

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

計畫編號：NSC 87-2212-E-002-028

執行期限：86年8月1日至87年7月31日

主持人：陳義男

執行機構及單位名稱：國立台灣大學造船及海洋工程研究所

題目：H-infinity 控制器應用在液壓缸驅動力之研究

Study on the Application of the H-infinity Controller to the Hydraulic Cylinder Driving Force Control

一、中英文摘要

本研究以 H-infinity 控制理論為基礎，設計一控制器應用在液壓缸驅動力之控制。先建立系統之數學模式，再設計控制器，以電腦模擬印證 H-infinity 控制器能滿足系統性能及強健性的要求。

關鍵詞：H-infinity 控制器、驅動力、強健性

Abstract

This study focuses on the driving force control of a hydraulic cylinder by H-infinity control. Accord to the results of simulation, we prove that the H-infinity controller will achieve the performance and robustness demand.

Keywords: H-infinity controller, driving force, performance, robustness

二、緣由與目的

電氣-液壓系統是整合電氣信號傳輸、處理及控制而由液壓作動的系統，它同時具備電子的響應快、易控制及系統架構容易和液壓的大出力、剛性強及穩定性高的優點[1]，因此在產業上的應用相當廣泛，舉凡機械製造、航空、船舶及自動化操作生產；無論是滿足大出力或者是高精度或者是剛性強的需求，電液系統都能有良好的性能表現。對目前要提昇國內製造業水準，加速自動化的進行，進而成為亞太

製造中心的目標；提升我國對電液系統設計、製造及研發的能力，對增強台灣的工業競爭力是相當重要且值得努力的課題。

台灣大學造船及海洋工程研究所自民國 73 年起成立液壓實驗室，即開始對液壓系統的分析、設計及系統的整合控制作系列的研究；從最初的元件分析、簡單系統的控制到目前整合設計及應用，已獲得相當多寶貴的經驗及果。十餘年來本實驗室對電液系統的研究一直持續，且鑑於國內工業發展的需求，也不斷對研究內容及設備作持續的新以符合時代的要求；已有多項的研究成果對業界有相當的助。目前本實驗室有多套電液伺服系統實驗台、自航船模及正在進行的運動模擬機和垂直式負載電液系統實驗台，在往後對電液系統的設計、分析及應用的研究將繼續不輟。

本實驗室近年來對液壓缸驅動力之研究已完成多項理論及實驗的分析；包括各種控制理論的探討、實驗架構的建立、控制器的設計、電腦模擬及實驗驗證。其中對不同理論控制器的設計及分析和實驗架構的設計，已累積充分的經驗及資料。目前針對實際應用上的需要及未來發展的遠景，對液壓缸驅動力的控制，計畫以一年的時間作一完整的研究；以近年來理論和應用都有長足進展的 H-infinity 控制理論為整體分析的基準，設計控制器應用於驅動力的控制[2-5]。鑑於驅動力控制在材料試驗機、結構物減震、船舶減搖及機械手臂控制等應用上的重性，因此對液壓缸驅動力控制的研究有其必要性[7-9]，本計畫針對電液系統液壓缸 H-infinity 控制理論來分析並設計一控制器來從事驅動力

控制之研究。整個研究過程中，有助於參與人員對控制理論和系統更深入的解，提昇分析、設計及研發的能力；同時更以實際可行的方法對系統加以改良，使得在各種應用上更容易達成。所以本研究在學術上及實際應用上都將獲得實質上的成果。

三、結果與討論

1. 系統架構及數學模式

架構如圖 1 所示。

受控系統之方塊圖如圖 2 所示。

2. H-infinity 控制器設計與調適

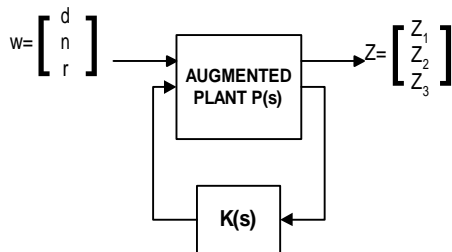


圖 3 廣義化控制方塊圖

廣義的控制系統架構如圖控制系統如圖三所示。

$$H_{\infty} \text{ norm} : \|u\|_{\infty} = \sup_t |u(t)| \quad (1)$$

H-infinity 控制理論即是求得一控制器 K(s) 滿足下列不等式:

$$\|T_{zw}(P, K)\|_{\infty} \leq \gamma \quad (2)$$

求解步驟如下:

- 2.1 確定各個 matrix 的 dimension, 及各個 assumption 是否成立。
- 2.2 求解 Riccati 方程式。
- 2.3 求出 controller gain 及 Estimation gain。
- 2.4 求出所有 K(s)。

以上步驟可經由 MATLAB 的 Robust Control Tool Box 中的各項函數修改而達到要求。

3. 電腦模擬

以 MATLAB 及 SIMULINK 做電腦模擬；以鑑定所得之數學模型分別用 H-infinity 控制器和 PID 控制器做模擬，比較其結果。

其轉移函數為:

$$H(s) = \frac{(s - Z_{31})(s - Z_{32})}{(s - P_{31})(s - P_{32})(s - P_{33})} \quad (3)$$

$$P_{31} = 0.9942, P_{32} = -1.145 + j0.446, P_{33} = -1.145 + j0.446, \\ Z_{31} = 0.3476, Z_{32} = -8.8656$$

由波德圖(Bode diagram) (圖 4) 可知液壓固有頻率約為 3.5 Hz。

其步階響應(step response)如圖 5、6 所示。

其正弦響應(sine response) 如圖 7、8、9、10 所示。

4. 結果與討論

4.1. 由步階響應(圖 5,6)結果可知:在上升時間、超調量及穩定時間上, H-infinity 控制器皆優於 PID 控制器。

4.2 由正弦波響應(圖 7,8)結果可知:H-infinity 控制器在追隨性上有極佳的性能表現。

4.3 由正弦波響應(圖 9,10)結果可知:H-infinity 控制器有極佳的強健性;即使在外擾下,追隨性仍然相當好,響應幾乎和無外擾時相同;幾乎和無干擾時的結果相同。

四、計畫成果自評

- 1.H-infinity 控制可應用在非線性時變系統,同時滿足性能及強健性要求。
- 2.有助於提升電液伺服系統力控制的研究。
- 3.提升研究生對控制理論探討與實務操作的能力。

五、參考文獻

[1] Merrit, H.E., "Hydraulic Control Systems", John Wiley and Sons, 1967
 [2] Yeh, F.B. and Yang, C.D. "Post Modern Control Theory and Design", Eurasia, 1991
 [3] Doyle, J.C., Francis, B.A. and Tannenbaum, A.R. "Feedback Control Theory", Maxwell Macmillan, New York, 1991
 [4] Zbou, K., Doyle, F.C and Glover, K. "Robust and Optimal Control", Prentice Hall, 1996
 [5] Lewis, F.L., Syrmos, V.L. "Optimal Control", John Wiley and Sons, 1995
 [6] 解學書, 鍾宜生 "H 控制理論", 清華大學出版社, 1994
 [7] 陳義男, 謝傳璋, 楊飛龍 "模糊控制器應用在液壓缸驅動力控制", 中國機械工程學會第十屆學術研討會論文集 1993
 [8] Chen, Y.N., Guo, J. "On the Force Control of a Hydraulic Cylinder", 第 26 屆中日精密技術研討會, 日本東京, 1995
 [9] Dunnugan, M.W., Lane, D.M., Clegg, A.C. and Edwards, I. "Hybrid Position/Force Control of a Hydraulic Underwater Manipulator", IEE Proc.-Control Theory Appl., Vol.143, No.2, March 1996
 [10] Jeronimo, C.E. and Muto, T. "Application of Unified Predictive Control (UPC) for an Electro-Hydraulic Servo System", JSME Series C, Vol.38, No. 1, 1995, pp.727-734

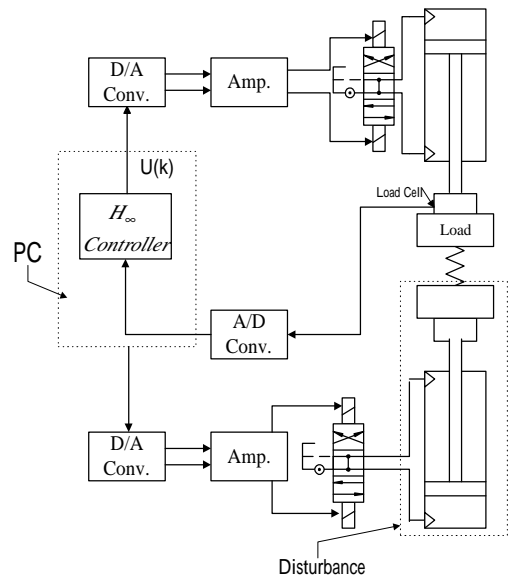


圖 1 系統架構圖
 圖 1 系統架構圖

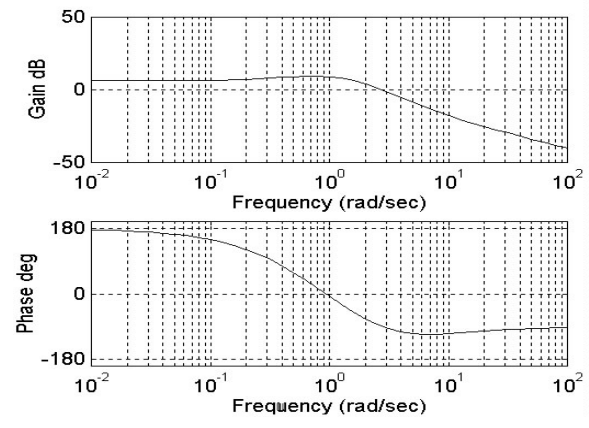


圖 4 波德圖

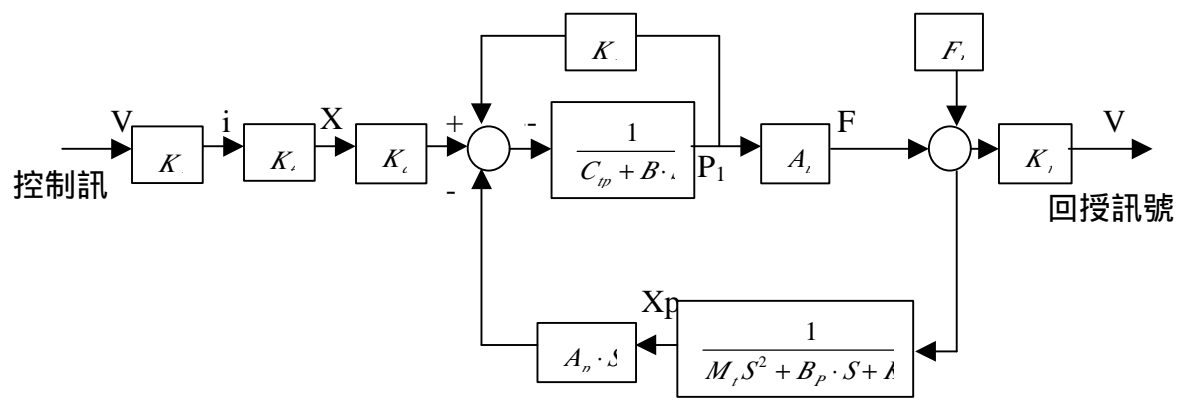


圖 2 系統方塊圖 (圖中 $B = \frac{V_f}{4S_e}$)

圖 6 H-infinity

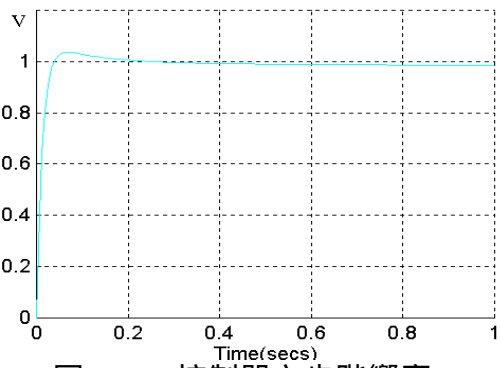


圖 5 PID 控制器之步階響應

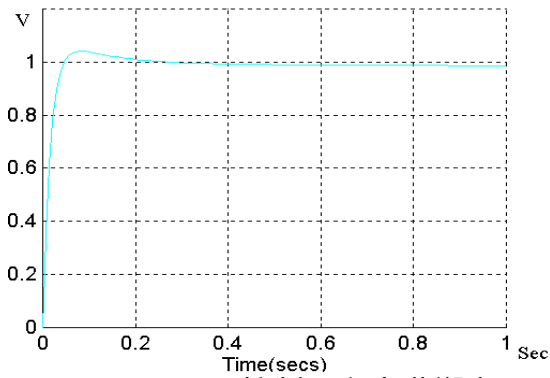


圖 6 H-infinity 控制器之步階響應

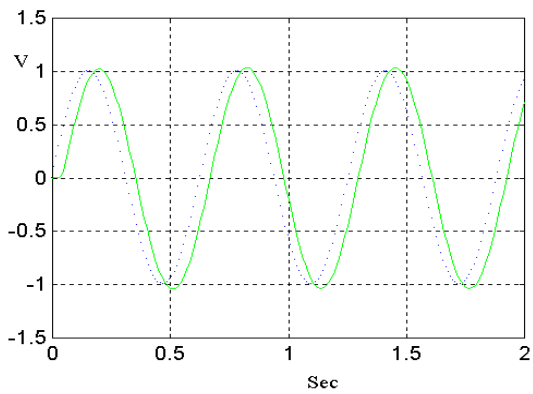


圖 7 PID 控制器正弦波響應

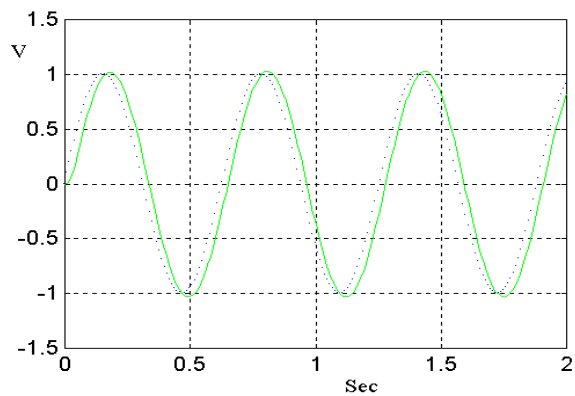


圖 8 H-infinity 控制器之正弦波響應

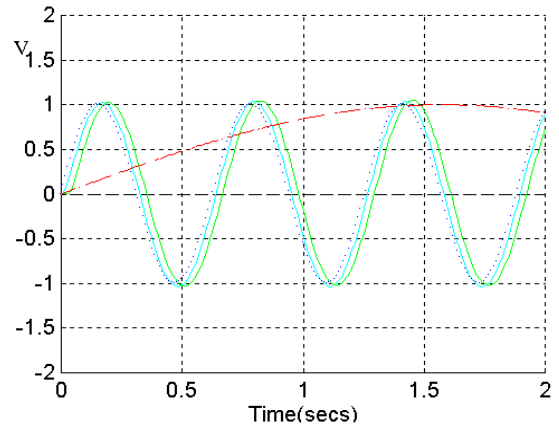


圖 9 PID 控制器正弦波響應(受干擾)

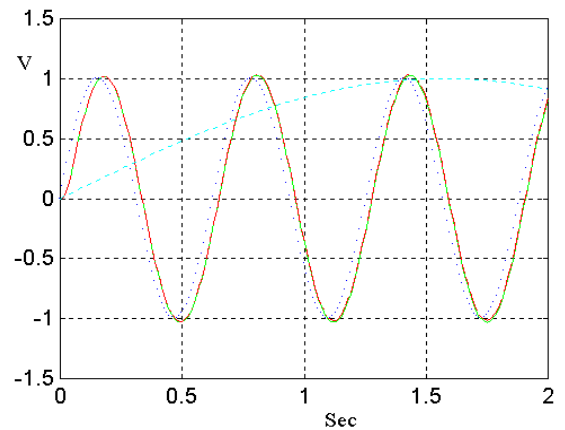


圖 10 H-infinity 控制器之正弦波響應(受干擾)