

液壓動態系統之電腦設計分析

摘要

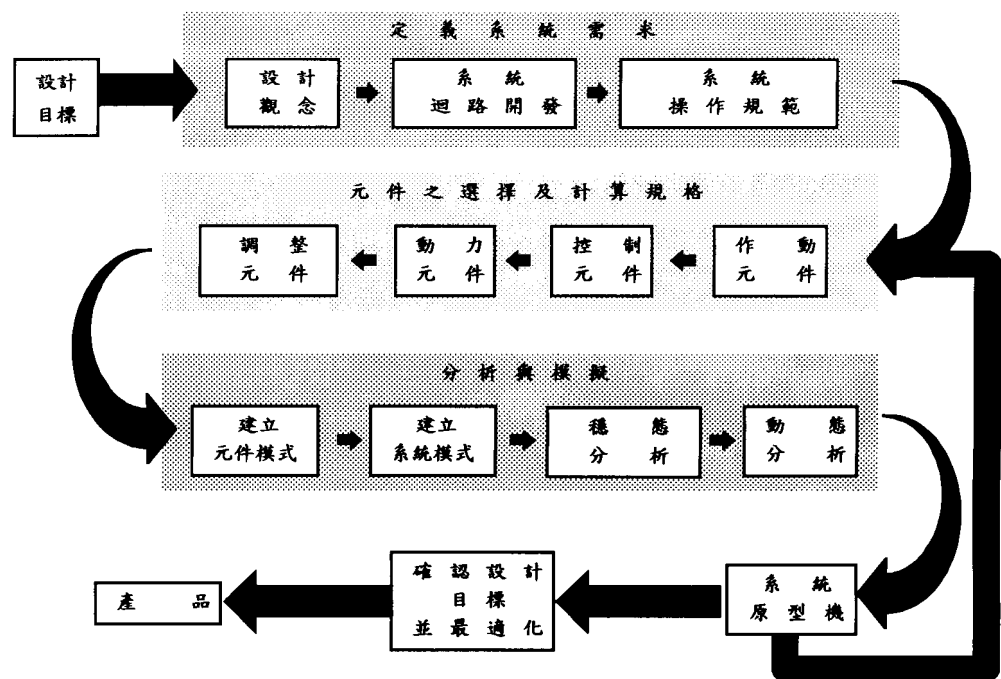
大部份工程系統分析或設計，均需引用多方面之技術。以本文之液壓系統為例，輸入部份是一些原始驅動設備，例如內燃機或電動馬達，而這些原始驅動設備，所產生之速度與轉矩，由液壓元件，如泵及控制流體動力之閥，轉換成為液壓缸之速度與力量，再利用連桿或齒輪連接負載以做功。至於閥之輸入及控制方式可以是電子式、液壓式或手動式操作，而終端輸出有時亦需用儀表、邏輯元件及控制器，構成回饋控制迴路，以達成精確之工作目的。以液壓系統來說，面對多方面之技術，例如機構、流體動力、電子、儀表及控制等，液壓工程師必須精通每一門學問，才能正確的分析或設計液壓系統。如上所述之液壓系統分析及設計，可藉由兩種方法完成，一為在實驗室中建造原型機系統；另一為利用電腦模擬達成設計及分析之目的。但不管是否要建造原型機，想要分析液壓系統從輸入到輸出的整個現象及效能，電腦模擬將是個最省時省力省錢的方法。然而要求每一位液壓工程師，除了對於本身之機械、液壓、氣壓等技術必須熟悉外，還必須具備有電腦語言、程式設計及數學模式化之能力似乎有些苛求，因此一套可以整合機械、電子、流體動力、及控制等元件之軟體，則為液壓工程師進行系統設計分析工作時所必需。

本文將討論如何利用電腦來設計分析液壓動態系統之觀念及技巧，並以實例說明之。在進行電腦模擬分析時，本文採用 HyPneu 軟體為工具。HyPneu 為一套可整合機械、電子、液壓、氣壓、及控制等各類元件於同一系統中之電腦設計分析軟體。本文所提及的案例模擬結果均將詳述於本文。

前言

以應用上來說，液壓系統通常可分為兩類，一類譬如像 Earthmoving Machine，主要的功能只是將動力，順序地傳送到不同的迴路；另一類應用在機器上，此類的應用比較注重速度、精度及穩定度。雖然有些系統可能同時包含上述兩類型並互相配合，但由於篇幅有限，本文僅討論應用於機器上之液壓系統。

圖1 開發液壓系統
設計分析流程圖



當設計液壓系統時，一旦設計目標確立後，液壓工程師即可開始著手設計工作。一般的液壓系統設計分析流程如圖 1 所示。依設計目標及設計觀念的整合，進行系統迴路開發，並訂定系統操作規範，此時系統迴路已初步設計完成。接下來工程師必須進行元件之選擇及規格計算。在以往的設計流程中，工程師依照所選用之元件及規格建造一原型機(Prototype)。系統之效能是

否能達到原來之設計目標與規範，完全靠工程師之設計經驗。如果原型機之效能無法達到設計目標與規範，則必須更改設計並修改原型機。如果修改後，仍無法達到設計目標與規範，則必須一而再，再而三修改。一直修改到完全達到設計目標與規範為止。最後確認設計並進行最適化及推出新產品。如此的設計流程，因省略運用電腦模擬分析確認設計，導致來回修改原型機，既費時、費力又花費金錢。

長久以來，大家都知道運用電腦分析液壓系統，可節省開發液壓產品之時間、人力及金錢。然而，在過去為了有效分析液壓系統，工程師除了對液壓元件特性及系統設計原理要非常熟悉外，還必須是一個數學天才及電腦專家（尤其分析動態現象時）。這也是為什麼液壓系統之電腦模擬分析設計發展如此慢的原因。雖然目前電腦已被廣泛應用，且到處都有個人電腦，但面對液壓系統牽扯多種學科技術（機械、液壓、氣壓、電子、控制）的整合，要進行電腦模擬分析仍是一個非常大的挑戰。

液壓系統之電腦模擬分析之所以有突破，乃在於工程師發現所有液壓系統之現象，都是由流體傳送、儲存及不同形式之能源轉換所表現^{1,2,3}。從這個觀點出發，液壓系統的動態現象如流體或動力的傳輸、不同形式之能源轉換...都可以用數學模式描述。根據元件的功用，可將元件分為能源儲存元件及能源分配元件。更甚至於將能源儲存元件用 A-type 變數及 T-type 變數來描述；能源分配元件則用 D-type 變數來描述。更重要的是我們還發現，這些分析系統元件的觀念完全適用於所有的機械，液壓、氣壓、電子等元件。上述之 A-type 變數意即跨越(Across)元件的變數，例如壓力、速度、電壓等。 T-type 變數意即穿越(Through)元件的變數，例如流量、力、電流等。

至於 D-type 變數則像摩擦、電阻等變數。

液壓系統基本上是由一些元件構成，而這些元件彼此都有交互作用。當每個元件之數學模式都建立後，則整個系統之模式則在於描述每個元件之交互作用。欲正確描述每個元件之交互作用，模式必須遵守兩個原則，相容(Compatibility)和連續(Continuity)。相容應用在 A-type 變數上；連續則應用在 T-type 變數上。也唯有符合相容與連續兩原則，系統才能質能守恆。

本文將討論如何開發液壓元件及系統。雖然本文無法非常深入描述如何建立數學模式及模擬，但提供了如何進行液壓系統之開發及改良方法，並且以實例說明。有關實例之分析結果及模擬數據將於文中刊出討論。

技術背景

由於個人電腦的快速發展，其速度與記憶體容量已足以用來分析大型複雜的液壓系統。在個人電腦普遍被運用的今天，如果在工程師桌上的個人電腦中有一套設計分析液壓系統或元件之軟體，不但可以節省人力、節省時間、節省經費外，對於所設計或分析的系統，將更容易瞭解與分析，當然所設計的內容也將更臻於完美。

一套好的液壓動態模擬分析軟體必須同時可處理液壓、氣壓、熱傳、電子、機械等元件，並提供頻率分析(Frequency Analysis)等功能。另外，軟體的資料庫也必須包含大多數的常用元件，方便工程師直接取用。至於某些特殊元件沒有在資料庫中，亦必須提供可自行在軟體上開發之功能，而開發出之

特殊元件必須可整合入系統中一起進行分析模擬。

由於電腦軟體界面的進步，目前工程設計分析軟體已漸漸朝向視覺化模擬 (Visual Modeling) 的界面。也就是說，工程師只要將代表每一種元件之圖示 (Icons) 從資料庫中取出，並連接成系統迴路，然後再將元件之基本規格輸入，則可進行整個系統之動態模擬計算。

本文引用之液壓動態分析軟體 "HyPneu for Windows" 即具有上述之優點。其資料庫中已具備有基本元件，大約 300 個左右。每個元件都有其個別的圖示 (Icon)、數學模式 (Model)、及元件特性資料表格 (Data Sheet)。工程師僅需將系統的元件從軟體的資料庫中取出，並在每個元件的特性資料表中填入元件規格或特性曲線等基本資料。HyPneu 即可進行整個系統動態模擬分析。

如果用微觀的角度來看液壓元件，其實元件也是用一些細小元件所構成的系統。在尚未真正介紹液壓系統設計之前，筆者先舉一個 2 階伺服閥 (Two-stage Nozzle Flapper Flow Control Servo Valve) 為例，其結構圖如圖 2 所示。此伺服閥中的每個細小組件，均可用 HyPneu 所提供的基本元件組成。利用 HyPneu 之繪製迴路功能，將此伺服閥繪成迴路圖，如圖 3 所示。值得注意的是，Torque Gain、Armature dynamic、和滑桿位置的回饋訊號都包含在迴路中，這些都是用來模擬先導階段 (Pilot Stage) 的作動現象。另外，主滑桿的質量 (Mass) 及阻尼 (Damping) 亦都包含在迴路中。最後必需說明的是，每個元件的資料特性表格必需填入元件的時際規格及特性數據。換句話說，HyPneu 可依據真實的情形去模擬出真實的作動及響應情形。上述之伺服閥模擬之部份結果如圖 4 所示。

圖2 2階伺服閥迴路圖

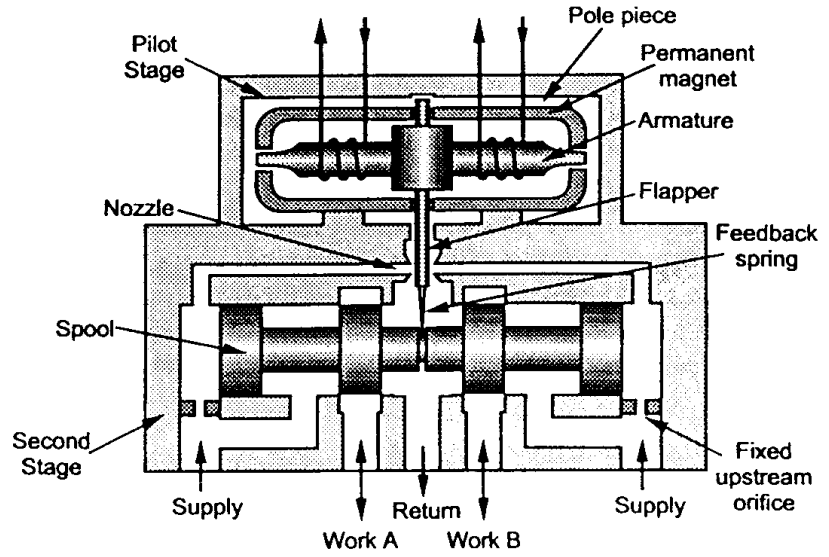


圖3 2階伺服閥迴路圖

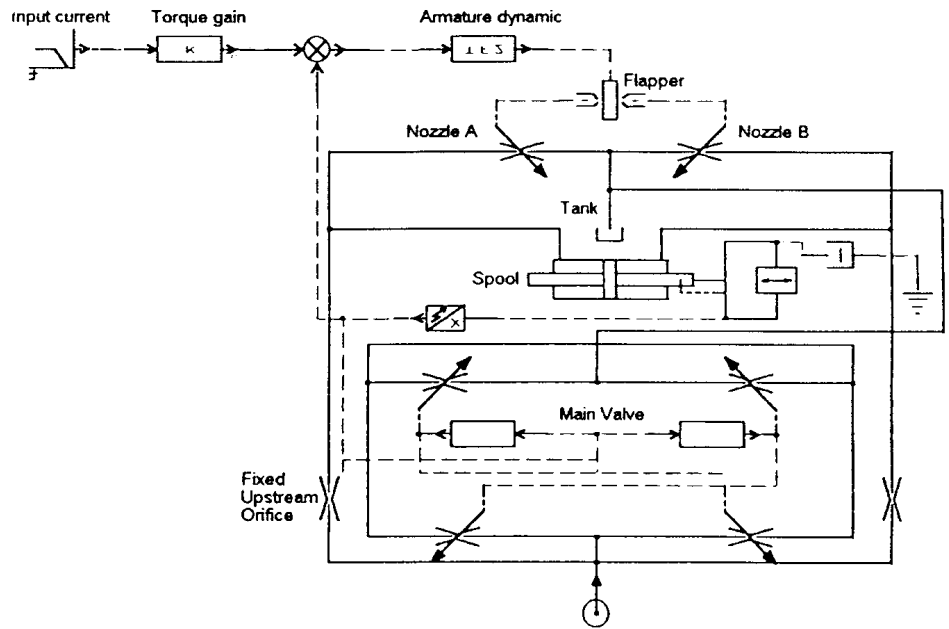
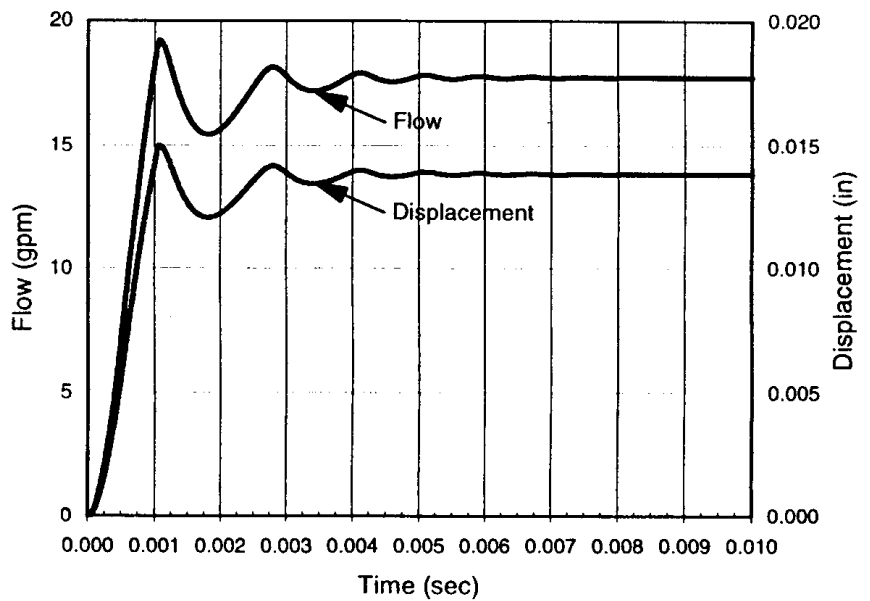


圖4 2階伺服閥動態響應分析圖



液壓系統設計案例

由於 Hypneu 所提供的視覺化模擬功能，將複雜的數學計算置於電腦內部。工程師僅需專心考量自己的系統設計，HyPneu 即能將設計出來的迴路作動情形分析出來，非常方便。本文主要提出設計液壓迴路時，常遇到的幾個問題及其解決方案。為說明方便，本文將以實例說明。

實例一、簡單的液壓缸控制系統

此案例之系統由泵、方向閥和液壓缸組成，如圖 5 所示。此系統雖然簡單，卻應用在大部份的機器上。如果僅就此系統的穩態，進行元件選擇及規格訂定，是件容易的事。但此系統的最主要的問題在動態特性。如果利用 HyPneu 模擬此系統，動態響應情形如圖 6 所示。

此系統中採用中位關閉之方向閥(Closed Center Direction Control Valve)，並且在方向閥與液壓缸間沒有任何其它元件。當方向閥切換到左位時，液壓缸將以最快速度伸出，並推動負載。一但方向閥再度切換到中位時，液壓缸之推桿與負載將因慣性而企圖繼續往前，造成液壓缸內之瞬間高壓。此高壓壓縮流體，流體因無處宣洩而造成反彈，即為水錘效應。由 HyPneu 模擬的結果圖 6 中，可看出水錘效應(液壓缸內壓力變化情形)不但存在，且無法消除。

一般來說，利用液壓缸活塞有些漏(Leakage)可遲滯水錘效應。但讓水錘效應消失，且可預防負載突然巨大改變損壞系統的方法，可採用交叉洩壓閥(Crossover Relief Valves)與 Meter out check valves 的迴路，如圖 7 所示。而其動態模擬結果如圖 8 所示。從圖 8 之結果可看出水錘效應已遲滯且消失，系統在短時間內即可穩定下來。

圖5 液壓缸控制系統
迴路圖

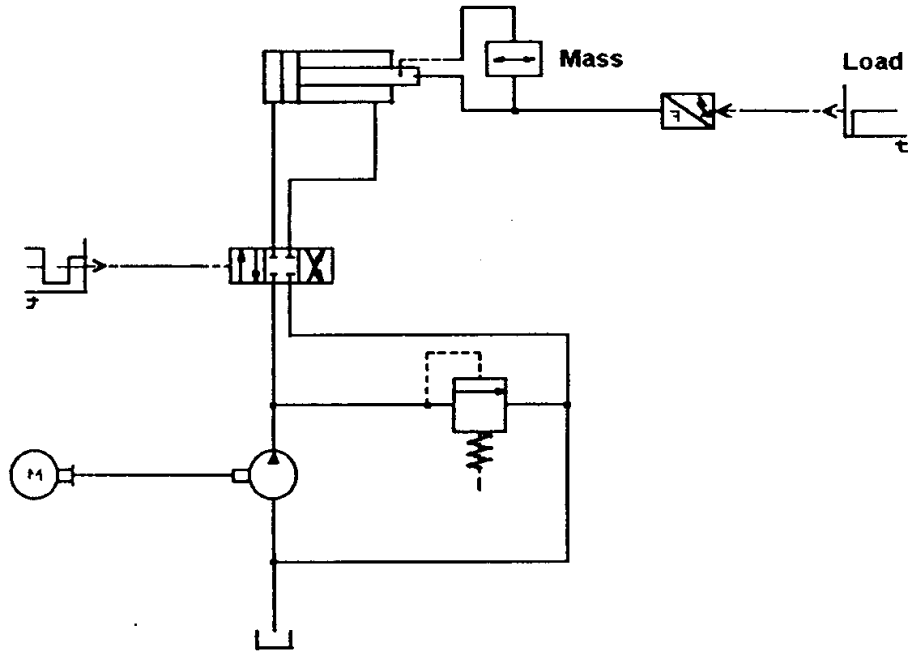


圖6 液壓缸控制系統
動態響應分析圖

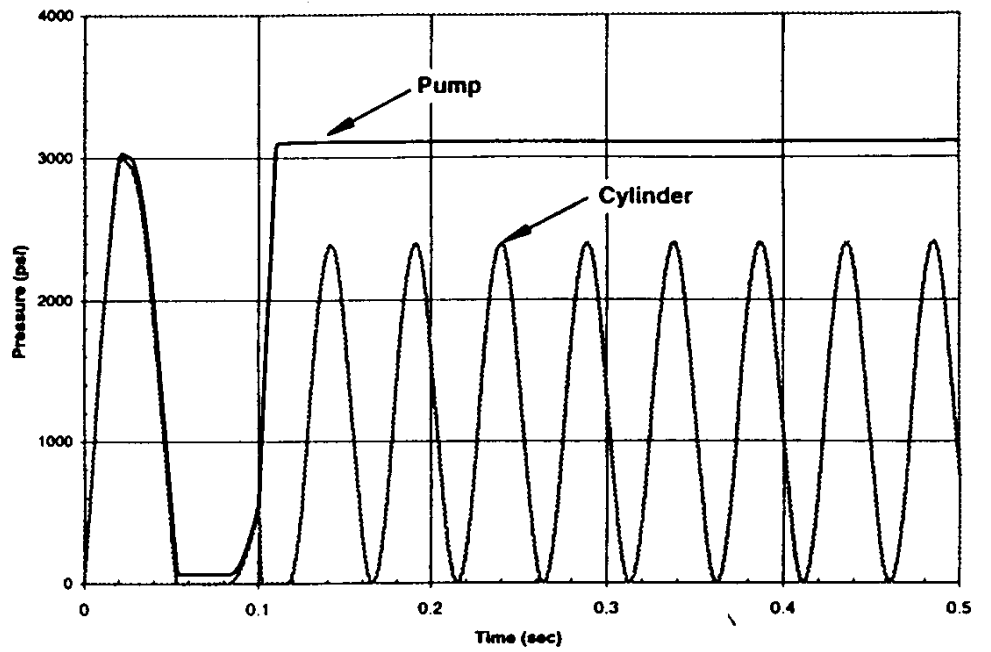


圖7 改良液壓缸控制
系統迴路圖

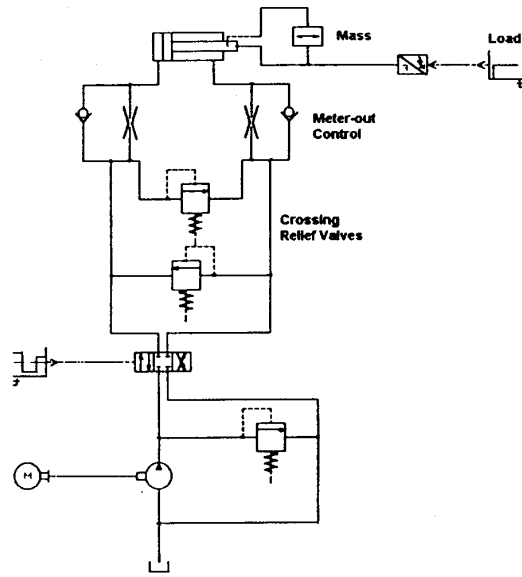
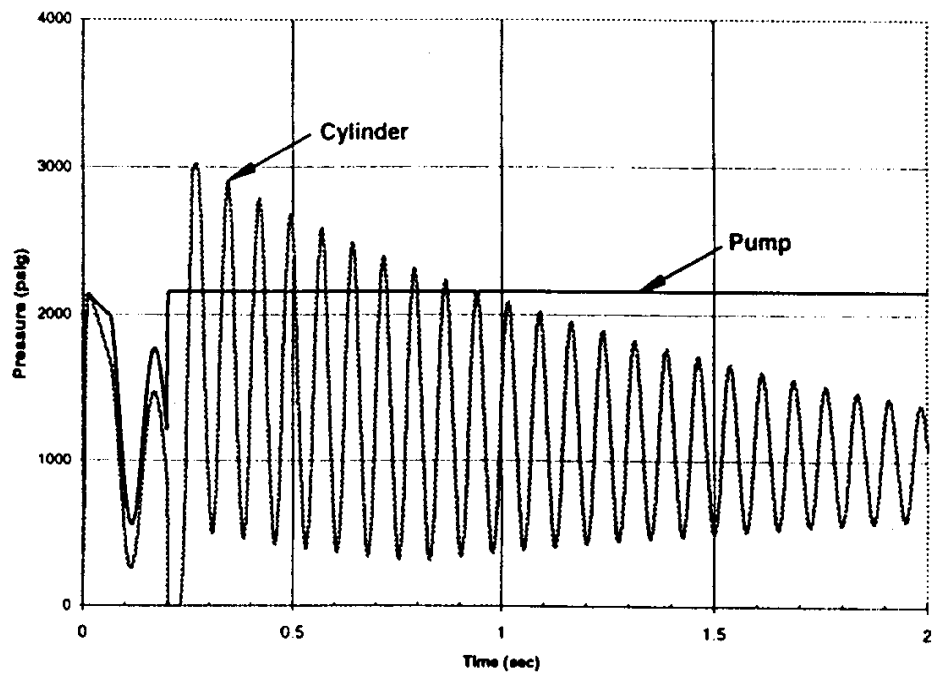


圖8 改良液壓缸控制
系統動態響應分
析圖



實例二、機械臂系統 (Robot System)

機械臂在今日的製造設備上幾乎無所不在。此案例所要介紹的機械臂系統如圖 9 所示，為一簡單之機械臂系統，含有一個樞軸迴路及兩個往復式作動迴路。雖然本系統不能處理太大負載，但由於已含有 Counterbalance Valve 和 Crossover Check Valve 之設計，可避免負載突然巨大改變造成之危害。

此機械臂系統基本上，採用一個壓力補償泵供應流體動力。每個迴路均有致動器位置的回饋訊號，供方向閥進行控制。將整個系統使用 HyPneu 模擬，其動態部份結果如圖 10 所示。圖中表示樞軸致動器之壓力與角位移(Angular Displacement)隨時間之變化情形。當樞軸致動器達到目標位置時，會發生不穩定現象(振動)。雖然本系統有回饋功能，且在液壓缸完全伸出時有微調作用，但 Crossover Check Valves 必需達到 2000 psi 才打開。因此當達到目標位置時，會有過度(Overshoot)的現象。控制系統會再將之調回來。上面曾提到要打開 Crossover Check Valves 必需要 2000 psi，所以一但 Crossover Check Valves 打開，一點點負載即造成液壓缸之快速作動，並且馬上造成矯往過正。也因此一來一回將造成機械臂振動的不穩定現象。

欲解決此類不穩定現象，可將 Crossover Check Valves 去除掉。但去除 Crossover Check Valves 後，如有突然過大的負載時，將造成系統的損壞。因此必需修改迴路設計。以 Pivot Check 取代 Crossover Check 並且使用泵的輸出壓力去作動。此一改良後的迴路，用 HyPneu 模擬其動態結果如圖 12 所示。有圖中可看出 Pivot Angle 及 Pivot Pressure 已不再振動。

圖9 機械臂系統迴路
圖 (使用
Counterbalance
Valves)

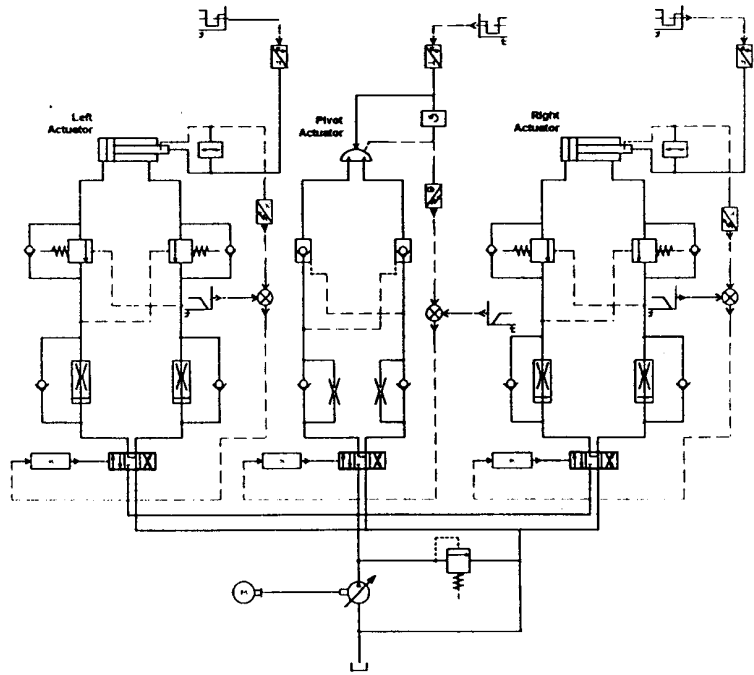


圖10 機械臂系統動態
作動分析圖
(使用
Counterbalance
Valves)

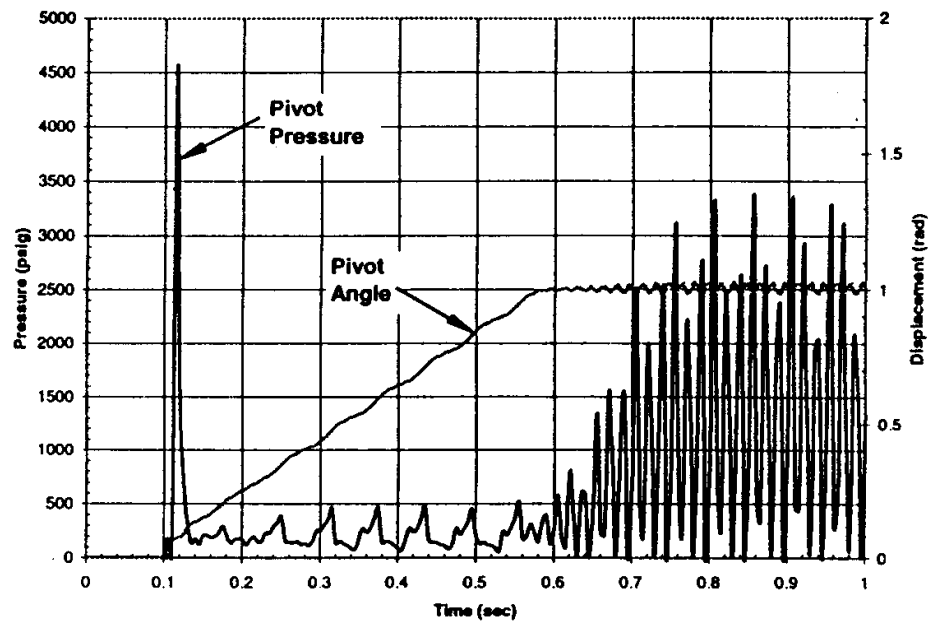


圖11 改良式機械臂
系統迴路圖

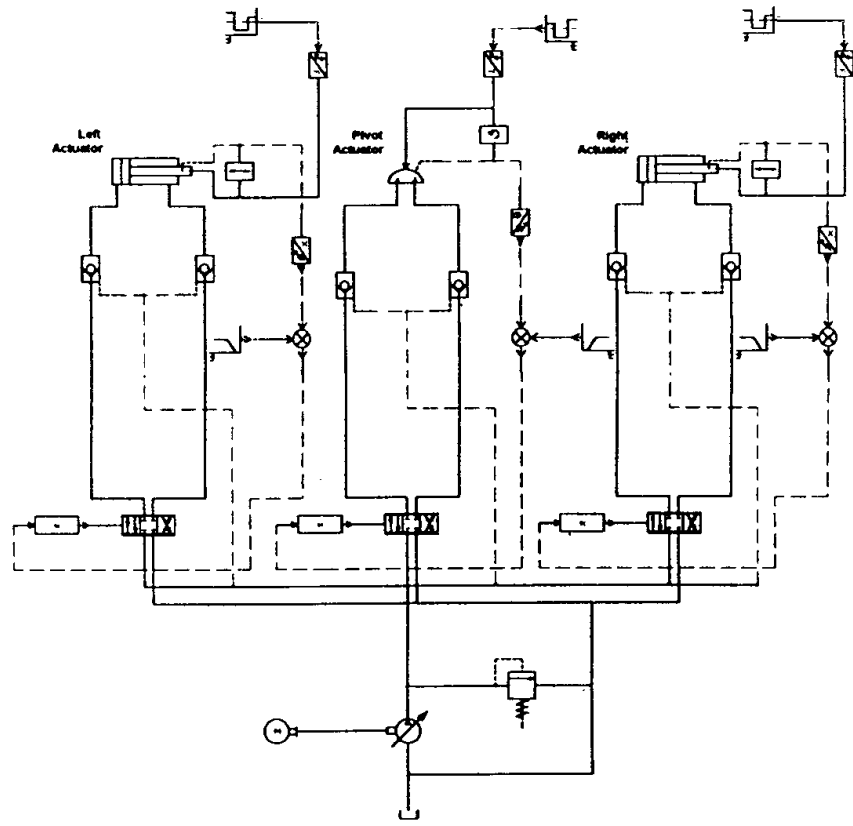
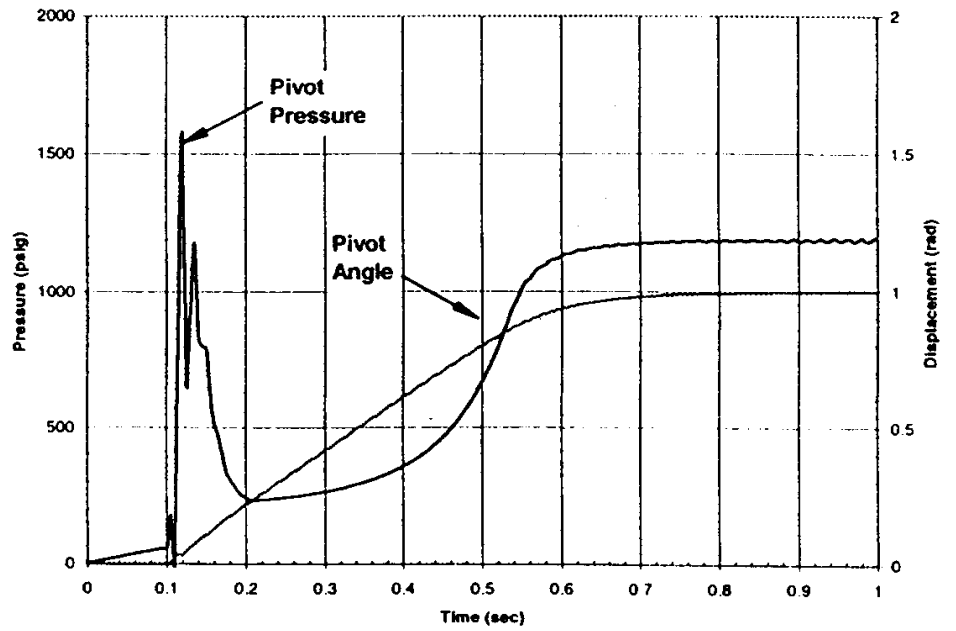


圖12 改良式機械臂
系統動態作動
分析圖



結論

本文主要說明，開發或分析液壓系統時，如果仍然必需經過長期的設計與修改原型機，在未來的競爭中將無法生存。所以儘可能於第一次的設計(建原型機前)便能達到目的地是非常重要的。想一開始即有正確的設計，一套功能強大且方便使用的設計軟體是不可或缺的。HyPneu for Windows 即是一套設計液壓、氣壓、及機械系統非常有效的工具軟體。有 HyPneu 輔助設計，工程師只需考慮系統如何設計，而不需擔心其分析計算的方法。因此工程師便可專心於系統的設計上，讓 HyPneu 分析系統可行性後，則建造原型機，將可功成完美。

Reference

1. Shearer, J. L., T. M. Arthur, and H. H. Richardson, "Introduction to System Dynamics", Addison-Wesley Publishing Co., 1967.
2. Karnopp, D. C., D. L. Margolis, R. C. Rosenberg, "System Dynamics - A Unified Approach", John Wiley & Sons, Inc., 1990.
3. Shearer, J. L., B. T. Kalasskoswki, "Dynamic Modeling and Control of Engineering Systems", MacMillan Publishing Co., 1990.