



(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 I596885 B

(45)公告日：中華民國 106 (2017) 年 08 月 21 日

(21)申請案號：102123158

(22)申請日：中華民國 102 (2013) 年 06 月 28 日

(51)Int. Cl. : **H02N11/00 (2006.01)**

(30)優先權：2012/06/29 芬蘭

20125757

(71)申請人：村田製作所股份有限公司 (日本) MURATA MANUFACTURING CO., LTD. (JP)
日本

(72)發明人：庫斯馬 海奇 KUISMA, HEIKKI (FI)

(74)代理人：閻啟泰；林景郁

(56)參考文獻：

TW 201215558A

US 2008/0121054A1

審查人員：莊程傑

申請專利範圍項數：22 項 圖式數：19 共 30 頁

(54)名稱

控制元件、共振器器件及用於控制機械共振器之操作的方法

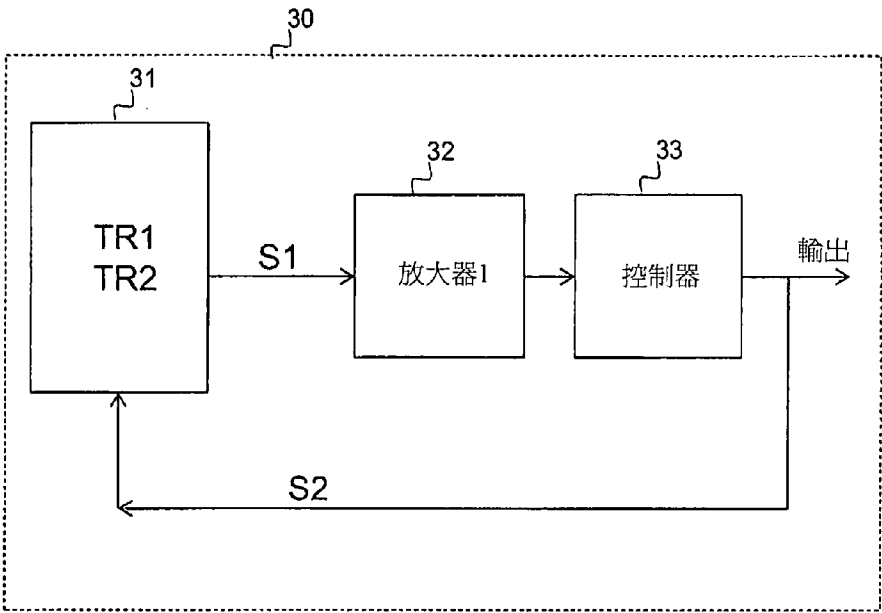
A CONTROL ELEMENT, A RESONATOR DEVICE, AND A METHOD FOR CONTROLLING
OPERATION OF A MECHANICAL RESONATOR

(57)摘要

本發明提供一種具有一封閉反饋阻尼迴路之機械共振器(30)。該機械共振器中之位移與藉由該封閉反饋迴路判定之一阻尼力對抗，該封閉反饋迴路包含具有相關聯相位調整之一信號處理濾波器(23)。達成允許高信號放大率之一無振盪組態。

A mechanical resonator (30) with a closed feed-back damping loop is provided. Displacement in the mechanical resonator is opposed with a damping force determined by the closed feed-back loop that comprises a signal processing filter (33) with associated phase adjustment. A oscillation-free configuration that allows high signal amplification is achieved.

指定代表圖：



符號簡單說明：

30 . . . 共振器器件

31 . . . 機械共振器

32 . . . 放大器

33 . . . 控制器

S1 . . . 第一電子信號

S2 . . . 第二電子信號

圖3

發明摘要

※ 申請案號： 102123158

※ 申請日： 102/06/28

※IPC 分類： H02N 11/00 (2006.01)

【發明名稱】(中文/英文)

控制元件、共振器器件及用於控制機械共振器之操作的方法

A control element, a resonator device, and a method for controlling operation of a mechanical resonator

【中文】

本發明提供一種具有一封閉反饋阻尼迴路之機械共振器(30)。該機械共振器中之位移與藉由該封閉反饋迴路判定之一阻尼力對抗，該封閉反饋迴路包含具有相關聯相位調整之一信號處理濾波器(33)。達成允許高信號放大率之一無振盪組態。

【英文】

A mechanical resonator (30) with a closed feed-back damping loop is provided. Displacement in the mechanical resonator is opposed with a damping force determined by the closed feed-back loop that comprises a signal processing filter (33) with associated phase adjustment. A oscillation-free configuration that allows high signal amplification is achieved.

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第（ 3 ）圖。

【本代表圖之符號簡單說明】：

30：共振器器件

31：機械共振器

32：放大器

33：控制器

S1：第一電子信號

S2：第二電子信號

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：

無

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動)

【發明名稱】(中文/英文)

控制元件、共振器器件及用於控制一機械共振器之操作的方法

A control element, a resonator device, and a method for controlling operation of a mechanical resonator

【技術領域】

【0001】 本發明係關於機械共振器，且特別係關於一控制元件、一機械共振器及一用於操作機械共振器之方法，如獨立請求項之前置項中所定義。

【先前技術】

【0002】 微機電系統或 MEMS 可經定義為小型化機械及機電系統，其中至少一些元件具有機械功能性。由於 MEMS 器件係使用與製成積體電路所用之工具相同的工具製成，因此可在同一片矽上製造微機器及微電子器件，以實現具有智慧之機器。

【0003】 MEMS 結構可適用於迅速且準確地偵測極小位移，例如在慣性感測器中。舉例而言，在加速度計中，懸掛於至器件之主體的彈簧結構上的質量可與器件之加速度成比例地移位，且偵測該質量之此等位移。作為一固體物，質量-彈簧結構典型地具有共振頻率，其中該質量-彈簧結構藉由在稱為其共振頻率之一些頻率下自然振盪(其中振幅大於其他頻率下之振幅)而展現共振或共振行為。在此等共振頻率中，位移因此比其他頻率中之位移大得多，且在 MEMS 結構之小型化尺寸中，造成干擾偵測之超載。

【0004】 此等干擾典型地藉由所偵測之運動的阻尼來消除。習知方法

係使用被動氣體阻尼，但對於許多應用，氣體阻尼過於非線性，且對系統之操作造成過多不利影響。在與振動迴轉儀相似的一些組態中，氣體阻尼甚至不適用，此係因為對主振動之共振激勵的阻尼必須保持為低。

【0005】 在反饋阻尼 (feed-back damping) 或主動阻尼 (active damping) 中，監視所偵測之位移，且產生相對力以對抗運動。在已知系統中，主動阻尼可藉由封閉反饋迴路來實施，該封閉反饋迴路包含微分器及對微分器信號作出回應之換能器。微分器具有許多性質，歸因於該等性質，該微分器極適用於控制機械共振器中之位移的阻尼。然而，問題在於：結構極少為理想的，且在實際共振器中存在額外的機械共振模式。當微分器輸出信號經放大而產生適當高之阻尼力時，反饋迴路極容易開始破壞性地振盪。

【發明內容】

【0006】 本發明之目標係提供一種用於機械共振器系統之改良電反饋機構。本發明之目標係藉由根據獨立請求項之特性部分的控制元件、機械共振器及方法來達成。

【0007】 本發明之較佳具體實例揭示於附屬請求項中。

【0008】 本發明係基於在一阻尼反饋迴路中包括一信號處理濾波器之構想。封閉反饋迴路之反饋的正負號可根據該信號處理濾波器之類型來調整。較佳地，該信號處理濾波器之回應函數具有一共振頻率特性，該共振頻率特性基本上與經阻尼之機械共振器的共振頻率一致。提供一種允許對所偵測之信號之有效放大的穩定共振器。可應用共振與非共振回應中之顯著差異來避免機械共振器之封閉反饋迴路中的不想要的振盪。

【圖式簡單說明】

【0009】 在下文中，將參看附圖、結合較佳具體實例更詳細地描述本發明，其中

圖 1 說明適用於將位移換能成電子信號之質量-彈簧系統；

圖 2 說明適用於將位移換能成電子信號之另一質量-彈簧系統；

圖 3 展示經簡化之例示性感測器件的方塊圖；

圖 4 說明例示性機械共振器之組態；

圖 5 展示例示性機械共振器之轉移函數；

圖 6 展示例示性機械共振器之相轉移曲線圖；

圖 7 展示經阻尼之機械共振器系統的例示性習知封閉迴路轉移函數；

圖 8 展示經阻尼之機械共振器系統的相轉移曲線圖；

圖 9 展示一基本 1 自由度機械共振器之示意性模型；

圖 10 展示具有額外質量-彈簧系統之機械共振器組態的示意性模型；

圖 11 展示例示性轉移函數之模擬列印輸出；

圖 12 說明根據本發明之一具體實例的器件；

圖 13 展示例示性微分器及例示性低通濾波器之轉移函數；

圖 14 展示具有低通濾波器之封閉迴路的振幅回應函數；

圖 15 係關於具有低通濾波器之封閉迴路的相位回應函數；

圖 16 展示具有高通濾波器之封閉迴路的振幅回應函數；

圖 17 係關於具有高通濾波器之封閉迴路的相位回應函數；

圖 18 展示具有帶通濾波器及全通濾波器之一組合的封閉迴路的振幅回應函數；

圖 19 係關於具有帶通濾波器與全通濾波器之一組合的封閉迴路的相位回應函數。

【實施方式】

【0010】 以下具體實例係例示性的。儘管說明書可能參考「一」或「一些」具體實例，但此情形未必意謂每一此類參考係針對相同具體實例，或特徵僅適用於單一具體實例。可組合不同具體實例之單一特徵，以提供其他具體實例。

【0011】 在下文中，將藉由可實施本發明之各種具體實例的器件架構之簡單實例來描述本發明之特徵。僅詳細描述與說明具體實例相關的元件。控制元件、共振器器件及方法之各種實施包含大體上為熟習此項技術者所已知且可能並不在本文中特別描述的元件。

【0012】 此處之換能器指代將一種形式之能量轉換成另一種形式之能量的器件。舉例而言，感測器件或感測器指代偵測實體性質並將其轉換成可量測之信號的裝置或系統。典型地，實體性質顯現為一種形式之能量，且在感測器中藉由換能器器件轉換成另一種形式之能量。實體性質及用於偵測能量之形式的構件可根據應用而變化。在一類別之感測器中，表示所偵測之實體性質的特性可包含對一參考點相對於慣性參考座標之位移的偵測。可將該位移偵測為（例如）所懸掛之驗證質量的移動，或施加於連接至攜載該驗證質量之彈性懸架的換能器元件上的應力或應變。所偵測之位移、應力或應變可用於調變電子信號，此使得實體性質可相當準確地進行量測。作為另一實例，在致動器中，換能器可用以將電能轉換成某種形式之運動。

【0013】 一類別之換能器器件應用質量-彈簧系統，其中質量以使得滿足以下情形之方式懸掛於至主體之彈簧上：施加至質量的力或主體之加速度造成質量之成比例位移。借助於電路，可偵測質量之移動，並將其變換成可量測之電子信號。當主體靜止且無淨力作用於質量上時，質量-彈簧系統處於平衡狀態。若系統自平衡移位，則彈簧在質量上造成一淨復原力（net restoring force），傾向於使質量返回至平衡。然而，在移回至平衡位置中，質量獲取保持其移動超過彼位置之動量，從而在相反方向上建立新的復原力。因此，質量開始圍繞平衡狀態振盪。可對質量施加偏壓，且接著將質量相對於靜態電極之移動轉換成電子信號。質量之諧波振盪因此變換成表示主體相對於慣性參考座標之移動的交變電子信號。

【0014】 圖 1 展示適用於將位移換能成電子信號之質量-彈簧系統的簡化實例。系統可具有驗證質量 10，及在錨定點 12 處錨定至所感測之物件（圖中未示）的彈簧元件 11。系統亦可具有錨定至主體之一或多個固定電極 13，及連接至驗證質量 10 之運動的一或多個可移動電極 14。圖 1 中用於量測位移之換能器可基於電容性效應，其中電極 13 與 14 之間的電容在該等電極之間的距離改變時改變。此電容改變可用以調變自換能器輸出之電子信號。

【0015】 圖 2 展示另一類型之電容性換能器；相同參考數字用以指代圖 1 及圖 2 中之對應元件。在圖 2 之換能器中，電子信號之調變對應於電極 13 與 14 之重疊區域的改變。圖 1 及圖 2 中所展示之換能器基於電容性效應而量測驗證元件之位移，但可應用指示（例如）施加於驗證元件上之應變或應力的其他類型之驗證元件，及將所偵測之實體性質之指示變換成電子信號的與壓電效應及電磁效應相似的其他類型之效應。

【0016】 固體物典型地具有一自然頻率或頻率群組，在該等頻率下，該等固體物傾向於以比其他頻率下之振幅大的振幅振盪。質量-彈簧系統典型地共振，且因此被視為共振器。共振為可用於一些應用但在其他應用中可能嚴重干擾操作之特性。在慣性感測中，當振動之頻率與系統之共振頻率一致時，質量-彈簧系統容易超載。為了避免此等不想要的副作用，需要阻尼質量-彈簧系統之共振。

【0017】 在一些器件中，氣體阻尼用以減少共振之影響。然而，當努力獲得關於雜訊及線性之最終效能時，氣體阻尼並非理想機制，此係由於氣體阻尼可能極非線性地充當質量之位移函數，因此。非線性可造成將振動轉變成偏移移位（offset shift），此現象被稱為振動整流（vibration rectification）。歸因於特定耗散機制，非線性亦可引入新的雜訊源。

【0018】 又，可借助於質量-彈簧系統來將振動迴轉儀模型化，可藉

由用慣性矩替換相關質量、用角度替換位移，及用扭矩替換力，來將此處論述的關於線性共振器之任何概念直接一般化至扭轉共振器。在振動迴轉儀之情況下，共振效應甚至更有問題；因為主振動之共振激勵的阻尼必須低，所以無法使用氣體阻尼。在迴轉儀中，習知地藉由將次共振器之 Q 值（品質因子）增加至幾千且用超載裕度（overload margin）處理超載效應來解決問題。

【0019】 一種替代性阻尼方法係藉由反饋迴路進行之主動電阻尼。位移在第一換能器中產生電子信號，在反饋迴路中將該電子信號轉換成經修改之信號，該經修改之信號控制待施加以抵抗位移從而消除或至少減少所偵測之移動的機械力。圖 3 展示經簡化之例示性共振器器件 30 的方塊圖，以說明主動電阻尼機構之反饋迴路的操作。圖 3 之器件包含第一機械共振器 31，其包含位移感測換能器 TR1 及施力換能器 TR2。圖 4 展示說明圖 3 之例示性機械共振器 31 的更詳細組態的方塊圖。

【0020】 圖 4 之機械共振器包含驗證質量 40，及在錨定點 42 處錨定至所感測之物件（圖中未示）的彈簧元件 41。系統具有錨定至主體之一或多個固定 TR1 電極 43，及連接至驗證質量 40 之運動的一或多個可移動 TR1 電極 44。此等電極 43、44 形成電容性位移量測換能器，如將藉由圖 3 解釋。系統亦具有錨定至主體之一或多個固定 TR2 電極 45，及連接至驗證質量 40 之運動的一或多個可移動 TR2 電極 46。此等電極 43、44 形成一力產生靜電換能器。

【0021】 應注意，圖 4 中之電容性及靜電換能器僅為實例。熟習此項技術者應清楚，圖 3 之換能器 TR1 及 TR2 可基於任何換能器原理。舉例而言，第一換能器可經組態以基於電容性效應、壓電效應、電磁效應或壓阻效應借助於運動、應力或應變偵測位移。第二換能器可經組態以基於靜電效應、壓電效應、電磁效應、熱彈性效應、電致伸縮或磁致伸縮借助於力、

扭矩、應力或應變感應位移。

【0022】 返回參看圖 3，可藉由 TR1 電極（圖 4 中之 43、44）以電方式來量測機械共振器 31 中之驗證質量的位移，且將其轉換成電子信號 S1。可藉由放大器 32 放大第一電子信號 S1，且接著經由控制器 33 將經放大之信號饋送至施力換能器 TR2。TR2 經組態以藉由 TR2 電極（圖 4 中之 45、46）將對應於第二電子信號 S2 之機械力施加至驗證質量。將 S2 以滿足以下情形的與所偵測之位移的相位關係饋送至 TR2：藉由所施加之力阻尼（亦即，減少）驗證質量之移動。

【0023】 圖 3 之機械共振器 31 的轉移函數為：

$$H_m(s) = \frac{1}{1 + \frac{s}{Q_m} + s^2} \quad (1)$$

其中 Q_m 為機械共振器之機械 Q 值。頻率經正規化，使得共振頻率 $\omega_0 = 2\pi f_0 = 1$ ，且 s 為經正規化之頻率（虛數）。圖 5 展示 Q 值為 1000 之例示性機械共振器的轉移函數，且圖 6 展示該例示性機械共振器的相轉移曲線圖。可見，當機械共振器在其共振頻率下經激勵時，藉由特定驅動力達到之位移得以最大化。圖 5 及圖 6 展示：在振幅回應中在共振頻率下存在極窄且高的峰值，且在相位回應中存在自 0 至 $-\pi$ 之陡轉變。

【0024】 習知地，可藉由增加反饋迴路中之放大率（亦即，所謂的迴路增益）來達成較高阻尼，該迴路增益包括來自迴路中之任何放大器、控制器、換能器、機械共振器之頻率回應及共振器彈簧元件之彈簧常數的貢獻。然而，在進行此操作時，必須注意：封閉迴路轉移函數在所有條件下保持穩定。此情形可藉由對控制器選擇適當轉移函數來確保。針對此情形之習知轉移函數為微分器：

$$H_c(s) = s \quad (2)$$

【0025】 由於微分器在所有頻率下產生恆定的 $+\pi/2$ 相移，因此該微

分器基本上為理想控制器。這意謂著：結合方程式（1）之轉移函數，在應用負反饋時，可確保封閉迴路操作之良好相位裕度。圖 3 之系統中的封閉迴路轉移函數（1）及（2）一起將系統之機械 Q 值減少至所要位準，且系統穩定：

$$H(s) = \frac{Ks}{1 + \left(K + \frac{1}{Q_m}\right)s + s^2} \quad (3)$$

其中 K 為低頻下之迴路增益。封閉迴路之有效 Q 值為

$$Q_{eff} = \frac{1}{K + \frac{1}{Q_m}} \approx \frac{1}{K} \quad (4)$$

【0026】 圖 7 展示圖 3 中所展示的經阻尼之機械共振器系統 30 在控制元件 33 為微分器之狀況下的封閉迴路轉移函數。圖 8 展示經阻尼之機械共振器系統 30 的相轉移曲線圖。圖 7 及圖 8 中之機械 Q 值經設定為 1000，且低頻放大率為 1，且控制器 CTRL 具有方程式（2）之轉移函數。

【0027】 然而，當控制器具有方程式（2）之轉移函數時，及當嘗試使用放大率之較高值時，實務系統容易在顯著高於共振器之共振頻率的頻率下開始振盪。此振盪係由於歸因於實際共振器產生之額外機械共振模式而造成。此等模式可（例如）由於質量之可撓性、由換能器造成之共振、彈簧之諧波模式中的偏轉、彈簧之扭轉模式中的偏轉及許多類似非理想性而造成。此等非理想性典型地造成轉移函數之額外共振峰。

【0028】 圖 9 展示由驗證質量 90、無質量彈簧 91 及製振阻尼器（dashpot damper）92 形成之一基本的 1 自由度機械共振器的示意性模型。在模擬中，可藉由將額外質量-彈簧系統 100、101 包括至組態（如圖 10 中所展示）來模擬上文所提及之非理想性（為簡單起見，圖 10 中排除可能的機械阻尼）。圖 11 展示作為包括額外質量以表示此等實際非理想性之組態情況下的模擬之結果而接收的例示性轉移函數之列印輸出。圖 11 展示典型額

外共振頻率，其中當存在足夠迴路增益時及當相移使得振盪之起始得到促進時，振盪在該等額外共振頻率下開始。

【0029】 在其他共振模式下觀測到振盪之起始的原因中之一者為微分器典型地強調高頻。歸因於此，習知地，僅極適度之等級之放大係可能的，且由此，尚未達成充分阻尼。已試圖藉由在控制器中過濾較高頻率來補償微分器之此性質（例如，日本的 Toshiki Hirano 於 2003 年 3 月發表的應用物理學，第 42 卷（2003），第 1486 至 1490 頁，第 1 部分，第 3 號），但結果並不適用於額外共振頻率可接近主要共振頻率的許多實務應用。

【0030】 圖 12 說明器件組態，且同時說明根據本發明之具體實例的用於控制機械共振器之操作的方法的步驟。該組態基本上類似於圖 3 之組態，但此處藉由信號處理濾波器 123 來控制抵抗所偵測之運動的反饋力。有利地，信號處理濾波器充當共振器，且因此在所定義之共振頻率下達到峰值。因此，定義 S1 與 S2 的值之間的對應關係的回應函數係頻率回應函數，該函數具有基本上與 S1 之共振頻率一致的共振頻率特性。

【0031】 在信號處理中，濾波器指代完全或部分地抑制信號中的一些不想要的分量或特徵之器件或程序。具有頻率回應之信號處理濾波器（以下稱為：濾波器）經組態以自信號中移除一些頻率，而不移除其他頻率。濾波器之轉移函數係頻率回應函數，其定義該濾波器輸入之信號與其輸出之信號之間的關係。濾波器之截止頻率係一特定頻率，該濾波器在該頻率之後開始衰減或消除信號。濾波器之滾降（roll-off）定義截止頻率之後的頻率下的回應函數之陡度。已知，滾降傾向於充分地遠離截止頻率之頻率下的恆定梯度。取決於濾波器之類型，滾降可在頻率遞減以及頻率遞增時發生。舉例而言，低通濾波器將隨著頻率遞增而滾降，而高通濾波器將隨著頻率遞減而滾降。

【0032】 在本發明具體實例中，信號處理濾波器係具有特定共振頻率

之共振器，該特定共振頻率剛好在該共振器之截止頻率之前。如圖 13 中之曲線 131 所展示，這意謂著頻率回應在濾波器之共振頻率下高，且隨著頻率遞增而急劇滾降。在截止頻率之另一側中的區（稍後稱為：低頻回應區）中，回應函數更平滑，但共振回應之差仍相當大。

【0033】 已發現，濾波器對緊緊圍繞共振頻率之頻率的回應與對超出共振頻率之頻率的回應的顯著差可適用於避免機械共振器之封閉反饋迴路中的不想要的振盪。借助於此情形，可達成顯著較高等級之阻尼。原理於圖 13 中加以說明，圖 13 展示例示性微分器之轉移函數 130 及例示性低通濾波器之轉移函數 131。可見，在高於共振頻率之高頻範圍中，其中額外共振頻率典型地處於該高頻範圍中，回應之間的差相當大，大約 100 或 100 以上。因此，在此高頻範圍中，微分器強調信號，但共振器極有效地衰減該等信號。因此，可藉由共振器極有效地消除由於此高頻範圍中之額外共振頻率引起的振盪。

【0034】 亦可見，由於阻尼之主要共振典型地為器件之最低共振頻率，因此可能不需要低頻回應範圍中的共振器之衰減。為了消除彼區中來自不想要之相移的不利效應，必須控制由共振器進行的對信號之放大。返回參看圖 12，方塊圖展示第一共振器 R1 121，如圖 3 中，第一共振器 R1 121 為機械共振器且產生第一電子信號 S1。S1 之頻率對應於驗證質量相對於參考座標之振動。通常可藉由第一放大器 122 來預先放大 S1，且將經放大之信號饋送至第二共振器 123 R2。第二共振器 R2 根據其頻率回應函數產生經修改之電子信號 S2。可藉由第二放大器來放大 S2，且接著將 S2 饋送至 R1，以定義待施加於 R1 上之阻尼力的量。在一些習知組態中，藉由一或多個壓入器在主要機械系統之模式中之一者的共振頻率下模擬主要機械系統，使得該主要機械系統以恆定振幅振盪。然而，在本發明中，共振頻率回應適用於產生對抗所偵測之運動的反饋阻尼力。

【0035】 為了確保阻尼在適當相位下發生，必須根據濾波器之類型調整反饋之正負號。首先考慮控制器 123 為低通濾波器之狀況。機械共振器在共振頻率下之相移為 $-\pi/2$ ，且低通濾波器之相移為 $-\pi/2$ 。為了穩定操作起見，反饋迴路之相移必須為 $-\pi$ 。這意謂著：在低通濾波器之狀況下，反饋之正負號在低頻下必須為正。可藉由熟習此項技術者所熟知之機制使反饋迴路之正負號反向，例如，藉由放大級，或其他迴路參數之適當調整，使得對信號加總而非減去信號。在滾降區中，回應等級之快速降低確保無振盪之操作。然而，眾所熟知的，正反饋可能造成低頻回應區中的不穩定性，其中此處低通濾波器處於低頻範圍中。

【0036】 因此，為了避免低頻範圍中由信號造成之不穩定性，可將該等信號之放大率設定為低，較佳設定為小於 1 之值。已發現，藉由自 3 至 10 之範圍中選擇低通濾波器之電 Q 值，且將低通濾波器之振幅峰值配置成基本上與機械共振器 R1 之共振頻率一致，可將低頻下的 R2 之放大率減小至遠低於 1，且仍可藉由 AMP2 將圍繞共振頻率之迴路增益增加至足夠高以達成有效率阻尼。

【0037】 控制器之有利的低通轉移函數可具有以下形式：

$$H_{LP}(s) = \frac{K}{1 + \frac{s}{Q_c} + s^2} \quad (5)$$

其中 Q_c 為低通濾波器之 Q 值，且 K 為低頻下的放大率。 Q_c 較佳在 3 至 10 之範圍中，且 K 在 0.1 至 0.3 之範圍中。當在反饋系統中使用方程式 (5) 之轉移函數且選擇反饋之正負號為正時，獲得如圖 14 中所展示的針對振幅之封閉迴路轉移函數，及如圖 15 中所展示的針對相位之封閉迴路轉移函數。

【0038】 可見，振幅回應圍繞機械共振器之共振頻率具有兩個峰值，但該等峰值並非高至能夠折衷原始的極高之 Q 值共振之阻尼。作為又一優點，控制器回應之峰值與機械共振之匹配不必極精確。10%之偏差不會造成

顯著影響，且高達 30%之偏差仍可為有用的。在此上下文中，可將基本一致解譯為意謂第二共振器（控制器 R2）之轉移函數達到其最高值時的共振頻率可在一定程度上偏差機械共振器 R1 之共振頻率。有利地，偏差保持在 20%以下，使得 R2 之共振頻率保持在 R1 之共振頻率的 80%至 120%的範圍中。然而，已指出，甚至 50%之偏差（亦即，R2 值在 R1 之共振頻率的 50%至 150%之範圍中）亦可適用於阻尼之一些應用。

【0039】 歸因於額外共振頻率出現在較高頻率之趨勢，可見低通濾波器在反饋迴路中操作得極好，此係因為快速滾降有效率地消除信號中不想要的元素。藉由將控制器之放大率調整為足夠低，亦可能消除低頻範圍中的不穩定性。達成提供正確相移且可得到強烈放大的阻尼信號。

【0040】 相同概念亦可適用於其他類型之濾波器。在另一具體實例中，可藉由高通濾波器來實施控制器 33。在此狀況下，反饋迴路中自機械共振器之相移為 $-\pi/2$ ，且高通濾波器之相移為 $+\pi/2$ 。這意謂著：在低通濾波器之狀況下，可以與低通濾波器狀況中類似的方式設計封閉迴路之其他態樣，但反饋之正負號現在必須經設定為負。高通組態之轉移函數可具有以下形式：

$$H_{HP}(s) = \frac{Ks^2}{1 + \frac{s}{Q_c} + s^2} \quad (6)$$

在負反饋之情況下，所得振幅及相轉移函數分別變為如圖 16 及圖 17 中所展示。

【0041】 在另一具體實例中，可藉由帶通濾波器與全通濾波器之組合來實施控制器 33。在此狀況下，反饋迴路中自機械共振器之相移為 $-\pi/2$ ，且帶通濾波器之相移為 0。帶通濾波器提供適當的頻率回應特性，但無法提供適當的相移值。全通濾波器之相移為 $-\pi/2$ ，對滾降無影響，因此在添加全通濾波器之情況下，可維持所要的頻率回應特性，且可提供正確相移（當

反饋之正負號經設定為正時)。可以與低通濾波器狀況中類似的方式設計封閉迴路之其他態樣。帶通/全通組態之轉移函數可具有以下形式

$$H_{BP-AP}(s) = \frac{Ks}{1 + \frac{s}{Q_c} + s^2} \cdot \frac{1-s}{1+s} \quad (7)$$

當應用正反饋時，所得振幅及相轉移函數分別如圖 18 及圖 19 中所展示。

【0042】 在又一具體實例中，可藉由具有共振或甚至平坦的頻率特性之全通濾波器來實施控制器 33。結果仍優於藉由微分器進行之控制。在此狀況下，反饋迴路中自機械共振器之相移為 $-\pi/2$ ，且全通濾波器之相移為 $-\pi/2$ 。因此，可藉由將反饋之正負號設定為正來達成適當相移。可以與低通濾波器狀況中類似的方式設計封閉迴路之其他態樣。

【0043】 熟習此項技術者將顯而易見，隨著技術進步，可以各種方式來實施本發明之基本構想。共振器器件可為與加速度計、角速率感測器或磁場感測器相似的感測器器件，或與光學機械器件或切換器件相似的致動器器件。此外，為簡單起見，本文中僅論述具有合適頻率回應之最低階濾波器。具有適當共振及相位特性之較高階濾波器同樣在本發明之範疇內。因此，本發明及其具體實例並不限於上述實例，而是可在申請專利範圍之範疇內變化。

【符號說明】

【0044】

- 10：驗證質量
- 11：彈簧元件
- 12：錨定點
- 13：固定電極
- 14：可移動電極

30：共振器器件
 31：機械共振器
 32：放大器
 33：控制器
 40：驗證質量
 41：彈簧元件
 42：錨定點
 43：固定 TR1 電極
 44：可移動 TR1 電極
 45：固定 TR2 電極
 46：可移動 TR2 電極
 90：驗證質量
 91：無質量彈簧
 92：製振阻尼器
 100：質量-彈簧系統
 101：質量-彈簧系統
 121：第一共振器
 122：第一放大器
 123：第二共振器
 130：微分器之轉移函數
 131：低通濾波器之轉移函數
 S1：第一電子信號
 S2：第二電子信號
 TR1：位移感測換能器
 TR2：施力換能器

申請專利範圍

1. 一種控制元件 (33)，其包含

一第一電子信號 (S1) 之一輸入，該第一電子信號 (S1) 對應於一機械共振器中之參考點回應於作用於質量上之力的一位移；

一第二電子信號 (S2) 之一輸出，該第二電子信號 (S2) 定義待作用於該機械共振器上之一阻尼反饋力；

信號處理濾波器，其用於根據一特定回應函數產生該第二電子信號，該回應函數定義該第一電子信號與該第二電子信號的值之間的對應。

2. 如申請專利範圍第 1 項之控制元件，其中該第一電子信號具有一第一共振頻率，且該回應函數為具有基本上與該第一共振頻率一致之一共振頻率特性之一頻率回應函數。

3. 如申請專利範圍第 2 項之控制元件，其中該信號處理濾波器之品質因子高於 1。

4. 如申請專利範圍第 3 項之控制元件，其中該信號處理濾波器之該品質因子在 3 至 10 之範圍中。

5. 一種共振器器件 (30)，其包含：

一機械共振器 (31)；

一封閉反饋迴路，其包括一第一換能器 (43、44)、一第二換能器 (45、46) 及一控制元件 (33)；

該第一換能器經組態以輸出一第一電子信號 (S1)，該第一電子信號 (S1) 對應於該機械共振器中一參考點相對於一慣性參考座標之位移，該第一電子信號具有一第一共振頻率；

該控制元件 (33) 電耦接至該第一換能器及該第二換能器；

該控制元件經組態以自該第一換能器接收該第一電子信號 (S1)，且根

據一特定回應函數產生一第二電子信號 (S2)，該回應函數定義該第一電子信號與該第二電子信號的值之間的對應；

該控制元件經組態以將該第二電子信號 (S2) 饋送至該第二換能器；

該第二換能器經組態以將對應於該第二電子信號之一阻尼力施加至該機械共振器 (31)；

該控制元件為一信號處理濾波器。

6. 如申請專利範圍第 5 項之共振器器件，其中該信號處理濾波器之該回應函數具有基本上與該第一共振頻率一致之一共振頻率特性。

7. 如申請專利範圍第 6 項之共振器器件，其中該信號處理濾波器之品質因子高於 1。

8. 如申請專利範圍第 7 項之共振器器件，其中該信號處理濾波器之該品質因子在 3 至 10 之範圍中。

9. 如申請專利範圍第 5 項至第 8 項中任一項之共振器器件，其中該封閉反饋迴路針對低於該第一共振頻率之頻率的迴路增益小於 1。

10. 如申請專利範圍第 9 項之共振器器件，其中該封閉反饋迴路針對低於該第一共振頻率之頻率的該迴路增益在 0.1 至 0.3 之範圍中。

11. 如申請專利範圍第 5 項之共振器器件，其中該共振頻率特性自該第一共振頻率之偏差小於 50%。

12. 如申請專利範圍第 11 項之共振器器件，其中該共振頻率特性自該第一共振頻率之偏差小於 20%。

13. 如申請專利範圍第 5 項之共振器器件，其中該控制元件為一低通濾波器，且該封閉反饋迴路之反饋為正。

14. 如申請專利範圍第 5 項之共振器器件，其中該控制元件為一高通濾波器，且該封閉反饋迴路之該反饋為負。

15. 如申請專利範圍第 5 項之共振器器件，其中該控制元件為一帶通濾

波器與一全通濾波器之一組合，且該封閉反饋迴路之該反饋為正。

16. 如申請專利範圍第 5 項之共振器器件，其中該控制元件為一全通濾波器，且該封閉反饋迴路之該反饋為正。

17. 如申請專利範圍第 5 項之共振器器件，其中該共振器器件為一 MEMS 器件。

18. 如申請專利範圍第 5 項之共振器器件，其中該第一換能器經組態以藉由電容性效應、壓電效應、電磁效應或壓阻效應借助於運動、應力或應變來偵測位移。

19. 如申請專利範圍第 5 項之共振器器件，其中該第二換能器經組態以藉由靜電效應、壓電效應、電磁效應、熱彈性效應、電致伸縮或磁致伸縮所致之作用力、扭矩、應力或應變來感應位移。

20. 如申請專利範圍第 5 項之共振器器件，其中該共振器器件為一感測器器件或一致動器器件。

21. 一種用於控制一機械共振器之操作的方法，其包含：

將該機械共振器耦接至包括一第一換能器、一第二換能器及一控制元件之一封閉反饋迴路；

自該第一換能器向該控制元件輸出一第一電子信號，該第一電子信號對應於該機械共振器中一參考點相對於一慣性參考座標之位移，該第一電子信號具有一第一共振頻率；

在該控制元件中根據一特定回應函數產生一第二電子信號，該回應函數定義該第一電子信號與該第二電子信號的值之間的對應，該控制元件為一信號處理濾波器；

將該第二電子信號自該控制元件饋送至該第二換能器；

藉由該第二換能器將對應於該第二電子信號且對抗該位移之一阻尼力施加至該機械共振器。

22. 如申請專利範圍第 21 項之方法，其中該信號處理濾波器之該回應函數具有基本上與該第一共振頻率一致之一共振頻率特性。

圖式

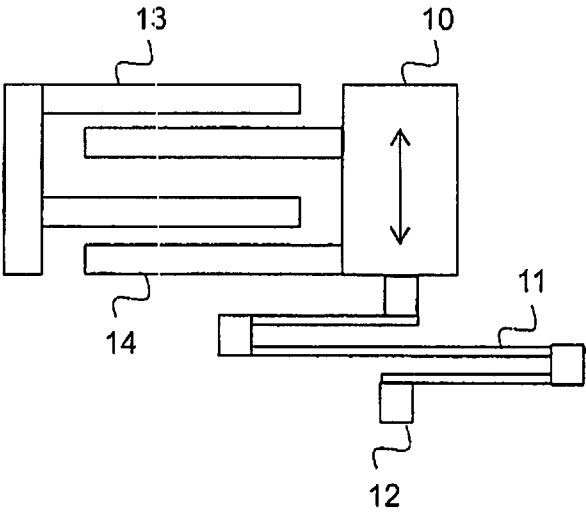


圖1

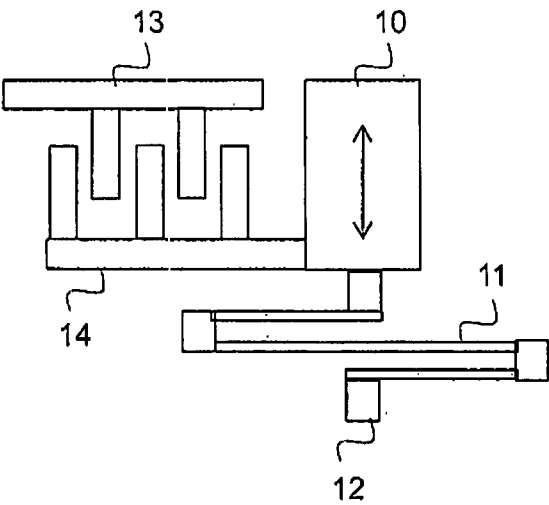


圖2

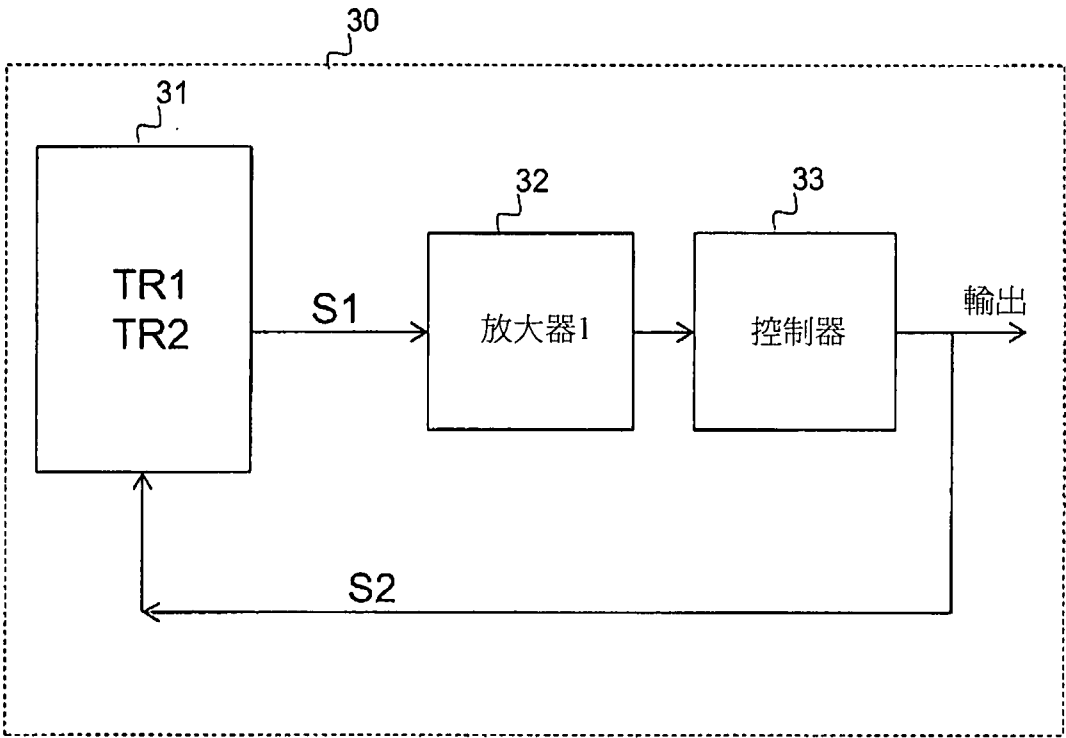


圖3

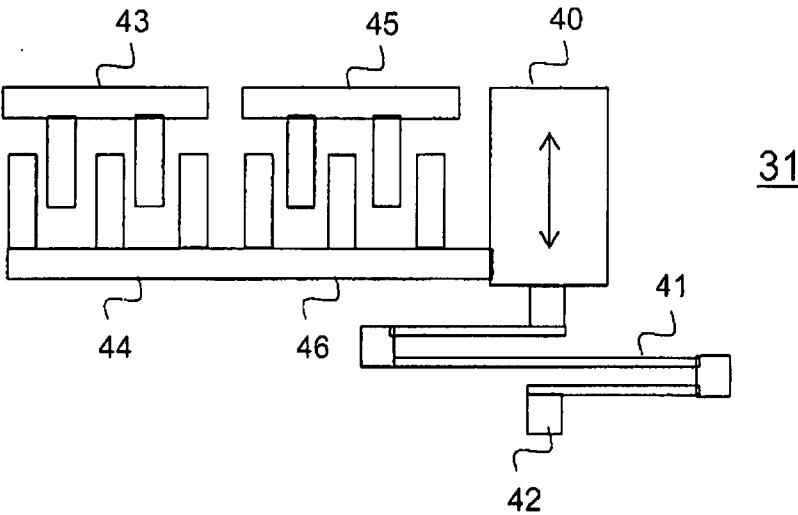


圖4

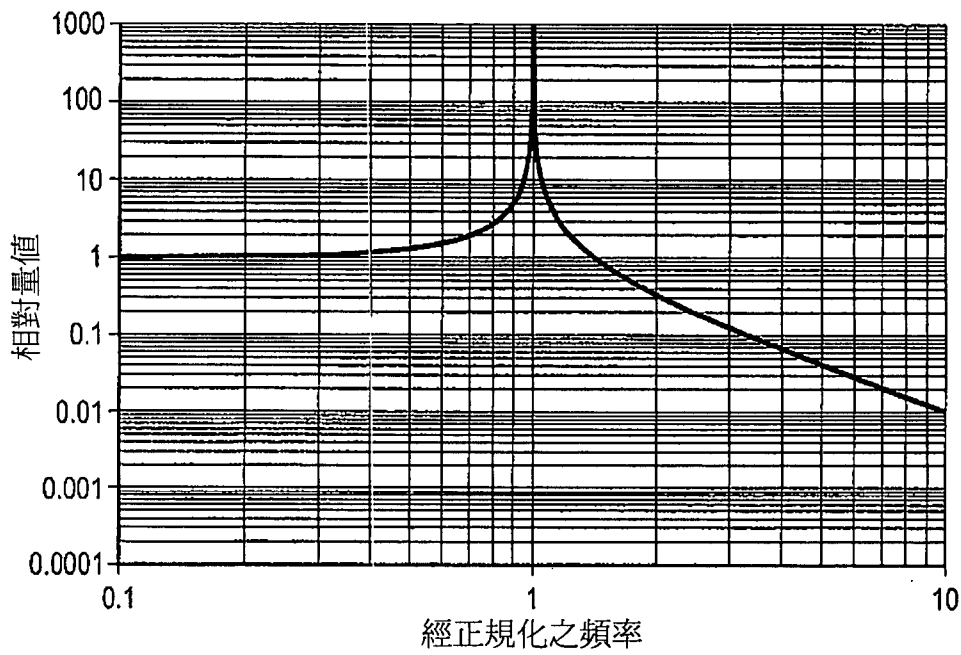


圖5

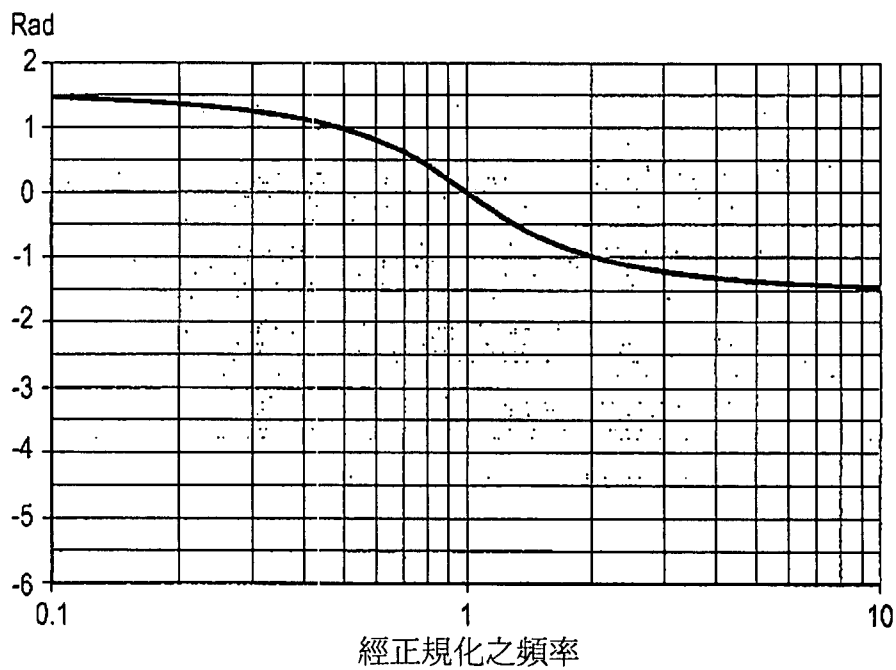


圖6

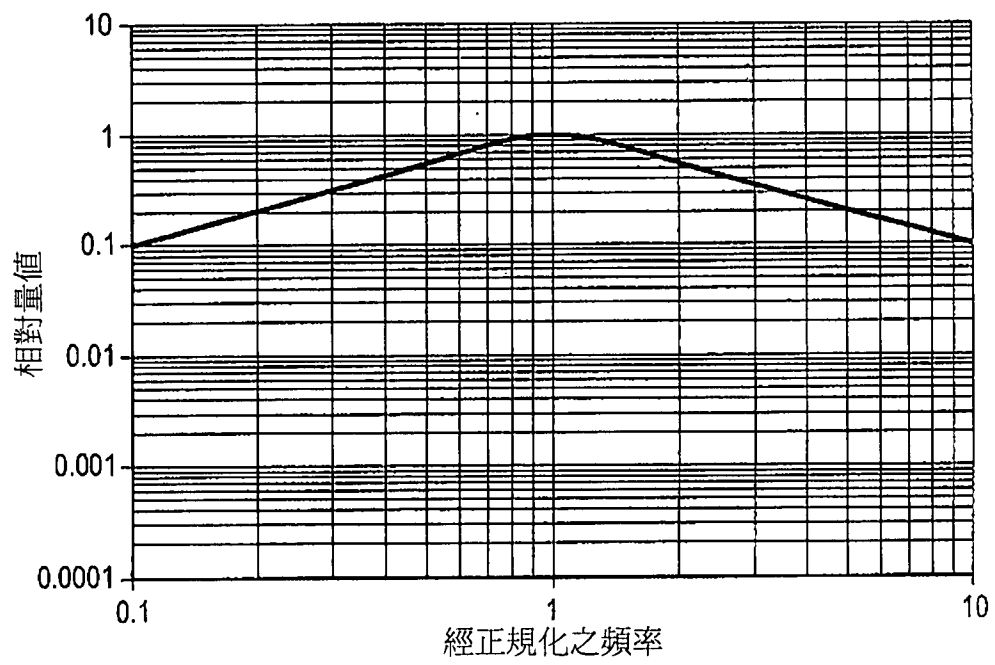


圖7

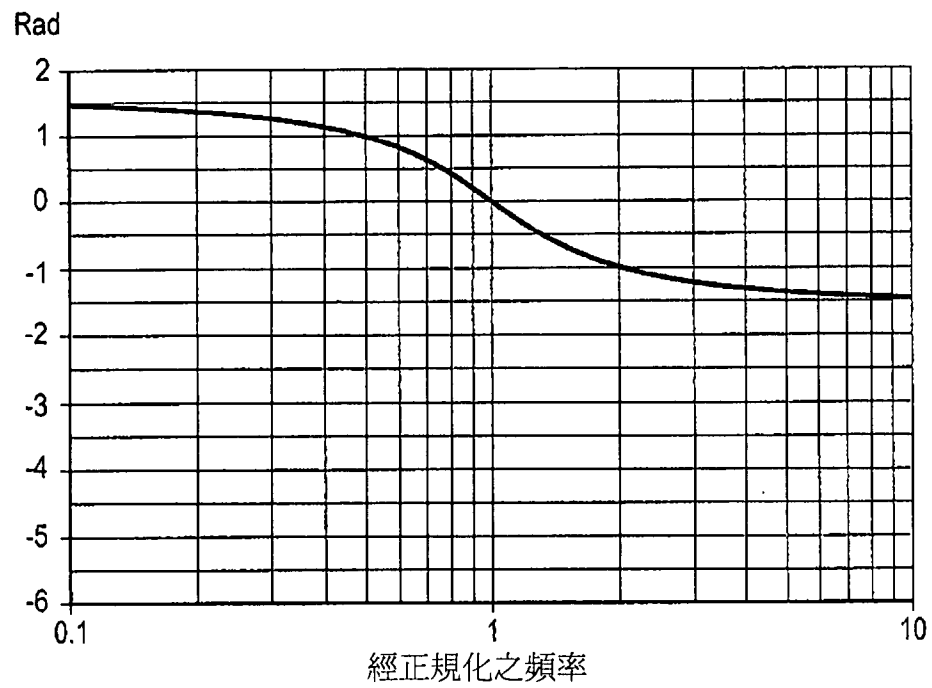


圖8

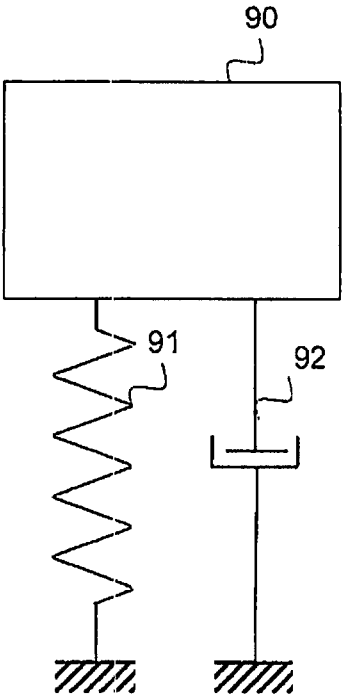


圖9

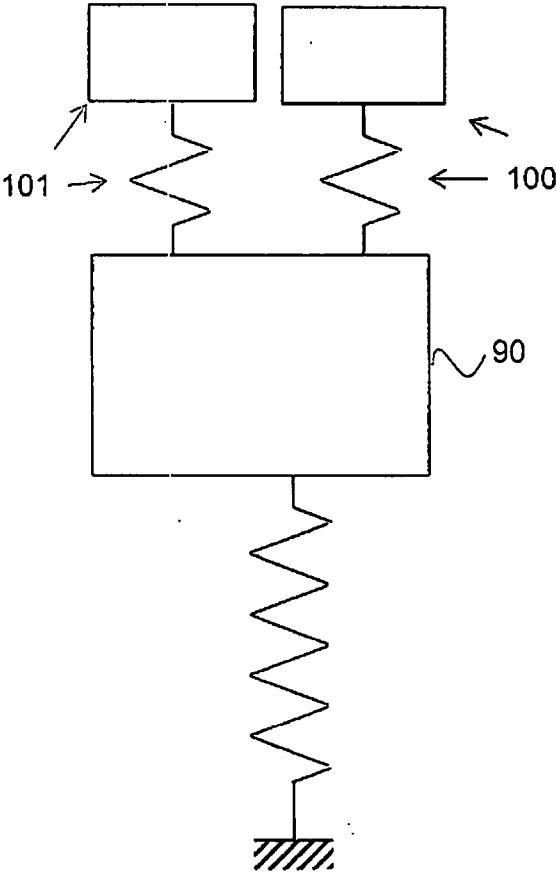


圖10

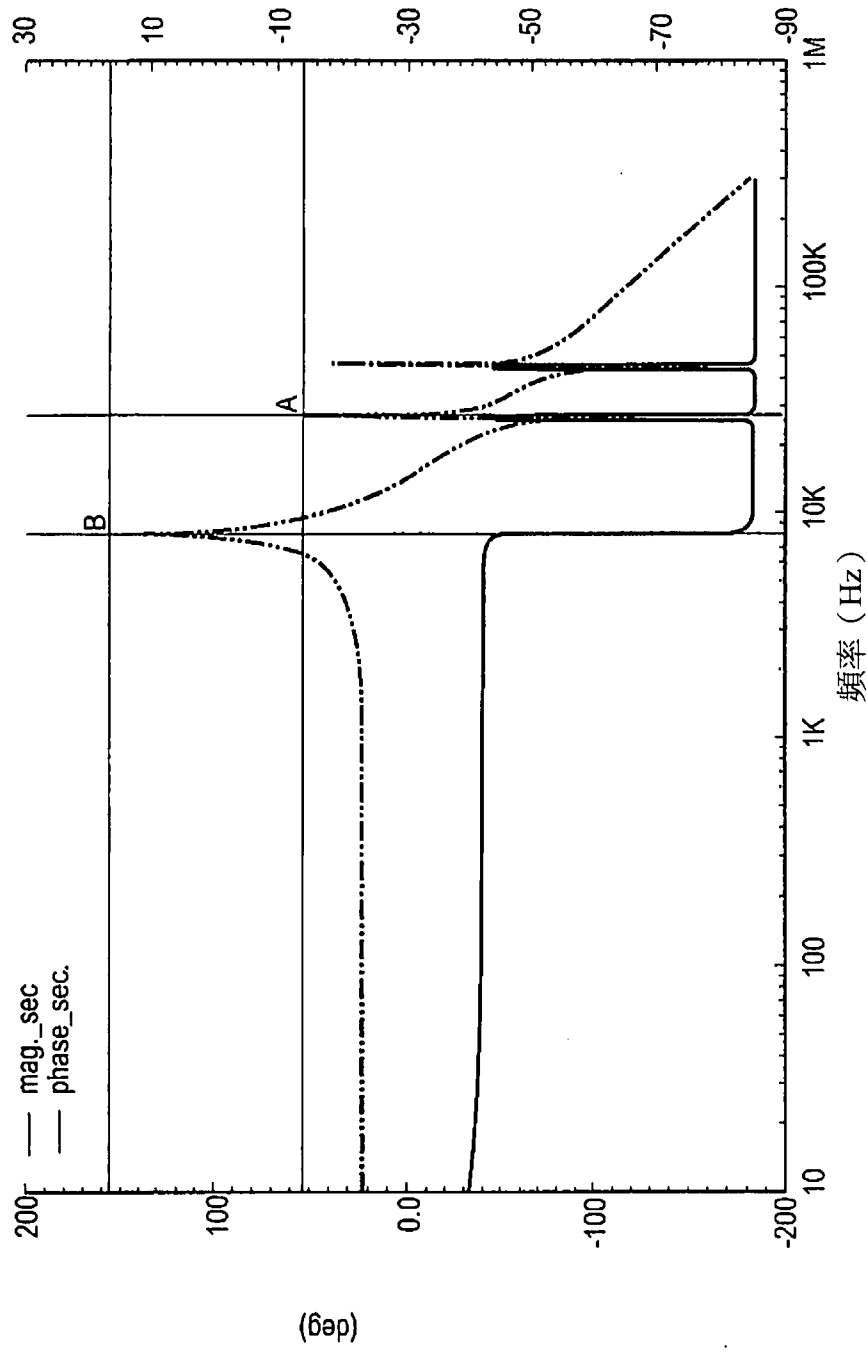


圖11

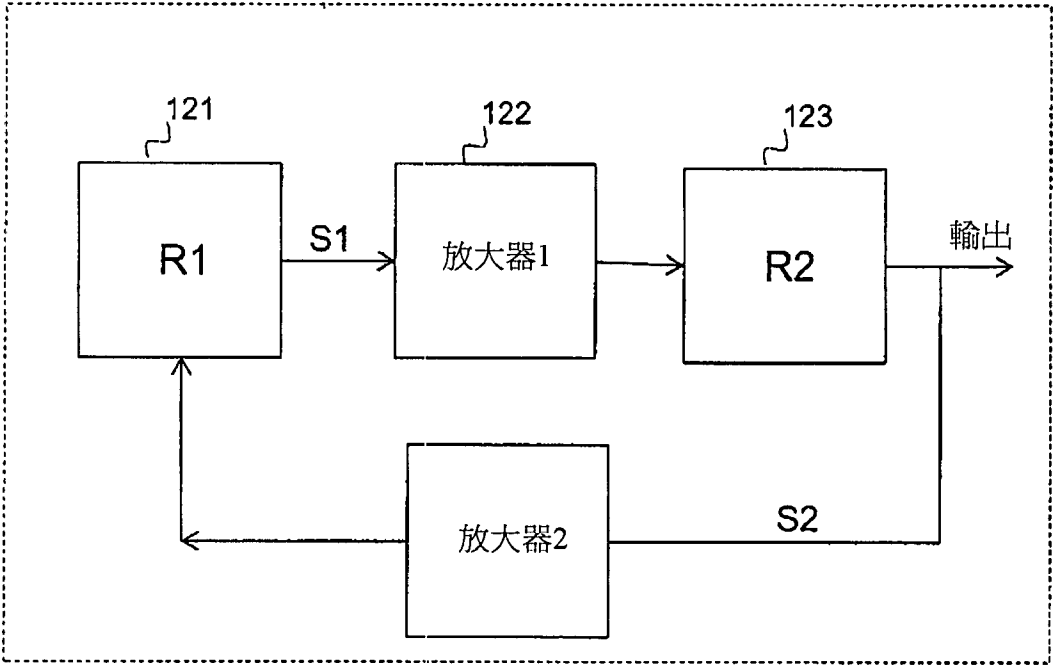


圖12

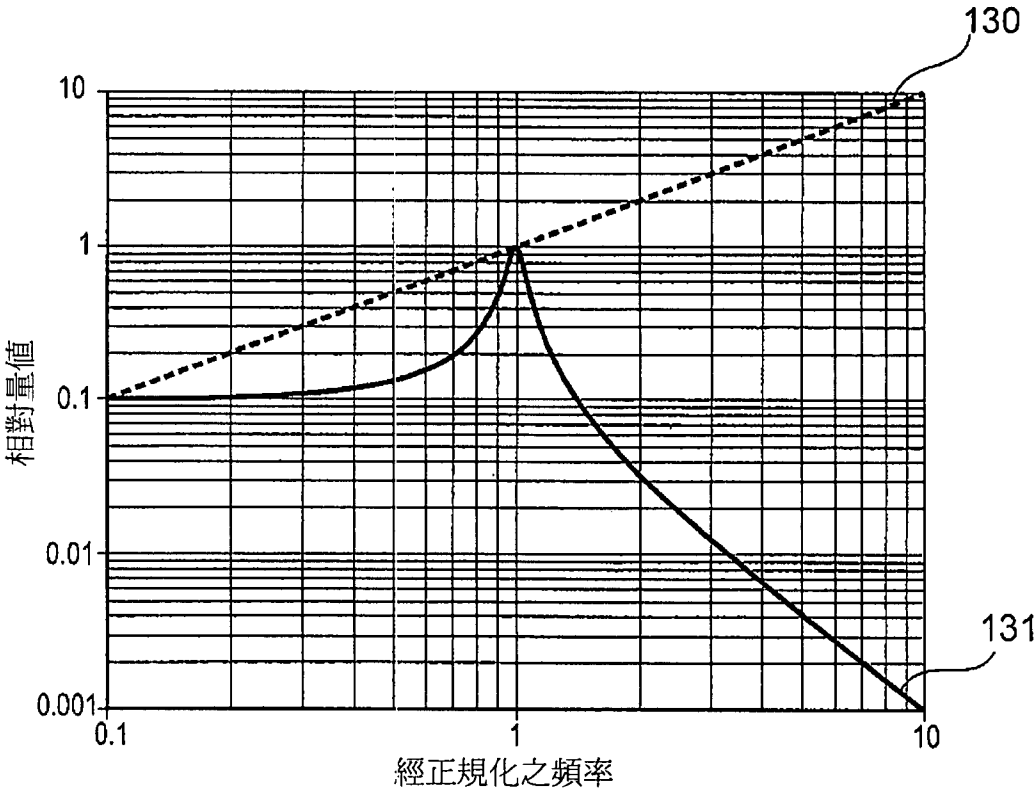


圖13

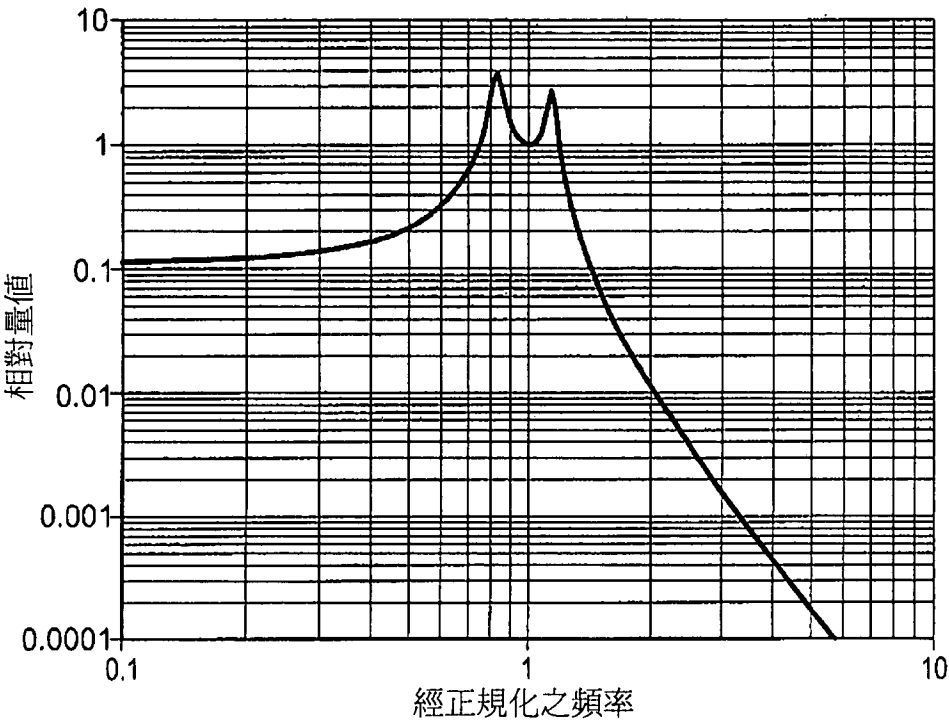


圖14

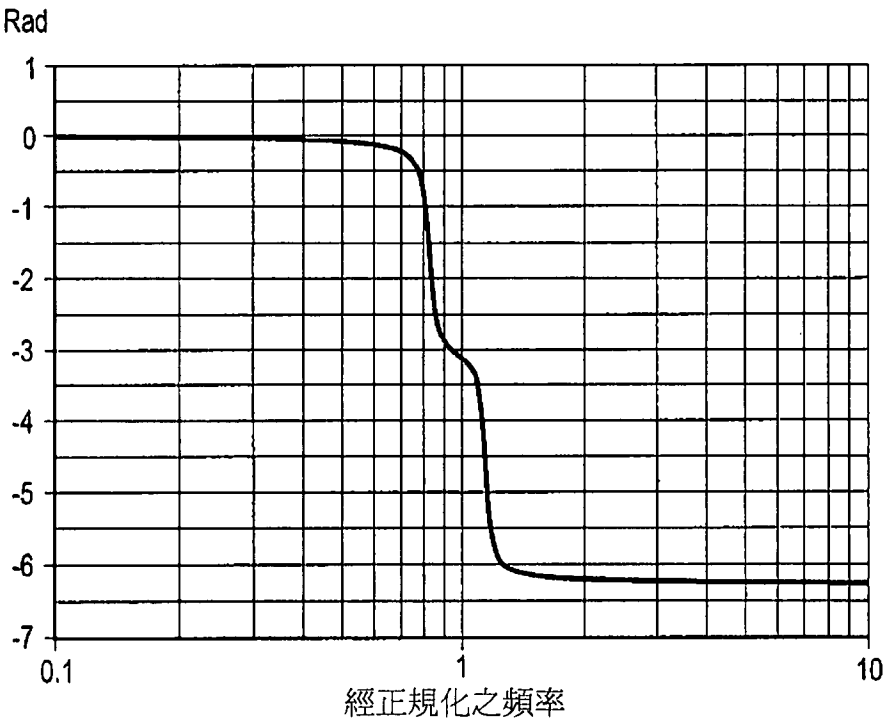


圖15

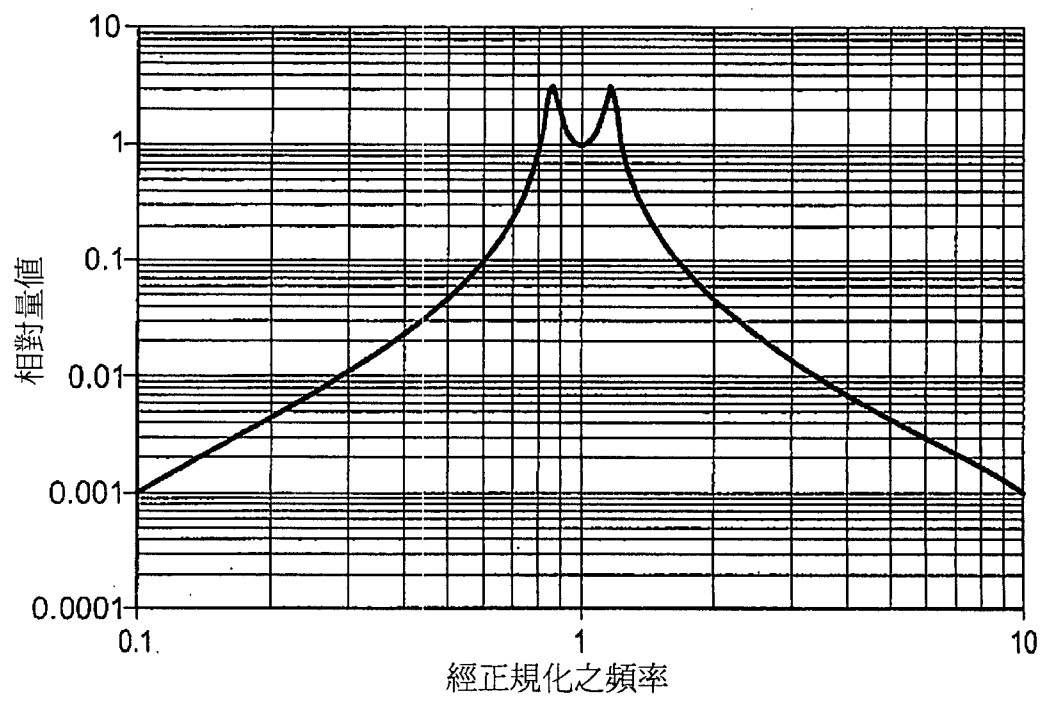


圖16

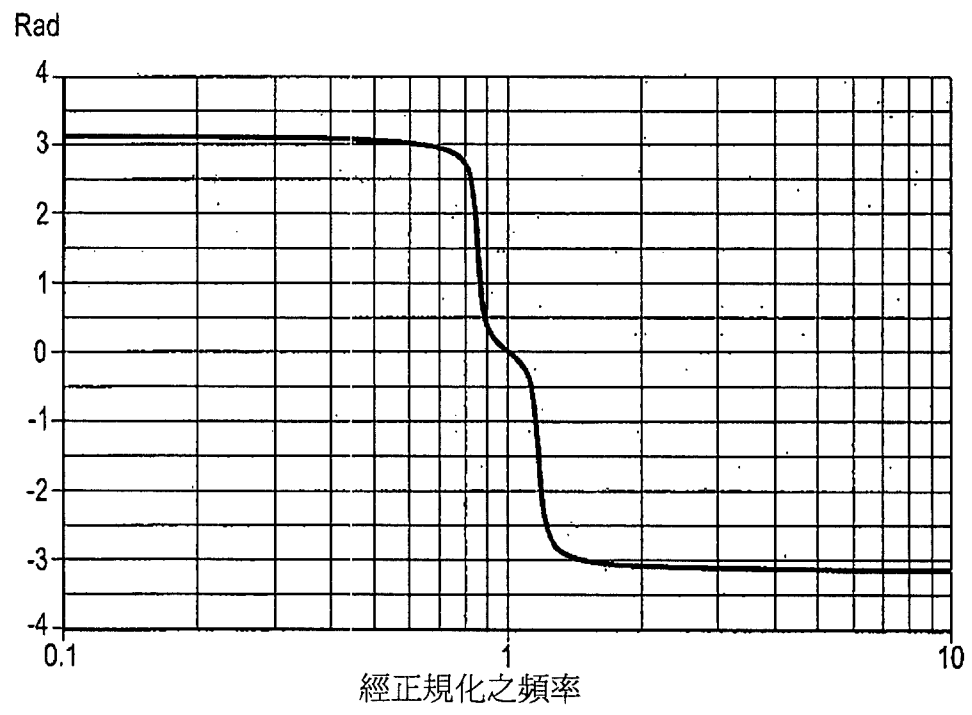


圖17

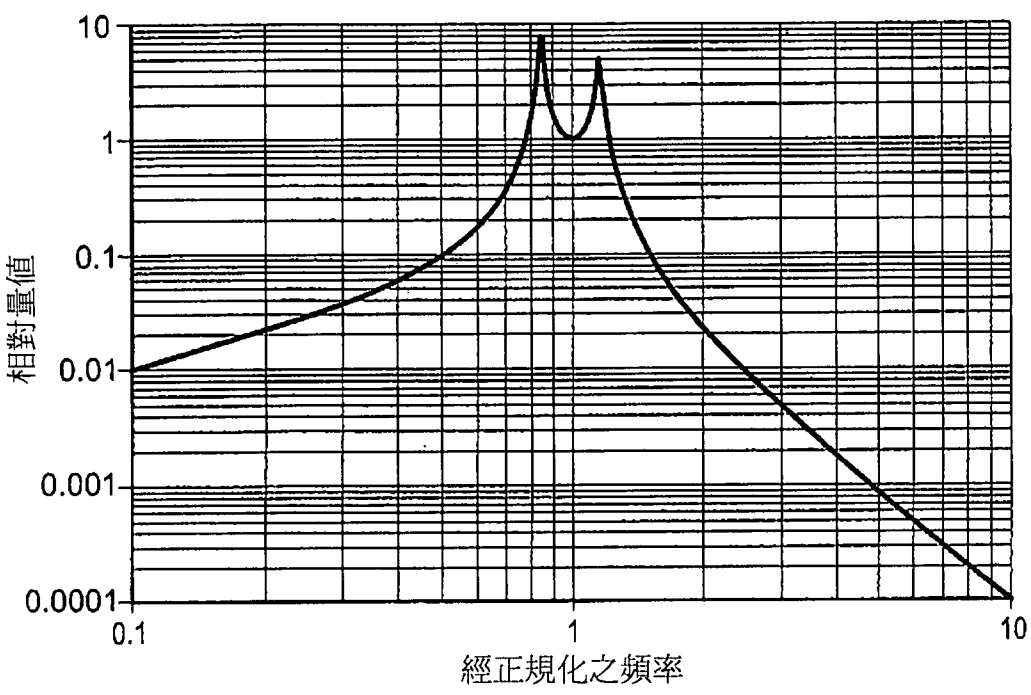


圖18

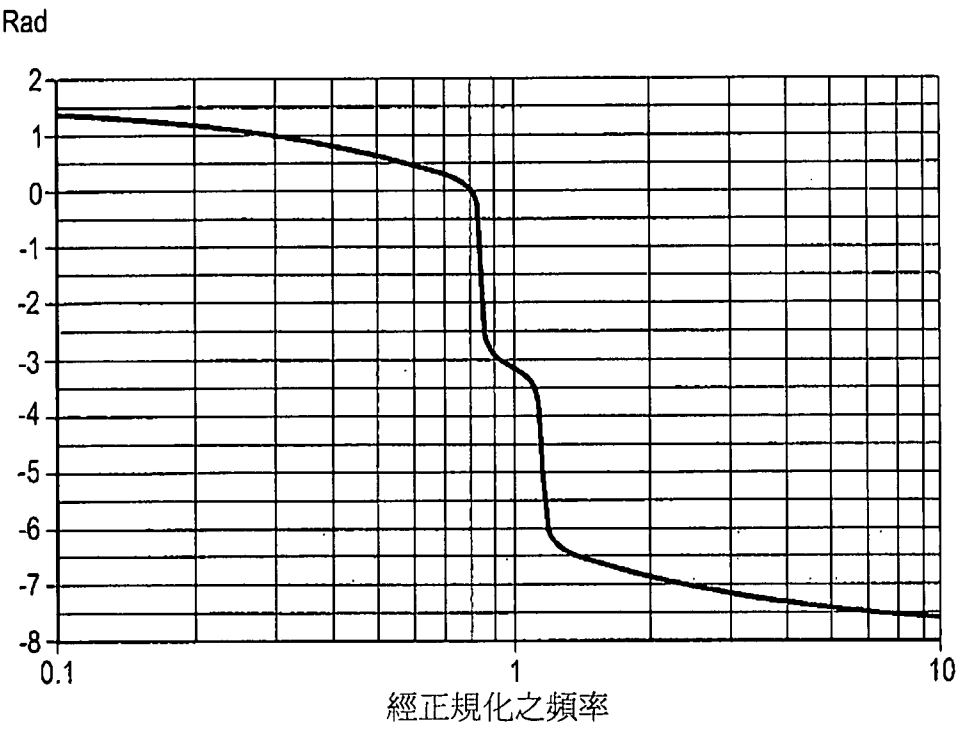


圖19