



(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 I681274 B

(45)公告日：中華民國 109 (2020) 年 01 月 01 日

(21)申請案號：107140434

(22)申請日：中華民國 107 (2018) 年 11 月 14 日

(51)Int. Cl. : G05B19/401 (2006.01)

B23Q5/00 (2006.01)

(71)申請人：財團法人工業技術研究院 (中華民國) INDUSTRIAL TECHNOLOGY RESEARCH INSTITUTE (TW)

新竹縣竹東鎮中興路四段 195 號

(72)發明人：郭晨暉 KUO, CHEN-HUI (TW)；蓋震宇 KAI, CHEN-YU (TW)；彭達仁 PENG, TA-JEN (TW)；林勇志 LIN, YUNG-CHIH (TW)

(74)代理人：祁明輝；林素華；涂綺玲

(56)參考文獻：

TW 200841579A

TW 201804270A

CN 103180790A

CN 106489105B

CN 108693833A

JP 2009-154274A

JP 2016-194916A

US 10101729B2

US 2018/0292792A1

審查人員：廖天佑

申請專利範圍項數：18 項 圖式數：8 共 35 頁

(54)名稱

工具機頻率響應參數的調整方法及應用其之調整系統

(57)摘要

一種工具機頻率響應參數的調整方法及應用其之調整方法。調整方法包括以下步驟。首先，對工具機進行實際掃頻，以取得工具機的原系統閉迴路資料。然後，取得原系統閉迴路資料之原系統開迴路轉移函數。然後，執行速度優化程序，以決定優化速度參數。然後，取得對應速度優化閉迴路轉移函數的速度優化開迴路轉移函數。然後，決定濾波器的濾波器轉移函數。然後，執行濾波器優化程序。

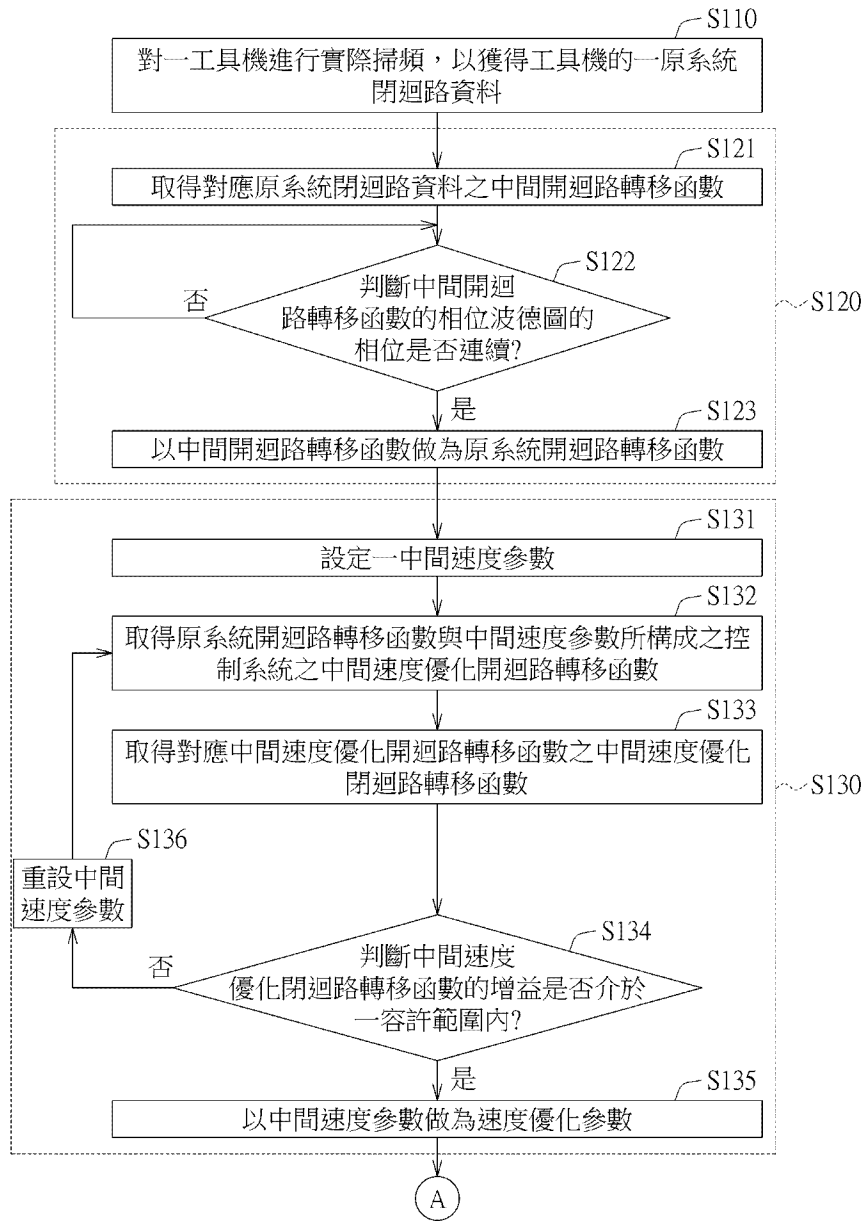
A method for adjusting frequency response parameter of machine tool and a system using the same are provided. The method includes the following steps. Firstly, the actual frequency sweep for a machine tool is performed to obtain an original system closed loop data of the machine tool. Then, an original system open loop transfer function of the original system closed loop data is obtained. Then, a speed optimization procedure is executed to determine optimization speed parameters. Then, a speed optimized open loop transfer function corresponding to a speed optimized closed loop transfer function is obtained. Then, a filter transfer function of a filter is determined. Then, a filter optimization procedure is performed.

指定代表圖：

符號簡單說明：

S110~S136 . . . 步驟

驟



第 2A 圖

## 【發明說明書】

【中文發明名稱】工具機頻率響應參數的調整方法及應用其之調整系統

【英文發明名稱】METHOD FOR ADJUSTING FREQUENCY RESPONSE PARAMETER OF MACHINE TOOL AND SYSTEM USING THE SAME

### 【技術領域】

【0001】本揭露是有關於一種工具機頻率響應參數的調整方法及應用其之調整方法，且特別是有關於一種優化工具機頻率響應參數的調整方法及應用其之調整方法。

### 【先前技術】

【0002】一般來說，數台工具機在出廠前會一一以試誤法進行控制器參數的實機調校。然而，這樣的調校方法非常耗時。因此，提出一種新的控制器參數的方法以改善前述問題是本技術領域業者努力的方向之一。

### 【發明內容】

【0003】本揭露係有關於一種工具機頻率響應參數的調整方法及應用其之調整方法，可改善前述習知問題。

【0004】本揭露一實施例提出一種工具機頻率響應參數的調整方法。工具機頻率響應參數的調整方法包括以下步驟。對一工具機進行實際掃頻，以取得工具機的一原系統閉迴路資料；取得

原系統閉迴路資料之一原系統開迴路轉移函數；執行一速度優化程序，以取得一速度優化閉迴路轉移函數及一優化速度參數；決定一濾波器的一濾波器轉移函數；執行一濾波器優化程序，以取得一優化後濾波器轉移函數。

**【0005】** 本揭露另一實施例提出一種工具機頻率響應參數的調整系統。工具機頻率響應參數的調整系統包括一掃頻器、一開迴路轉移函數取得器、一速度優化器及一濾波器優化器。掃頻器用以對一工具機進行實際掃頻，以取得工具機的一原系統閉迴路資料。開迴路轉移函數取得器用以取得原系統閉迴路資料之一原系統開迴路轉移函數。速度優化器用以執行一速度優化程序，以取得一速度優化閉迴路轉移函數及一優化速度參數，速度優化程序包括：取得對應速度優化閉迴路轉移函數的一速度優化開迴路轉移函數；執行一濾波器優化程序，用以決定一濾波器的一濾波器轉移函數且執行一濾波器優化程序，以取得一優化後濾波器轉移函數。

**【0006】** 為了對本揭露之上述及其他方面有更佳的瞭解，下文特舉實施例，並配合所附圖式詳細說明如下：

**【圖式簡單說明】**

**【0007】**

第1圖繪示依照本揭露一實施例之工具機頻率響應參數的調整系統的功能方塊圖。

第2A~2C圖繪示依照本揭露一實施例之工具機頻率響應參數的調整方法的流程圖。

第2D圖繪示依照本揭露一實施例之調整方法的全控制系統方塊圖。

第3圖繪示對第1圖之工具機進行實際掃頻所取得的原系統閉迴路資料的示意圖。

第4圖繪示依照本揭露實施例之中間開迴路轉移函數所構成之一閉迴路控制系統方塊圖。

第5圖繪示依照本揭露實施例之中間速度優化開迴路轉移函數所構成的控制系統方塊圖。

第6圖繪示依照本揭露一實施例之第一濾波器的第一濾波器轉移函數的波德圖。

第7A圖繪示本揭露一實施例之速度優化開迴路轉移函數、第一濾波器轉移函數與第二濾波器轉移函數所構成的控制系統方塊圖。

第7B圖繪示本揭露實施例之第一濾波器轉移函數與速度優化開迴路轉移函數所構成的控制系統方塊圖。

第8圖繪示依照本揭露一實施例之速度優化及濾波器優化後的系統波德圖。

### 【實施方式】

【0008】 請參照第1及2A~2C圖，第1圖繪示依照本揭露一實施例之工具機頻率響應參數的調整系統100的功能方塊圖，而第

2A~2C圖繪示依照本揭露一實施例之工具機頻率響應參數的調整方法的流程圖。

【0009】工具機頻率響應參數的調整系統100包括掃頻器110、開迴路轉移函數取得器120、速度優化器130及濾波器優化器140。

【0010】掃頻器110、開迴路轉移函數取得器120、速度優化器130及/或濾波器優化器140可以是採用半導體製程所形成的電路結構(circuit)。掃頻器110、開迴路轉移函數取得器120、速度優化器130與濾波器優化器140中至少二者可整合成單一元件，或者掃頻器110、開迴路轉移函數取得器120、速度優化器130與濾波器優化器140中至少一者可整合至一處理器(processor)或一控制器(controller)中，或使用現場可程式化邏輯閘陣列(Field Programmable Gate Array, FPGA)、數位訊號處理器(digital signal processor)實現工具機頻率響應參數的調整系統100。

【0011】以下以第2A~2C圖說明工具機頻率響應參數的調整系統100的工具機頻率響應參數的調整方法的流程。請參照第2D圖，其繪示依照本揭露一實施例之調整方法的全控制系統方塊圖。透過第2A~2C圖的流程，可調整第2D圖的速度參數 $V_G$ 及濾波器轉移函數 $H_F(s)$ ，以優化原系統開迴路轉移函數 $G_{O1}$ 、速度參數 $V_G$ 與濾波器轉移函數 $H_F(s)$ 所構成的控制系統(如第2D圖所示)。以下進一步舉例說明。

【0012】在步驟S110中，請同時參照第3圖，其繪示對第1圖之工具機10進行實際掃頻所取得的原系統閉迴路資料的示意圖。掃頻器110對工具機10進行實際掃頻，以取得工具機10的原系統閉迴路資料B1。如第3圖所示，原系統閉迴路資料B1例如是可繪製成波德圖(Bode plot)資料，其中波德圖包括增益(Gain)波德圖B11及相位(Phase)波德圖B12。在增益波德圖B11中，曲線C1為速度優化及濾波器優化前的一頻率與增益關係曲線，而曲線C1'為速度優化後的一頻率與增益關係曲線。在相位波德圖B12中，曲線C2為速度優化及濾波器優化前的一頻率與相位關係曲線，而曲線C2'為速度優化後的頻率與相位關係曲線。

【0013】在步驟S120中，開迴路轉移函數取得器120可採用自動控制運算技術，取得對應原系統閉迴路資料B1的原系統開迴路轉移函數 $G_{01}$ ，如第2D圖所示。

【0014】步驟S120之取得原系統閉迴路資料B1的流程有多種，以下係以步驟S121~S123說明其中一種。

【0015】在步驟S121中，請參照第4圖，其繪示依照本揭露實施例之中間開迴路轉移函數 $G_{01}$ 所構成之一控制系統方塊圖。開迴路轉移函數取得器120可使用下式(1)取得對應原系統閉迴路資料B1的中間開迴路轉移函數 $G_{01}$ 。式(1)中的 $G_{C1}$ 為原系統閉迴路資料B1的閉迴路轉移函數(即第4圖之控制系統的閉迴路轉移函數)。

$$\text{【0016】 } G_{01} = \frac{G_{C1}}{1-G_{C1}} \dots \dots \dots (1)$$

【0017】在步驟S122中，開迴路轉移函數取得器120判斷中間開迴路轉移函數 $G_{O1}$ 的相位波德圖的相位是否連續。當中間開迴路轉移函數 $G_{O1}$ 的相位波德圖的相位連續時，流程進入步驟S123。當中間開迴路轉移函數 $G_{O1}$ 的相位波德圖的相位不連續時，重新運算原系統閉迴路資料B1。例如，當相位不連續時，表示相位計算可能有誤差，因此可修正相位(加或減360度)而得到正確且連續的相位資料。然後，流程回到步驟S121，直到中間開迴路轉移函數 $G_{O1}$ 的相位波德圖的相位連續，流程方進入步驟S123。

【0018】在步驟S123中，由於中間開迴路轉移函數 $G_{O1}$ 的相位波德圖的相位係連續，因此開迴路轉移函數取得器120以中間開迴路轉移函數 $G_{O1}$ 做為原系統開迴路轉移函數 $G_{O1}$ 。

【0019】在步驟S130中，速度優化器130對原系統開迴路轉移函數 $G_{O1}$ 進行速度優化。步驟S130之速度優化程序有多種，以下係以步驟S131~S136說明其中一種。

【0020】在步驟S131中，速度優化器130設定中間速度參數 $V_G$ 的值。

【0021】在步驟S132中，請參照第5圖，其繪示依照本揭露實施例之中間速度優化開迴路轉移函數 $G_{O1V}$ 所構成的控制系統方塊圖。速度優化器130可採用下式(2a)~(2c)，取得原系統開迴路轉移函數 $G_{O1}$ 與中間速度參數 $V_G$ 所構成之控制系統(如第5圖所示之控制系統)之開迴路轉移函數，即中間速度優化開迴路轉移函數 $G_{O1V}$ 。詳言之，速度優化器130可採用下式(2a)，將原系統開迴路轉移函數 $G_{O1}$ 轉換為以增益

$M_0$ 及相位 $\theta$ 表示，其中增益 $M_0$ 及相位 $\theta$ 可表示在x軸為實數軸而y軸為虛數軸的複數空間(未繪示)中。速度優化器130可採用下式(2b)，將原系統開迴路轉移函數 $G_{O1}$ 乘以中間速度參數 $V_G$ ，以取得中間速度優化開迴路轉移函數 $G_{O1V}$ 。速度優化器130可採用下式(2c)，其中式(2a)代入式(2b)並且將式(2b)之中間速度優化開迴路轉移函數 $G_{O1V}$ 轉換為以增益 $M_{0'}$ 及相位 $\theta'$ 表示，其中增益 $M_{0'}$ 及相位 $\theta'$ 可表示在x軸為實數軸而y軸為虛數軸的複數空間中。除非中間速度參數 $V_G$ 的數值為1，不然中間速度優化開迴路轉移函數 $G_{O1V}$ 的增益 $M_{0'}$ 與原系統開迴路轉移函數 $G_{O1}$ 的增益 $M_0$ 相異。由於中間速度參數 $V_G$ 為整數，因此不改變相位，即相位 $\theta'$ 與 $\theta$ 相等(即， $\theta = \theta'$ )。

$$\text{【0022】 } G_{O1} = M_0 \times \cos(\theta) + i(M_0 \times \sin(\theta)) \dots (2a)$$

$$\text{【0023】 } G_{O1V} = G_{O1} \times V_G, \dots \dots \dots (2b)$$

$$\text{【0024】 } G_{O1V} = M_{0'} \times \cos(\theta') + i(M_{0'} \times \sin(\theta')) \dots (2c)$$

【0025】 在步驟S133中，速度優化器130可採用下式(3a)~(3b)，取得對應中間速度優化開迴路轉移函數 $G_{O1V}$ (如第5圖所示)的中間速度優化閉迴路轉移函數 $G_{C1V}$ 。舉例來說，速度優化器130使用下式(3a)，將中間速度優化開迴路轉移函數 $G_{O1V}$ 轉換成中間速度優化閉迴路轉移函數 $G_{C1V}$ 。如式(3b)所式，速度優化器130將中間速度優化閉迴路轉移函數 $G_{C1V}$ 轉換成以增益 $M_{C'}$ 及相位 $\theta_{C'}$ 表示，其中增益 $M_{C'}$ 及相位 $\theta_{C'}$ 可表示在x軸為實數軸而y軸為虛數軸的複數空間(未繪示)中(即， $\theta_{C'} \neq \theta'$ )。

$$\text{【0026】 } G_{C1V} = \frac{G_{O1V}}{1+G_{O1V}} \dots \dots \dots (3a)$$

$$\text{【0027】 } G_{C1V'} = M_{C'} \times \cos(\theta_{C'}) + i(M_{C'} \times \sin(\theta_{C'})) \dots \dots (3b)$$

【0028】 在步驟S134中，速度優化器130判斷中間速度優化閉迴路轉移函數 $G_{C1V'}$ 的增益 $M_{C'}$ 是否介於容許範圍內。當增益 $M_{C'}$ 介於容許範圍內，流程進入步驟S135。當增益 $M_{C'}$ 介於容許範圍外，流程進入步驟S136，重新設定不同數值的中間速度參數 $V_{G'}$ ，然後重複步驟S132~S134，直到增益 $M_{C'}$ 介於容許範圍內。此外，前述容許範圍例如是增益邊限(當相位為-180度時)至少要10dB，即，波德圖相位-180度對應之增益值例如是小於-10dB。

【0029】 在步驟S135中，由於中間速度優化閉迴路轉移函數 $G_{C1V'}$ 的增益 $M_{C'}$ 介於容許範圍內，速度優化器130以中間速度參數 $V_{G'}$ 做為優化速度參數 $V_G$ ，且以中間速度優化閉迴路轉移函數 $G_{C1V'}$ 做為速度優化閉迴路轉移函數 $G_{C1V}$ 。後續步驟可依據速度優化閉迴路轉移函數 $G_{C1V}$ ，進行濾波器優化程序。

【0030】 如第3圖所示，相較於速度優化前的頻率與增益關係曲線C1，速度優化後頻率與增益關係曲線C1'的系統頻寬明顯提升(由增益提高可看出)。曲線C1'具有共振點，如分別對應頻率f1及f2處的共振點P1及P2。不過，透過以下濾波器優化程序，可降低共振點的增益，即改善共振程度。一個共振點可使用一個濾波器降低其增益。在本實施例中，由於有二個共振點，因此可使用二個濾波器，如第一濾波器F1及第二濾波器F2。

【0031】 在步驟S140中，速度優化器130可採用類似前式(1)所示之閉迴路轉移函數轉換成開迴路轉移函數的轉換式，取得對應速度優

化閉迴路轉移函數 $G_{C1V}$ 之速度優化開迴路轉移函數 $G_{O1V}$ ，並以速度優化開迴路轉移函數 $G_{O1V}$ 參與後續的濾波器優化程序。濾波器優化須以開迴路轉移函數(即速度優化開迴路轉移函數 $G_{O1V}$ )為主，而速度優化開迴路轉移函數 $G_{O1V}$ 是從速度優化閉迴路轉移函數 $G_{C1V}$ 轉換而來。換言之，要將閉迴路轉換成開迴路才能進行濾波器優化。

【0032】在步驟S150中，濾波器優化器140決定濾波器的濾波器轉移函數的初始參數，如決定第一濾波器F1的第一濾波器轉移函數 $H1_F(s)$ 的初始參數及第二濾波器F2的第二濾波器轉移函數 $H2_F(s)$ 的初始參數。初始參數例如是濾波器轉移函數的中心頻率、頻寬及阻尼比。

【0033】完成步驟S150之決定濾波器轉移函數的初始參數的方式有多種，以下係以步驟S151~S156說明其中一種。

【0034】在步驟S151中，濾波器優化器140設定濾波器調整目標。濾波器調整目標例如是要對頻率與增益關係曲線C1'中共振點P1及P2的增益調整目標，如對共振點P1及P2的增益調降率。

【0035】在步驟S152中，請參照第6圖，其繪示依照本揭露一實施例之第一濾波器F1的第一濾波器轉移函數 $H1_F(s)$ 的波德圖。第二濾波器轉移函數 $H2_F(s)$ 的波德圖可類似第一濾波器轉移函數 $H1_F(s)$ 。在本步驟中，濾波器優化器140設定濾波器的中心頻率。例如，設定第一濾波器轉移函數 $H1_F(s)$ 的中心頻率 $F_c$ 為頻率f1，且設定第二濾波器轉移函數 $H2_F(s)$ 的中心頻率 $F_c$ (未繪示)為頻率f2。如第6圖所示，

第一濾波器轉移函數 $H1_F(s)$ 的下凹處的最低點所對應的頻率為中心頻率 $F_c$ 。

【0036】在步驟S153中，濾波器優化器140設定各濾波器的頻寬 $F_w$ 及阻尼比 $F_d$ 。如第6圖所示，第一濾波器轉移函數 $H1_F(s)$ 的頻寬 $F_w$ 可根據欲改善共振點P1的頻寬範圍決定。例如，當欲改善第3圖之共振點P1的頻寬範圍愈寬，則第6圖之第一濾波器轉移函數 $H1_F(s)$ 的頻寬 $F_w$ 可設計得愈寬。第一濾波器轉移函數 $H1_F(s)$ 的阻尼比 $F_d$ 可根據欲調降共振點P1的增益幅度決定。例如，當欲調降第3圖之共振點P1的增益幅度愈大，則第6圖之第一濾波器轉移函數 $H1_F(s)$ 的下凹深度D1可設計得愈深。第二濾波器轉移函數 $H2_F(s)$ 的頻寬 $F_w$ 及阻尼比 $F_d$ 的設計類似或同於前述第一濾波器轉移函數 $H1_F(s)$ 的頻寬 $F_w$ 及阻尼比 $F_d$ 的設計方式，於此不再贅述。

【0037】此外，在本步驟中，第一濾波器F1的第一濾波器轉移函數 $H1_F(s)$ 及其中心頻率 $F_c$ 、頻寬 $F_w$ 及阻尼比 $F_d$ 可以下式(4a)~(4d)表示，而第二濾波器F2的第二濾波器轉移函數 $H2_F(s)$ 及其中心頻率 $F_c$ 、頻寬 $F_w$ 及阻尼比 $F_d$ 的表示方式可類似下式(4a)~(4d)，於此不再贅述。中心頻率 $F_c$ 、頻寬 $F_w$ 及阻尼比 $F_d$ 根據共振點P1設定，分別代入下列公式，以求出第一濾波器轉移函數 $H1_F(s)$ 的係數a、b及 $\omega_c$ 。

$$\text{【0038】 } \omega_c = 2\pi \times F_c \dots \dots \dots (4a)$$

$$\text{【0039】 } b = 2 \times \omega_c \times (F_w/F_c) \dots \dots \dots (4b)$$

$$\text{【0040】 } a = b \times \left(\frac{F_d}{100}\right) \dots \dots \dots (4c)$$

$$\text{【0041】 } H1_F(s) = \frac{s^2 + a \times s + \omega_c^2}{s^2 + b \times s + \omega_c^2} \dots \dots \dots (4d)$$

第 10 頁，共 18 頁(發明說明書)

【0042】在步驟S154中，取得速度優化開迴路轉移函數 $G_{O1V}$ 、第一濾波器轉移函數 $H1_F(s)$ 與第二濾波器轉移函數 $H2_F(s)$ 所構成的控制系統的第一濾波器優化開迴路轉移函數 $G_{O1VF}$ ，如第7A圖所示。第7A圖繪示本揭露一實施例之速度優化開迴路轉移函數 $G_{O1V}$ 、第一濾波器轉移函數 $H1_F(s)$ 與第二濾波器轉移函數 $H2_F(s)$ 所構成的控制系統方塊圖。第一濾波器優化開迴路轉移函數 $G_{O1VF}$ ，為第7A圖之控制系統的開迴路轉移函數。

【0043】在步驟S155中，濾波器優化器140判斷第一濾波器優化開迴路轉移函數 $G_{O1VF}$ ，是否符合濾波器調整目標。舉例來說，濾波器優化器140判斷第一濾波器優化開迴路轉移函數 $G_{O1VF}$ ，可否讓第一共振點P1及第二共振點P2的增益下降至穩定範圍，其中的穩定範圍視頻率之相位而定，例如當相位為-135度時，增益值小於-3dB，而當相位為-180度時，增益值小於-10dB。若是，則以當前第一濾波器轉移函數 $H1_F(s)$ 及第二濾波器轉移函數 $H2_F(s)$ 所設定的中心頻率 $F_c$ 、頻寬 $F_w$ 及阻尼比 $F_d$ 做為濾波器轉移函數的初始參數。若否，則回到步驟S153，重新設定不同數值的頻寬 $F_w$ 及阻尼比 $F_d$ ，然後重複步驟S154~S155，直到第一濾波器優化開迴路轉移函數 $G_{O1VF}$ ，是否符合濾波器調整目標。

【0044】此外，可針對一個濾波器轉移函數執行步驟S151~S155之流程，待該個濾波器轉移函數的初始參數決定後，再累加下一個濾波器轉移函數，直到所有濾波器轉移函數的初始參數決定完成。

【0045】在步驟S156中，濾波器優化器140篩選此些濾波器的數量，以符合工具機10的實際狀況。例如，工具機10的控制器(未繪示)只接受A1個濾波器的加入時，而濾波器優化器140決定的濾波器數量為A2個。當A1大於或等於A2時，表示濾波器優化器140所決定的濾波器可全數參與系統優化。若當A1小於A2時，則濾波器優化器140以共振頻率由低至高的順率選擇濾波器。例如，若工具機10的控制器只允許1個濾波器參與優化時，則濾波器優化器140優先選擇對應共振點P1(頻率較低)的濾波器F1。本揭露實施例以全部濾波器F都受選(例如是二個)為例說明，然本揭露實施例不受此限。

【0046】然後，在步驟S160中，濾波器優化器140執行一濾波器優化程序。在濾波器優化程序中，濾波器優化器140對所選之濾波器轉移函數及速度優化開迴路轉移函數 $G_{01V}$ 進行整體運算，以優化濾波器的參數(以下稱優化後參數為「優化濾波器參數」)。

【0047】完成步驟S160之濾波器優化程序的方式有多種，以下係以步驟S161~S169說明其中一種。

【0048】在步驟S161中，請參照第7B圖，其繪示本揭露實施例之第一濾波器轉移函數 $H1_F(s)$ 與速度優化開迴路轉移函數 $G_{01V}$ 所構成的控制系統方塊圖。在本步驟中，濾波器優化器140取得所選之數個濾波器轉移函數之N者與速度優化開迴路轉移函數 $G_{01V}$ 所構成之控制系統(即第7B圖之系統方塊圖)之濾波器優化閉迴路轉移函數 $G_{C1VF}$ ，其中N的初始值為1。以N等於1來說，只把一個(N

等於1)濾波器轉移函數，如第一濾波器轉移函數 $H1_F(s)$ 加入到濾波器優化程序中。換言之，濾波器優化器140取得第一濾波器轉移函數 $H1_F(s)$ 與速度優化開迴路轉移函數 $G_{O1V}$ 所構成之控制系統(即第7B圖之系統方塊圖)之濾波器優化閉迴路轉移函數 $G_{C1VF}$ 。

【0049】在步驟S162中，濾波器優化器140判斷濾波器優化閉迴路轉移函數 $G_{C1VF}$ 是否符合一閉迴路調整條件。當濾波器優化閉迴路轉移函數 $G_{C1VF}$ 符合閉迴路調整條件，則流程進入步驟S163。閉迴路調整條件例如是增益邊限(Gain Margin, GM)等於或大於4 dB，且相位邊限(Phase Margin, PM)等於或大於 $\pm 45$ 度。當濾波器優化閉迴路轉移函數 $G_{C1VF}$ 不符合閉迴路調整條件，則流程進入步驟S164，重新調整第一濾波器轉移函數 $H1_F(s)$ 的阻尼比 $F_d$ 及頻寬 $F_w$ ，然後流程回到步驟S161。

【0050】在步驟S163中，濾波器優化器140取得所選之數個濾波器轉移函數之N者與速度優化開迴路轉移函數 $G_{O1V}$ 所構成之控制系統(即第7B圖之系統方塊圖)之第二濾波器優化開迴路轉移函數 $G_{O1VF''}$ 。

【0051】在步驟S165中，濾波器優化器140判斷第二濾波器優化開迴路轉移函數 $G_{O1VF''}$ 是否符合一開迴路調整條件。開迴路調整條件如是增益邊限等於或大於4 dB，且相位邊限等於或大於 $\pm 45$ 度。當第二濾波器優化開迴路轉移函數 $G_{O1VF''}$ 符合開迴路調整條件，則流程進入步驟S166。當第二濾波器優化開迴路轉移函數 $G_{O1VF''}$ 不符合開迴路調整條件，則流程進入步驟S167，重新調整第

一濾波器轉移函數 $H1_F(s)$ 的阻尼比 $F_d$ 及頻寬 $F_w$ ，然後流程回到步驟S163或S161。

【0052】在步驟S166中，濾波器優化器140判斷 $N$ 是否等於數量 $A2$ ，其中數量 $A2$ 為濾波器(或濾波器轉移函數)的數量。若 $N$ 少於數量 $A2$ ，表示尚有濾波器轉移函數未加入濾波器優化程序，因此流程進入步驟S169；若 $N$ 等於 $A2$ ，表示已將全部濾波器轉移函數加入濾波器優化程序，因此流程進入步驟S168。

【0053】在步驟S169中，濾波器優化器140累加 $N$ 之值，例如設定 $N=N+1$ ，並將二個(本例中，累加後 $N$ 等於2)濾波器轉移函數，即第一濾波器轉移函數 $H1_F(s)$ 及第二濾波器轉移函數 $H2_F(s)$ 加入至濾波器優化程序(即，將第二濾波器轉移函數 $H2_F(s)$ 加入到第7B圖的系統方塊圖中，如列於第7B圖之方塊 $H1_F(s)$ 的右邊)，然後流程回到步驟S161。以此原則，直到所有的濾波器轉移函數在濾波器優化程序中都滿足前述開迴路條整條件及閉迴路條整條件。

【0054】在步驟S168中，當所有的濾波器轉移函數在濾波器優化程序中都滿足前述開迴路條整條件及閉迴路條整條件時，則濾波器優化器140以符合閉迴路調整條件及開迴路調整條件之濾波器轉移函數做為優化後濾波器轉移函數，其中優化後濾波器轉移函數的中心頻率、頻寬及阻尼比為優化後濾波器參數。至此，完成濾波器優化程序。

【0055】請參照第8圖，其繪示依照本揭露一實施例之速度優化及濾波器優化後的系統波德圖。在增益波德圖中，曲線C1為速度優

化及濾波器優化前的一頻率與增益關係曲線，而曲線C1''為速度優化及濾波器優化後的一頻率與增益關係曲線。在相位波德圖中，曲線C2為速度優化及濾波器優化前的一頻率與相位關係曲線，而曲線C2''為速度優化及濾波器優化後的頻率與相位關係曲線。比較第3圖之曲線C1'及第8圖之曲線C1''可知，速度優化及濾波器優化後，相較於曲線C1'，曲線C1''的共振點P1及P2及其周遭頻寬的增益明顯下降。

**【0056】** 綜上，在本揭露實施例之工具機頻率響應參數的調整方法中，只對工具機進行一次實際機台掃頻，接下來程序(如速度優化程序及濾波器優化程序)皆使用原系統閉迴路資料B1以電腦數值運算完成，直到完成速度優化及濾波器優化前都不需再從工具機10取得任何資料。如此一來，本揭露實施例之工具機頻率響應參數的調整方法可快速且正確完成機台性能調校，有利於產品出貨及增加產品使用壽命。

**【0057】** 在完成速度優化程序及濾波器優化程序後，調整系統100輸出最後得到的優化速度參數 $V_G$ 及各濾波器轉移函數的濾波器優化參數。然後，再將優化速度參數 $V_G$ 及各濾波器轉移函數的優化濾波器參數輸入至工具機10的控制器(未繪示)，以改善或提升工具機10的性能。

**【0058】** 綜合來說，本揭露實施例之工具機頻率響應參數的調整方法及調整系統中，對機台只進行一次實際機台掃頻，接下來優化程序皆以電腦數值運算完成，具有至少以下優點：(1) 電

腦運算速度快，能減少產品出廠調機時間；(2) 電腦運算速度快，可對所有工具機10進行可運算個別，而非如習知調機方法常以一台工具機套用全部工具機；(3) 透過前述優化流程，也能使機台長時間維持優異性能(如精度高、穩定度高)；(4) 電腦運算可提供標準化優化流程；(5) 改善習知培養調機人員不易的缺點，可大幅降低人事成本。

**【0059】** 綜上所述，雖然本揭露已以實施例揭露如上，然其並非用以限定本揭露。本揭露所屬技術領域中具有通常知識者，在不脫離本揭露之精神和範圍內，當可作各種之更動與潤飾。因此，本揭露之保護範圍當視後附之申請專利範圍所界定者為準。

**【符號說明】**

**【0060】**

10：工具機

100：工具機頻率響應參數的調整系統

110：掃頻器

120：開迴路轉移函數取得器

130：速度優化器

140：濾波器優化器

B1：原系統閉迴路資料

B11：增益波德圖

B12：相位波德圖

C1、C1'、C2、C2'、C1''、C2''：曲線

D1：下凹深度

F1：第一濾波器

F2：第二濾波器

$F_c$ ：中心頻率

$F_d$ ：阻尼比

$F_w$ ：頻寬

$G_{O1}$ ：原系統開迴路轉移函數

$G_{O1'}$ ：中間開迴路轉移函數

$G_{O1V}$ ：速度優化開迴路轉移函數

$G_{C1'}$ ：閉迴路轉移函數

$V_G$ ：優化速度參數

$V_{G'}$ ：中間速度參數

$G_{O1V'}$ ：中間速度優化開迴路轉移函數

$G_{C1V'}$ ：中間速度優化閉迴路轉移函數

$G_{C1V}$ ：速度優化閉迴路轉移函數

$G_{O1VF'}$ ：第一濾波器優化開迴路轉移函數

$G_{C1VF'}$ ：濾波器優化閉迴路轉移函數

$G_{C1VF''}$ ：第二濾波器優化開迴路轉移函數

$H_{1F}(s)$ ：第一濾波器轉移函數

$H_{2F}(s)$ ：第二濾波器轉移函數

P1、P2：共振點

f1、f2：頻率

$M_{C^-}$ 、 $M_{0^-}$ 、 $M_0$ 、 $M_{C^+}$ ：增益

$\theta$ 、 $\theta'$ 、 $\theta_{C'}$ ：相位

S110~S169：步驟



I681274

## 【發明摘要】

公告本

【中文發明名稱】工具機頻率響應參數的調整方法及應用其之調整系統

【英文發明名稱】METHOD FOR ADJUSTING FREQUENCY RESPONSE PARAMETER OF MACHINE TOOL AND SYSTEM USING THE SAME

## 【中文】

一種工具機頻率響應參數的調整方法及應用其之調整方法。調整方法包括以下步驟。首先，對工具機進行實際掃頻，以取得工具機的原系統閉迴路資料。然後，取得原系統閉迴路資料之原系統開迴路轉移函數。然後，執行速度優化程序，以決定優化速度參數。然後，取得對應速度優化閉迴路轉移函數的速度優化開迴路轉移函數。然後，決定濾波器的濾波器轉移函數。然後，執行濾波器優化程序。

## 【英文】

A method for adjusting frequency response parameter of machine tool and a system using the same are provided. The method includes the following steps. Firstly, the actual frequency sweep for a machine tool is performed to obtain an original system closed loop data of the machine tool. Then, an original system open loop transfer function of the original system closed loop data is obtained. Then, a speed

optimization procedure is executed to determine optimization speed parameters. Then, a speed optimized open loop transfer function corresponding to a speed optimized closed loop transfer function is obtained. Then, a filter transfer function of a filter is determined. Then, a filter optimization procedure is performed.

【指定代表圖】 第2A圖。

【代表圖之符號簡單說明】

S110~S136：步驟

【特徵化學式】 無

## 【發明申請專利範圍】

【第1項】 一種工具機頻率響應參數的調整方法，包括對一工具機進行實際掃頻，以取得該工具機的一原系統閉迴路資料；

取得該原系統閉迴路資料之一原系統開迴路轉移函數；

執行一速度優化程序，以取得一速度優化閉迴路轉移函數及一優化速度參數；

取得對應該速度優化閉迴路轉移函數的一速度優化開迴路轉移函數；

決定一濾波器的一濾波器轉移函數；

執行一濾波器優化程序，以取得一優化後濾波器轉移函數。

【第2項】 如申請專利範圍第1項所述之工具機頻率響應參數的調整方法，其中該速度優化程序包括：

取得該原系統開迴路轉移函數與一中間速度參數所構成之控制系統之一中間速度優化開迴路轉移函數；

取得對應該中間速度優化開迴路轉移函數之一中間速度優化閉迴路轉移函數；

判斷該中間速度優化閉迴路轉移函數的一增益是否介於一容許範圍內；以及

當該中間速度優化閉迴路轉移函數的該增益介於該容許範圍內，以該中間速度優化閉迴路轉移函數做為該速度優化閉迴路轉移函數且以該中間速度參數做為該優化速度參數。

【第3項】 如申請專利範圍第1項所述之工具機頻率響應參數的調整方法，其中該濾波器優化程序包括：

取得該濾波器轉移函數與該速度優化開迴路轉移函數所構成之控制系統的一濾波器優化閉迴路轉移函數；

判斷該濾波器優化閉迴路轉移函數是否符合一閉迴路調整條件；

取得該濾波器轉移函數與該速度優化開迴路轉移函數所構成之控制系統的一濾波器優化開迴路轉移函數；

判斷該濾波器優化開迴路轉移函數是否符合一開迴路調整條件；以及

當該濾波器優化閉迴路轉移函數符合該閉迴路調整條件且該濾波器優化開迴路轉移函數符合該開迴路調整條件，以符合該閉迴路調整條件及該開迴路調整條件之該濾波器轉移函數做為該優化後濾波器轉移函數。

【第4項】 如申請專利範圍第1項所述之工具機頻率響應參數的調整方法，其中該原系統閉迴路資料為增益波德圖及相位波德圖。

【第5項】 如申請專利範圍第1項所述之工具機頻率響應參數的調整方法，其中取得該原系統開迴路轉移函數之步驟、執行該速度優化程序之步驟、取得該速度優化開迴路轉移函數之步驟、決定該濾波器轉移函數之步驟及執行該濾波器優化程序之步驟皆以電腦數值運算完成。

【第6項】 如申請專利範圍第1項所述之工具機頻率響應參數的調整方法，其中於取得該原系統閉迴路資料之該原系統開迴路轉移函數之步驟包括：

取得對應該原系統閉迴路資料之一中間開迴路轉移函數；

判斷該中間開迴路轉移函數的相位是否連續；以及

當該中間開迴路轉移函數的相位連續，以該中間開迴路轉移函數做為該原系統開迴路轉移函數。

【第7項】 如申請專利範圍第2項所述之工具機頻率響應參數的調整方法，其中於執行該速度優化程序之步驟更包括：

設定該中間速度參數的值；以及

當該中間速度優化閉迴路轉移函數的該增益介於該容許範圍外時，重設該中間速度參數的數值，並且流程回到取得該中間速度優化開迴路轉移函數之步驟。

【第8項】 如申請專利範圍第3項所述之工具機頻率響應參數的調整方法，其中於執行該濾波器優化程序更包括：

當該濾波器優化閉迴路轉移函數不符合該閉迴路調整條件，重新調整該濾波器轉移函數之參數，然後流程回到取得該濾波器優化閉迴路轉移函數之步驟。

【第9項】 如申請專利範圍第3項所述之工具機頻率響應參數的調整方法，其中於取得該速度優化開迴路轉移函數之步驟包括：決定複數個該濾波器之個別的該濾波器轉移函數；

其中，該濾波器優化程序更包括：設定N的初始值為1；

於取得該濾波器優化閉迴路轉移函數之步驟更包括：取得這些濾波器轉移函數之N者與該速度優化開迴路轉移函數所構成之控制系統之該濾波器優化閉迴路轉移函數；

於取得該濾波器優化開迴路轉移函數之步驟更包括：取得這些濾波器轉移函數之N者與該速度優化開迴路轉移函數所構成之控制系統之該濾波器優化開迴路轉移函數；

於以符合該閉迴路調整條件及該開迴路調整條件之該濾波器轉移函數做為該優化後濾波器轉移函數之步驟後，該濾波器優化程序更包括：

累加N之值，且流程回到取得該濾波器優化閉迴路轉移函數之步驟。

**【第10項】** 一種工具機頻率響應參數的調整系統，包括

一掃頻器，用以對一工具機進行實際掃頻，以取得該工具機的一原系統閉迴路資料；

一開迴路轉移函數取得器，用以取得該原系統閉迴路資料之一原系統開迴路轉移函數；

一速度優化器，用以執行一速度優化程序，以取得一速度優化閉迴路轉移函數及一優化速度參數，該速度優化程序包括：取得對應該速度優化閉迴路轉移函數的一速度優化開迴路轉移函數；

一濾波器優化器，用以決定一濾波器的一濾波器轉移函數且執行一濾波器優化程序，以取得一優化後濾波器轉移函數。

【第11項】 如申請專利範圍第10項所述之工具機頻率響應參數的調整方法，其中在該速度優化程序中，該速度優化器用以：

取得該原系統開迴路轉移函數與一中間速度參數所構成之控制系統之一中間速度優化開迴路轉移函數；

取得對應該中間速度優化開迴路轉移函數之一中間速度優化閉迴路轉移函數；

判斷該中間速度優化閉迴路轉移函數的一增益是否介於一容許範圍內；以及

當該中間速度優化閉迴路轉移函數的該增益介於該容許範圍內，以該中間速度優化閉迴路轉移函數做為該速度優化閉迴路轉移函數且以該中間速度參數做為該優化速度參數。

【第12項】 如申請專利範圍第10項所述之調整系統，其中在該濾波器優化程序中，該濾波器優化器更用以：

取得該濾波器轉移函數與該速度優化開迴路轉移函數所構成之控制系統的一濾波器優化閉迴路轉移函數；

判斷該濾波器優化閉迴路轉移函數是否符合一閉迴路調整條件；

取得該濾波器轉移函數與該速度優化開迴路轉移函數所構成之控制系統的一濾波器優化開迴路轉移函數；

判斷該濾波器優化開迴路轉移函數是否符合一開迴路調整條件；以及

當該濾波器優化閉迴路轉移函數符合該閉迴路調整條件且該濾波器優化開迴路轉移函數符合該開迴路調整條件，以符合該閉迴路調整條件及該開迴路調整條件之該濾波器轉移函數做為該優化後濾波器轉移函數。

【第13項】 如申請專利範圍第10項所述之調整系統，其中該原系統閉迴路資料為增益波德圖及相位波德圖。

【第14項】 如申請專利範圍第10項所述之調整系統，其中取得該原系統開迴路轉移函數之步驟、執行該速度優化程序之步驟、取得該速度優化開迴路轉移函數之步驟、決定該濾波器轉移函數之步驟及執行該濾波器優化程序之步驟皆以電腦數值運算完成。

【第15項】 如申請專利範圍第10項所述之調整系統，其中於取得該原系統閉迴路資料之該原系統開迴路轉移函數之步驟中，該開迴路轉移函數取得器更用以：

取得對應該原系統閉迴路資料之一中間開迴路轉移函數；

判斷該中間開迴路轉移函數的相位是否連續；以及

當該中間開迴路轉移函數的相位連續，以該中間開迴路轉移函數做為該原系統開迴路轉移函數。

【第16項】 如申請專利範圍第11項所述之調整系統，其中於執行該速度優化程序中，該速度優化器更用以：

設定該中間速度參數的值；以及

當該中間速度優化閉迴路轉移函數的該增益介於該容許範圍外時，重設該中間速度參數的數值，並且流程回到取得該中間速度優化開迴路轉移函數之步驟。

【第17項】 如申請專利範圍第12項所述之調整系統，其中在該濾波器優化程序中，該濾波器優化器更用以：

當該濾波器優化閉迴路轉移函數不符合該閉迴路調整條件，重新調整該濾波器轉移函數之參數，且重新取得該濾波器轉移函數與該速度優化開迴路轉移函數所構成之控制系統的該濾波器優化開迴路轉移函數。

【第18項】 如申請專利範圍第12項所述之調整系統，其中於取得該速度優化開迴路轉移函數之步驟中，該濾波器優化器更用以：決定複數個該濾波器之個別的該濾波器轉移函數；

其中，該濾波器優化程序中，該濾波器優化器更用以：設定N的初始值為1；

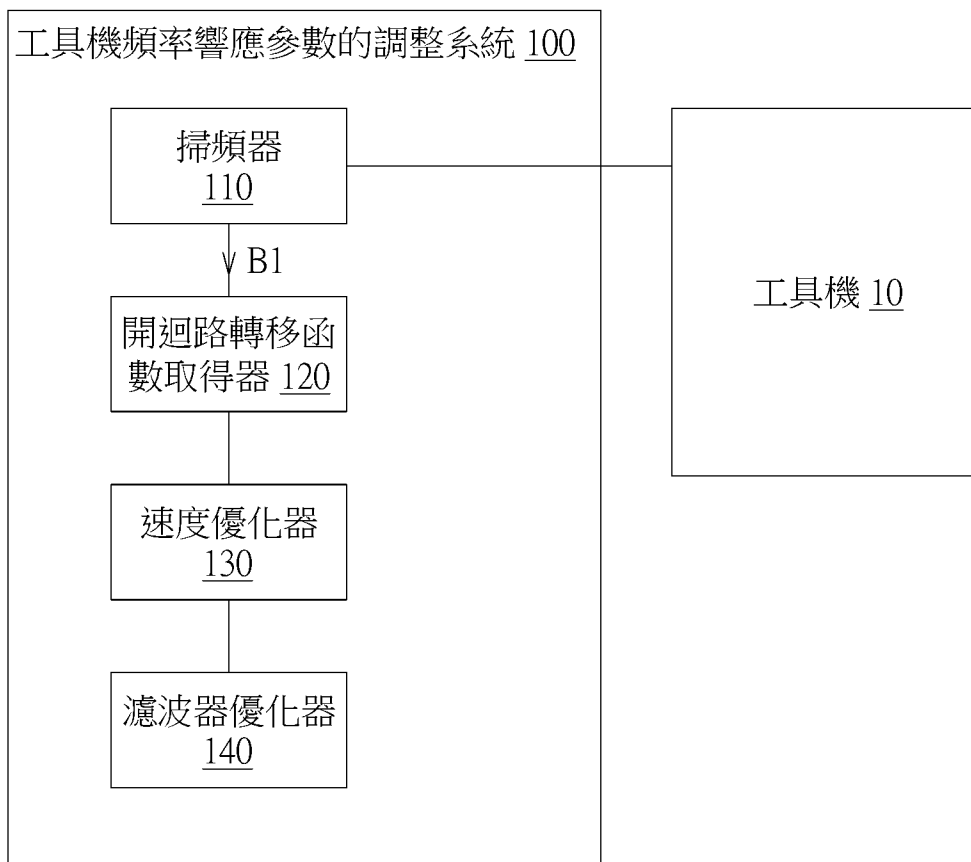
於取得該濾波器優化閉迴路轉移函數之步驟中，該濾波器優化器更用以：取得該些濾波器轉移函數之N者與該速度優化開迴路轉移函數所構成之控制系統之該濾波器優化閉迴路轉移函數；

於取得該濾波器優化開迴路轉移函數之步驟中，該濾波器優化器更用以：取得該些濾波器轉移函數之N者與該速度優化開迴路轉移函數所構成之控制系統之該濾波器優化開迴路轉移函數；

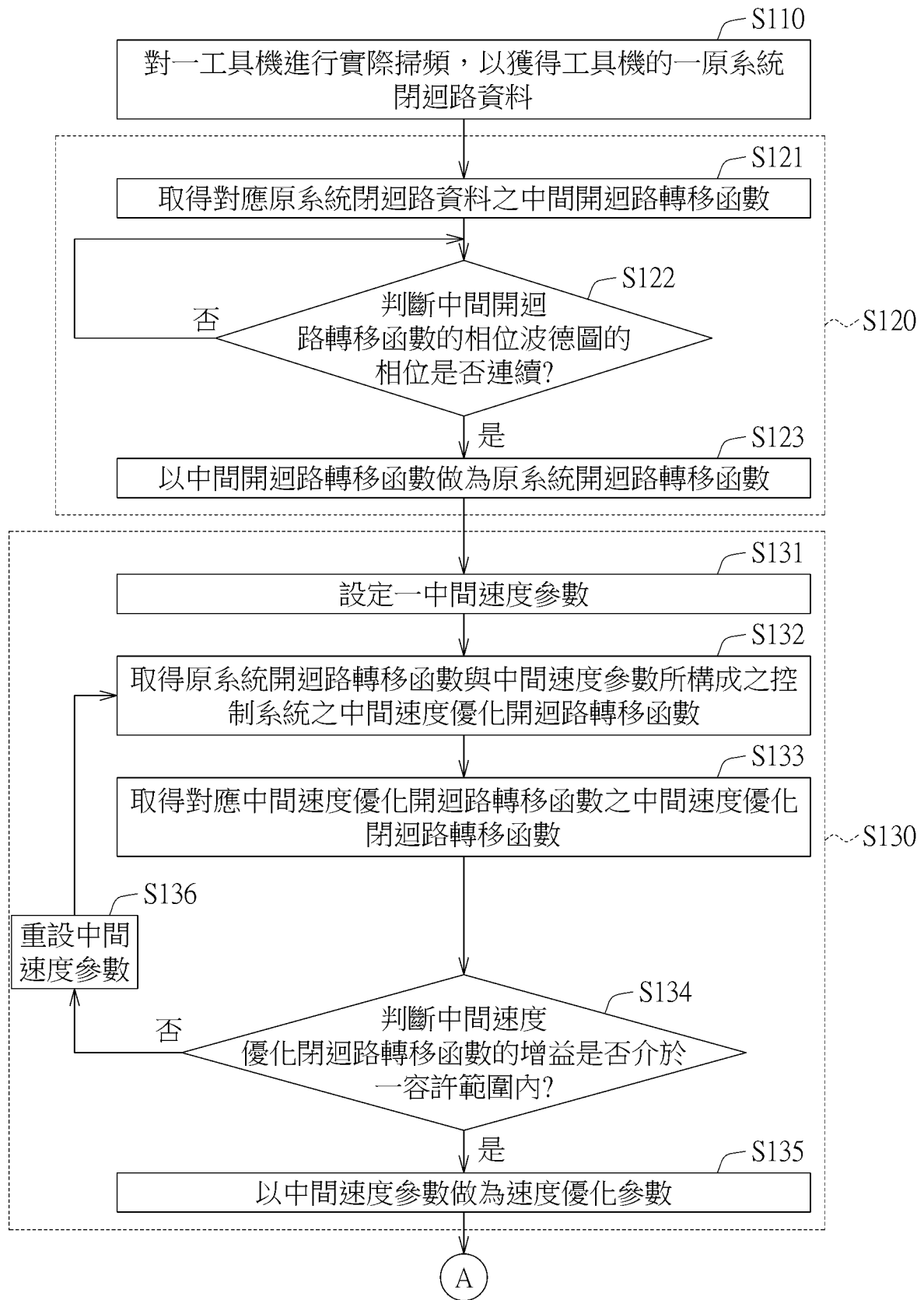
於以符合該閉迴路調整條件及該開迴路調整條件之該濾波器轉移函數做為該優化後濾波器轉移函數之步驟後，該濾波器優化器更用以：

累加N之值，且回到取得該濾波器轉移函數與該速度優化開迴路轉移函數所構成之控制系統的該濾波器優化閉迴路轉移函數之步驟。

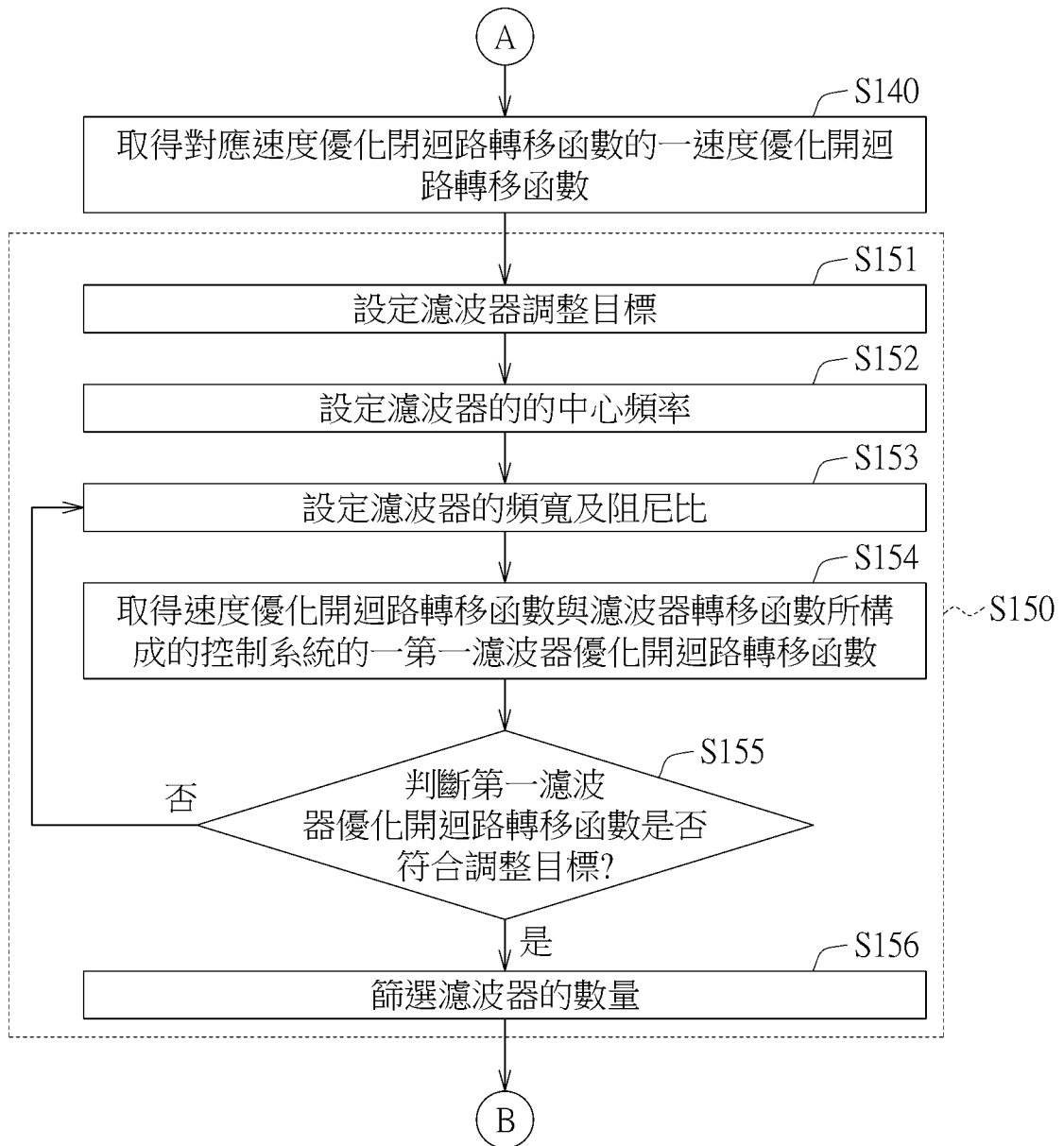
## 【發明圖式】



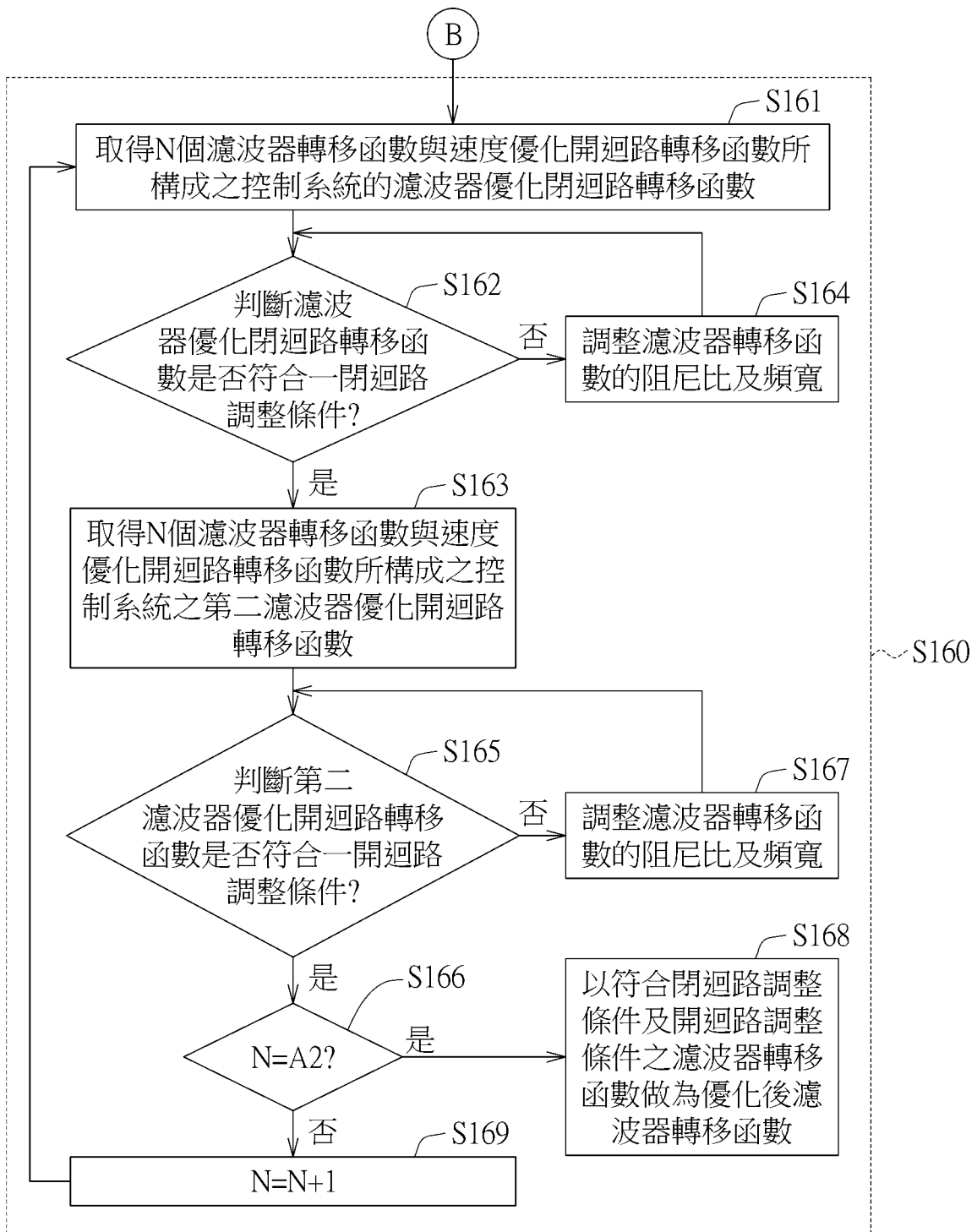
第 1 圖



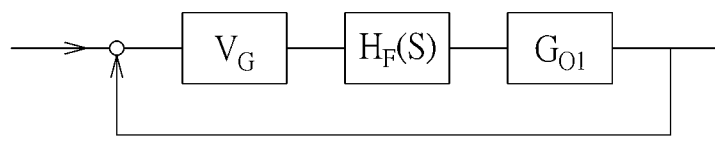
第 2A 圖



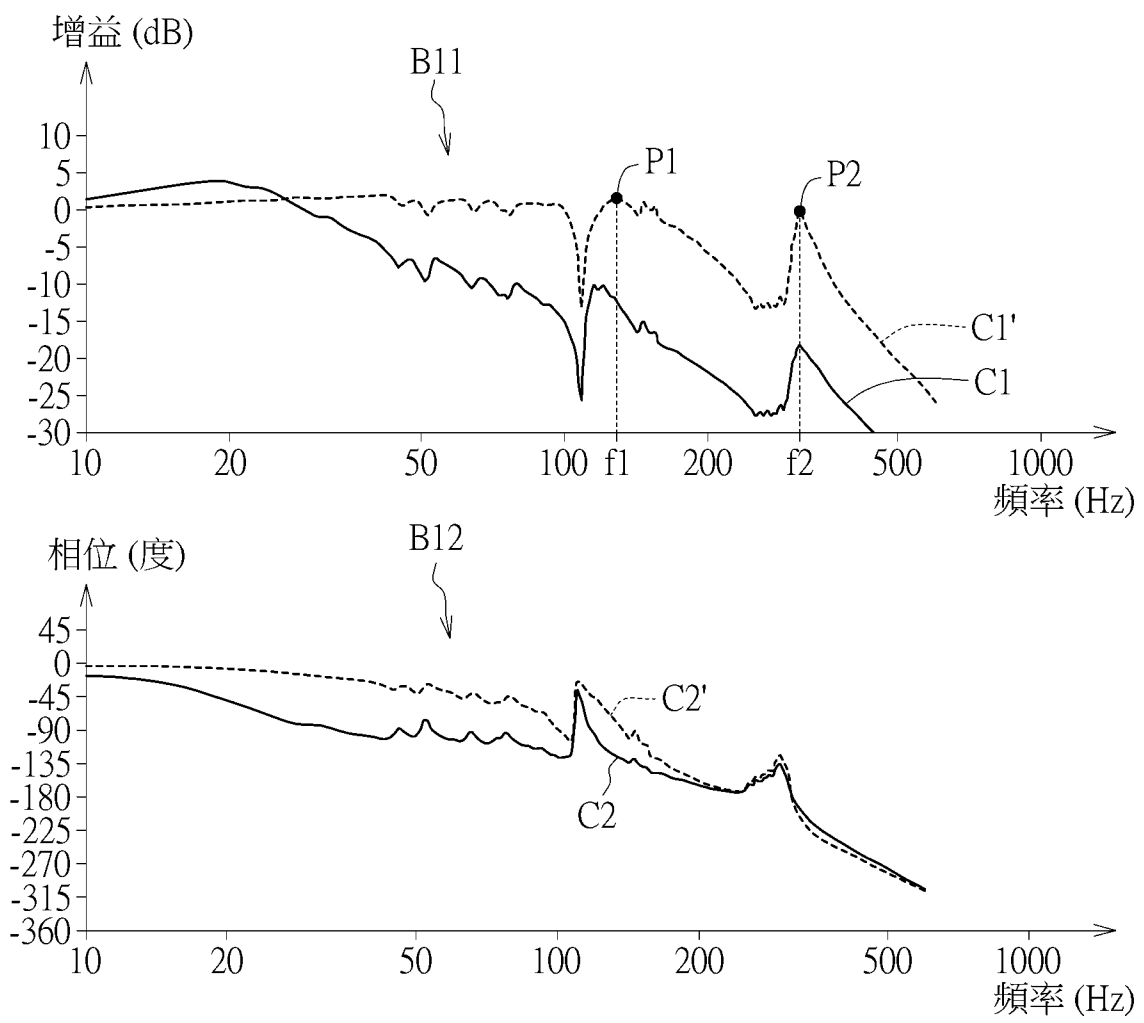
第 2B 圖



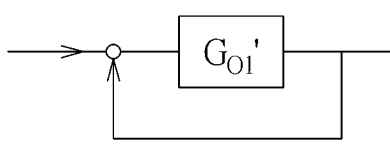
第 2C 圖



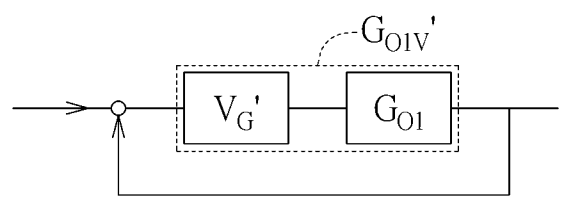
第 2D 圖



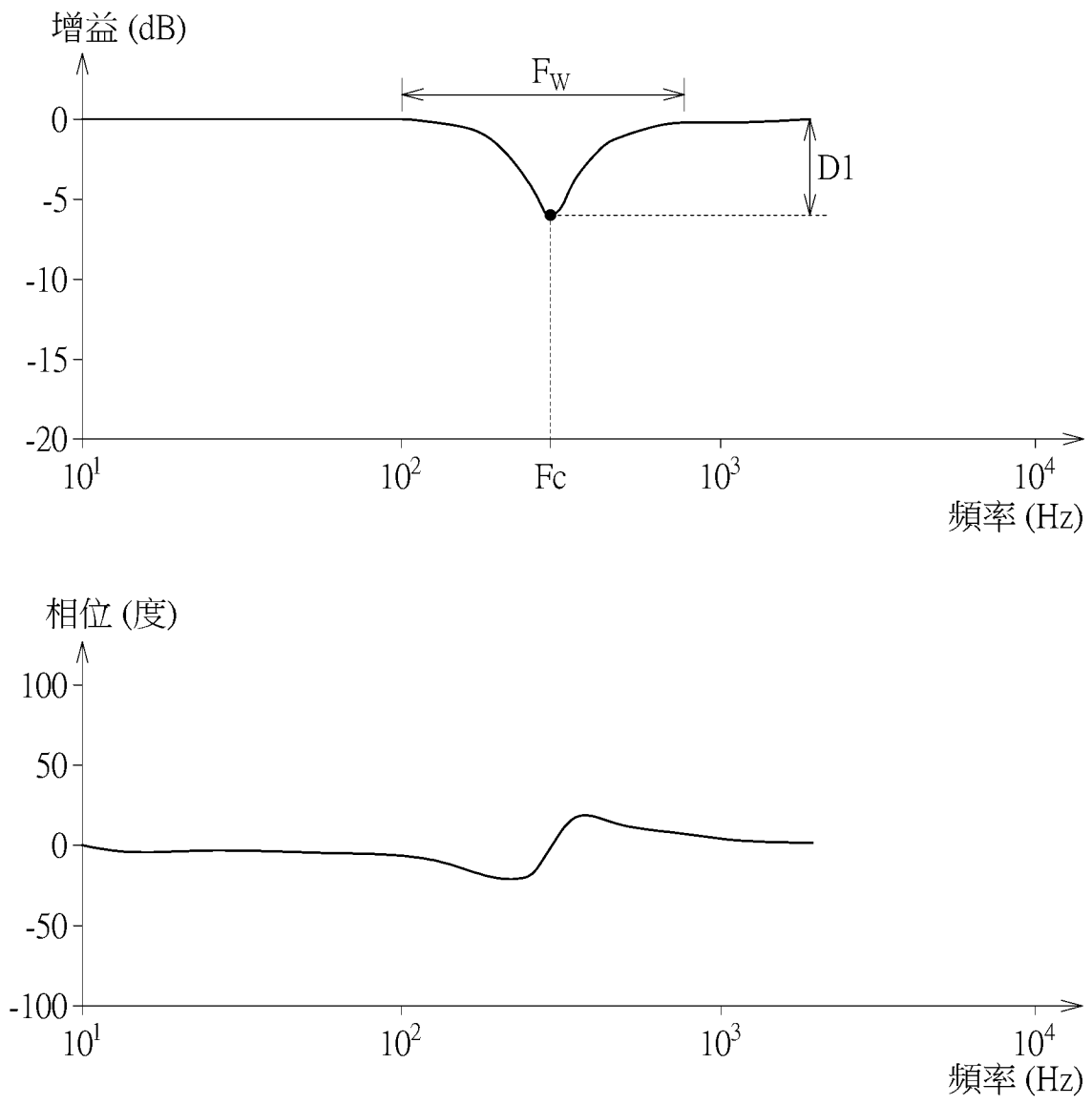
第 3 圖



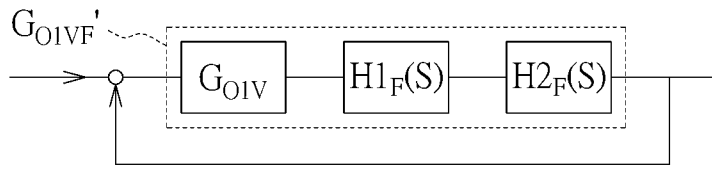
第 4 圖



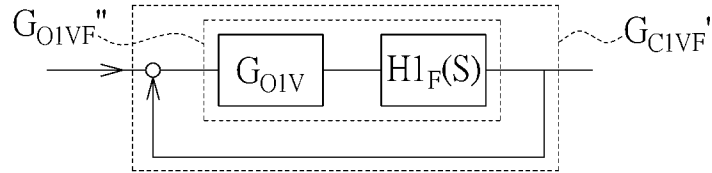
第 5 圖



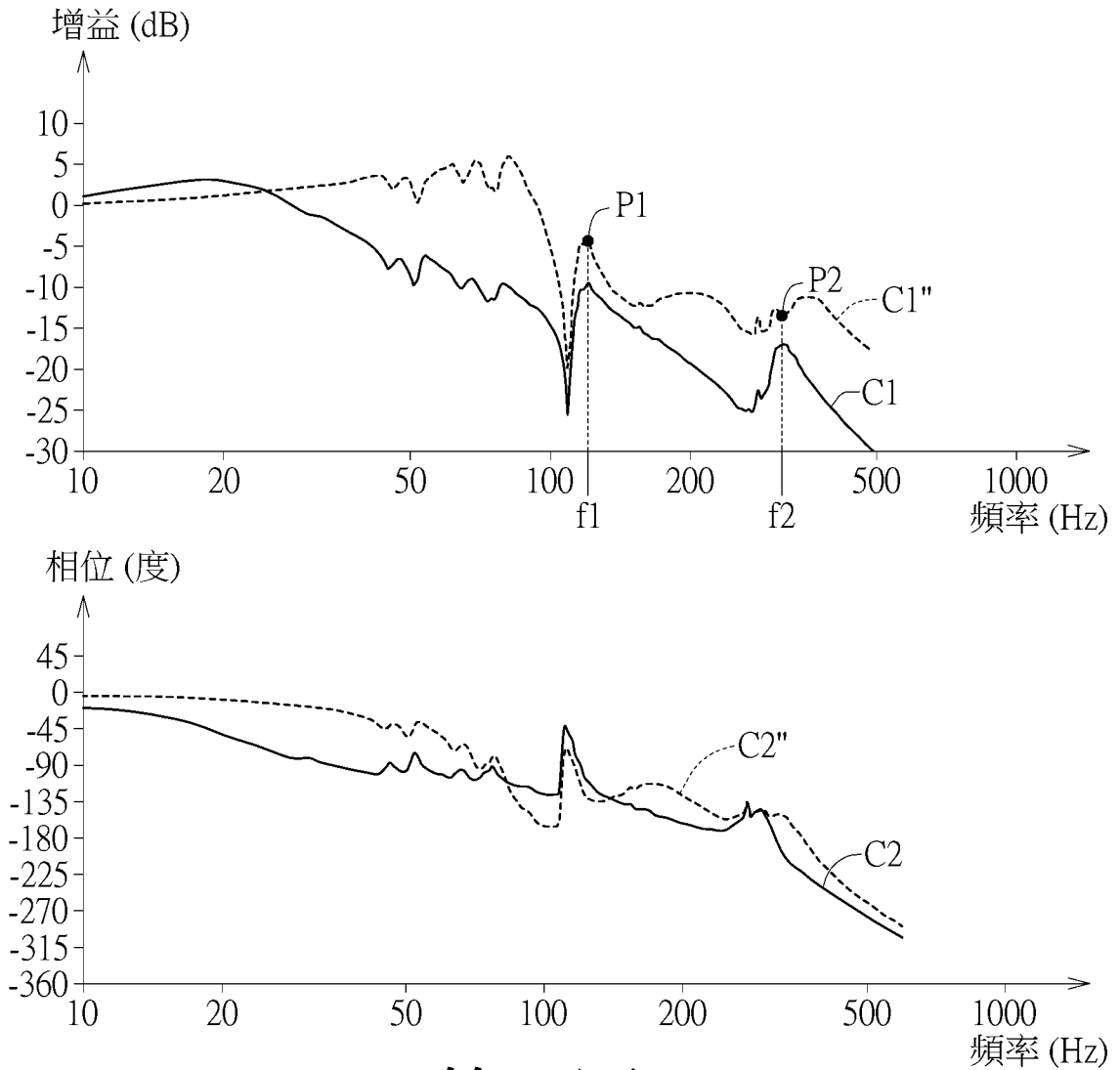
第 6 圖



第 7A 圖



第 7B 圖



第 8 圖