



雷射振鏡控制技術於 智慧型多運動控制平台

Laser Galvanometer Control
Via Intelligent Motion Control Platform

陳文泉

工研院機械所
控制核心技术組
先進馬達技術部

李峰吉 周柏寰 李宛龍

工研院機械所
控制核心技术組
機電控制部

陳金聖

國立台北科技大學
自動化科技研究所
所長

羅淳橋

國立台北科技大學
自動化科技研究所

關鍵詞(Keywords)

- 雷射 Laser
- 振鏡控制 Galvanometer Control
- 智慧型多軸運動控制平台
Intelligent Motion Control Platform

摘要(Abstract)

本文開放式多軸多系統控制技術，整合多軸運動控制技術、雷射振鏡控制與多控制信號源同步校正。以智慧型運動控制平台進行開發，平台內建中央處理器並具即時多工作業系統，實現開放式多軸多系統控制技術，達到高速度與高精度的控制能力，以因應日趨複雜的高值化應用需

求。開放式多軸多系統控制技術，以多軸運動控制技術為技術核心，開發高值化的雷射振鏡控制技術，提供應用於高精密雷射加工產業需求。多控制信號源同步校正，具備整合運動控制與雷射振鏡控制所需之各項信號源同步功能，以達高精度與高速度加工需求，其中多控制信號源同步，主要包括脈波產生器、脈寬調變產生器、電壓命令產生器與輸出/入訊號介面等。

振鏡馬達增加雷射反射鏡面機構後，雷射加工控制在高速運動時振鏡馬達擺動時扭力共振頻率所產生的振動與噪音，本文使用二階多重迴授陷波濾波器來抑制。本文使用頻率響應分析儀，量測出雷射振鏡馬達共振頻率，建立振鏡馬達扭力共振頻率頻譜圖，進而設計出抑制共振頻率的陷波濾波器電路。最後，將實體電路整合於智慧型運動控制平台實現，驗證所設計出的陷波濾波



器能有效抑制振動與噪音。

This paper introduces control technology of the multi-system and multi-axes, which integrated axes motion control, galvanometer control and multi-control signal source synchronization. An intelligent motion control based platform with built-in central processing unit and hard real-time operation system can achieve the requirements for high-speed and high-precision control. The goal is to develop a high-value technology of galvanometer control based on multi-axes motion control for the purpose of high-precision laser processing. Multi-signal source synchronization is used to synchronize the signals required by motion and galvanometer control. The synchronization signal sources include pulse generators, pulse width modulation generators, voltage command generators and input/output signal interfaces.

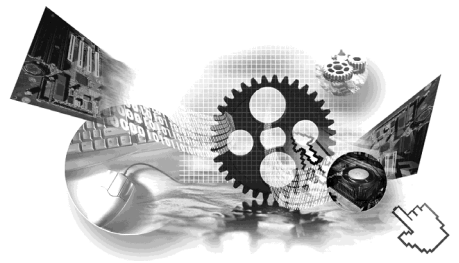
Vibration and noise generated at motor resonance caused by the high-speed movement swing torque need to be controlled. A method to suppress vibration and noise using multiple-feedback notch filters is presented in this paper. Resonant frequency measured by frequency response analyzer is used to build the frequency spectrum. Finally, a suppression notch filter circuit is constructed and integrated into presented motion control platform. The result shows the notch filters can effectively suppress the vibration and noise.

1. 前言

雷射光束系統可對不同種類金屬及非金屬材質加工，特別是能夠加工高硬度、高脆性、高熔點的材料，而相對於傳統工具機刀具的使用，利用雷射光束進行切割擁有無刀具磨損及過程中無切削力所產生的不良影響，切削過程中雷射光作用區域的功率密度大、光束停留在工件上的時間短暫，因此受熱的區域小也能降低熱變形的影響，且方向、聚焦和發散容易控制，因此容易達到使用者所需要的光點尺寸和功率密度。

對於工業用雷射掃描器，高速振鏡馬達具有高精度、高速度、高穩定性等特點，目前高速振鏡馬達系統已廣泛應用於雷射加工相關產業，例如：雷射打標機、雷射雕刻機、雷射鑽孔機、雷射投影機與生物醫學等。

高速振鏡馬達與電流計設計概念相同，故又稱振鏡掃描系統(galvanometric scanner system) [1]，振鏡馬達上之反射鏡片取代了錶針，當電壓輸入至振鏡馬達後，不會像直流馬達一樣馬達一直轉動，而是一偏轉角度。其位置感測器(position detector)大致分為二種，一是電容式[2]，另一為光學式，而本文使用 J. Ivers Richard [3]專利製作出光學式之位置感測器，優點在於光學式之位置感測器電路較易製作[4]。振鏡馬達轉子形式有動鐵式(moving iron)、動圈式(moving coil)、動磁式(moving magnet)三種[5]，陳杉井[6]針對動磁式振鏡馬達提出的想法與實作結果顯示，動磁式振鏡馬達擁有轉動慣量低、電感量低與時間常數短，驅動器控制電路上使用傳統閉迴路控制方式，能保證控制系統的精度及穩定度的優點，因此本文



使用動磁式振鏡馬達來完成實驗。

振鏡掃描系統乃雷射加工系統中關鍵組件之一，主要是結合雷射源、光學設計、機構設計、電子電路控制與程式設計等技術於一體。藉由搭配不同種類的雷射源，可運用於各類微型化製程中。與傳統化學蝕刻與機械雕刻製程相較，振鏡掃描系統的製程具有速度快及靈活性高等優勢。本文發展類比閉迴路振鏡控制技術、全數位XY2-100 通訊協定與數位開迴路振鏡控制技術，透過系統整合與系統最佳化之技術，提供國內雷射加工業者一套高整合的雷射振鏡控制技術解決方案。

由於振鏡馬達增加雷射反射鏡面機構後，在高速擺動運動會使馬達因轉動不平衡而產生扭力共振頻率，此共振頻率會產生出讓人不舒服尖銳高頻噪音，並使馬達及功率元件產生高溫，影響振鏡馬達精度及穩定性，如不加以抑制，會造成功率元件損壞，嚴重時使振鏡馬達線圈燒毀。本

文使用頻率響應分析儀，找出振鏡馬達高速擺動時產生扭力共振頻率，確認共振頻率後，設計出適合之陷波濾波器電路，最後製作成實體陷波濾波器電路，將實體電路整合於智慧型運動控制平台實現，以證明陷波濾波器電路，可抑制振鏡馬達因扭力共振頻率所產生尖銳高頻噪音及防止功率元件升溫，並達到振鏡馬達高精度及高穩定性控制。

開放式多軸多系統控制技術，則整合雷射振鏡控制、多控制信號源同步校正與多軸運動控制技術，架構圖如圖 1 所示。其中多控制信號源同步，主要包括脈波產生器(pulse generator)、脈寬調變產生器(PWM generator)、電壓命令產生器(voltage command generator)與輸出/入訊號介面(I/O signal interface)等四項不同的命令信號模組，每模組各八個通道，進行輸出功能與訊號同步實現，並整合雷射振鏡控制與多軸運動控制技術，完成雷射加工高精度與高速度控制需求。

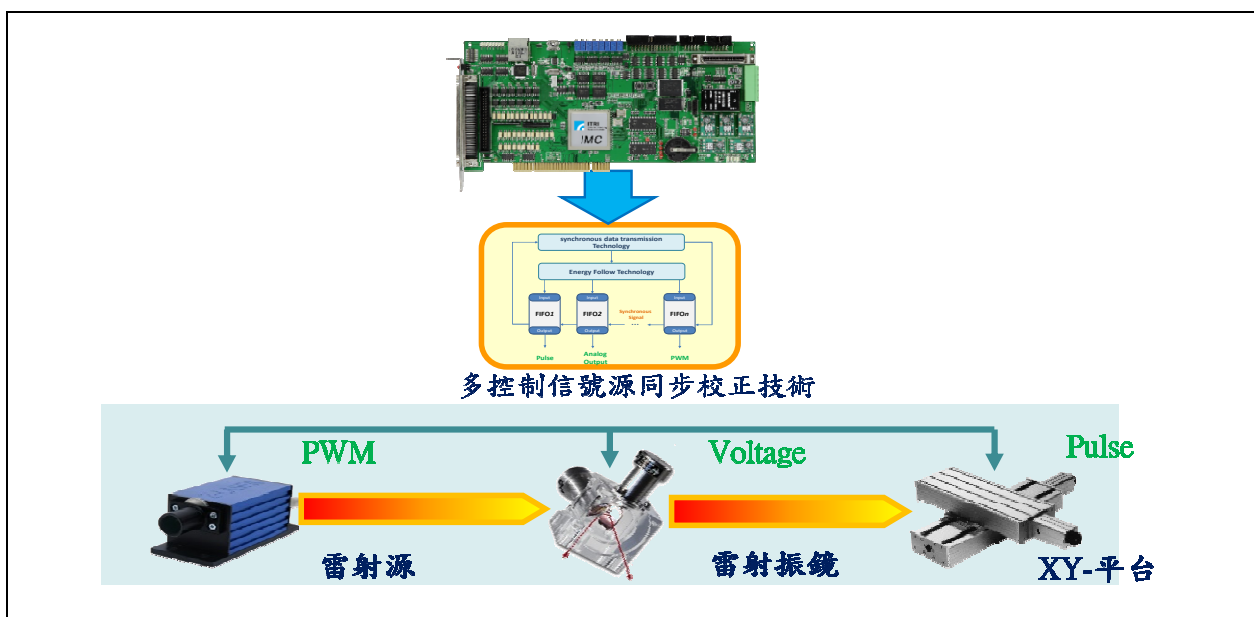


圖 1 雷射振鏡控制技術於智慧型多運動控制平台架構圖

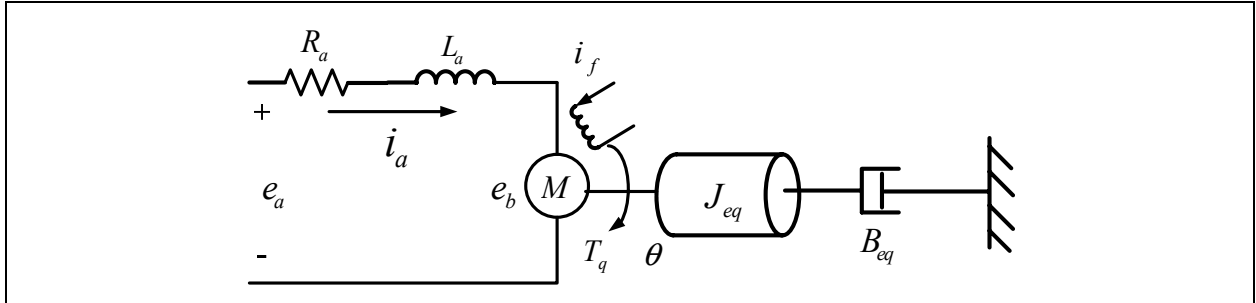


圖 2 振鏡馬達數學模型

2. 振鏡馬達數學模型

振鏡馬達(galvanometer motor)屬於線性直流馬達的一種，利用永久磁鐵與場磁鐵繞線的組合，能夠產生與流經場磁鐵繞線的電流成正比的直線推力，其被設計用於高速定位之產業應用，高速定位的要求是小質量、小轉動慣量與高解析度。振鏡馬達也算是一種推力馬達，其具有下列幾項特性：

- (1) 採用直接驅動的方式，構造簡單、保養容易。
- (2) 不需要配合傳動機構，電能轉換成機械能的效率高。
- (3) 可以提供直線推力與高加速度。
- (4) 電子時間常數與機械時間常數較低。
- (5) 響應速度快，適合高頻率的運動。
- (6) 擁有高頻寬特性。
- (7) 能夠設定固定的行程。
- (8) 低噪音、低振動、無磨擦、無磁滯(zero hysteresis)現象。

本文將使用直流馬達數學模型近似振鏡馬達進行理論推導與分析。振鏡馬達數學模型架構如圖 2 所示。外觀圖如圖 3 所示。其中繞線電阻為 R_a ，繞線電感為 L_a ，當轉子輸入一個電壓差 e_a 將



圖 3 振鏡馬達外觀圖

會產生一個反電動勢(electromotive force, EMF)。

接著利用拉式轉換來建構振鏡馬達之數學模型，輸入電壓差與轉動角度之狀態轉移方程式如(1)式所示。

$$\frac{\theta(s)}{E_a(s)} = \frac{K_t}{s((L_a s + R_a)(J s + B) K_b \times K_t)} \quad (1)$$

針對上述狀態轉移方程式進一步推導，振鏡馬達之控制方塊圖將如圖 4 所示。為了有效驗證本文所開發的開放式多軸多系統控制技術，則使用 Cambridge Technology 所生產的振鏡馬達，型號為 6230H，其馬達參數如表 1 所示。

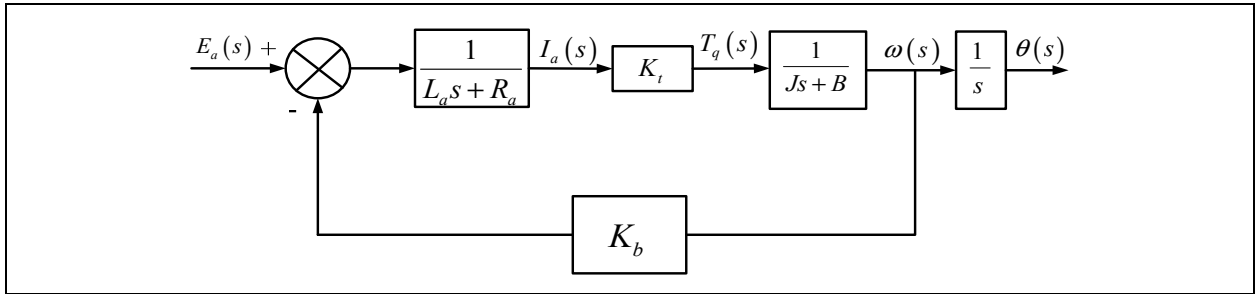
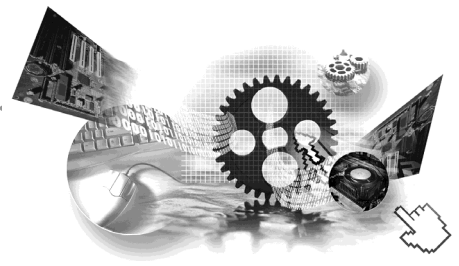


圖 4 振鏡馬達控制方塊圖

表 1 振鏡馬達參數

Parameter	Description	Unit
R_a	Armature resistor	1.07 (Ω)
i_a	Armature current	7.1 (A)
J_{eq}	Inertia (Including mirror)	0.97 ($g \times cm^2$)
L_a	Armature inductor	173u (H)
θ	Angular displacement	40x2pi (rad)

2.1 類比閉迴路控制系統

2.1.1 電流伺服迴路

本研究設計規劃之電流伺服迴路為一積分比例(IP)控制器，如圖 5 所示。電流內迴路使用一積分控制參數 K_{ci} 與一比例放大控制參數 K_{cp} 增益值，功率電流增益放大參數為 (K_A) ，迴授電流經過放大為 (K_{ia}) ，即可得到迴授電流，進行電流閉迴路控制。電流迴路控制之優點使系統轉移函數降階、精確控制轉動扭矩提升控制效益與保護功率放大晶體提升其壽命。電流控制迴路方塊圖則如圖 6 所示。

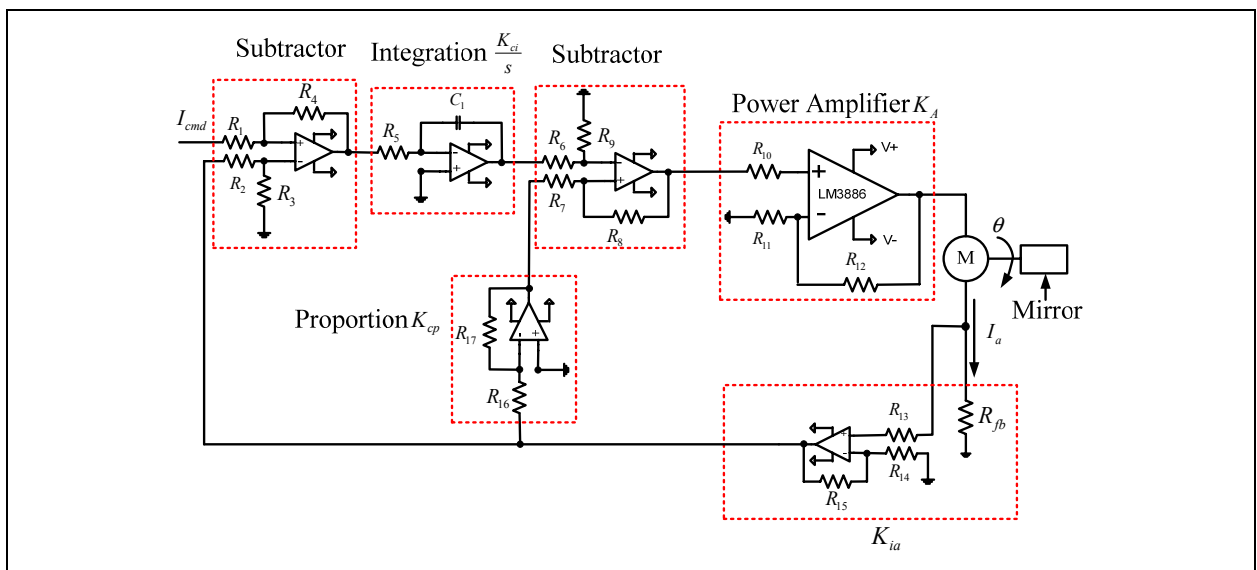


圖 5 振鏡馬達電流迴路控制電路

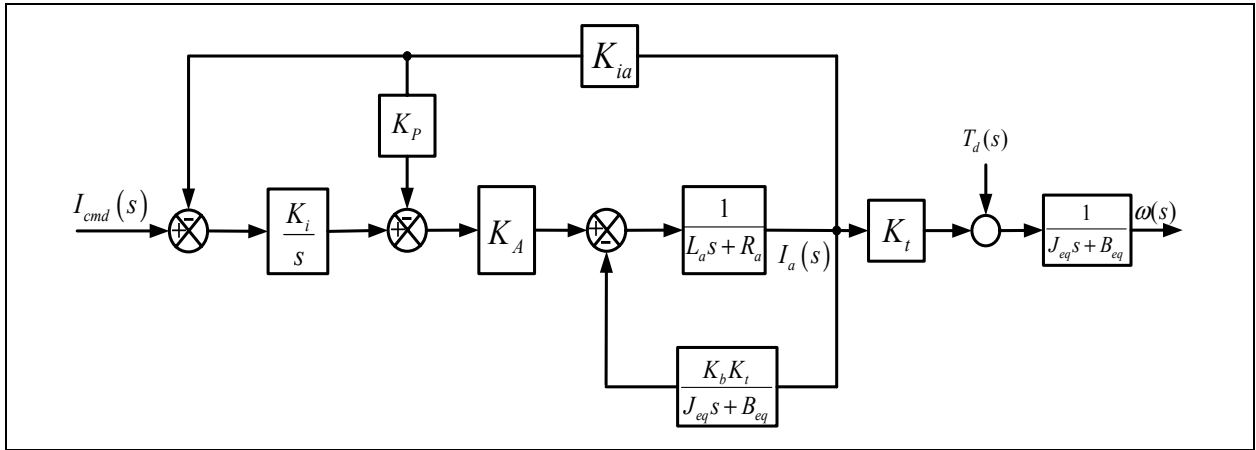


圖 6 電流控制迴路系統方塊圖

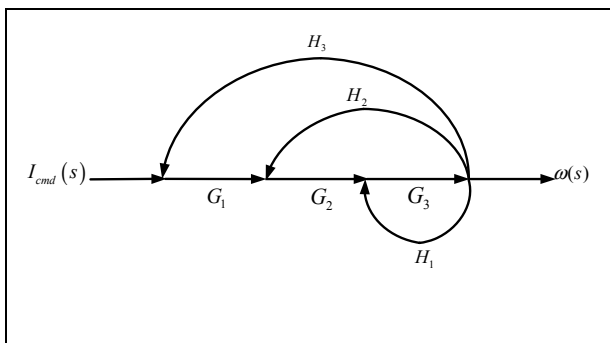


圖 7 梅森法則於電流迴路

控制轉移函式使用梅森增益法則如圖 7 所示。

其中 $G_1 = \frac{K_{ci}}{s}$ 、 $G_2 = K_A$ 、 $G_3 = \frac{1}{L_a s + R_a}$ 、

$H_1 = \frac{K_b K_t}{J_{eq} s + B_{eq}}$ 、 $H_2 = K_{ia} K_{cp}$ 、 $H_3 = K_{ia}$ 、

$\Delta_1 = G_1 G_2 G_3$ ，

$\Delta = 1 + G_1 G_2 G_3 H_3 + G_2 G_3 H_2 + G_3 H_1$ ，轉移函

數可再推導如下：

$$G_s(s) = \frac{G_1 G_2 G_3}{1 + G_1 G_2 G_3 H_3 + G_2 G_3 H_2 + G_3 H_1}$$

其分母為特徵方程，表示如下：

$$\Delta = s^3 + \left(\frac{R_a}{L_a} + \frac{B_{eq}}{J_{eq}} + \frac{K_A K_{ia} K_{cp}}{L_a} \right) s^2 + \left(\frac{R B_{eq}}{J_{eq} L_a} + \frac{K_b K_t}{J_{eq} L_a} + \frac{B_{eq} K_A K_{ia} K_{cp}}{J_{eq} L_a} + \frac{K_{ci} K_A K_{ia}}{L_a} \right) s + \frac{K_{ci} K_A K_{ia} B_{eq}}{J_{eq} L_a} = 0$$

(2)

若使 $\frac{s}{L_a} + \frac{B_{eq}}{L_a J_{eq}} = as + b$ ，其中 $\frac{b}{a} = \frac{B_{eq}}{J_{eq}}$ ，則特

徵方程式可改寫如下列方程式

$$\Delta = \left(s + \frac{b}{a} \right) \left(s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2 \right) \quad (3)$$

在標準二階控制系統，使用者設計系統阻尼比(ζ)與自然超越頻率(ω_n)，經係數比較即可得到電流迴路控制增益積分控制器與比例放大控制器增益值如(4)式與(5)式所示。



$$\frac{R_a}{L_a} + \frac{B}{J} + \frac{K_A K_{ia} K_{cp}}{L_a} = 2\zeta\omega_n + \frac{b}{a}$$

$$\Rightarrow K_{cp} = \frac{2L_a\zeta\omega_n - R_a}{K_A K_{ia}} \quad (4)$$

$$\frac{BK_{ci} K_A K_{ia}}{JL} = \frac{b\omega_n^2}{a}$$

$$\Rightarrow K_{ci} = \frac{L_a\omega_n^2}{K_A K_{ia}} \quad (5)$$

當內迴路系統頻寬大於外迴路頻寬 6~10 倍，內迴路之系統增益可視為 1，即不影響外迴路之效益。故當有電流迴路控制架構，則對於速度迴路而言，系統方塊圖如圖 8 所示。

2.1.2 位置伺服迴路

精密運動控制效益可由追蹤響應與抗干擾能力評估，因而本文規劃使用比例增益與微分控制器設計其位置迴路控制器，此系統將會提供系統穩定與最佳化控制器參數，使系統位置控制響應達最佳響應。

將系統轉移函式離散化使馬達數學轉移函式如(6)式所示。

$$G_s(z) = \frac{1 - e^{-T_s}}{s} \mathcal{Z} \left[\frac{1}{J_{eq}s + B_{eq}} \right] = \frac{b_1}{z + a_1} \quad (6)$$

其中

$$a_1 = -e^{-\frac{B_{eq}T_s}{J_{eq}}} \quad (7)$$

$$b_1 = \frac{1}{B} \left(1 - e^{-\frac{B_{eq}T_s}{J_{eq}}} \right) \Rightarrow \frac{(1 + a_1)}{B} \quad (8)$$

T_s 為數位化系統取樣時間。

本文從設計單軸振鏡馬達位置控制器開始，控制器為微分控制器 K_{vd} 與比例增益放大控制器 K_{pp} 所組合成的 PD 控制器，位置迴路系統方塊如圖 9 所示。

位置迴路系統轉移函式如下式

$$TF(z) = \frac{K_{pp}K_t \frac{b_1}{z+a_1} \frac{T_s z}{z-1}}{z^2 + (-1+a_1 + K_{pp}K_t b_1 T_s + K_t b_1 K_{vd})z + (-a_1 - K_t b_1 K_{vd})} \quad (9)$$

由於本系統為一標準二階之轉移函式，本設計規劃將使用係數比較法，使用者設計系統規格阻尼比 ζ 與系統頻寬 ω_n ，即可得到微分增益 K_{vd} 與位置迴路控制器比例增益 K_{pp} 值，分別如(10)式與(11)式所示。

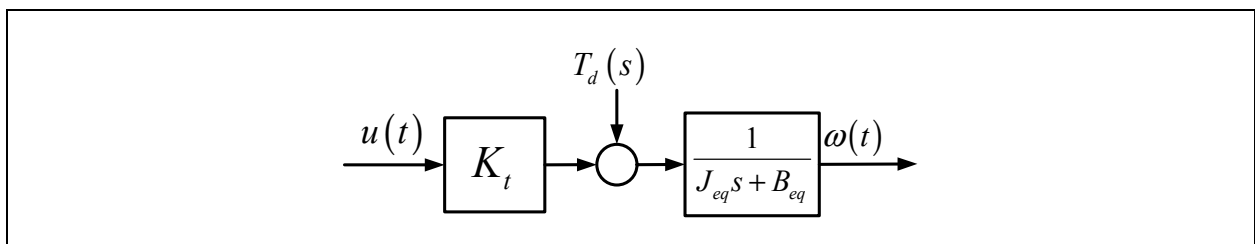


圖 8 振鏡馬達系統簡化數學模型

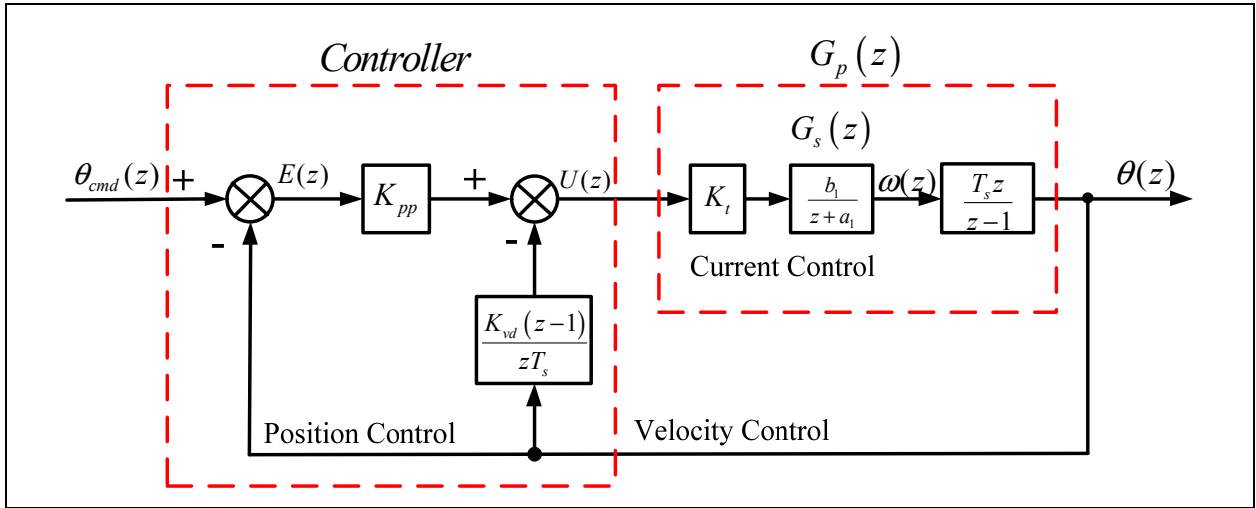


圖 9 位置迴路系統方塊

$$K_{vd} = \frac{(e^{-2\xi\omega_n T_s} + a_1)}{-K_i b_1} \quad (10)$$

$$K_{pp} = \frac{1 - a_1 - 2e^{-\xi\omega_n T_s} \cos(\omega_d T_s) - K_i K_{vd} b_1}{K_i b_1 T_s} \quad (11)$$

2.1.3 類比位置伺服迴路實驗結果

為了有效的驗證所提出之控制器，以下將以方波命令波形為輸入命令，使振鏡馬達做週期性的正負 2 度旋轉，並觀察其追隨響應與動態響應。圖 10 為振鏡馬達追隨正負 2 度 100 Hz 方波命令之實驗波形，上升時間為上升至峰值 63% 之時間，約為 0.12 ms。

圖 11 為振鏡馬達追隨正負 2 度 200 Hz 方波命令之實驗波形，由實驗圖亦可以明顯看出其響應時間約為 0.18 ms。

圖 12 為振鏡馬達追隨正負 2 度 500 Hz 方波命令之實驗波形，由實驗圖亦可以明顯看出其響應時間大於 0.2 ms，500 Hz 之控制命令已超出本控制器需求規格。

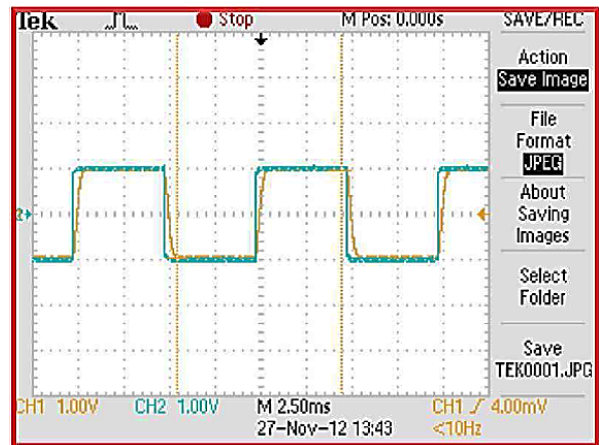


圖 10 正負 2 度 100 Hz 方波命令追隨波形

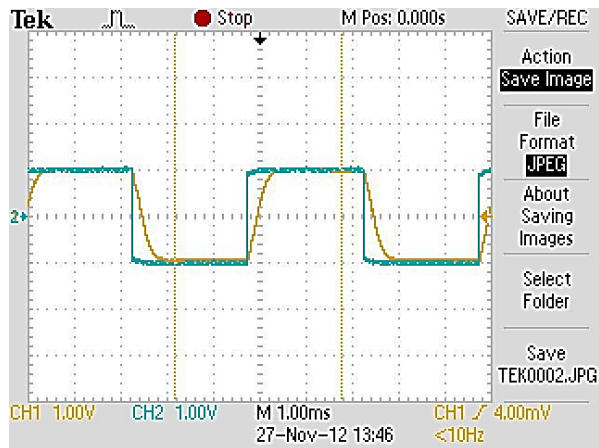


圖 11 正負 2 度 200 Hz 方波命令追隨波形

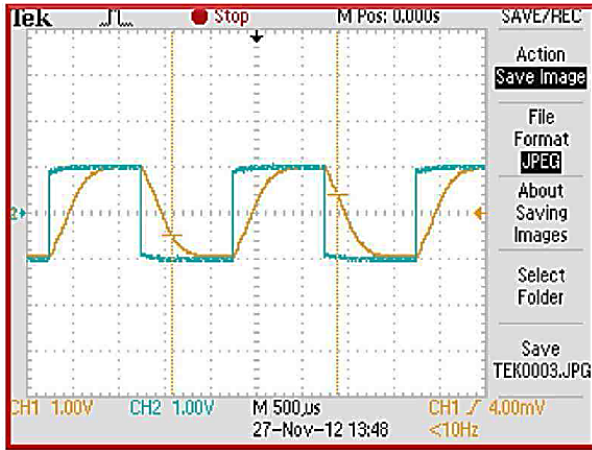


圖 12 正負 2 度 500 Hz 方波命令追隨波形

2.2 數位開迴路控制系統

一般而言，雷射振鏡掃描係指控制振鏡馬達帶動反射鏡偏轉，進而使得雷射光束在掃描平面上移動，達成雷射加工的目的，此雷射振鏡掃描控制技術廣泛應用於雷射雕刻、雷射焊接等領域。在雷射振鏡的運動控制中，XY2-100 通訊協定與接口定義被廣泛的使用在工業界，以作為數位雷射掃描控制器與振鏡馬達間的通訊協定，本文實現此通訊協定於智慧型運動控制平台上，以提供雷射加工應用的數位開迴路控制系統。

2.2.1 XY2-100 通訊協定

XY2-100 通訊協定中包含四個差動訊號，其

中三個差動訊號由控制端至驅動端(SENDCK、SYNC 及 Channel)，另一個差動訊號則由驅動端至控制端(status)，表示目前驅動端的狀態。SENDCK 為一頻率為 2 MHz 的時脈訊號(clock)，當 SENDCK 從高電位至低電位時，數據被寫入，而 SENDCK 從低電位至高電位時，數據被系統取樣至記憶體中。SYNC 信號為同步信號，提供數據轉換時的同步資訊，當 SYNC 從低電位至高電位時，第一個數據訊號被送出，當 SYNC 從高電位至低電位時最後一個數據訊號(通常為檢查碼)被送出。Channel 訊號為單一軸的控制數據，若欲控制多軸時，則可為 Channel X、Channel Y...等。控制訊號由 20 個控制位元組成，包含 3 個振鏡控制模式位元、16 個振鏡角度位元值(0~65535，以二進位值表示)及 1 個偶同位檢查碼。圖 13 為控制訊號示意圖。

當驅動端收到控制端的命令訊號後，驅動端會回傳一個狀態訊號給控制端，此狀態訊號低電位代表正常沒有錯誤的產生，而高電位代表有錯誤產生，且該筆控制命令廢棄無法執行，此時必須查明原因並排除錯誤因素，才能繼續執行，產生錯誤的可能原因為下列情況之一：

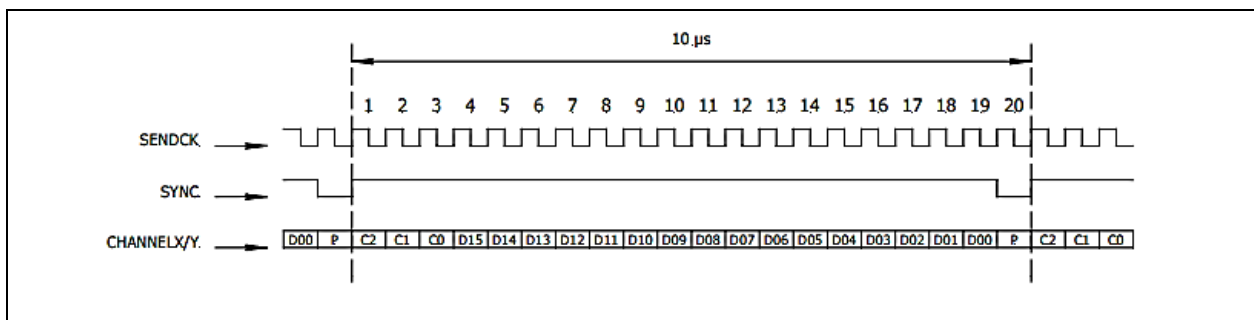


圖 13 XY2-100 控制訊號示意圖



1. 任一軸的位置超出設定的最大位置。
2. 任一軸的有效轉子電流超出警示電流值。

2.2.2 XY2-100 通訊協定設計規劃

此協定是使用 2 Mbit/sec 為時脈傳送的串列訊號，而資料長度以 20 bit 一封包，其訊號時序圖如圖 13 所示，因此我們可規畫智慧型運動控制平台與數位式雷射振鏡控制模組間的接線訊號如圖 14 所示，其中對於智慧型運動控制平台端各訊

號名稱定義整理於表 2。

圖 15 為雷射振鏡整合運動控制架構圖，藉由個人電腦下達控制命令(振鏡旋轉角度或雷射打標位置)至控制核心，控制核心則將控制命令編碼，並以 XY2-100 通訊格式傳送至振鏡馬達驅動模組，使振鏡轉至命令角度。雷射光源透過振鏡的反射，將雷射光投射至加工物件，達到加工的目的。

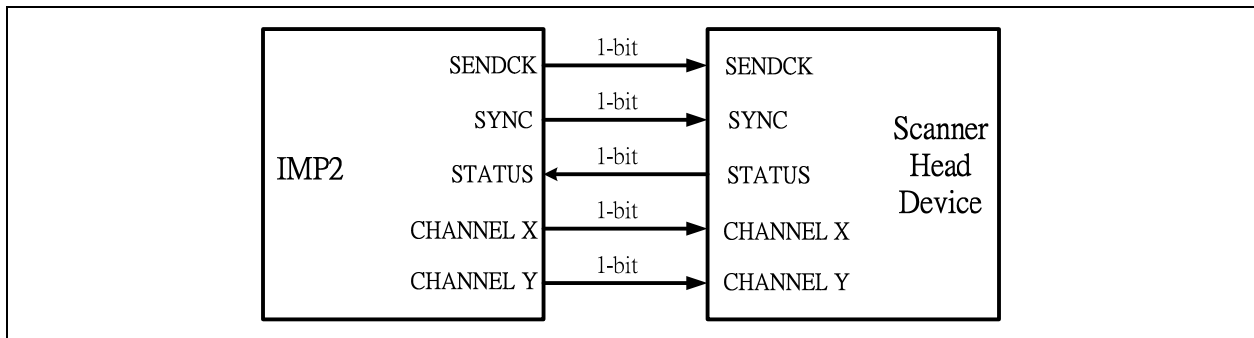


圖 14 IMP 與雷射振鏡模組接線

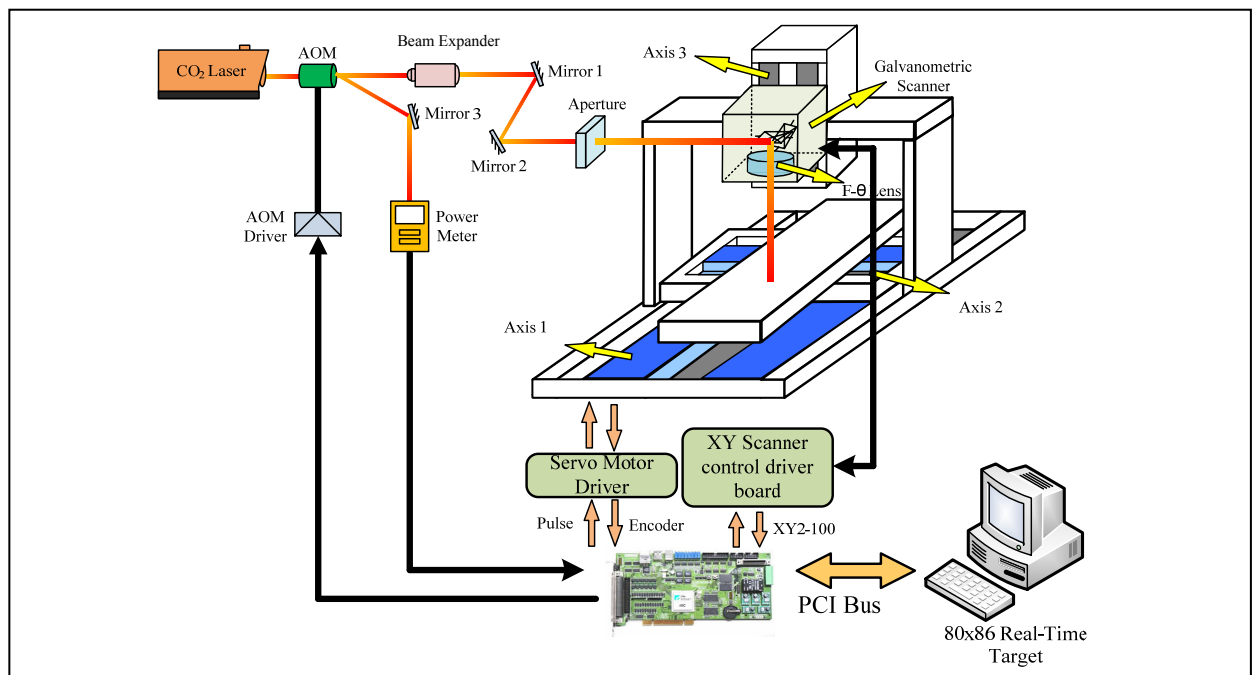


圖 15 雷射振鏡整合運動控制架構圖



表 2 IMP2 之 XY2-100 通訊訊號定義

腳位	訊號描述	輸入/輸出
SENDCK	連續計數脈波	輸出
SYNC	資料傳送同步訊號	輸出
CHANNELX	X 軸的命令資料	輸出
CHANNEL Y	Y 軸的命令資料	輸出
STATUS	振鏡模組狀態	輸入

(high pass filter)、帶通濾波器(band pass filter)或陷波濾波器(notch filter)。如圖 16 所示，為二層陷波濾波器電路，經由頻率響應分析儀所得之頻譜響應，其振鏡馬達有二個共振頻率點，需串聯兩個陷波濾波器電路來抑制共振頻率，因 X、Y 軸有不同反射鏡產生不同共振頻率，故設計電路需考慮可調整之頻率功能。陷波濾波器電路之轉移函數(12)、(13)式。

3. 雷射振鏡掃描馬達之高頻振動抑制

3.1 陷波濾波器電路設計

本文使用二階多重迴授(multiple-feedback)濾波器電路，電路特點於代入不同之電阻電容值可設計出低通濾波器(low pass filter)、高通濾波器

3.2 振動抑制實驗結果

本文使用頻率響應分析儀型號 FRA5097，頻率響應分析儀 CH1 輸入 10 Hz~40 kHz 正弦波訊號，於功率放大器輸入端，功率放大器推動振鏡馬達，使馬達左右擺動，左右擺動最大角度為±20 度，轉換成輸出最大之位置電壓為±10 V，當輸入頻率越高擺動速度越快，幅度會越小，直到靜止

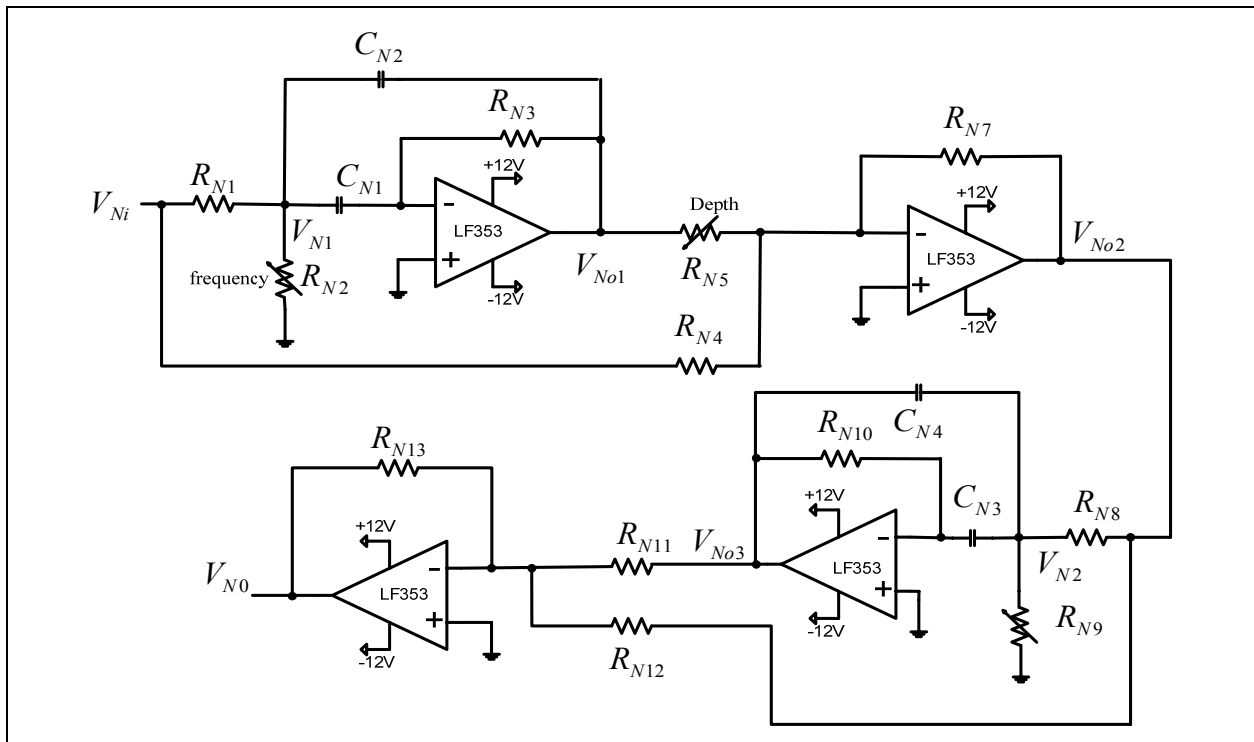


圖 16 二層陷波濾波器電路圖



$$NF_1(s) = \frac{V_{No2}}{V_{Ni}} = \frac{s^2 \frac{R_{N7}}{R_{N4}} + s \left(\frac{(C_{N1} + C_{N2})R_{N7}}{R_{N3}C_{N1}C_{N2}R_{N4}} - \frac{R_{N7}}{R_{N1}C_{N2}R_{N5}} \right) + \frac{(R_{N1} + R_{N2})R_{N7}}{R_{N1}R_{N2}R_{N3}C_{N1}C_{N2}R_{N4}}}{s^2 + s \left(\frac{(C_{N1} + C_{N2})}{R_{N3}C_{N1}C_{N2}} \right) + \frac{(R_{N1} + R_{N2})}{R_{N1}R_{N2}R_{N3}C_{N1}C_{N2}}} \quad (12)$$

$$NF_2(s) = \frac{V_{No}}{V_{No2}} = \frac{s^2 \frac{R_{N13}}{R_{N12}} + s \left(\frac{(C_{N3} + C_{N4})R_{N13}}{R_{N10}C_{N3}C_{N4}R_{N12}} - \frac{R_{N13}}{R_{N8}C_{N4}R_{N11}} \right) + \frac{(R_{N9} + R_{N8})R_{N13}}{R_{N8}R_{N9}R_{N10}C_{N3}C_{N4}R_{N12}}}{s^2 + s \left(\frac{(C_{N3} + C_{N4})}{R_{N10}C_{N3}C_{N4}} \right) + \frac{(R_{N9} + R_{N8})}{R_{N1}R_{N2}R_{N3}C_{N1}C_{N2}}} \quad (13)$$

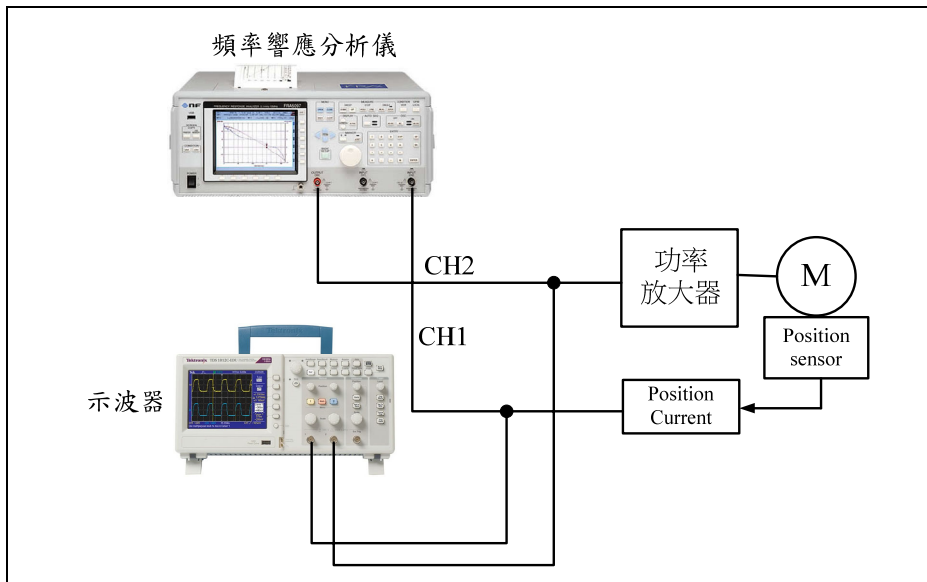


圖 17
鑑別量測系統

不動，CH2 接於振鏡馬達輸出訊號，輸出訊號會先經過光轉成電流，再由電流轉電壓電路產生位置訊號，最後使用示波器來觀察輸入輸出訊號是否正常，其量測示意圖如圖 17 所示。

在頻率響應分析儀量測的過程中，將量測所得的頻率(frequency)、大小(magnitude)及相位(phase)圖，利用套裝軟體轉換成相對的數據，並透過 Matlab 重新建立頻率響應圖。如圖 18 所示，經由頻譜圖，可得知 14.1 kHz 為系統一次共振頻率和 30.2 kHz 為系統二次共振頻率，透過推導出來的公式計算出電路最佳化參數，設計兩陷波濾

波器以抑制此兩次共振頻率，並實現於驅動電路整合於智慧型運動控制平台。

最後實驗驗證，將信號產生器分別輸入 14 kHz 及 30 kHz，振幅為±200 mV 之正弦波，再利用示波器量測陷波濾波器輸出及輸入波形。如圖 19 顯示，CH1 黃色為輸入波形，CH2 藍色為輸出波形，圖中輸出波形幾乎驅近於零，第一級陷波濾波器能夠濾掉 14 kHz 頻率。如圖 20 所示，CH1 黃色為輸入波形，CH2 藍色為輸出波形，圖中輸出波形幾乎驅近於零，第二級陷波濾波器能夠濾掉 30 kHz 頻率。

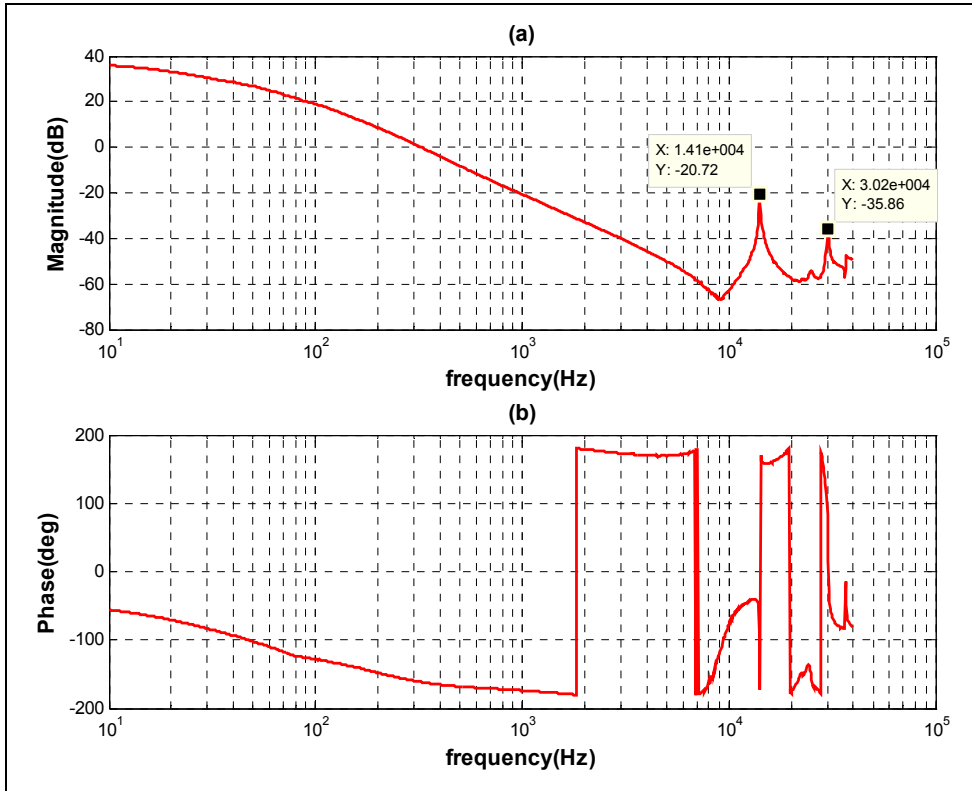


圖 18
共振點之頻譜響應
(a)大小圖(b)相位圖

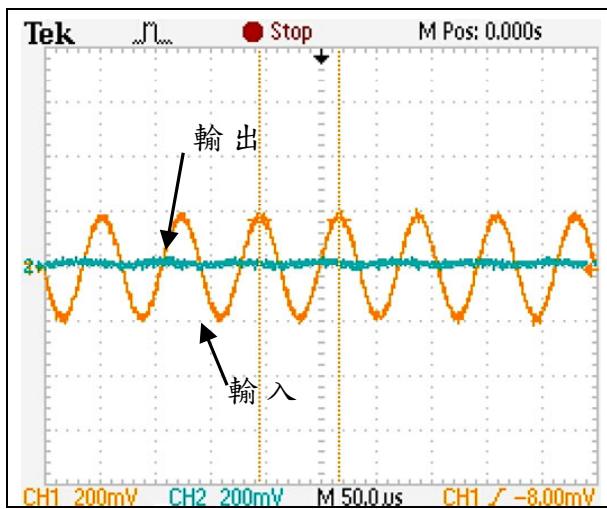


圖 19 14 KHz 陷波濾波器時域圖

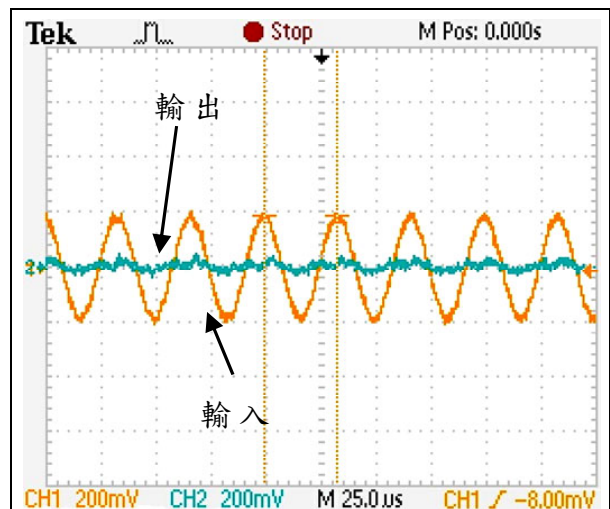


圖 20 30 KHz 陷波濾波器時域圖

將陷波濾波器電路放入振鏡馬達驅動器控制迴路內，訊號產生器輸入振幅為±1 V及頻率10 Hz之方波，CH1(黃色)為振鏡馬達位置輸出訊號，CH2(藍色)為功率放大器輸出訊號。圖 21 可以得

出未加入陷波濾波器情形，振鏡馬達會因扭力共振頻率，使得功率放大器輸出訊號產生振盪情形，振鏡馬達位置輸出訊號也產生振盪與尖銳高頻噪音，且振鏡馬達運行過程中容易發熱，使得

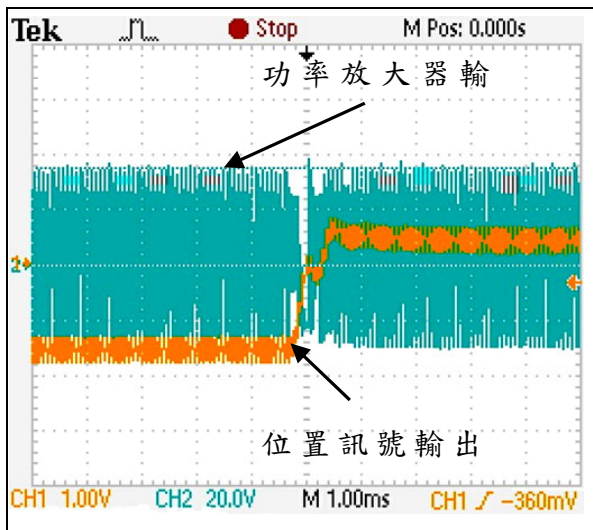


圖 21 未加入陷波濾波器之位置訊號與功率放大器輸出訊號

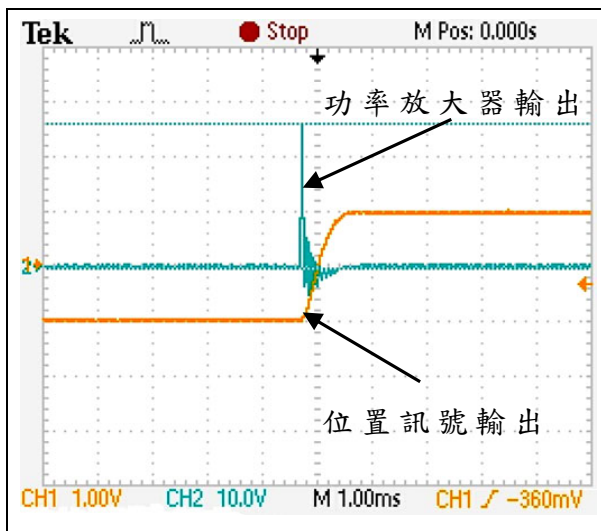


圖 22 加入陷波濾波器之位置訊號與功率放大器輸出訊號

功率放大器輸出連續飽和訊號，造成功率晶體溫度急遽上升，甚至超過功率晶體容許的溫度上限，功率晶體因而停止運作，若此情況沒有解決，會造成振鏡馬達線圈因過熱而燒毀。圖 22 為加入陷波濾波器後，振鏡馬達的位置輸出訊號及功率

放大器輸出訊號，從圖可觀察到振盪的情形被抑制下來，進而尖銳高頻噪音也消除，功率放大器的輸出訊號也維持在線性區，使得振鏡馬達線圈不致有過熱情形，系統得以穩定。

4. 結論

本文實現類比閉迴路振鏡控制技術的開發，位置動態響應時間達到 0.2 ms，對於反射鏡造成之共振響應，設計出能夠抑制二個共振頻率陷波濾波器，由實驗結果得知，陷波濾波器電路確實能夠抑制振鏡馬達產生扭力共振頻率，並消除尖銳高頻噪音使系統能夠穩定。在數位開迴路控制中，XY2-100 為數位雷射掃描控制器與振鏡馬達間的通訊協定，本文實現 XY2-100 通訊協定整合於多軸智慧型運動控制平台，提供高整合的數位開迴路控制系統。多控制信號源同步校正技術，能提供多控制信號源包括 PWM、Pulse 與類比電壓的同步輸出控制，多控制信號間的延遲時間小於 0.5 μ s，有效整合雷射源與機台運動，避免造成雷射加工過度或不足之情形。未來，將能提供國內雷射加工業者，一套國產化且高整合的雷射振鏡控制器，突破長期被國外大廠技術壟斷的鉗制，帶領雷射加工業產業升級。

誌謝

感謝工業技術研究院機械與系統研究所(計畫編號 F353C91230)的支持，使本計畫得以順利進行，特此致上感謝之意。



參考文獻

- [1] 張宏志，“雷射掃描系統之電流計位置伺服特性研究”，碩士論文，崑山科技大學機械工程系，2009。
- [2] 陳昱村，“雷射掃描系統設計與測試”，碩士論文，國立彰化師範大學機電工程學系，2009。
- [3] J. I. Richard, West Newton, “Axial LED position detector for determining the angular position of a Rotatable element,” U.S. Patent Number: 5844637, 1998.
- [4] J.Ivers Richard, West Newton, “Optical position detector for determining the angular position of a rotatable element,” U.S. Patent Number: 5671043, 1997.
- [5] 鐘健愷，“雷射掃描系統研製及其他在雷射彩色投影之應用”，碩士論文，國立彰化師範大學機電工程學系，2010。
- [6] 陳杉井，“動磁式雷射振鏡掃描系統研製”，碩士論文，國立彰化師範大學機電工程學系，2008。

