

## 光碟機聚焦控制器參數設計之自動化

張義芳 陳韋良

大葉大學機電自動化研究所

彰化縣大村鄉山腳路 112 號

### 摘 要

本研究利用頻率響應的設計方式來設計超前補償器和建立聚焦讀取頭控制器參數自動設計流程，並利用 Matlab 程式撰寫出自動化程式。使用者只需輸入控制規格及馬達動態特性後，即可自動產生超前補償器的控制參數，同時在光碟機的數位訊號處理器（DSP）內控制參數數值規格的限制下轉換出十六進位數值，直接輸入數位訊號處理器以供讀取頭聚焦控制時使用。利用實驗的驗證可確定自動產生的參數對光碟機讀取頭具有很好的控制效率。

**關鍵詞：**相位超前補償器，聚焦控制，光碟機

## Parameter Design Automation for a Focusing Control System on a CD-ROM Player

YIH-FANG CHANG and WEY-LIAN CHEN

*Department of Mechanical and Automation Engineering, Da-Yeh University*

*112 Shan-Jiau Rd., Da-Tsuen, Changhua, Taiwan*

### ABSTRACT

An automatic parameter design process is developed for a lead-compensator in a focusing control system on a commercial optical disk drive. In the frequency domain the automatic design process of focusing a pick-up head controller can apply a set of control parameters to the lead compensator, designed by Matlab software to provide a convenient and fast operation. After the actual system parameters are identified by an auxiliary experiment, the appropriate control parameters can be obtained and the hex code for the digital signal processor (DSP) on the player generated by the proposed automatic design program. The practical performance of the control system can be improved via the design process.

**Key Words:** lead compensator, focusing control system, CD-ROM

## 一、前言

隨著電腦科技快速而不斷的演進,光碟機的規格與性能不斷的提升,光碟機製造廠不斷開發出新型的光碟機,這些廠商的工程師常依照自己的學理經驗利用電腦輔助設計軟體一步一步撰寫程式,分析設計出可用的控制參數。如果能把控制器設計的方式自動化,將可減少不少參數尋找的時間,也更能確定此參數的優越性。

聚焦控制系統中的受控體(聚焦馬達,光學聚焦迴路的誤差回授)具有某種程度的非線性特性,以實驗鑑別方法求得的數學模型存在著些許的鑑別誤差。當讀取頭工作在真實的環境下,光學機構(opto-mechanical)和致動器(actuator)會有耦合(coupling)的問題產生,尤其高速運轉時定位機構的震動,均會使參數不確定性(uncertainty)發生。過去已有解決此二種問題的控制方法提出:

1. Chait [10] 在其論文中提出使用 QFT (quantitative feedback theory) 的設計方法能直接使用量測的頻率響應資料來產生受控體樣版(template),接著根據規格產生性能邊界(performance bound)及穩定度邊界(stability bound),然後利用此二項資料進行系統的迴路整型(loop shaping),再依據整型後的樣版(template)來合成控制器。也就是不需要擁有完全符合實際系統的數學模型,同時也可以容忍鑑別誤差(identification error)的發生。但是由於在設計過程中考慮到過多外在干擾因素,因此在設計過程中趨於保守,在其實驗中只確定控制的穩定性,並無針對其控制效率做一比較。
2. Steinbuch [14] 在考慮參數不確定性之後,針對其變動範圍以  $\mu$ -synthesis 方法來解決系統實際工作時參數變動的問題,亦即當參數變動時控制器仍然使系統維持在穩定

的狀態,但是利用此種方法做控制時,一些實際物理狀態取得不易,因此不適用於商品化的伺服控制系統,同時在設計過程中也趨於保守,在其實驗中也只確定控制的穩定性,且無針對其控制效率加以比較。

本研究中將利用頻率響應的設計方法來直接設計具有優越暫態特性的控制器,使外在的干擾如光碟片振動、刮痕等情況發生時也能迅速聚焦而提高光碟機的讀片率。一開始本研究將建立簡化的光碟機聚焦控制系統架構,利用頻率響應的設計方法來建立聚焦讀取頭超前補償器(lead compensator)控制參數設計的自動化流程,並以 Matlab 工具來實現。同時在數位訊號處理器(digital signal processor, DSP)參數數值格式的限制下,運算出符合數位控制器的一組十六進位的參數,最後利用實驗的方式來確定此一參數對光碟機讀取頭具有較好的控制效率。

## 二、聚焦伺服控制系統

聚焦致動器為一音圈馬達,其機構可簡化如圖 1 [2,4]。

由過去文獻中可知驅動電路時間常數(time constant)  $\tau_e = \text{線圈電感 } L / \text{線圈電阻 } R$  非常小,且聚焦馬達在製作時各材料間的連接剛性都很強,且線圈與透鏡間的等效阻尼係數趨近於零,因此輸入聚焦馬達電壓  $U(s)$  至馬達帶動物鏡位移  $X(s)$  的轉移函數可簡化為二階動態系統 [5]:

$$\begin{aligned} \frac{X(s)}{U(s)} &= \frac{-\frac{K_V}{K_f}}{\frac{M_L + M_c}{K_f} s^2 + \left(\frac{K_V^2}{K_f R} + \frac{B_f}{K_f}\right) s + 1} \\ &= \frac{-K_V}{Ms^2 + (B_f + \frac{K_V^2}{R})s + K_f} \end{aligned} \quad (1)$$

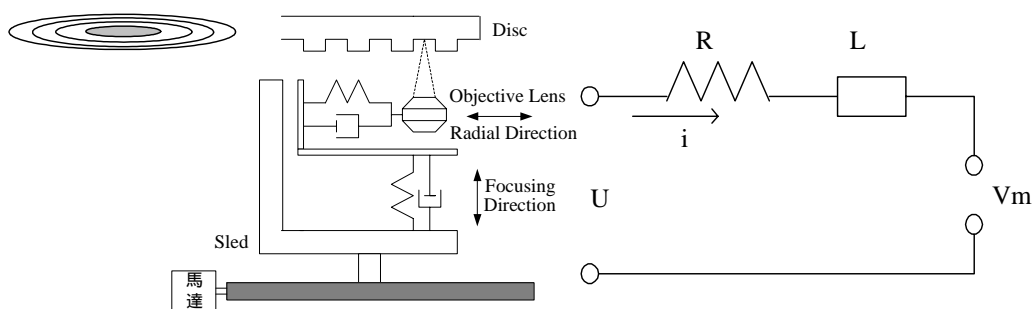


圖 1. 光碟機讀取頭動態系統 [2,4]

其中負號代表座標方向與命令方向相反，各代號的意義如下：

電流通過線圈產生驅動力  $f = K_v i$ ， $K_v$  為電磁力轉換常數。

$K_f$  為聚焦馬達支撐柱的等效彈性係數。 $M_L$  為物鏡部份的等效質量。 $M_c$  為線圈部份的等效質量。 $R$  為線圈電阻。 $B_f$  為聚焦馬達支撐柱的等效阻尼係數。 $M$  為  $M_L$  與  $M_c$  的質量和。因此 (1) 式可用一通式來表示

$$\frac{X}{U} = \frac{-K_m}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} \quad (2)$$

$\xi$  為阻尼係數 (damping ratio)， $\omega_n$  為自然頻率 (natural frequency)， $K_m$  為常數。將聚焦驅動系統簡化成二階系統也可簡化控制器設計步驟。

音圈馬達所帶動的讀取頭必須與光碟片保持一固定之聚焦間隙，才能正確讀取反射資料。聚焦間隙並無法直接量測出來，但是聚焦間隙是否合適，即聚焦間隙與正確焦距的誤差量可以用像散法 (astigmatism) 得到。如圖 2 所示 [1]。雷射光源由左向右投射到光碟片上，在碟片上的光圈會反射至分光鏡，再由分光鏡反射至半圓柱透鏡，穿梭後投射在光感測器上。由圖 3 看半圓柱形透鏡左右向具有光點放大的作用，當投影在感測器時會將投射光點 C、D 放大，可是在圓柱軸向上 (即光感測器 A、B 區域) 沒有放大的作用，因此在光碟片形成的光點尺寸會在光感測器上投射成不同面積的光點。在光碟片與聚焦透鏡保持某一距離時，光碟片上的光圈光感測器上會呈現出正圓形狀，此時各區域的面積將相等。同時在各區域感測器所偵測出的電壓相同，經比較後輸出電壓為 0V (即誤差訊號  $E=0$ )，此間隙為聚焦伺服系統應有的間隙，也是讀取數據最好的距離。如圖 3(a)，即 [1]：

$$E = (V_A + V_B) - (V_C + V_D) = 0 \quad (3)$$

而當光碟片距離聚焦透鏡太近時，光圈投射在 A、B 區的面積會真實反應光碟片上的面積，可是 C、D 區的面積會被放大，因此比較後的誤差訊號會小於零 (即誤差訊號  $E < 0$ ) 如圖 3(b)，即：

$$E = (V_A + V_B) - (V_C + V_D) < 0 \quad (4)$$

當光碟片距離聚焦透鏡太遠時，因光碟片上的光圈面積縮小，所以透射在光感測器的面積都會縮小，因此 C、D 區會

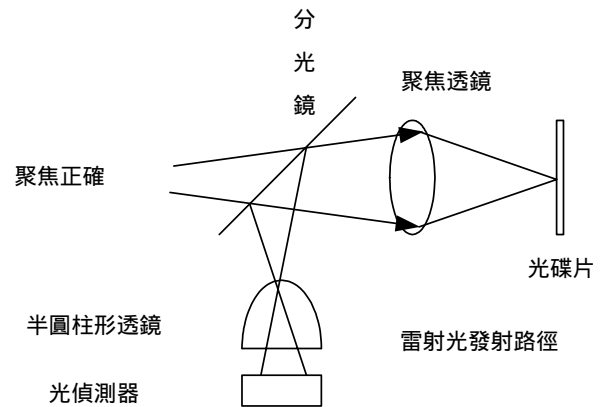
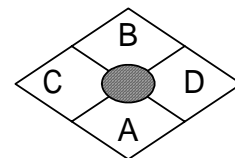
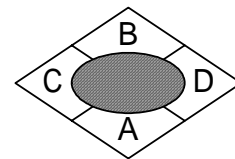


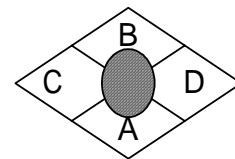
圖 2. 聚焦間隙偵測配置圖 [1]



$$(a) E = (V_A + V_B) - (V_C + V_D) = 0$$



$$(b) E = (V_A + V_B) - (V_C + V_D) < 0$$



$$(c) E = (V_A + V_B) - (V_C + V_D) > 0$$

圖 3. 聚焦間隙回授訊號原理 [1]

縮得較小，因此呈現的誤差訊號如圖 3(c) (即誤差訊號  $E > 0$ )，即：

$$E = (V_A + V_B) - (V_C + V_D) > 0 \quad (5)$$

此一誤差訊號可直接當作判斷合適間隙與否的標準，控制器就能根據此訊號輸出命令驅動音圈馬達來調整透鏡與光碟片之間間隙。根據 (3) (5) 式的特性，可以看成誤差訊號  $E$  是實際間隙值  $Y$  與參考間隙  $r$  之間的差，即

$$E = Y - r \tag{6}$$

由上式搭配 (2) 式則本系統仍為一負回授系統。

由前述光碟機驅動及感測回授裝置的介紹，為了達到快速又精確的反應，可以採用超前與落後補償器 (lead-lag compensator) 來達成。光碟機的專用控制晶片製造廠，則以內建的數位訊號處理器建構不同取樣時間下的幾組數位控制器，如圖 4，來供給光碟機製造廠來使用。其中控制法則如下：

$$C_H(z) = \frac{k_1 + k_2 z^{-1}}{1 - k_3 z^{-1}} \times \frac{k_4 + k_5 z^{-1}}{1 - k_6 z^{-1}} \times (k_7 + k_8 z^{-1}) \tag{7}$$

$$C_M(z) = \frac{k_9 + k_{10} z^{-1}}{1 - k_{11} z^{-1}} \times (k_{12} + k_{13} z^{-1}) \tag{8}$$

$$C_L(z) = \frac{k_{14} + k_{15} z^{-1}}{1 - k_{16} z^{-1}} \times (k_{17} + k_{18} z^{-1}) \tag{9}$$

其中  $k_1$  至  $k_8$  為高頻補償器  $C_H(z)$  的控制參數， $k_9$  至  $k_{13}$  為中頻補償器  $C_M(z)$  的控制參數， $k_{14}$  至  $k_{18}$  為低頻補償器  $C_L(z)$  的控制參數。圖 4 中之增益  $K_c$  為總放大增益。控制增益  $k_1$  至  $k_{18}$  只能設計成 -1 至 +1 的數值，而增益  $K_c$  最大為 32。會有這些限制，是為了提高控制運算速度，而將這些運算以邏輯硬體來組成。數位訊號處理器經由類比轉數位 (A/D) 轉換器獲得 FEI 訊號。控制訊號 FOSO 則經由數位轉類比 (D/A) 轉換器送至放大電路。其中頻補償器  $C_M(z)$  與低頻補償器  $C_L(z)$  主要是處理中低頻振盪相位落後的控制器。然因本型光碟機在搭配所設計出的相位超前補償器後在中低頻的響應並無相位落後，因此並不再為其設計  $C_M(z)$  與  $C_L(z)$ ，而專注於高頻特性的  $C_H(z)$  設計。

由前述光碟片聚焦伺服控制系統之介紹，系統控制方塊圖可組合成圖 5。圖中數位控制器  $G_c(z)$  即為圖 4 之組成。聚焦伺服控制器建立在數位訊號處理器產生訊號，驅動聚焦

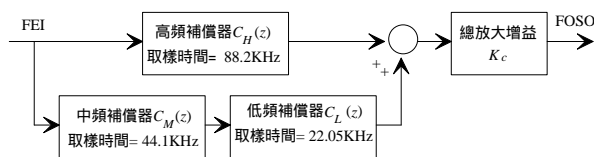


圖 4. CD\_ROM 內部數位控制器  $G_c(z)$

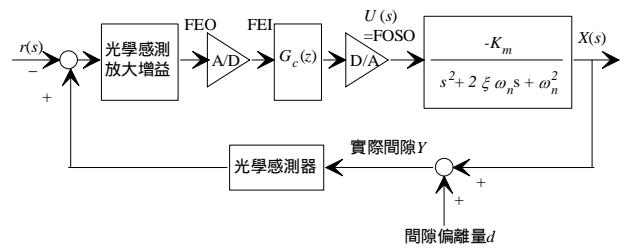


圖 5. 聚焦控制迴路方塊圖

致動器後，帶動讀取頭做上下移動，使得雷射光能精確地聚焦在光碟片上，並利用讀取頭內的光學感測器精確地偵測並解析由碟片上反射回來的訊號。然而因為光碟片的表面並非完全平坦，加上碟片旋轉時產生的震動，因此聚焦間隙會被改變，如圖 5 中之訊號  $d$ ，因此需要利用數位訊號處理器內部的數位控制器不斷的接收由光學感測器傳送回來的誤差訊號，經運算處理後控制音圈馬達帶動聚焦透鏡跟隨碟片上下偏擺來精準的達成間隙控制 [3, 6, 7, 9]。

設計控制參數前需先將系統受控體，即音圈馬達與光學檢測放大器的參數以實驗法鑑別出來。

### 三、系統鑑別

因為商用光碟機系統實際所受到的干擾非常類似正弦波 (sine wave)，所以我們利用動態分析儀 (HP35670) 從輸入端灌入不同頻率的正弦波。當正弦波經過我們的受控體，會因為受控體本身的特性，而在輸出端產生正弦波。此時儀器比較輸入與輸出端的正弦波在不同頻率的條件下其增益 (gain) 相位 (phase) 的變化來得到系統在頻率響應的資料 [13]。一般我們在做系統鑑別 (system identification) 時都是在開迴路的條件下進行的，因為整個光碟機伺服迴路系統都被內建的程式保護著，若要在開迴路的條件下做系統鑑別的工作，會因保護裝置啟動而使整個系統動作中斷而無法工作。因此本研究所使用之光碟機系統必須在  $G_c(z)$  預設成 1，且在開迴路操作的條件下做系統鑑別，而鑑別出的轉移函數仍可視為 FOSO 到 FEO 的開迴路轉移函數。實驗前要先製作如圖 6 左上方之類比加法器，將正弦波加入誤差訊號內來做系統鑑別的實驗 [8, 15]。在做完相關的設定後，選取欲測量的頻率範圍，在訊號源端 (source) 便會輸出對應其頻率的弦式訊號給量測系統。接著將欲量測的相關訊號從 CH1 及 CH2 輸入至儀器中，比較兩者的增益、相位，便可得到系統在頻率響應的資料如圖 7。

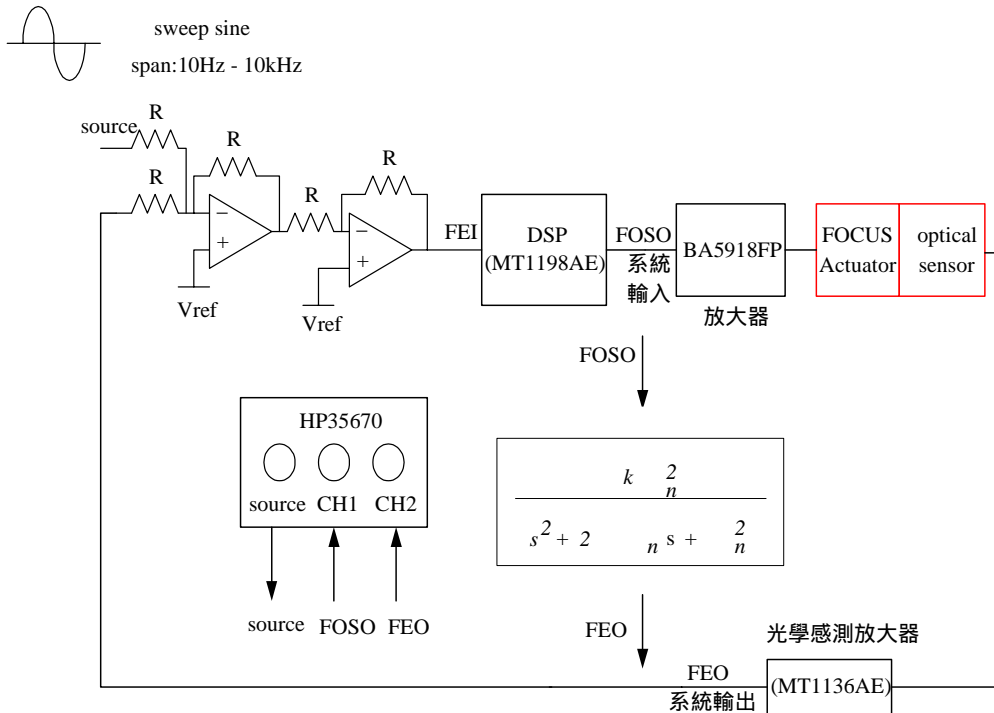


圖 6. 閉迴路系統鑑別量測架構 [13]

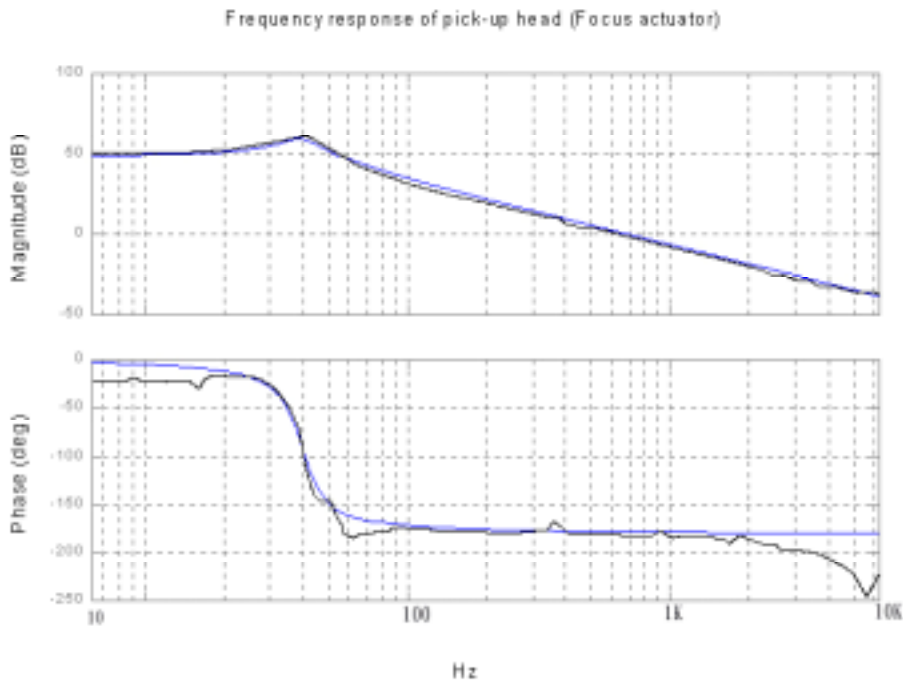


圖 7. 系統鑑別之頻率響應資料

有了頻率響應的資料,接著利用曲線擬合( curve fitting )的方法來趨近二階系統,可得阻尼比  $\zeta$  大約是 0.1512, 自然頻率  $\omega_n$  大約是 396 ( rad/s ), 直流增益是  $k=293.2285$  即

49.3441 ( dB )。由於鑑別時已將  $G_c(z)$  預設成 1, 因此將圖 5 中光學感測電路的放大增益置於受控體 ( plant )  $k_m$  內, 以利控制方塊圖之簡化。由鑑別結果, 受控體的轉移函數如下

表示。

$$\begin{aligned} \frac{X(s)}{U(s)} &= \frac{k_m}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} \quad (10) \\ &= \frac{k\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} = \frac{293.2285 \times 396^2}{s^2 + (2 \times 0.1512 \times 396)s + 396^2} \end{aligned}$$

#### 四、控制器的設計

讀取頭與光碟片中的間隙  $d$  會因碟片的偏擺而大小變化，為讓雷射光正確的聚焦在資料軌上。本系統必須具備追隨  $d$  的能力，才能有效的聚焦而使誤差訊號  $E=0$ 。因此  $d$  可併入本系統的輸入來探討讀取頭追隨光碟片的能力，因此圖 5 可根據圖 4 及方程式 (10) 重組成圖 8 之方塊圖。

由圖 8 可知本系統之控制效率取決於系統追蹤變動輸入值  $r+d$  的能力，又知  $d$  為一正負擺動值，因此可視為一正弦波輸入。而  $r+d$  可合成為具有正弦波輸入的  $R_d$ ，所以本研究將從頻率響應的角度來分析控制器，並在時域中以步階響應模擬其暫態特性，做為控制器設計的參考指標。

經由鑑別所得之參數，可繪出開迴路的波德圖 (Bode plot) 如圖 9。由其中可看出在工作頻率點 (2KHz) 相位落

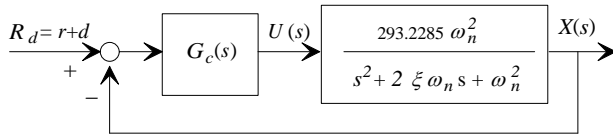


圖 8. 聚焦控制系統方塊圖

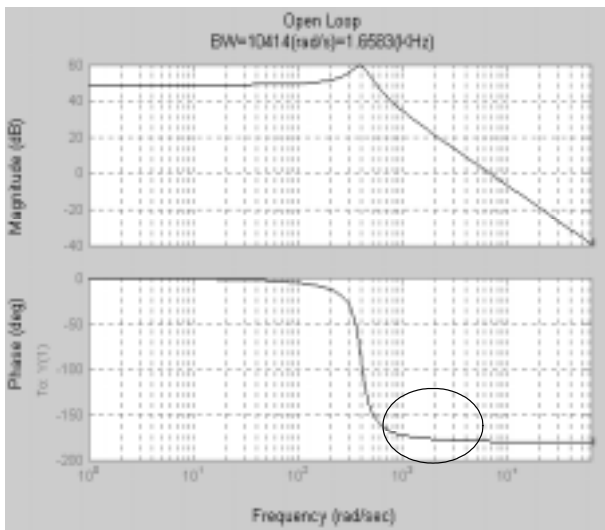


圖 9. 開迴路波德圖  $\xi = 0.1512, \omega_n = 396 \text{ rad/s}$

後太多。因此我們設計超前補償器  $G_c(s)$  來改變相位邊界  $\Phi_M$  (phase margin) 可減少超越量百分比 (overshoot)，同時獲得較高的增益交叉頻率 (gain crossover frequency)，以便加快系統的暫態響應，因此設計步驟可以由以下來進行 [11-13]。超前補償器的設計流程如圖 10。

1. 當控制器  $G_c(s)=1$  時建立開迴路轉移函數  $E$  至  $X$  的關係如下：

$$G_{open}(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} \quad (11)$$

2. 輸入所要的  $\%O_{sd}$  與峰值時間  $T_{pd}$  可得到所需要的阻尼係數  $\xi_d$  和相位邊界  $\Phi_{Md}$  如下。

$$\xi_d = \frac{-\ln(\%O_{sd}/100)}{\sqrt{\pi^2 + \ln^2(\%O_{sd}/100)}} \quad (12)$$

$$\Phi_{Md} = \tan^{-1} \frac{2\xi_d}{\sqrt{-2\xi_d^2 + \sqrt{1+4\xi_d^4}}} \quad (13)$$

$\%O_{sd}$  的設定標準值為  $\%O_{sd0}$  其為最終的標準超越量。因設計出的超越量可能還會大於此值，所以過程中的  $\%O_{sd}$  還要再自動往下修正。

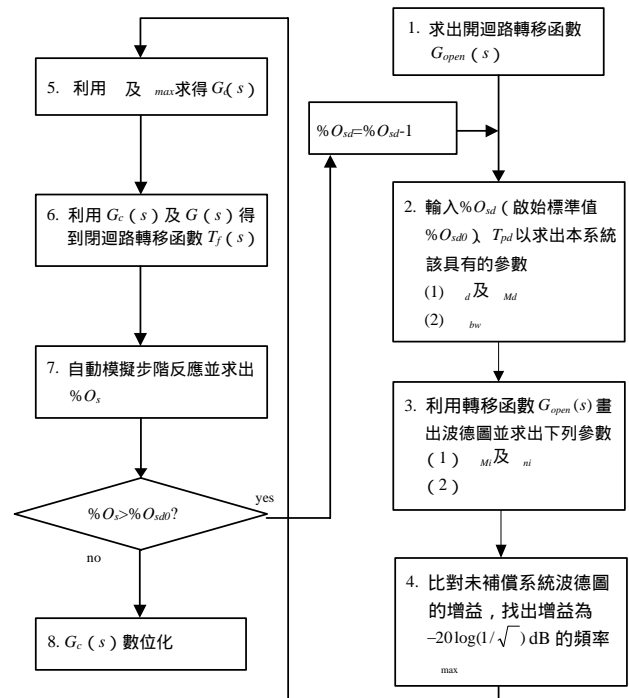


圖 10. 超前補償器設計流程圖

根據阻尼係數  $\xi_d$  求出所需要之頻寬  $\omega_{bw}$  如下式

$$\omega_{bw} = \omega_{nd} \sqrt{(1 - 2\xi_d^2) + \sqrt{4\xi_d^4 - 4\xi_d^2 + 2}} \quad (14)$$

其中

$$\omega_{nd} = \frac{\pi}{T_{dp} \sqrt{1 - \xi_d^2}} \quad (15)$$

利用轉移函數  $G_{open}(s)$  繪出波德圖，存入陣列後經由自動比對後找出相位邊界  $\Phi_{Mi}$  與對應之頻率  $\omega_{ni}$ 。如此便可求出相位補償係數  $\beta$ ：

$$\beta = \frac{1 - \sin \phi_{\max}}{1 + \sin \phi_{\max}} \quad (16)$$

而

$$\phi_{\max} = \Phi_{Md} - \Phi_{Mi} \quad (17)$$

4. 比對未補償系統波德圖的增益，找出增益為  $-20 \log(\frac{1}{\sqrt{\beta}})$  dB 的頻率  $\omega_{\max}$ 。

5. 求出控制器  $G_c(s) = \frac{1}{\beta} \frac{s + \frac{1}{T}}{s + \frac{1}{\beta T}}$

$$\text{其中 } T = \frac{1}{\omega_{\max} \times \sqrt{\beta}} \quad (18)$$

6. 利用  $G_c(s)$  和  $G(s)$  得到閉迴路轉移函數  $T_f(s)$

$$T_f(s) = \frac{X}{R} = \frac{\frac{1}{\beta} \cdot \frac{s + \omega_h}{s + \omega_l} \cdot \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2}}{1 + \frac{1}{\beta} \cdot \frac{s + \omega_h}{s + \omega_l} \cdot \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2}} \quad (19)$$

7. 自動模擬步階響應並求出  $\%O_s$

獲得閉迴路轉移函數  $T_f$  後，可利用 Matlab 副程式自動執行步階響應，並找出  $\%O_s$ 。尋找時可將步進反應模擬數據存入陣列中逐一比對來找到最大值即為此反應的最大超越量。

找出目前的  $\%O_s$  後，將  $\%O_s$  與  $\%O_{sd0}$  做一比較如果  $\%O_s \leq \%O_{sd0}$  則  $\%O_s$  為所求，假如  $\%O_s > \%O_{sd0}$  則降低  $\%O_{sd0}$  重新設計直到  $\%O_s \leq \%O_{sd0}$  為止。

8. 在重複設計找出滿足  $\%O_s \leq \%O_{sd0}$  的控制參數後輸入取樣頻率，然後利用 Tustin 方法將 S-domain 轉成 Z-domain 即可將  $G_c(s)$  數位化。

## 五、控制器的實現及結果

介紹了控制器所用的設計方法之後，使用光碟機內部專用的數位控制器來做為我們控制器實現的載具，並藉由系統的實際響應來驗證其性能 (performance)。光碟機廠商通常由控制晶片製造廠所提供的原始設定值開始以試誤法找出的控制器如下，其將與本研究所設計出的控制器作比較。

$$C_H(z) = \frac{0.9359 - 0.9359z^{-1}}{1 - 0.0391z^{-1}} \times \frac{0.9359 - 0.9318z^{-1}}{1 - 0.9961z^{-1}} \times (0.6119 + 0.6119z^{-1}) \quad (20)$$

$$C_M(z) = \frac{0.2500 + 0z^{-1}}{1 - 0z^{-1}} \times (1 + z^{-1}) \quad (21)$$

$$C_L(z) = \frac{0.2813z^{-1} - 0.2480z^{-1}}{1 - 0.8672z^{-1}} \times (0.2573 + 0.2573z^{-1}) \quad (22)$$

### (一) 控制器參數自動產生

首先輸入控制規格 [ $\%O_s=12$ , 總放大增益  $K_c=32$ ,  $\xi = 0.1512$ ,  $\omega_n = 396(\text{rad/s})$ ]，按下圖 11 中“執行程式”按鈕後，自動進行改變控制參數並微調的工作，如圖 12。每一階段的步進響應不合規格時就會重新設計而再找出另一組參數並具有更佳之反應，一直到步進響應符合規格時則停止設計。

在數位控制器條件限制下 (總放大增益  $K_c=32$ ,  $k_1 \sim k_{18}$  : 只能在  $+1 \sim -1$  變動) 自動化程式得到一組參數後，根據取樣頻率利用 Tustin 近似的方法將  $C_H(s)$  轉換成 Z-domain 的型態如下：

$$C_H(z) = \frac{0.7197 - 0.7024z^{-1}}{1 - 0.4435z^{-1}} \quad (23)$$

控制晶片為了讓  $C_H(z)$  的控制參數成為  $-1$  至  $+1$  的數值，特別在晶片內部會將所輸入的十六位元的十六進制數值除



圖 11. 自動化程式操作畫面

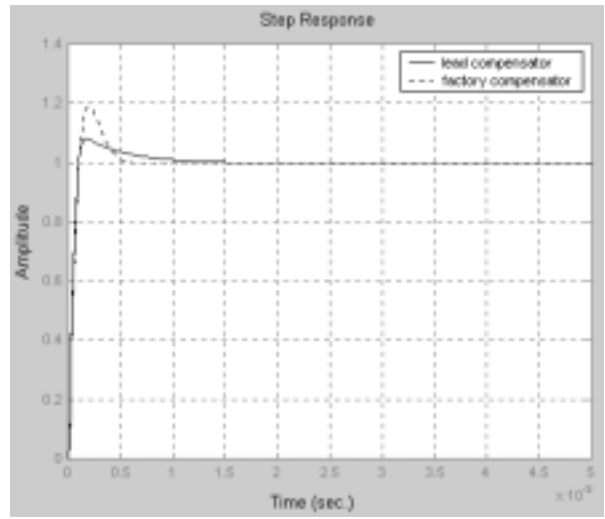


圖 13. 二種不同控制器步階響應比較圖

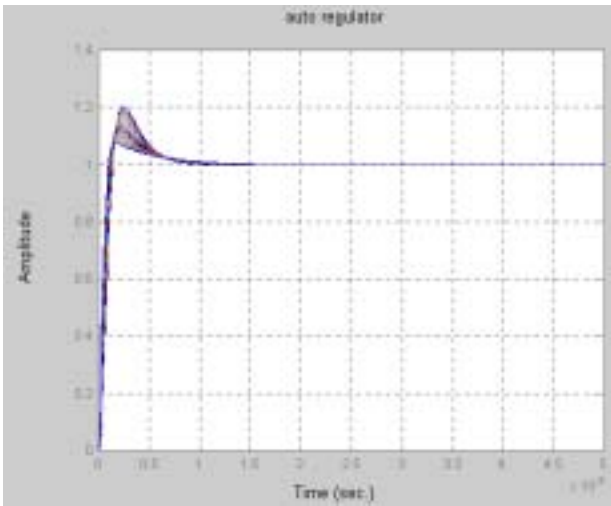


圖 12. 自動化程式步進響應微調

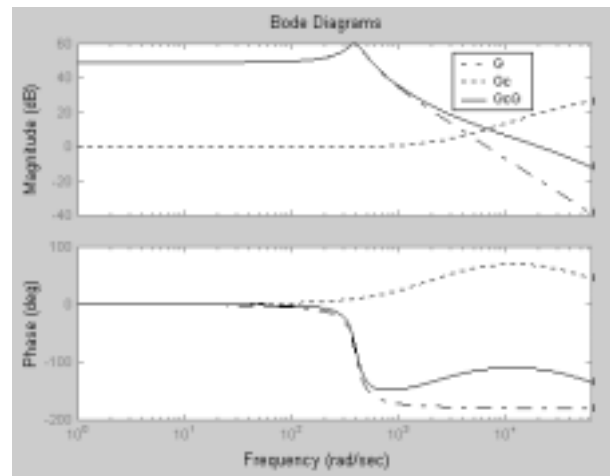


圖 14. 本文設計的超前補償器對系統的影響

以  $32768$  即  $8000_{16}$ 。因此在式 (7) 實際的控制參數為  $k_1=5C20_{16}/8000_{16}$ 、 $k_2=A619_{16}/8000_{16}$ 、 $k_3=38C6_{16}/8000_{16}$ 。其中的十六進制數值  $5C20_{16}$ 、 $A619_{16}$ 、 $38C6_{16}$ ，可利用 Mtkflash 程式直接下載至該數位訊號處理器上來使用。

自動化程式微調後得到滿足需求的步階響應如圖 13 實線部份。廠商使用的控制參數模擬結果如圖虛線部份。可看出使用超前補償器並配合自動化程式微調尋找能夠快速找出滿足需求的控制參數。

(二) 頻率響應結果比較

當讀取頭操作在工作頻率點時，相位有嚴重的落後，這會導致讀取頭在高頻有急速晃動的情形發生。而本程式設計的超前補償器可在高頻對聚焦控制系统提供一個有限的相位補償如圖 14 之  $G_c(s)G(s)$ 。

從開迴路的角度來看，本程式所設計的控制器補償此系統後，在工作頻率點 (3.64KHz) 擁有較好的相位補償如圖 15 實線部份。

從閉迴路的角度來看，本程式所產生的超前補償器補償之後的系統，比廠商控制器控制的系統擁有更高的頻寬，和較低的共振峰值，同時在高頻工作時所落後的相位也較少，如圖 16。

(三) 實驗比較

為了要了解聚焦讀取頭的實際性能，我們將光碟片在徑向貼一條不反光的細長膠帶 (2 mm 寬) 來當成光碟機的刮痕，當光碟機的讀寫頭操作在光碟片轉速為 5000 rpm 時，



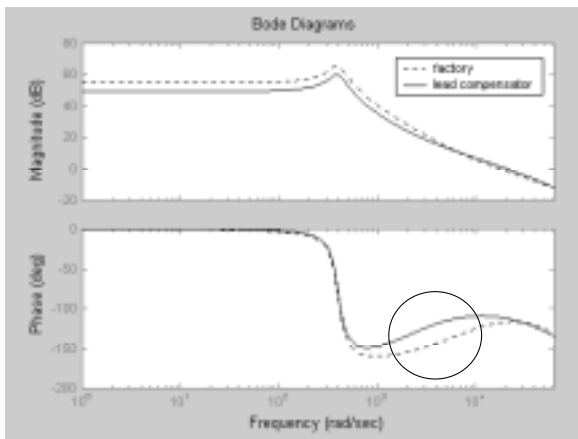


圖 15. 二種控制器在開迴路比較圖

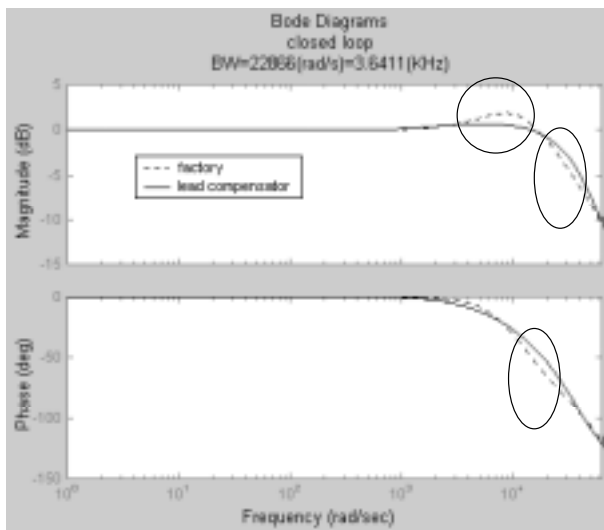


圖 16. 兩種控制器在閉迴路的頻率響應

此膠帶的干擾可當作光碟機的脈衝干擾。我們輸入廠商原本的控制器參數（20 式）可得圖 17 之上部份反應，然後將本自動化程式所產生的控制參數（23 式）放入數位訊號處理器可得圖 17 之下部份的反應。結果發現利用本程式設計出來的控制參數控制下，當干擾訊號突然進入並隨後消失後，如圖下部，能使光碟機讀取頭在干擾訊號進入後仍能穩定追蹤，亦即當光碟機遇到刮傷干擾時，控制器立刻產生命令訊號控制音圈馬達迅速聚焦將間隙維持在設定值。而以廠商所設計的參數來控制時，如圖上部，干擾過後會有超越量產生，且在隨後的追縱當中稍有晃動。

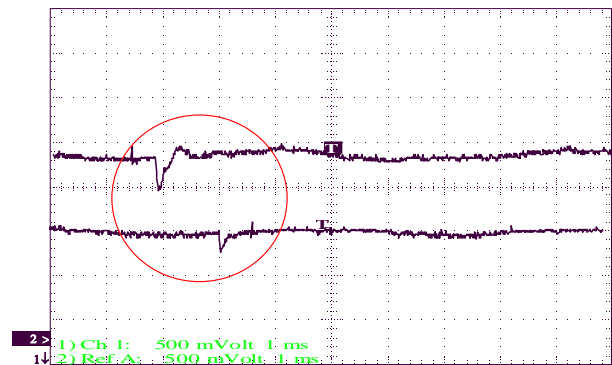


圖 17. 回授間隙訊號

## 六、結論

根據以上研究可以歸納出以下結論：

1. 在頻域中建立完整的超前補償器自動設計流程，同時以 Matlab 撰寫自動化程式，可讓使用者輸入控制規格及馬達動態特性後，自動會自己找出一組超前補償器的控制參數。
2. 依照實際光碟機內部數位訊號處理器參數數值格式的限制將超前補償器的參數轉換成十六進位數值，便可直接輸入光碟機內，以供其使用。
3. 根據實驗結果發現，經由自動化程式所產生之控制參數，具有優於廠商原有控制參數的控制效能。

光碟機系統若要達到整體性能的提升，單靠光碟機聚焦控制器性能的改善是無法達到的。因此需藉由提高尋軌伺服控制系統的控制效率來增快光碟機資料讀取的速度，降低平均資料讀取時間。數位訊號處理器參數數值規格也限制了控制效能，若能加大參數輸入範圍將可提高設計的彈性也能提高控制效率，但卻要注意驅動力不足所產生的非線性特性。另外，光碟片表面鍍膜材料特性的不同（金片或藍片），其如何影響系統的回授特性也是提高讀取率的重要課題。生產線上前級信號調教必須有一定的標準，調整後的 S/N 比夠大才能滿足原先研發階段所提出的參數。因此前級信號調教也需標準化才能使設計的控制參數滿足出廠的光碟機。

## 誌謝

本文作者感謝賀新科技股份有限公司資助及在技術上的指導，以使本研究順利完成。

## 參考文獻

1. 呂和(民 78), 光碟機讀寫頭光學系統介紹, 光電資訊, 2, 頁 2-9。
2. 吳南陽(民 78), 光碟機讀寫頭驅動, 光電資訊, 2, 頁 18-26。
3. 林世平(民 87), 光碟機徑向雙致動器伺服系統之研究, 國立交通大學電機與控制工程學系碩士論文, 新竹。
4. 林育川(民 88), 音圈馬達簡介, 機械工業雜誌, 5 月, 頁 189-197。
5. 孟慶康(民 75), 光碟機讀寫頭聚焦伺服系統的設計與製作, 國立清華大學動力機械系碩士論文, 新竹。
6. 洪俊賢(民 78), 光碟機伺服控制系統簡介, 光電資訊, 2, 頁 27-31。
7. 褚偉嘉(民 88), 光碟機伺服系統模式建立之研究, 國立成功大學電機工程系碩士論文, 台南。
8. 劉錦松(民 83), 致動器動態分析與設計, 光電資訊, 21, 頁 7-10。
9. 簡文煒(民 88), 光碟機伺服技術剖析, 電子月刊, 2(1), 頁 88-96。
10. Chait, Y., M. S. Park and M. Steinbuch (1994) Design and implementation of a QFT controller for a compact disc player. Proceedings of the American Control Conference, Baltimore, Maryland.
11. Choi, I. M., S. H. Kim and Y. K. Kwak (1999) Design and control of tracking actuator for optical disk. Proceedings of the 1999 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Kyongju, Korea.
12. Hanselman, D. C. and B. C. Kuo (1995) *MATLAB Tools for Control System Analysis and Design*, 184-193. Prentice Hall, New Jersey, NJ.
13. Nise, N. S. (2000) *Control Systems Engineering*, 684-710. John Wiley & Sons, New York, NY.
14. Steinbuch, M., G. Schootstra and O. H. Bosgra (1992) Robust control of a compact disc player. Proceedings of the 31st IEEE Conference on Decision and Control, Tucson, Arizona.
15. Yeh, T. J. and Y. C. Pan (2000) Modeling and identification of opto-mechanical coupling and backlash nonlinearity in optical disk drives. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 46(1), 105-115.

收件：93.07.08 修正：93.10.18 接受：93.10.21