frac{2V}{C_{fy}} \cdot N_y \varepsilon \frac{W_y}{Z_y} y + \Phi_y + n_y \end{bmatrix} \quad \text{式(5)}$$

其中，

$$\Phi_x = 2N_x \varepsilon \frac{W_x}{Z_x} d_x \cdot \frac{V}{C_{fx}} + \left(2N_x \varepsilon \frac{W_x}{Z_x} x_0 + C_{px} + C_{fx} \right) \cdot \frac{V_{osx}}{C_{fx}} + \alpha_x$$

$$\Phi_y = 2N_y \varepsilon \frac{W_y}{Z_y} d_y \cdot \frac{V}{C_{fy}} + \left(2N_y \varepsilon \frac{W_y}{Z_y} y_0 + C_{py} + C_{fy} \right) \cdot \frac{V_{osy}}{C_{fy}} + \alpha_y$$

下標 x 表示與第一軸 X 相關，下標 y 表示與第二軸 Y

相關， Φ 是感測模組 22 的瑕疵及感測信號的飄移所造成的影響，也就是感測模組 22 的感測誤差， n 是雜訊， x_0 是在第一軸 X 上的可變電容 2211、2212 的重疊區域之初始長度， y_0 是在第二軸 Y 上的可變電容 2211、2212 的重疊區域之初始長度， α 是感測信號的飄移。

由於感測模組 22 的瑕疵及感測信號的飄移之影響， C_{px} 、 C_{py} 、 V_{osx} 、 V_{osy} 、 d_x 、 d_y 、 x_0 、 y_0 、 α_x 及 α_y 皆是未知的。因此，在考慮感測模組 22 的瑕疵及感測信號的飄移之情況下，感測模組 22 共有 2 個未知參數，也就是 Φ_x 及 Φ_y 。

參閱圖 3，計算模組 23 電連接到感測模組，並根據該組感測信號計算一組控制信號及陀螺儀 21 於第三軸 Z 的轉動角度 ϕ 。驅動模組 24 電連接到計算模組 23，並根據該組控制信號產生該組控制力來控制質量塊 211 的振動，以補償陀螺儀 21 的瑕疵。

以下說明本實施例的控制原理及計算模組 23 的詳細動作。

式(2)及式(5)可以改寫成如式(6)所示的連續形式：

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{X}} &= f(\mathbf{X}) + \mathbf{BU} \\ \mathbf{Z} &= \mathbf{HX} + \bar{\mathbf{n}} \end{aligned} \quad \text{式(6)}$$

其中，

$$\mathbf{X} = [x \quad \dot{x} \quad y \quad \dot{y} \quad \Phi_x \quad \Phi_y \quad \Omega_z \quad k'_{xx} \quad k'_{yy} \quad k'_{xy} \quad d'_{xx} \quad d'_{yy} \quad d'_{xy}]^T$$

$$f(\mathbf{X}) = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ -k'_{xx}x - k'_{xy}y - d'_{xx}\dot{x} - d'_{xy}\dot{y} + 2\Omega_z\dot{y} \\ \dot{y} \\ -k'_{xy}x - k'_{yy}y - d'_{xy}\dot{x} - d'_{yy}\dot{y} - 2\Omega_z\dot{x} \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}_{13 \times 1}$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix}_{2 \times 13}^T, \quad \mathbf{U} = \begin{bmatrix} u'_x \\ u'_y \end{bmatrix}, \quad \mathbf{Z} = \begin{bmatrix} V_{ox} \\ V_{oy} \end{bmatrix}, \quad \bar{\mathbf{n}} = \begin{bmatrix} n_x \\ n_y \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} -\frac{2V}{C_{fx}} N_x \varepsilon \frac{W_x}{Z_x} & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{2V}{C_{fy}} N_y \varepsilon \frac{W_y}{Z_y} & 0 & 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix}_{2 \times 13}$$

\mathbf{X} 是本實施例欲求出一組系統參數， $\dot{\mathbf{X}}$ 是該組系統參數的一次微分， \mathbf{U} 是與該組控制力對應的該組控制信號， \mathbf{Z} 是該組感測信號， $\dot{\mathbf{X}} = f(\mathbf{X}) + \mathbf{BU}$ 描述陀螺儀 21 的動態方程式， $\mathbf{Z} = \mathbf{HX}$ 描述該組系統參數與該組感測信號的理想關係，且 \mathbf{H} 是已知的， $\bar{\mathbf{n}}$ 是雜訊。

式(6)可以再改寫成如式(7)所示的離散形式，以方便進行疊代運算：

$$\begin{aligned} \mathbf{X}_{m+1} &= f_d(\mathbf{X}_m) + \mathbf{BU}_m \\ \mathbf{Z}_m &= \mathbf{HX}_m \end{aligned} \quad \text{式(7)}$$

其中， m 表示疊代次數， d 表示離散化。

根據式(7)可以建立一離散的狀態觀察器，如式(8)所示

:

$$\begin{aligned}\hat{\mathbf{X}}_{m+1} &= f_d(\hat{\mathbf{X}}_m) + \mathbf{B}\mathbf{U}_m + \mathbf{L}_m(\mathbf{Z}_m - \hat{\mathbf{Z}}_m) \\ \hat{\mathbf{Z}}_m &= \mathbf{H}\hat{\mathbf{X}}_m\end{aligned}\quad \text{式(8)}$$

其中， $\hat{\mathbf{X}}$ 是與該組系統參數對應的一組估計參數， \mathbf{L} 是根據陀螺儀 21 的動態方程式得到的一增益， $\hat{\mathbf{Z}}$ 是與該組感測信號對應的一組估計信號。

該組控制信號可以設計成如式(9)所示：

$$\mathbf{U}_m = \begin{bmatrix} \hat{d}_{xx}\dot{\hat{x}} + \hat{d}_{xy}\dot{\hat{y}} + \hat{k}_{xx}\hat{x} + \hat{k}_{xy}\hat{y} - k\hat{x} \\ \hat{d}_{xy}\dot{\hat{x}} + \hat{d}_{yy}\dot{\hat{y}} + \hat{k}_{xy}\hat{x} + \hat{k}_{yy}\hat{y} - k\hat{y} \end{bmatrix}_m \quad \text{式(9)}$$

其中， k 是一預設的目標剛性係數。

如果給定該組估計參數的初始值 $\hat{\mathbf{X}}_0$ ，則在進行足夠多次的疊代運算後，該組估計參數會收斂到正確值，以求出該組系統參數，此時，陀螺儀 21 的剛性係數趨近目標剛性係數，陀螺儀 21 的阻尼係數趨近一預設為 0 的目標阻尼係數，陀螺儀 21 的動態方程式如式(10)所示：

$$\begin{aligned}\ddot{x} + kx &= 2\Omega_z \dot{y} \\ \ddot{y} + ky &= -2\Omega_z \dot{x}\end{aligned}\quad \text{式(10)}$$

利用 B. Friedland 與 M. Hutton 在 1978 年針對式(10)所推導出的角度計算公式（如式(11)所示），即可計算出陀螺儀 21 於第三軸 Z 的轉動角度 ϕ 。

$$\tan 2\phi = \frac{2(k\hat{x}\hat{y} + \dot{\hat{x}}\dot{\hat{y}})}{k(\hat{x}^2 - \hat{y}^2) + (\dot{\hat{x}}^2 - \dot{\hat{y}}^2)} \quad \text{式(11)}$$

因此，計算模組 23 包括一狀態觀察器 231、一控制信號計算器 232 及一角度計算器 233。狀態觀察器 231 電連接到感測模組 22 的感測電路 222，並利用式(8)計算出該組估計參數。控制信號計算器 232 電連接到狀態觀察器 231，並利用式(9)計算出該組控制信號。角度計算器 233 電連接到狀態觀察器 231，並利用式(11)計算出陀螺儀 21 的轉動角度 ϕ 。

在本實施例中，狀態觀察器 231 是使用一擴增型卡曼濾波器 (extended Kalman filter) 及一記憶褪去 (fading memory) 技術，來根據陀螺儀 21 的動態方程式、該組感測信號及該組估計信號計算增益。藉由使用擴增型卡曼濾波器，可以減少雜訊所造成的影響。藉由使用記憶褪去技術，可以在該組系統參數中有時變參數時，仍能計算出該組估計參數的正確值，以求出該組系統參數。

擴增型卡曼濾波器及記憶褪去技術的詳細作法可以參考 John Wiley & Sons 於 2003 年出版 Y. Bar-Shalom、X. R. Li 及 T. Kirubarajan 所著的 "Estimation with applications to tracking and navigation" 一書，此處將不多加說明。

值得注意的是，狀態觀察器是習知的，且原先的用途是根據一系統中有限的感測信號計算出系統中未知的動態參數 (表示運動中狀態)，且假設系統中的固定參數是已知的。以本實施例來說，該組系統參數中的位置與速度是動態參數，該組系統參數中的剛性係數與阻尼係數是固定參數，該組系統參數中的轉動角速度是量測參數。但本實施

例藉由特別整理出的式(7)，就可以使用習知的狀態觀察器來計算該組估計參數，以求出包括非動態參數的該組系統參數。

值得注意的是，在本實施例中，計算模組 23 是計算陀螺儀 21 經正規化的 6 個未知參數，也就是 d'_{xx} 、 d'_{yy} 、 d'_{xy} 、 k'_{xx} 、 k'_{yy} 及 k'_{xy} ，以及與經正規化的該組控制力對應的 2 個控制信號，也就是 u'_x 及 u'_y ，但在其它實施例中，計算模組 23 可以是計算陀螺儀 21 未經正規化的 6 個未知參數，也就是 d_{xx} 、 d_{yy} 、 d_{xy} 、 k_{xx} 、 k_{yy} 及 k_{xy} ，以及與未經正規化的該組控制力對應的 2 個控制信號，也就是 u_x 及 u_y 。

參閱圖 7，計算模組 23 所使用的角度估算方法包含以下步驟：

步驟 31 是狀態觀察器 231 根據該組估計參數計算該組估計信號。

步驟 32 是狀態觀察器 231 根據陀螺儀 21 的動態方程式、該組感測信號及該組估計信號計算增益。

步驟 33 是控制信號計算器 232 根據該組估計參數中對應剛性係數、阻尼係數、位置及速度的參數，以及目標剛性係數，計算該組控制信號。

步驟 34 是狀態觀察器 231 根據陀螺儀 21 的動態方程式、增益、該組感測信號及該組估計信號更新該組估計參數。

步驟 35 是角度計算器 233 根據該組估計參數中對應位置與速度的參數，及目標剛性係數，計算陀螺儀 21 於第三

軸 Z 的轉動角度 ϕ 。

綜上所述，本實施例藉由計算模組 23 使用狀態觀察器 231 來計算陀螺儀 21 的參數及感測信號的誤差，可以降低陀螺儀 21 的瑕疵所造成的影響，以及感測模組 22 的瑕疵及感測信號的飄移所造成的影響，故確實能達成本發明之目的。

惟以上所述者，僅為本發明之較佳實施例而已，當不能以此限定本發明實施之範圍，即大凡依本發明申請專利範圍及發明說明內容所作之簡單的等效變化與修飾，皆仍屬本發明專利涵蓋之範圍內。

【圖式簡單說明】

圖 1 是一方塊圖，說明一角度量測陀螺儀系統；

圖 2 是一示意圖，說明一質量塊的振動軸之慣性；

圖 3 是一方塊圖，說明本發明角度量測陀螺儀系統之較佳實施例；

圖 4 是一示意圖，說明較佳實施例的一陀螺儀的動態模型；

圖 5 是一結構圖，說明較佳實施例的一感測模組的一感測介面；

圖 6 是一電路圖，說明較佳實施例的感測模組；

圖 7 是一流程圖，說明較佳實施例之一計算模組所使用的角度估算方法。

【主要元件符號說明】

1 …………… 角度量測陀螺儀系統	2211 …… 可變電容器
11 …………… 陀螺儀	2212 …… 可變電容器
111 ……… 質量塊	222 ……… 感測電路
12 …………… 感測模組	2221 …… 运算放大器
13 …………… 計算模組	2222 …… 回授電容器
2 …………… 角度量測陀螺儀系統	2223 …… 回授電阻器
21 …………… 陀螺儀	23 …………… 計算模組
211 ……… 質量塊	231 ……… 狀態觀察器
22 …………… 感測模組	232 ……… 控制信號計算器
221 ……… 感測介面	233 ……… 角度計算器
	24 …………… 驅動模組
	31~35 …… 步驟

七、申請專利範圍：

1. 一種角度量測陀螺儀系統，包含：

一陀螺儀，包括一質量塊，該質量塊在正交的一第一軸及一第二軸所構成的一平面上振動；

一感測模組，用於感測該質量塊的移動，並產生一組感測信號，該組感測信號反應該質量塊於該第一軸之位置及該質量塊於該第二軸之位置；及

一計算模組，電連接到該感測模組，且包括：

一狀態觀察器，用於根據一組估計參數計算與該組感測信號對應的一組估計信號，並根據該陀螺儀的動態方程式得到一增益，且根據該陀螺儀的動態方程式、該增益、該組感測信號及該組估計信號更新該組估計參數，該組估計參數與一組系統參數對應，該組系統參數包括該質量塊於該第一軸的位置、該質量塊於該第二軸的位置、該質量塊於該第一軸的速度、該質量塊於該第二軸的速度、該感測模組於該第一軸的感測誤差、該感測模組於該第二軸的感測誤差，及該陀螺儀於一第三軸的轉動角速度，該第三軸正交於該第一軸及該第二軸；及

一角度計算器，用於根據該組估計參數中對應位置與速度的參數，及該陀螺儀的剛性係數，計算該陀螺儀於該第三軸的轉動角度。

2. 依據申請專利範圍第 1 項所述之角度量測陀螺儀系統，其中，該狀態觀察器是根據該陀螺儀的動態方程式、該

組感測信號及該組估計信號計算該增益。

3. 依據申請專利範圍第 2 項所述之角度量測陀螺儀系統，其中，該狀態觀察器是使用一擴增型卡曼濾波器來計算該增益。
4. 依據申請專利範圍第 2 項所述之角度量測陀螺儀系統，其中，該狀態觀察器是使用一擴增型卡曼濾波器及一記憶褪去技術來計算該增益。
5. 一種角度估算方法，運用於一包括一陀螺儀及一感測模組的角度量測陀螺儀系統，該陀螺儀包括一質量塊，該質量塊在正交的一第一軸及一第二軸所構成的一平面上振動，該感測模組感測該質量塊的移動，並產生一組感測信號，該組感測信號反應該質量塊於該第一軸之位置及該質量塊於該第二軸之位置，該角度估算方法包含以下步驟：

(a) 利用一狀態觀察器來根據一組估計參數計算與該組感測信號對應的一組估計信號，該組估計參數與一組系統參數對應，該組系統參數包括該質量塊於該第一軸的位置、該質量塊於該第二軸的位置、該質量塊於該第一軸的速度、該質量塊於該第二軸的速度、該感測模組於該第一軸的感測誤差、該感測模組於該第二軸的感測誤差，及該陀螺儀於一第三軸的轉動角速度，該第三軸正交於該第一軸及該第二軸；

(b) 利用該狀態觀察器來根據該陀螺儀的動態方程式得到一增益；

(c) 利用該狀態觀察器來根據該陀螺儀的動態方程式、該增益、該組感測信號及該組估計信號更新該組估計參數；及

(d) 根據該組估計參數中對應位置與速度的參數，及該陀螺儀的剛性係數，計算該陀螺儀於該第三軸的轉動角度。

6. 依據申請專利範圍第 5 項所述之角度估算方法，其中，在步驟(d)中，計算該陀螺儀於該第三軸的轉動角度之方式是：

$$\tan 2\phi = \frac{2(k\hat{x}\hat{y} + \hat{x}\hat{y})}{k(\hat{x}^2 - \hat{y}^2) + (\hat{x}^2 - \hat{y}^2)}$$

其中， ϕ 是該陀螺儀於該第三軸的轉動角度， \hat{x} 是對應該質量塊於該第一軸的位置， \hat{y} 是對應該質量塊於該第二軸的位置， $\hat{\dot{x}}$ 是對應該質量塊於第一軸的速度， $\hat{\dot{y}}$ 是對應該質量塊於該第二軸的速度， k 是該陀螺儀的剛性係數。

7. 依據申請專利範圍第 5 項所述之角度估算方法，其中，在步驟(c)中，更新該組估計參數的方式是：

$$\hat{\mathbf{X}}_{m+1} = f_d(\hat{\mathbf{X}}_m) + \mathbf{L}_m(\mathbf{Z}_m - \hat{\mathbf{Z}}_m)$$

其中， m 表示疊代次數， $\hat{\mathbf{X}}$ 是該組估計參數， \mathbf{U} 是該組控制信號， $\dot{\hat{\mathbf{X}}} = f_d(\hat{\mathbf{X}})$ 描述該陀螺儀的動態方程式， \mathbf{L} 是該增益， \mathbf{Z} 是該組感測信號， $\hat{\mathbf{Z}}$ 是該組估計信號。

8. 依據申請專利範圍第 5 項所述之角度估算方法，其中，在步驟(b)中，是根據該陀螺儀的動態方程式、該組感測

信號及該組估計信號計算該增益。

9. 依據申請專利範圍第 8 項所述之角度估算方法，其中，在步驟(b)中，是使用一擴增型卡曼濾波器來計算該增益。

10. 依據申請專利範圍第 8 項所述之角度估算方法，其中，在步驟(b)中，是使用一擴增型卡曼濾波器及一記憶褪去技術來計算該增益。

11. 一種角度量測陀螺儀系統，包含：

一陀螺儀，包括一質量塊，該質量塊在正交的一第一軸及一第二軸所構成的一平面上振動；

一感測模組，用於感測該質量塊的移動，並產生一組感測信號，該組感測信號反應該質量塊於該第一軸之位置及該質量塊於該第二軸之位置；

一計算模組，電連接到該感測模組，且包括：

一狀態觀察器，用於根據一組估計參數計算與該組感測信號對應的一組估計信號，並根據該陀螺儀的動態方程式得到一增益，且根據該陀螺儀的動態方程式、該增益、該組感測信號及該組估計信號更新該組估計參數，該組估計參數與一組系統參數對應，該組系統參數包括該質量塊於該第一軸的位置、該質量塊於該第二軸的位置、該質量塊於該第一軸的速度、該質量塊於該第二軸的速度、該陀螺儀於一第三軸的轉動角速度、該陀螺儀於該第一軸的剛性係數、該陀螺儀於該第二軸的剛性係數、該

陀螺儀之影響耦合的剛性係數、該陀螺儀於該第一軸的阻尼係數、該陀螺儀於該第二軸的阻尼係數，及該陀螺儀之影響耦合的阻尼係數，該第三軸正交於該第一軸及該第二軸；

一控制信號計算器，用於根據該組估計參數中對應剛性係數、阻尼係數、位置及速度的參數，以及一預設的目標剛性係數，計算一組控制信號；及

一角度計算器，用於根據該組估計參數中對應位置與速度的參數，及該目標剛性係數，計算該陀螺儀於該第三軸的轉動角度；及

一驅動模組，電連接到該計算模組，用於根據該組控制信號產生一組控制力來控制該質量塊的振動。

12. 依據申請專利範圍第 11 項所述之角度量測陀螺儀系統，其中，該組系統參數更包括該感測模組於該第一軸的感測誤差及該感測模組於該第二軸的感測誤差。
13. 依據申請專利範圍第 11 項所述之角度量測陀螺儀系統，其中，該狀態觀察器是根據該陀螺儀的動態方程式、該組感測信號及該組估計信號計算該增益。
14. 依據申請專利範圍第 13 項所述之角度量測陀螺儀系統，其中，該狀態觀察器是使用一擴增型卡曼濾波器來計算該增益。
15. 依據申請專利範圍第 13 項所述之角度量測陀螺儀系統，其中，該狀態觀察器是使用一擴增型卡曼濾波器及一記憶褪去技術來計算該增益。

16. 依據申請專利範圍第 11 項所述之角度量測陀螺儀系統，其中，在該組系統參數中，該陀螺儀於該第一軸的剛性係數、該陀螺儀於該第二軸的剛性係數、該陀螺儀之影響耦合的剛性係數、該陀螺儀於該第一軸的阻尼係數、該陀螺儀於該第二軸的阻尼係數，及該陀螺儀之影響耦合的阻尼係數是經正規化的參數，且是以該質量塊的質量來正規化的。
17. 依據申請專利範圍第 11 項所述之角度量測陀螺儀系統，其中，在該組系統參數中，該陀螺儀於該第一軸的剛性係數、該陀螺儀於該第二軸的剛性係數、該陀螺儀之影響耦合的剛性係數、該陀螺儀於該第一軸的阻尼係數、該陀螺儀於該第二軸的阻尼係數，及該陀螺儀之影響耦合的阻尼係數是未經正規化的參數。
18. 一種角度估算方法，運用於一包括一陀螺儀、一感測模組及一驅動模組的角度量測陀螺儀系統，該陀螺儀包括一質量塊，該質量塊在正交的一第一軸及一第二軸所構成的一平面上振動，該感測模組感測該質量塊的移動，並產生一組感測信號，該組感測信號反應該質量塊於該第一軸之位置及該質量塊於該第二軸之位置，該驅動模組根據一組控制信號產生一組控制力來控制該質量塊的振動，該角度估算方法包含以下步驟：
- (a) 利用一狀態觀察器來根據一組估計參數計算與該組感測信號對應的一組估計信號，該組估計參數與一組系統參數對應，該組系統參數包括該質量塊於該第一軸

的位置、該質量塊於該第二軸的位置、該質量塊於該第一軸的速度、該質量塊於該第二軸的速度、該陀螺儀於一第三軸的轉動角速度、該陀螺儀於該第一軸的剛性係數、該陀螺儀於該第二軸的剛性係數、該陀螺儀之影響耦合的剛性係數、該陀螺儀於該第一軸的阻尼係數、該陀螺儀於該第二軸的阻尼係數，及該陀螺儀之影響耦合的阻尼係數，該第三軸正交於該第一軸及該第二軸；

(b)利用該狀態觀察器來根據該陀螺儀的動態方程式得到一增益；

(c)根據該組估計參數中對應剛性係數、阻尼係數、位置及速度的參數，以及一預設的目標剛性係數，計算該組控制信號；

(d)利用該狀態觀察器來根據該陀螺儀的動態方程式、該增益、該組感測信號及該組估計信號更新該組估計參數；及

(e)根據該組估計參數中對應位置與速度的參數，及該目標剛性係數，計算該陀螺儀於該第三軸的轉動角度。

19. 依據申請專利範圍第 18 項所述之角度估算方法，其中，在步驟(e)中，計算該陀螺儀於該第三軸的轉動角度之方式是：

$$\tan 2\phi = \frac{2(k\hat{x}\hat{y} + \dot{\hat{x}}\dot{\hat{y}})}{k(\hat{x}^2 - \hat{y}^2) + (\dot{\hat{x}}^2 - \dot{\hat{y}}^2)}$$

其中， ϕ 是該陀螺儀於該第三軸的轉動角度， \hat{x} 是對

應該質量塊於該第一軸的位置， \hat{y} 是對應該質量塊於該第二軸的位置， \hat{x} 是對應該質量塊於第一軸的速度， \hat{y} 是對應該質量塊於該第二軸的速度， k 是該目標剛性係數。

20. 依據申請專利範圍第 18 項所述之角度估算方法，其中，在步驟(d)中，更新該組估計參數的方式是：

$$\hat{\mathbf{X}}_{m+1} = f_d(\hat{\mathbf{X}}_m) + \mathbf{B}\mathbf{U}_m + \mathbf{L}_m(\mathbf{Z}_m - \hat{\mathbf{Z}}_m)$$

其中， m 表示疊代次數， $\hat{\mathbf{X}}$ 是該組估計參數， \mathbf{U} 是該組控制信號， $\hat{\mathbf{X}} = f_d(\hat{\mathbf{X}}) + \mathbf{B}\mathbf{U}$ 描述該陀螺儀的動態方程式， \mathbf{L} 是該增益， \mathbf{Z} 是該組感測信號， $\hat{\mathbf{Z}}$ 是該組估計信號。

21. 依據申請專利範圍第 18 項所述之角度估算方法，其中，該組系統參數更包括該感測模組於該第一軸的感測誤差及該感測模組於該第二軸的感測誤差。

22. 依據申請專利範圍第 18 項所述之角度估算方法，其中，在步驟(b)中，是根據該陀螺儀的動態方程式、該組感測信號及該組估計信號計算該增益。

23. 依據申請專利範圍第 22 項所述之角度估算方法，其中，在步驟(b)中，是使用一擴增型卡曼濾波器來計算該增益。

24. 依據申請專利範圍第 22 項所述之角度估算方法，其中，在步驟(b)中，是使用一擴增型卡曼濾波器及一記憶褪去技術來計算該增益。

25. 依據申請專利範圍第 18 項所述之角度估算方法，其中，

在該組系統參數中，該陀螺儀於該第一軸的剛性係數、該陀螺儀於該第二軸的剛性係數、該陀螺儀之影響耦合的剛性係數、該陀螺儀於該第一軸的阻尼係數、該陀螺儀於該第二軸的阻尼係數，及該陀螺儀之影響耦合的阻尼係數是經正規化的參數，且是以該質量塊的質量來正規化的。

26. 依據申請專利範圍第 18 項所述之角度估算方法，其中，在該組系統參數中，該陀螺儀於該第一軸的剛性係數、該陀螺儀於該第二軸的剛性係數、該陀螺儀之影響耦合的剛性係數、該陀螺儀於該第一軸的阻尼係數、該陀螺儀於該第二軸的阻尼係數，及該陀螺儀之影響耦合的阻尼係數是未經正規化的參數。

八、圖式

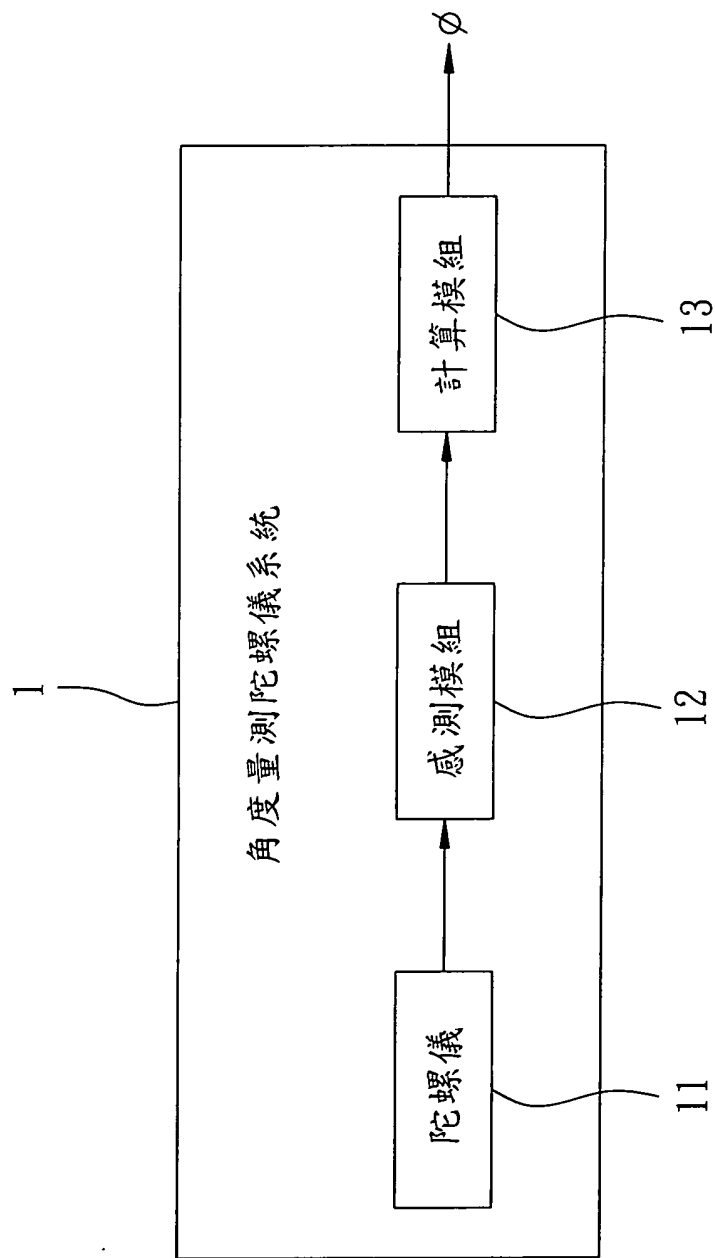


圖1

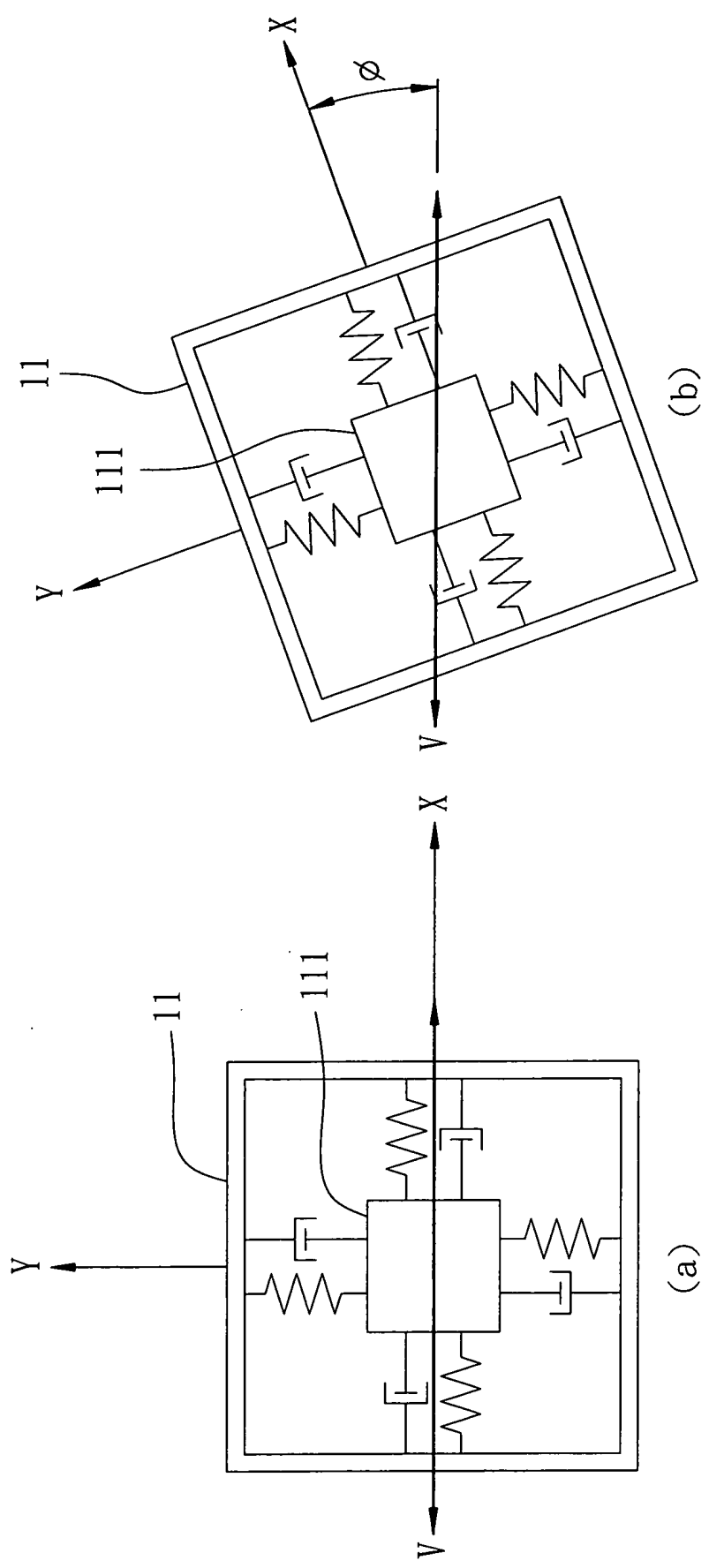


圖2

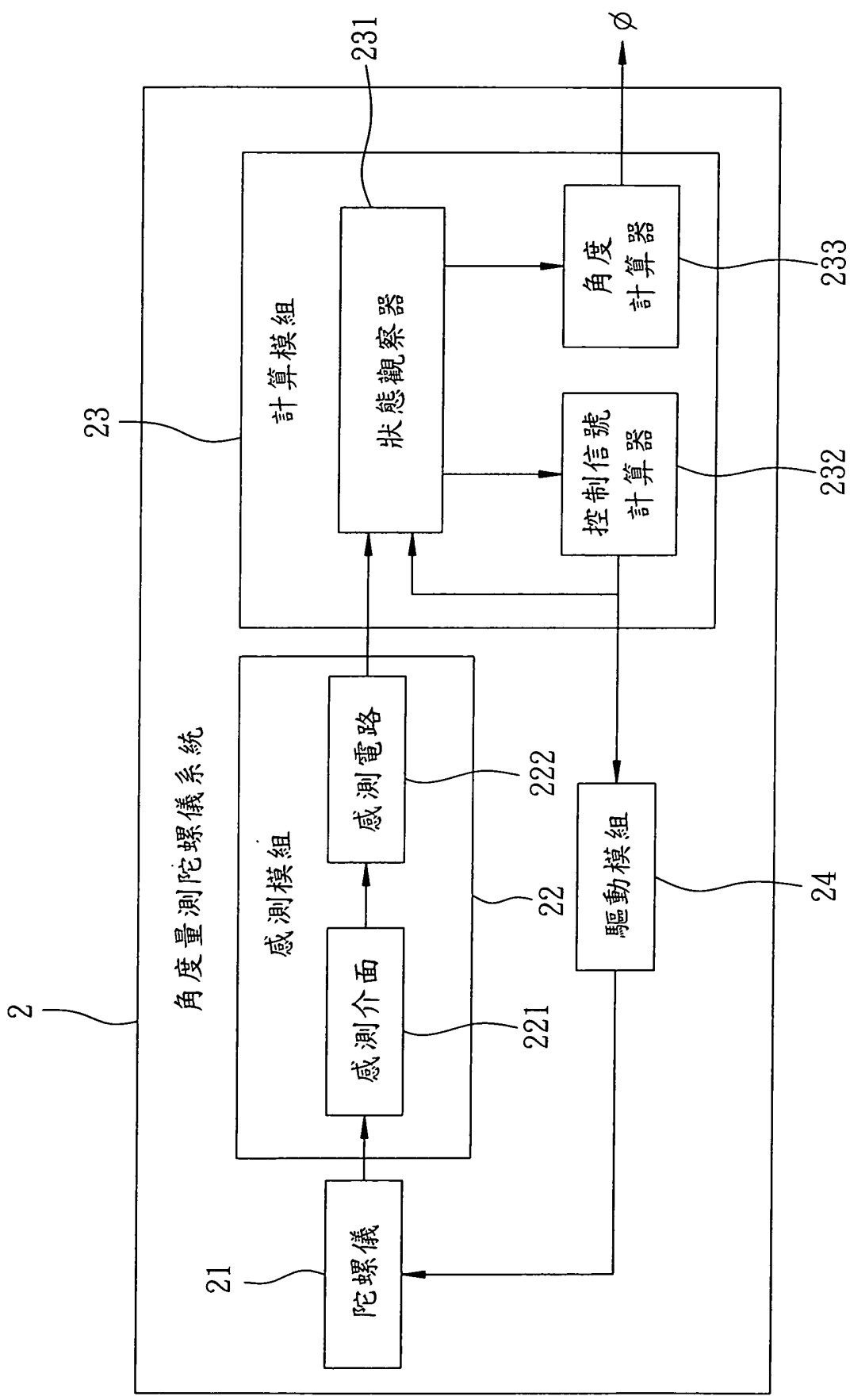


圖3

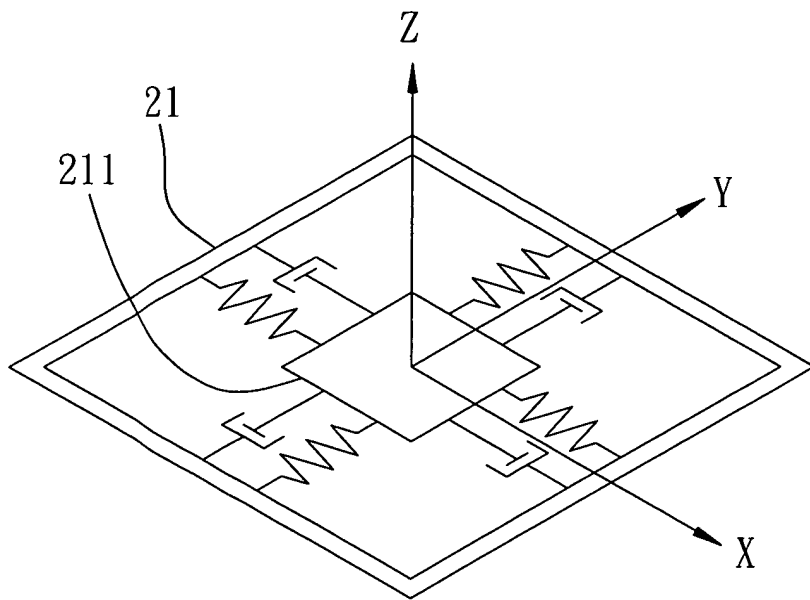


圖4

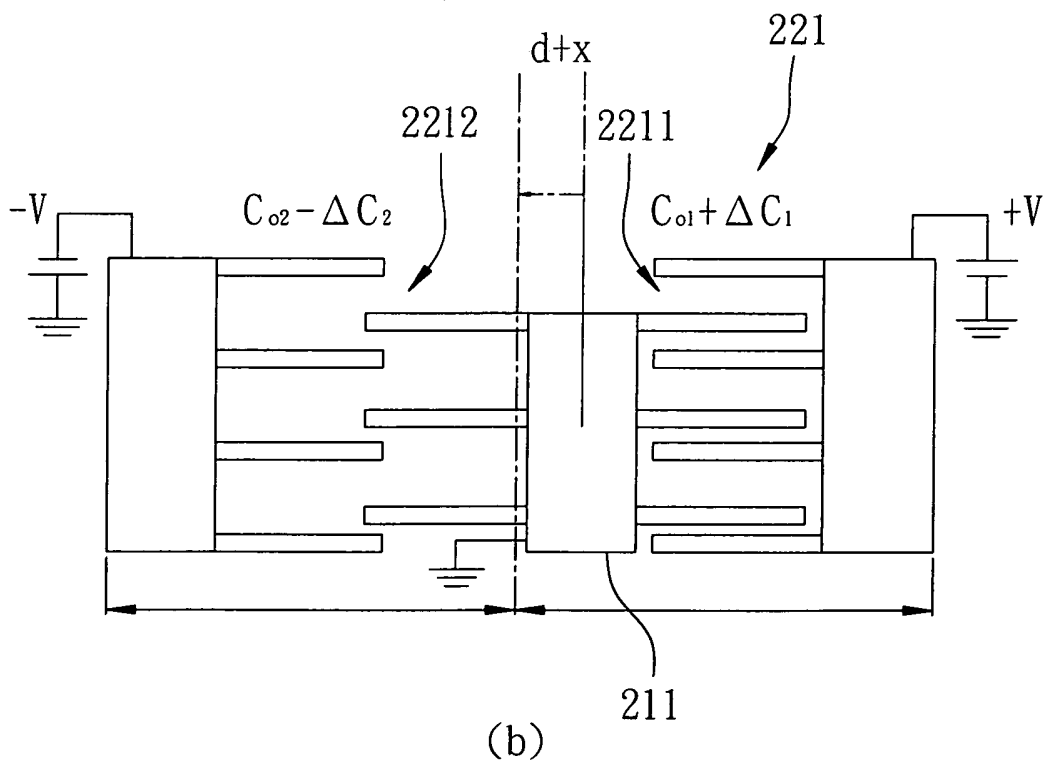
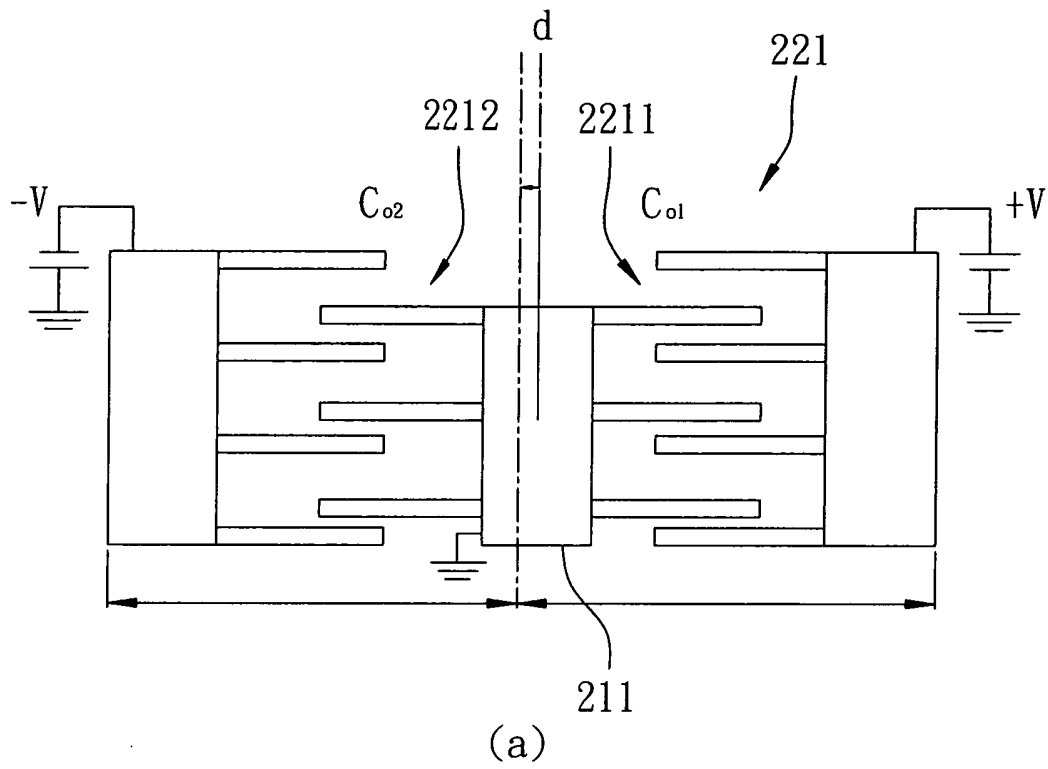


圖5

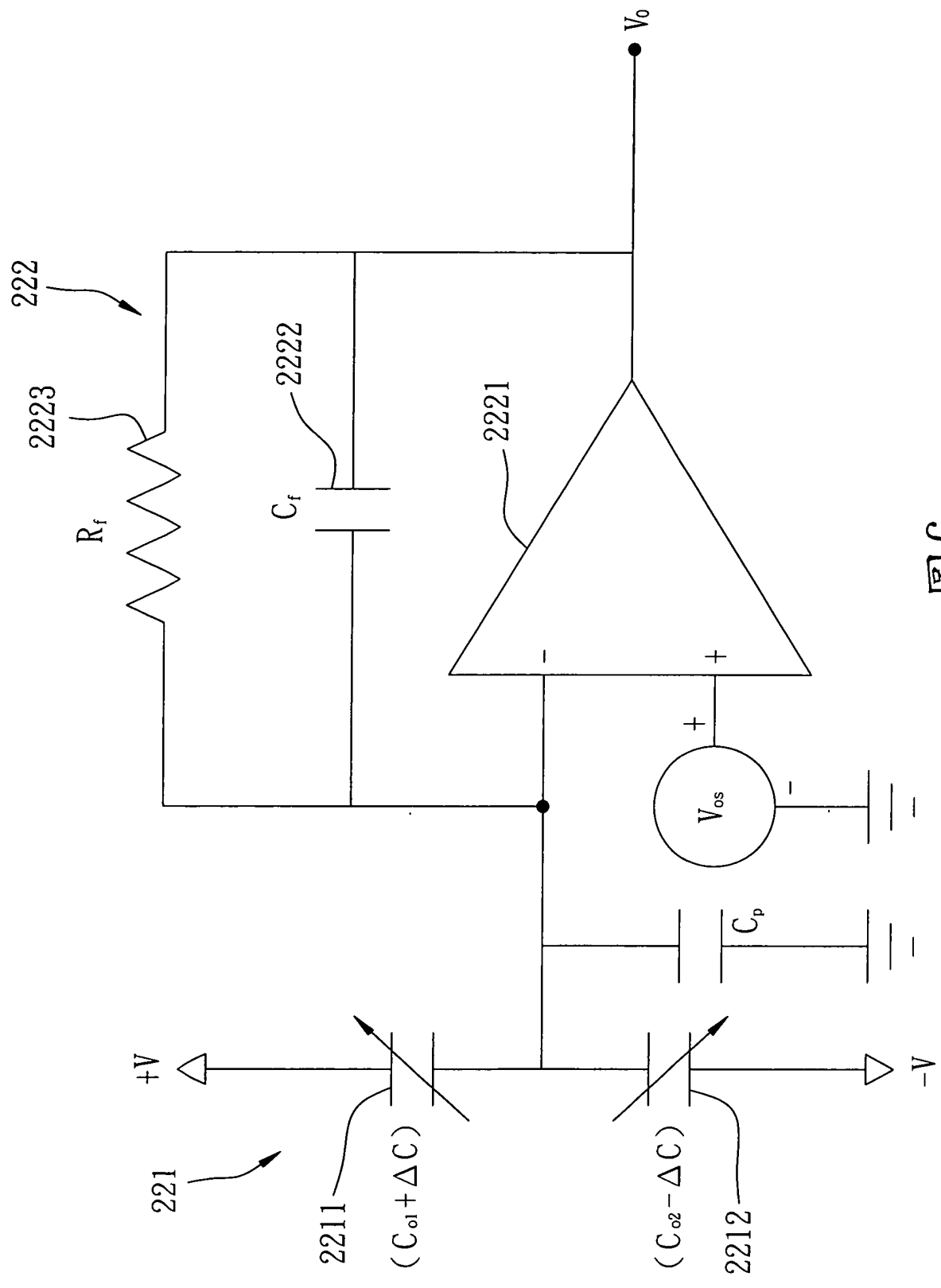


圖6

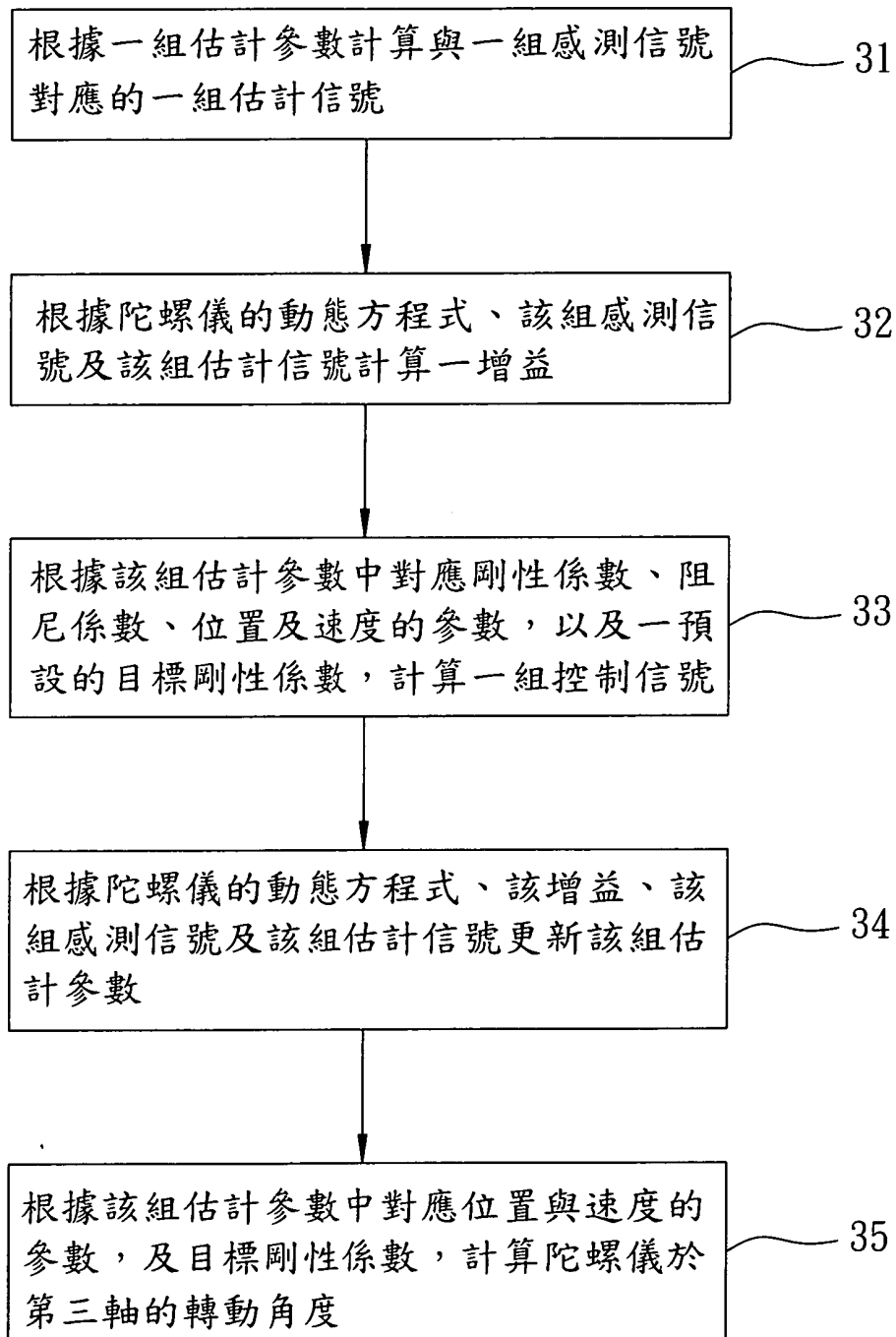


圖7