出國報告(出國類別：進修)

赴美國傑克斯爾大學進修機械工程碩士心得報告

(Drexel University, Master of Science in Mechanical Engineering)

服務機關：國防部軍備局生產製造中心第 205 廠
姓名職稱：詹博竣上尉
派赴國家：美國
報告日期：99 年 4 月 14 日
出國時間：97 年 9 月 27 日至 99 年 4 月 1 日

摘要

本次進修係奉國防部97年8月20日國力培育字第0970003442號令核定赴美國傑克斯爾大學(Drexel University)進修機械工程碩士兩年，自97年9月15日至99年9月14日止，上課地點爲美國賓州費城。職於97年9月27日起程赴美，於二年進修期程結束前，提早於99年3月20日取得碩士學位，並於同年4月1日返抵國門，並於隔日（4月2日）向軍備局第二〇五廠辦理報到手續。本心得報告係以職在美國期間對於進修過程及學習心得等作一報告，報告格式計分目的、過程、心得、建議事項及附件等。

目次

項次	項目	頁次
1	摘要 ……	
2	本文 ……	1
3	壹、目的 ……	1
4	貳、過程 ……	1
5	參、心得 ……	46
6	肆、建議事項 ……	49
7	伍、附件 ……	50

「赴美國傑克斯爾大學進修機械工程碩士」
心得報告

壹、目的:

本次進修係奉國防部97年8月20日國力培育字第0970003442號令核定赴美國傑克斯爾大學(Drexel University)進修機械工程碩士，上課地點爲美國賓州費城。實際進修期程自97年9月27日至99年4月1日止。該校機械系研究方向含括生物科技、機器人控制、微機械、熱傳及燃燒學、動力系統、製程控制及生產等，期間共分爲六個學季，每學季爲期約三個月，總修學分數爲15門課，共計45個學分。

貳、過程:

一、進修學校簡介：

傑克斯爾大學（Drexel University）位於美國賓州（Pennsylvania）的費城（Philadelphia）市內，成立於西元1891年。傑克斯爾大學的前身是傑克斯爾科學、工業、藝術學院（Drexel Institute of Art, Science and Industry），由當時費城著名的金融暨哲學家安東尼・傑克斯爾(Anthony J. Drexel)出資創建。傑克斯爾大學提供有54種學士學位、41種碩士學位及18種博士學位；而這些學位分屬於下列5個學院：文理學院（College of Art and Science）、商學暨管理學院(College of Business and Administration)、設計學院(College of Design Art)、醫學院（College of Medicine）、護理學院(College of Nursing and Health)、生醫工程學院(School of Biomedical Engineering)、教育學院(School of Education)、工程學院(College of Engineering)以及資訊工程學院(College of Information and technology)。而在費城僅有賓州大學(University of Pennsylvania) 以及傑克斯爾大學獲得美國新聞與世界報導評鑑爲全美最佳的國家級學術大學之殊榮；另依據該份報導，傑克斯爾大學的圖書館名列全美前10大、建教合作計劃排名第2、無線上網率全美第一，故該校的進步程度可見一般。

傑克斯爾大學在創立之初，所抱持的教學信念即是提供務實的藝術與科學教育，因此該校相當注重學生的實際工作以及實際動手的經驗。遂該校是美國第一所實行學生校外實習工讀計劃課程的學校，該課程實際結合理論與實務經驗，並讓學

生們在畢業之後，能因在學期間的建教合作機會，而獲得良好的就業機會。

二、進修狀況：

職奉令進修之機械系其研究方向含括生物科技、機器人控制、微機械、熱傳及燃燒學、動力系統、製程控制及生產等，期間共分爲六個學季，每學季爲期約三個月，總修學分數爲 15 門課 45 個學分。該系教學目標係希望透過教職員的研究、教學及學生交流討論等，持續獲得後續新興產業的基礎知識並加以整理萃取後，使學生能充分學習並了解並能於後續工作上能即時運用；並與業界合作並確立主要研究方向，成立相關建教合作方案，使學生能實際參與、瞭解業界實際運作模式並確保學以致用。全部課程分爲工程數學應用（Application of Engineering Mathematics）、強健性控制一二三（Robust Control Theory Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ）、非線性控制理論一二（Nonlinear Control Theory Ⅰ、Ⅱ）、彈性力學一二（Theory of Elasticity Ⅰ、Ⅱ）、製造流程一二（Manufacturing Process Ⅰ、Ⅱ）、電漿應用（Application of Plasma）、工程管理一（Engineering Management Ⅰ）及獨立研究（Independent Study&Research）等，重點說明如后：

（一）工程數學應用（Application of Engineering Mathematics）：

本課程分秋季班、冬季班及春季班等三個學季，其中含括：一階微分方程、二階微分方程、高階微分方程、矩陣、向量、偏微分、數值方法應用、拉普拉斯方程式、複利葉方程式等相關課程，教學方式爲以實際案例爲藍圖，教導學生如何將所得資料轉化爲數學模式，繼而獲取期望數值，以能實際將數學原理應用於工程內各門學科。

（二）強健性控制一二三（Robust Control Theory Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ）：

本課程爲連續課程，其目的爲介紹近年來以頻率定義的多變數控制系統。這新式的控制設計方式，使我們非常容易控制不確定因子，並瞭解以時間定義的多變數控制系統的一般控制指令。爲利學習，本課程主要以課程內所教授之方法，實際採電腦程式寫作方式進行。課程主要內容含括：線性空間及線性因子、代數介紹、穩定控制器的架構、控制問題轉化爲公式的方法、漢克爾（Hankel）近似法應用、多變數控制穩態化及強力穩態化等方面。強健性控制三除延續前述觀念外，再新增不確定因子控制法、非線性控制及線性矩陣不等式、單輸入單輸出滑動模式控制、多輸入多輸出滑動模式控制、非線性控制狀態回授、非線性控制輸出回授、非線性控制之應用等。

在課程中，職與其他兩位美國同學應用課程所學，嘗試設計一個最佳控制器去控制伺服-從動馬達系統中從動馬達之位置，希望從動馬達能夠跟上伺服馬達的輸入指定位置。此伺服-從動馬達包含兩個相同的直流馬達。使用者必須旋轉伺服馬達的軸到期望的角度，然後控制從動馬達到達期望的角度。所以，設計出的控制系統必須能夠調整從動馬達的輸入電壓，藉以控制從動馬達到達期望的角度。首先，依據牛頓定律（角動量變化等於力矩之和），建立方程式（1）；依據克爾夫電壓定律（供應電壓必須等於通過電流的電壓差），建立方程式（2），則馬達的狀態空間（State Space）模式如下：

$$J\frac{d^2\theta}{dt^2}=K_t i-b\frac{d\theta}{dt} \tag{1}$$

$$e=Ri+L\frac{di}{dt}+K_b\frac{d\theta}{dt} \tag{2}$$

經重新整理後，方程式（1）（2）依序變爲（3）（4）：

$$\frac{d^2\theta}{dt^2}=\frac{1}{J}\left(K_t i-b\frac{d\theta}{dt}\right) \tag{3}$$

$$\frac{di}{dt}=\frac{1}{L}\left(e-K_b\frac{d\theta}{dt}-Ri\right) \tag{4}$$

如此，狀態空間可變更爲以下三種狀態：

$$x=\begin{bmatrix} x_1=\theta \\ x_2=\dfrac{d\theta}{dt} \\ x_3=i \end{bmatrix} \tag{5}$$

因此，線性時間不變系統則可變成方程式（6）之狀態空間，而在方程式（7）的C矩陣中，我們則設定爲從動伺服馬達轉動的角度θ。

$$\dot{x}=\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & -\dfrac{b}{J} & \dfrac{K_t}{J} \\ 0 & -\dfrac{K_b}{L} & -\dfrac{R}{L} \end{bmatrix}x+\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dfrac{1}{L} \end{bmatrix}e \tag{6}$$

$$y=\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}+\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \tag{7}$$

閉迴圈系統則如圖1所示，伺服馬達位置爲輸入訊號。理想控制器K則採用迴路整型法設計。首先，必須將控制問題由馬達的之狀態空間表示法轉變爲

開放迴圈轉化方程式 G。則馬達的轉移方程式爲方程式（8）。G（s）的響應則如圖 2。

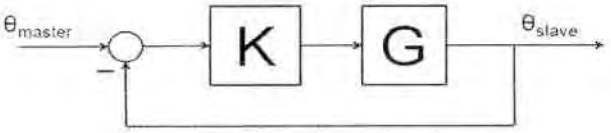

圖 1

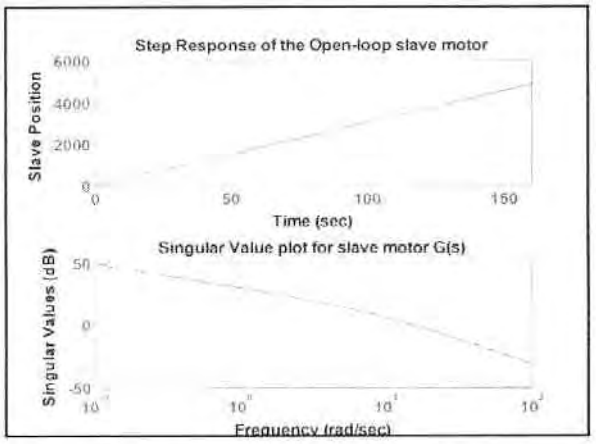

圖 2 從動馬達的動態響應

$$G(s)=\frac{6092000}{s^3+23334s^2+201200s} \tag{8}$$

由圖 2 中，可獲知從動馬達的位置將因輸入電壓隨著時間增加。爲了易於控制軟體設計及運算，必須找出最接近實際開放迴圈轉化方程式 G 的方程式 $G_{desired}$：

$$G_{desired}=\frac{800}{(s+4)(s+0.008)} \tag{9}$$

由圖 3 可知，方程式 $G_{desired}$ 相當接近實際開放迴圈轉化方程式 G。

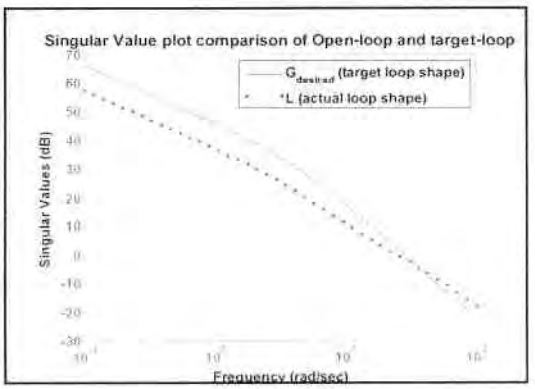

圖 3 原始與期望方程式 G 比較圖

而在Matlab程式中，使用”loopsyn”指令，將自動找出一個H-infinity控制器K，然後在依序使用下列方程式及指令(10)-(13)，將得到Sensitivity function S，此方程式是用於後續漢克爾奇異值（Hankel singular value）分析，藉以確認迴路整型法是正確的。

$$L = GK \tag{10}$$

$$T = L(1+L)^{-1} \tag{11}$$

$$T = feedback(L,1); \tag{12}$$

$$S = (1+L)^{-1} \tag{13}$$

由圖4 漢克爾奇異值（Hankel singular value）分析法獲知，理想控制器幾乎可以降階到第6階控制器。圖5則是降階第6階控制器K_r與控制器K的比較，其中兩者的誤差極小。

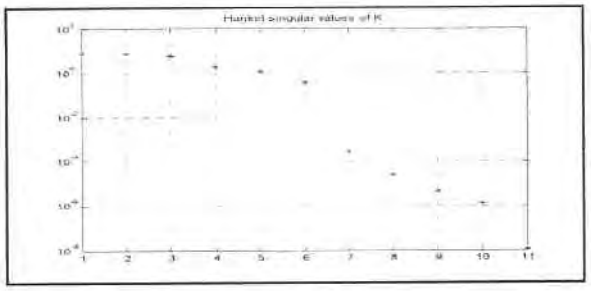

圖 4 控制器K的漢克爾奇異值（Hankel singular value）分析

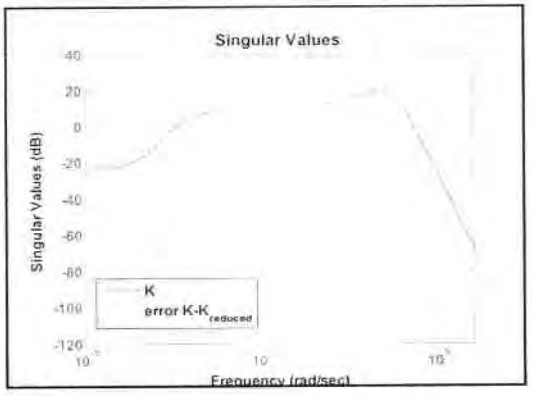

圖 5 控制器與降階控制器之誤差

接下來採用”sigma”指令依序畫出$\frac{1}{s}$、T、$T_{reduces}$、$G_{reduces}$以及L的奇異值（Singular value）如圖6，由SV頻率響應獲知，補償開放迴圈（compensated

open-loop）L 在低頻率時，因爲$\sigma(L)$與$\sigma\left(\frac{1}{s}\right)$的軌跡相當接近，因此有較佳的性能；而在高頻率時，因爲$\sigma(L)$與$\sigma(T)$的軌跡相當接近，則有較佳的強健性控制。

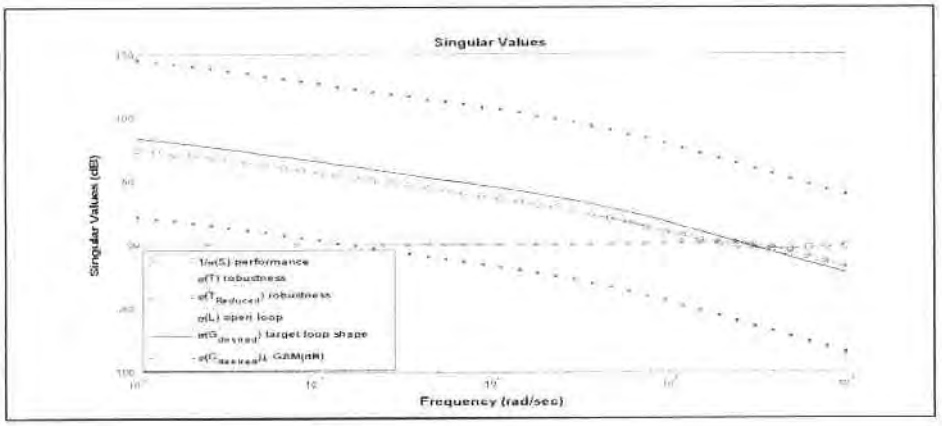

圖 6 Sigma 頻率響應圖

由圖 7 可知，在沒有理想控制器的情況下，階段響應的結果是非常不佳的。其顛峰時間（Peak-time）爲 0.202 秒，最大超越量（overshoot）的百分比爲 42%。如果採用K控制器控制第 11 階的閉迴路系統T，則將顛峰時間（Peak-time）降爲 0.116 秒，最大超越量（overshoot）的百分比爲 24.5%。降階第 6 階的閉迴路系統 $T_{reduced}$ 與第 11 階的閉迴路系統 T 其響應差異不大。因此，採用漢克爾奇異值（Hankel singular value）分析法設計的控制器 K_r 可取代原控制器 K。透過迴路整型法的控制，從動馬達的性能與反應時間將比原先更佳。

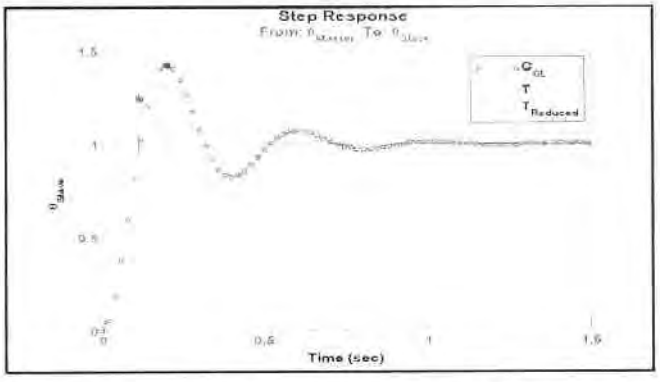

圖 7 經控制系統與無控制系統之響應圖

從圖 8 中，我們知道 L 與 $L_{reduced}$ 系統的頻率響應幾乎一樣，甚至我們將控制器由第 11 階降爲第 6 階，其結果也幾乎一樣。其增益邊限（Gain Margin）在

1.59e+003 rad/sec 時爲 59.8dB，相位邊限（Phase Margin）在 25.2 rad/sec 時爲 50.2°。爲了確認閉迴路系統的穩定性，繪製了 L 與 $L_{reduced}$ 系統的奈奎斯特圖如圖 9，從圖 9 中得知，開迴圈的極點數爲 0，也沒有經過（-1,j0）點，所以此閉迴路系統是穩定的。

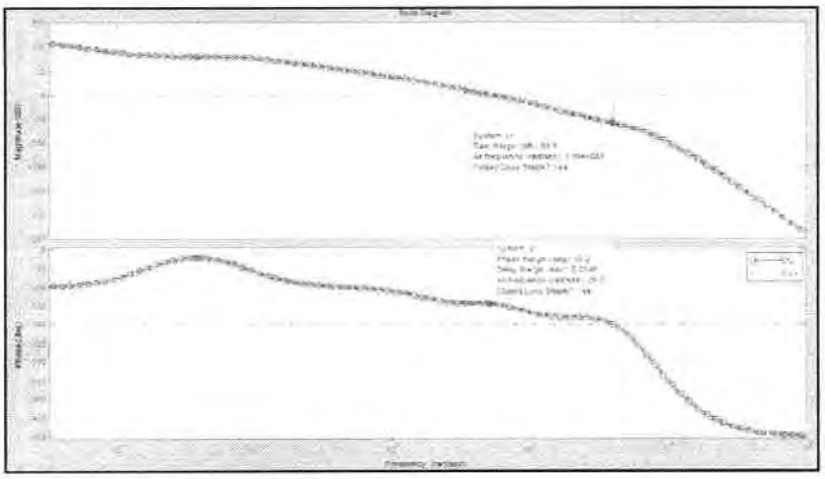

圖 8 補償 L 與 $L_{reduced}$ 系統的頻續響應比較圖

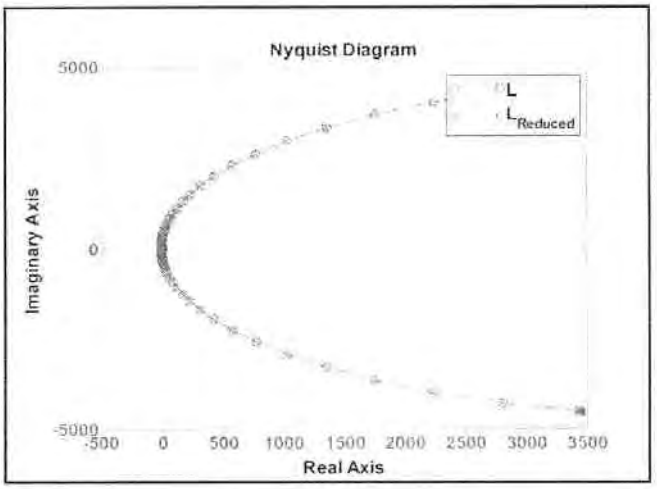

圖 9 L 與 $L_{reduced}$ 系統的奈奎斯特圖

延續前述假設，再加入平衡截斷近似法（Balanced Truncation Approximated）與平衡隨機截斷近似法(Balanced Stochastic Truncation Approximated)兩種分析法找出較佳控制器。因此我們可以採用 Matlab 軟體中內建的指令，進行各個方法的控制器設計。

$$K_{HR} = reduce(K,6',algorithm','hankel'); \quad (14)$$

$$K_{BTA} = reduce(K,6',algorithm','balance'); \quad (15)$$

$$K_{BSTA} = reduce(K,6',algorithm','bst'); \quad (16)$$

由圖 10 中獲知，無論採用三種分析法的哪一種，其設計的出的第 6 階控制器都非常接近原本的第 11 階控制器。並且無論是在高頻率或是低頻率的狀況下，三種方法的降階控制器與原控制器均非常類似，這意味者這三種降階控制器非常接近原控制器的性能。

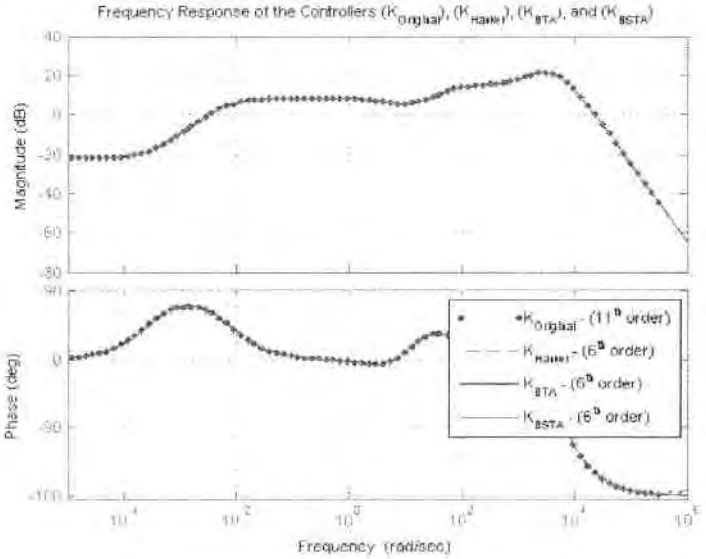

圖 10 原控制器與其他三種降階控制器的波德圖比較

由圖 11 得知，在時域行爲（Time-domain Performance）下因爲所有降階控制器都遵循控制法則且隨時間的增加而趨近於 0，因此他們都是理想控制器。

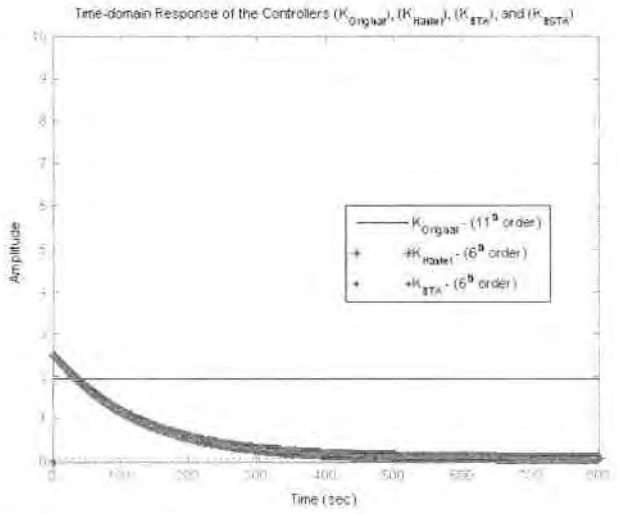

圖 11 在時域行爲下，三種降階控制器與原控制器的比較

K、K_{HR}、K_{BTA}、K_{BSTA}的誤差則如圖 12 所示非常的微小，所以任一降階控制器皆能用來設計整個閉迴路系統。另爲了分析迴圈有無遵循頻譜的軌跡運作，我們繪製了$\frac{1}{s}, T, T_{HR}, T_{BTA}, T_{BSTA}, G_{desired}$以及 L 在頻率每秒 0.01 到 100 徑度下的奇異值圖表如圖 13，圖表中顯示因爲$\sigma(L)$與$\sigma\left(\frac{1}{s}\right)$的軌跡相當接近，因此在低頻率時有較佳的性能；因爲$\sigma(L)$與$\sigma(T)$的軌跡相當接近，在高頻率時則有較佳的強健性控制。

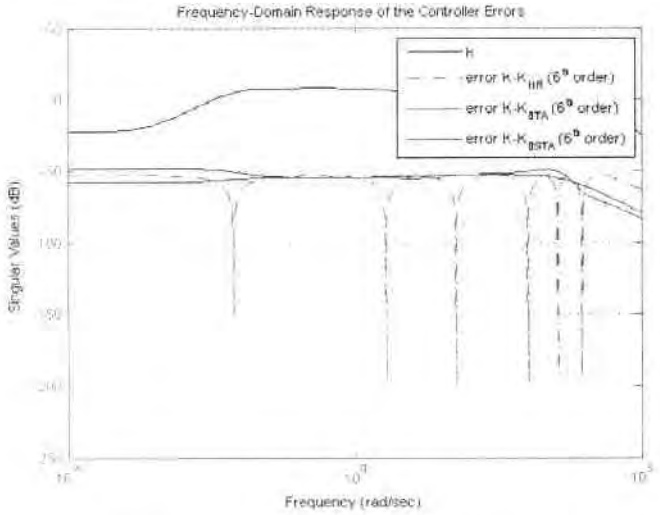

圖 12 原控制器與降階控制器的奇異值誤差

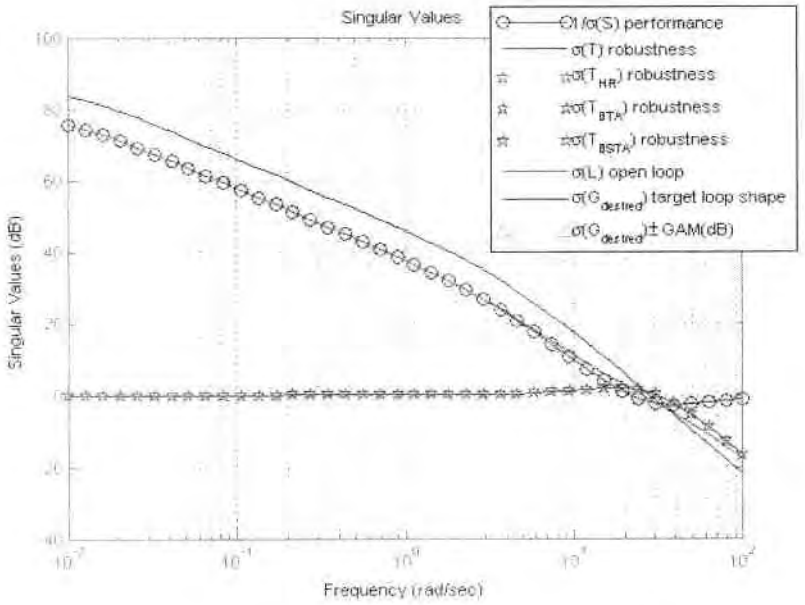

圖 13 Sigma 頻率響應圖

爲決定閉迴路系統的穩定性，我們繪製了 $L, L_{HR}, L_{BTA}, L_{BSTA}$ 等之奈奎斯特圖（如圖 14）。沒有不穩定的開迴圈極點，也沒有經過（-1,j0）點，所以 $T, T_{HR}, T_{BTA}, T_{BSTA}$ 閉迴路系統是穩定的。

圖 14 所有補償迴路系統之奈奎斯特圖

爲了比較 $L, L_{HR}, L_{BTA}, L_{BSTA}$ 補償系統的頻率響應，亦繪製了波德圖（圖 15），圖中顯示即使控制器由第 11 階降爲第 6 階，所有補償系統的頻率響應還是幾乎一樣的。其增益邊限（Gain Margin）在 1590 rad/sec 時爲 59.8dB，相位邊限（Phase Margin）在 25.3 rad/sec 時爲 50.2°。

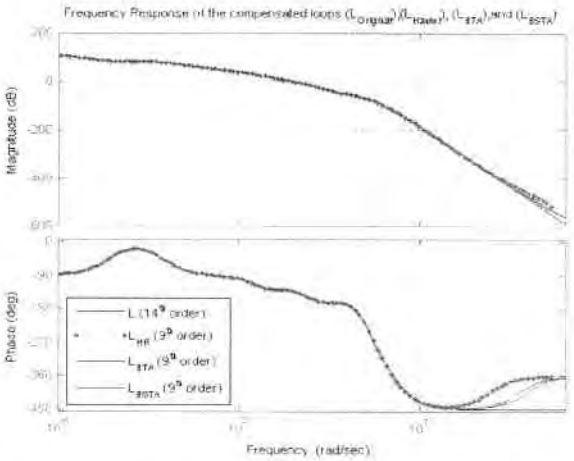

圖 15 $L, L_{HR}, L_{BTA}, L_{BSTA}$ 等補償系統波德圖

在頻域中，近似閉迴圈系統與原閉迴圈系統相當接近（如圖 16）。則其他三個降階控制器中，採用漢克爾奇異值設計的控制器是三個控制器中，第一個能隨頻率的增加而能跟上其改變幅度的控制器。其餘兩個採用平衡截斷近似法與平衡隨機截斷近似法設計的控制器則在高頻率時，有明顯的不同，而平衡隨機截斷近似法設計的控制器似乎又比平衡截斷近似法設計的控制器靈敏度更佳。然在 10^{0} 到 10^{3}Hz 區間，則採用平衡截斷近似法與平衡隨機截斷近似法設計的控制器比採用漢克爾奇異值設計的控制器爲佳。

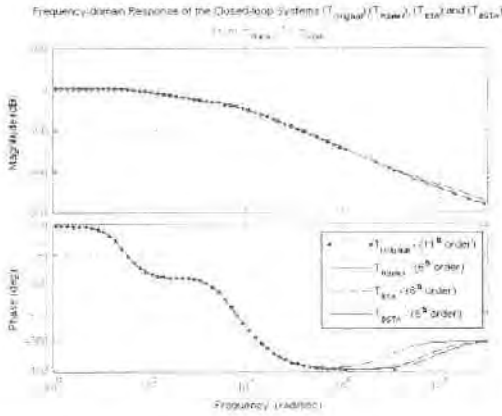

圖 16 在頻域下原閉迴圈系統與其他降階閉迴圈系統比較圖

再來比較各控制器在伺服馬達輸入角度爲 1 度時的響應如何，由圖 17 得知，閉迴圈系統 G_{CL} 在控制器 K=1 時，其顛峰時間（Peak-time）爲 0.194 秒，最大超越量（overshoot）的百分比爲 41.7% 。而採用 K、K_{HANKEL}、K_{BTA}、K_{BSTA}等控制器的第 14 階閉迴圈系統 $T_{Original}$（原系統）、第 9 階降階 T_{HANKEL}、T_{BTA}、T_{BSTA} 閉迴圈系統，其顛峰值與最大超越值百分比等均明顯下降。例如：$T_{Original}$ 顛峰值降爲 0.116 秒與最大超越值百分比降爲 23.5% 。

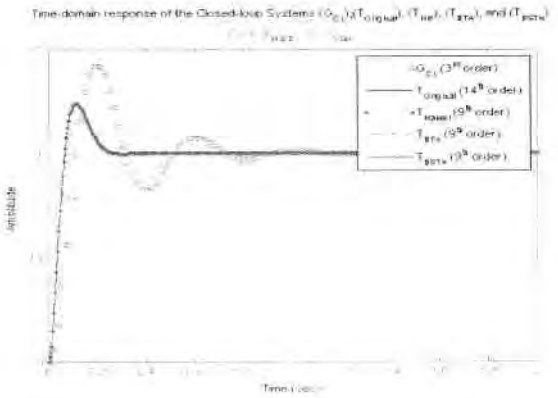

圖 17 控制及未控制系統之響應圖

經過前述的分析，三種降階控制器並未犧牲閉迴路性能。以平衡截斷近似法與平衡隨機截斷近似法設計出的控制器在各種頻率下擁有較佳的性能，無論高頻率或是低頻率都不會犧牲整體系統的性能，兩者都能使從動馬達的位置軌跡更具強健性控制。雖然降階法之間的差距甚微，仍以平衡隨機截斷近似法設計出的控制器最佳。

（三）非線性控制理論一二（Nonlinear Control Theory Ⅰ、Ⅱ）：

本課程爲連續課程，係教導學生瞭解近代控制理論中，對於非線性系統的分析與控制方法，強化非線性控制基本原理之知識與其後續在工程中的應用。課程內容主要含括非線性控制介紹、相平面分析、平衡點的種類、穩定性的定義、李雅普諾夫（Lyapunov）方程式介紹、描述函數分析、非線性系統的可控性及可觀性、回授線性化等。

（四）彈性力學一二（Theory of Elasticity Ⅰ、Ⅱ）：

本課程爲連續課程，課程內容含括：卡式座標張量介紹、應力分析、應變分析、應力與應變關係曲線分析、彈性力學方程式運用、棱形柱分析(分延伸、扭力及彎曲等三部份)、卡式座標內之二維彈性力學問題分析、極座標內之二維彈性力學問題分析、變數微積分於彈性力學之應用、彈性力學之變數法則等。

（五）製造流程　二（Manufacturing Process Ⅰ、Ⅱ）：

製造流程一係介紹基礎製造流程技術以及金屬與塑膠機械性質，教學方法係採用上課教授與實驗雙頭進行，課程內容主要含括：精度與公差、表面處理技術、製程產品管理、金屬鑄造、金屬切削程序、CNC程式寫作與金屬加工等製程，並內含機械工廠實習以及車銑床實際操作、CNC程式撰寫與操作、射出成形模擬與實習等三項實驗。製造流程二係介紹目前使用之各先進製程技術，課程內容主要含括：同步工程、反向工程、電腦整合製造系統、金屬薄膜成形製程、研磨及放電加工技術、微機電系統製造、粉末冶金等，並內含同步工程及反向工程、放電加工程式撰寫與實際操作、自動3D量測可程式控制精密儀器操作等三項實驗。

1．實驗工廠介紹及車銑床實際操作：

藉由此次實驗，實際了解現今一般機具的使用與效益，並瞭解於工廠中應注意的安全事項與程序，最後藉實際操作機具瞭解工具及產品產出的程序及詳細步驟，如此將有助於爾後從事產品設計研發等方面知識，避免

與實際加工面有所脫節。

2. CNC 程式撰寫與機具操作：

因僅能使用 0.25" 鑽頭、0.5" 端銑刀及 0.25" 端銑刀加工 8" x3" x0.5" 鋁合金材料，首先使用 Solid Works 將欲加工的藍圖繪出(如圖 18)，然後撰寫 CNC 程式到實驗工廠實際操作。至實驗工廠後，依序安裝刀具及加工材料並進行機具校正，俟機具校正完畢後，即輸入欲加工之 CNC 程式並進行程式模擬，確認在後續實際加工時，是否有未知的情況發生。俟模擬結束後，確認無誤後，即實際加工。在此次實驗中，發現幾個嚴重的錯誤，例如使用 G0 代替 G1 導致加工速度相當緩慢、圓切削半徑程式設定錯誤、圓切削端點設定錯誤、切削深度設定錯誤、切削刀具選定錯誤等，這些在程式模擬階段就已經發現了，我們依據表 1 的指令再重新修正 CNC 程式後，即獲得與原先藍圖相同之產品(圖 19)。因此由此實驗中了解後續在設計藍圖時，加工參數與特性必須就必須考慮進去，另外刀具選擇及材料安裝等事項亦是列入考慮的事項。這些事項都不能在課堂教授時提及，唯有實際操作並深入了解才能明瞭。

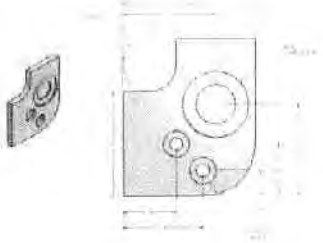

圖 18 零件圖

G Code	Function	Description
G0	rapid motion	linearly interpolate to destination point (X,Y,Z) at maximum feed rate
G1	linear interpolation	linear interpolation to (X,Y,Z) as above but at specified feed rate F
G2,G3	arc	clockwise/counterclockwise circular interpolation from current point to destination point (X,Y,Z) with a given radius R, up to 180 deg
G40	cancel tool offset	cancel any tool length offset programmed
	Setup codes	
M0 M1 M2	Program stop	stop program (M0 is usually an optional stop)
M3 M4	Spindle	turn spindle on clockwise or counterclockwise
M5	Spindle stop	shut off spindle
M6	Tool change	pause the program and pick tool "T" specified
M7 M8	coolant	Turn on mist / flood coolant
M9	coolant shut-off	turn off either coolant stream
G80	cancel modal motion	cancels and exits any modal motion for the canned cycles
G90	absolute coordinates	All points are specified as absolute

表 1 CNC 重要指令表

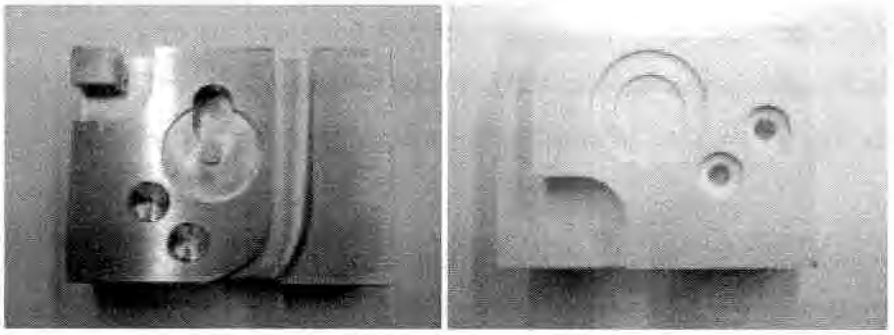

圖 19 CNC 程式修正前後產品對照

3. 射出成形機操作：

射出成形係製造熱塑或熱固性塑膠相關零件之製造程序。其主要原理係把加熱過後的塑膠射入模型中，待其冷卻後，再行取出，其模型材質通常由鋼或是鋁製作。射出成形廣泛的使用在製造各式零件，從小型的配件到整個船的船體都有。因爲低成本以及各種形狀的特性，所以工業界均廣泛的使用。其關鍵技術部分爲：是否採用柱狀或螺旋狀推進、材料之選用、低成本高產能的要求以及周邊產品缺陷的排除等，均至爲重要。其加工程序爲（如圖 20）：

(1)螺桿旋轉促使顆料狀塑料進入料斗。

(2)藉由塑料和螺桿之摩擦作用及加熱環加熱，促使塑料融化。

(3)塑料充滿儲料區，完成充填之準備。

(4)螺桿前進，迫使塑料進入模穴。

(5)塑料在模穴進行充填過程中，其射出壓力隨著成型過程增加，此爲流率控度階段。

(6)更多塑料進入模穴以防止產品收縮變形，此爲壓力控制階段。

(7)塑料不再充填，產品開始冷卻固化，此爲冷卻階段。

(8)螺桿鬆退以進行下一週期成型準備。

(9)當產品固化到足以頂出強度時，射出成型機台之頂出單元便行頂出。

(10)頂出後便進行閉模動作，爲下一週期準備。

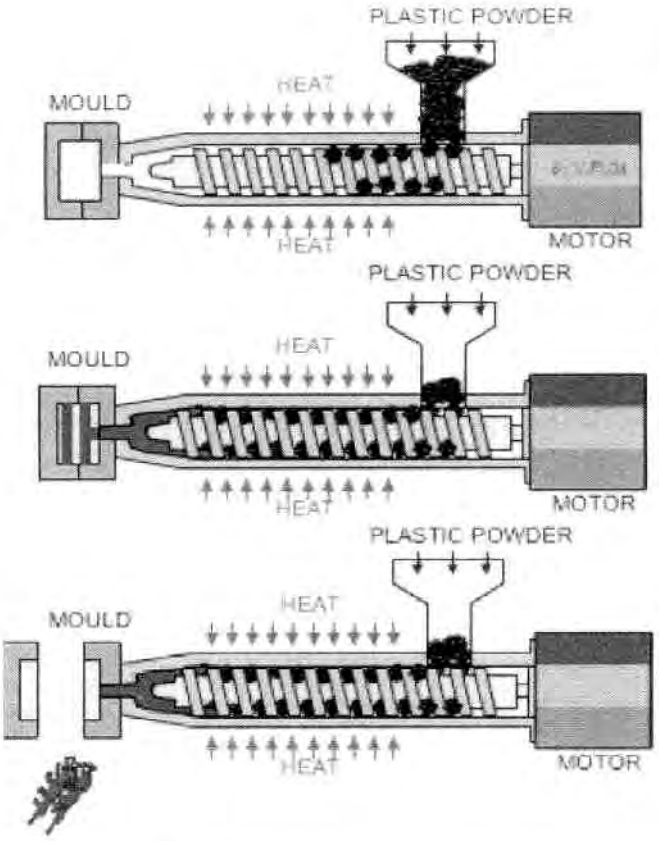

圖 20 射出成形加工程序圖

而在加工時，下列相關加工條件參數必須依照加工塑料參數的不同予以考慮，例如：螺桿位置/速度、充填壓力、保壓時間、保壓壓力、模具溫度、熔膠溫度、冷卻時間、開閉模時間、頂出速度/行程、產品厚度分佈、產品幾何形狀、流道設計等。舉例而言，在設定充填速度時，就必須考慮高速充填時係由充填體積大小而決定；低速充填時則由產品厚度決定，設計者必須取其最佳充填速度，才能獲得最佳的產品。而在實際操作時，第一件成品雖然沒有毛邊與縮坑，但是卻因爲充填壓力不足，造成材料並未完全充填整個模具（如圖 21）。爲了補償充填壓力不足的原因，我們增加了充填壓力，期望能夠充填整個模具。然而，因爲充填壓力與充填速度過大，導致嚴重毛邊，發現是因爲鎖模力不足所致（如圖 22）。因此，我們逐漸降低充填壓力及速度，直到獲得最佳的產品。然在實際操作中，因爲材料充填的方向是單一方向，所以我們無須擔心熔接痕的發生。而產品的截面積小，所以散熱相當均勻，因此我們也看不到有任何的龜裂產生。

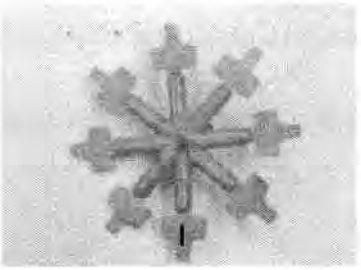

圖 21 第一件成品，沒有毛邊與縮坑，但是充填壓力不足。

圖 22 高充填壓力造成嚴重的毛邊（左）；最後成品

而在實驗中，一開始因希望降低毛邊(flash)而過度注重輸出力與挾持力，導致成功率不佳，後續改變溫度及其黏滯係數後，則大爲改善。因此在本次實驗中，我們發現射出成型常見的缺陷及解決方法如下：

(1)充填不足：其主要原因係因爲樹脂容量不足、型腔內加壓不足、樹脂流動性不佳及排氣效果不好等四項，所以改善措施可由以下幾個方面入手：

A.加長注射時間，防止由於成型週期過短，造成澆口固化前材料逆流而難於充滿型腔。

B.提高注射速度、模具溫度、材料溫度及注射壓力。

C.擴大澆口尺寸。

D.澆口設置在製品壁厚最大處。

E.設置排氣槽或是排氣杆。

F.加入潤滑劑。

(2)皺招及麻面：產生這種缺陷的原因在本質上與充填不足相同，只是程度不同。因此，解決方法也與上述方法基本相同。

(3)縮坑：縮坑的原因也與充填不足相同，原則上可通過過剩充填加以解決，但卻會有產生應力的危險，應在設計上注意壁厚均勻，應儘可能減

少強肋、凸柱等地方的壁厚。

(4)毛邊：對於毛邊的處理重點應該主要放在模具的改善方面。而在成型條件上，則可降低流動性的方面著手。具體可以採用下列幾種方法予以解決：

A.降低注射壓力、模具溫度與材料溫度。

B.研磨毛邊發生的模具鋼材。

C.提高鎖模力。

D.調整準確模具的結合面等部分。

E.採用較硬的模具鋼材。

F.增加模具支撐柱，以增加剛性。

G.根據不同材料確定不同排氣槽的尺寸。

(5)熔接痕：熔接痕是由於來自不同方向的熔融材料前端部分被冷卻、在結合處未能完全融合而產生的。一般情況下，主要影響外觀，嚴重時對製品強度產生影響，可參考以下幾項予以改善：

A.調整成型條件，提高流動性。如提高材料溫度、提高模具溫度、提高注射壓力及速度等。

B.增設排氣槽，在熔接痕的產生設置推出杆也有利於排氣。

C.儘量減少脫模劑的使用。

D.設置工藝毛邊並作爲熔接痕的產生處，成型後再予以切斷去除。

E.若僅影響外觀，則可改變澆口位置，以改變熔接痕位置。或是將熔接痕產生的部分處理爲暗光澤面等，予以修飾。

(6)燒傷：根據機械、模具或成型條件等不同原因引起的燒傷，採取的方法也不同。

A.機械原因，例如，由於異常條件造成料筒過熱，使材料高溫分解、燒傷後注射到製品中，或者由於料簡內的噴嘴和螺杆的螺紋、止回閥等部分造成材料的滯留，分解後帶入製品，在製品中帶有黑褐色的燒傷痕。這時，應清理噴嘴、螺杆及料筒。

B.模具原因：主要是因爲排氣不良所致。這時應注意採取加排氣槽、反排氣杆等措施。

C.在成型條件方面：背壓在 300Mpa 以上時，會使料筒部分過熱，造成燒傷。螺杆轉速過高時，也會產生過熱。在沒有設排氣槽或排氣槽

較小時，注射速度過高會引起過熱氣體燒傷。

(7)噴流紋：噴流紋是從澆口沿著流動方向，彎曲如蛇行一樣痕跡。它是由於材料由澆口開始的注射速度過高所致。因此，擴大澆口橫截面或調低注射速度都是可以選擇的措施。另外提高模具溫度，也能減緩與型腔表面接觸的材料冷卻速率。

(8)翹曲及變形：注射製品的翹曲與變形是很棘手的問題。主要應由模具設計方面著手解決，而成型條件的調整效果是很有限的。

4.反向工程:

反向工程(Reversed Engineering)的概念普遍存在於各個專業領域。在瞭解反向工程前，必須先瞭解什麼是產品的設計流程。在一般的產品設計是從無到有的過程，也就是由設計師先在腦中構思產品的外觀與產品性能需求等、然後 透過相關的設計工具將技術參數繪製成圖樣，並將設計圖樣轉到製造流程中，製造出所設計的產品。這樣的產品設計過程我們稱爲"正向設計"。反向工程(Reverse Engineering-RE)可以看成是一個 "從有到無"的設計過程。簡單地說，逆向工程產品設計就是根據已經存在的產品模型，反向推出產品設計資料(包括設計圖樣或相關技術參數)的過程，也就是在原廠無法提供料件藍圖、原型等等情況下，獲取產品實際尺寸的最佳方法。一般常見於下列幾個情況：

1.新零件的設計，主要用於產品的改型或仿型設計。

2.已有零件的複製，再現原產品的設計意圖。

3.損壞或磨損零件的還原。

4.數位化模型的檢測，例如檢驗產品的變形分析、焊接質量等，以及進行模型的比較。

在反向工程技術設計時，需要從設計對象中提取三維數據資訊。檢測設備的發展爲產品三維資訊的獲取提供了硬體條件。目前，國內廠家使用較多的有英國、意大利、 德國、日本等國家生產的三坐標測量機和三維掃描器。就測頭結構原理來說，可分爲接觸式和非接觸式兩種、其中，接觸式測頭又可分爲硬測頭和軟測頭兩種，這種 測頭與被測頭物體直接接觸，獲取數據資

訊。非接觸式測頭則是應用光學及鐳射的原理進行的。近幾年來，掃描設備有了很大發展。例如，英國雷尼紹公司的 CYCLON2 高速掃描器，可實現鐳射測頭和接觸式掃描頭的互換，鐳射測頭的掃描精度達 0.05mm，接觸式掃描測頭精度可達 0.02mm。可對易碎、易變形的形體及精細花紋進行掃描。德國 GOM 公司的 ATOS 掃描器在測量時，可隨意繞被測物體進行移動，利用光帶經數據影象處理器得到實物表面數據，掃描範圍可達 8m×8m。ATOS 掃描不僅適於復雜輪廓的掃描，而且可用於汽車、摩托車內外飾件的造型工作。

此實驗係採用新世代公司所出的三維掃描器擷取產品 360 度圖樣後，再使用軟體程式將其組合、填補、拋光後再轉化爲藍圖，並輸出反向工程機製造出一模一樣的產品。在此實驗中，我們選定一支帶著黑色墨鏡的粉紅色橡皮玩具鴨子（如圖 23），使用三維掃描器擷取產品 360 度圖樣後（如圖 24），選定部分較佳掃描部位及修剪模型上不存在之部分（如圖 25），再將兩個相鄰的較佳的掃描圖檔組合成一個三維圖樣，然後利用軟體功能進行缺陷填補及表面拋光，最後則得到一個最佳的三維圖樣（如圖 26），然後轉化成 STL 檔案並由反向工程機進行製造，獲得另一個一模一樣的產品。

圖 23 原型玩具橡皮鴨

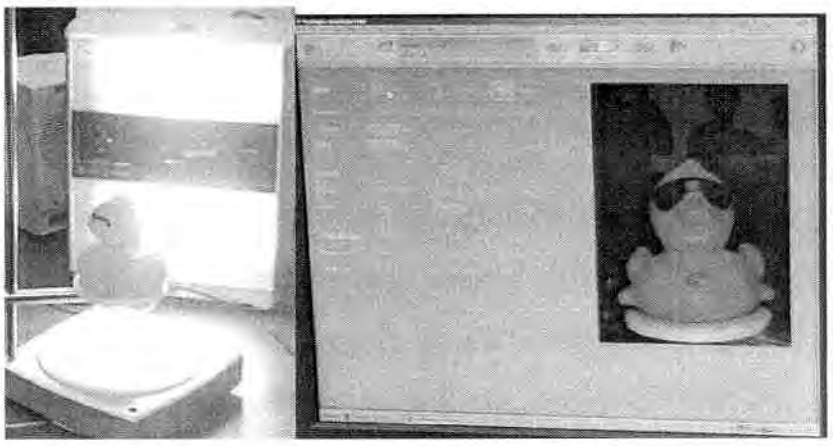

圖 24 使用三維掃描器進行 360 度圖樣擷取

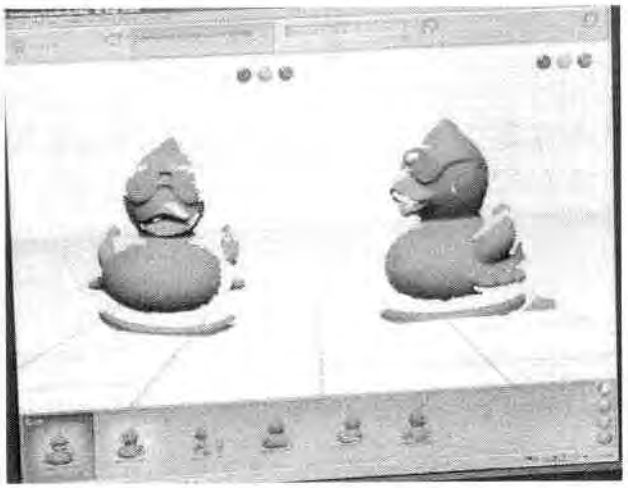

圖 25 360 度掃描成果

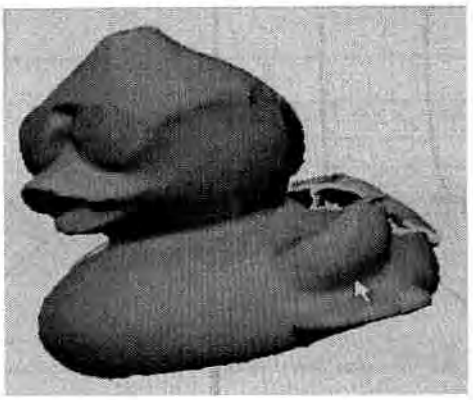

圖 26 最佳三維圖樣

在此次實驗中，了解到掃描期間，不容易獲取全方面的圖樣、特殊角度難以掃描以及產品反光程度不可過大等限制，最後雖可使用軟體將其修飾完成，但是最好是在選定產品時，選擇表面不反光、非透明或半透明的物體，其結果應該可以更佳。

5.同步工程

傳統工程法的產品開發流程爲序列式，在組織結構上分爲市場調查、設計、製造、品管、行銷、維修等功能單位，屬於階段化的設計（如圖 27），著重功能需求的滿足，但往往忽略了與下游階段如製程、使用、維修等的配合。各功能單位的專業化阻隔了部門間的溝通，資訊流程由上而下，設計階段對產品生命週期相關流程的認識不足，各個部門獨立運作，以各自的專業

知識作判斷，缺乏全盤性的規劃。設計至各階段時，才進行設計資訊的接收與評估，若發現產品有問題，再交回設計部門進行設計變更，因此下游的修改需求往往造成上游設計大幅地變更，遇到問題時相互推諉責任。而反覆的設計變更造成時程的延誤，直接增加了研發的成本。

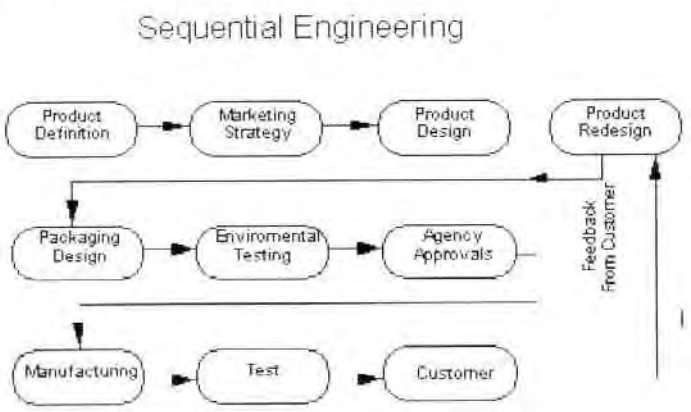

圖 27 傳統工程法

同步工程則採群體合作設計(Team Design)，結合消費者、設計、製造、品管、維修工程師、企管、衛星廠商與資源回收業者，組成設計評估小組，使設計工程師在研發初期對生命週期中所有重要的因素，如品 質、成本、生產流程及使用需求等做一完整的規劃，其主要目的在提高品質、降低成本、縮短研發時程、提高顧客滿意度（如圖 28）。同步工程的設計方法主張設計初期便對未 來可能遇到的問題進行研發，因此設計出的產品較能符合各階段工程的要求，減少了後期設計變更的次數，可因此縮短研發時程。因此，同步工程就是爲了能夠降低產品進入市場時間、降低生產成本及增進產品品質等，同時間將一個產品發展週期（包含設計、分析、製造、測試、品質管控及市場）內包含的所有事項及面向皆列入考慮的一種工程方法。同步工程並非一單純的科學，而是一種設計的概念，包括了下列的組成要件：在管理階層貫徹全面品質管理的概念，在組織結構上以跨功能單位的同步設計小組分工，而在設計方法則以顧客導向、適宜生產、穩健化的觀念，簡化商品化的研發過程。

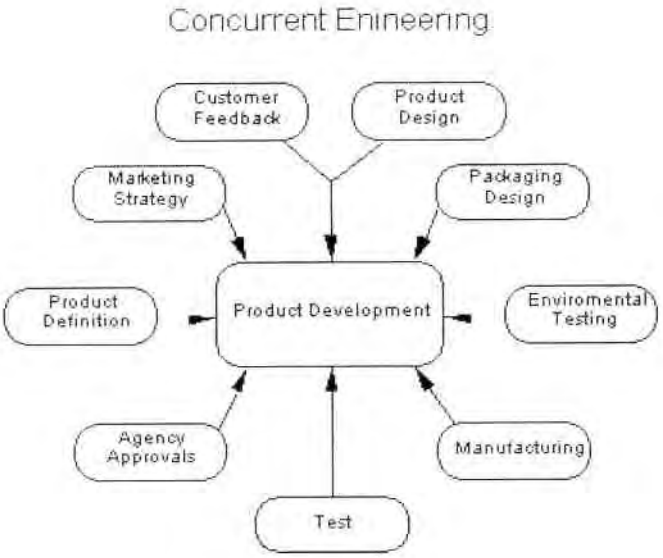

圖 28 同步工程法

6.放電加工

放電加工機是製造高精密度零件的最佳選擇，其加工原理係採用火花方式融化基材方式加工。而放電加工有許多種形式，其中包含帶有形狀電擊棒的放電加工機，其原理係將電擊棒放在加工基材上，然後利用周邊在流動的液體將移除材料帶走（如圖 30）。

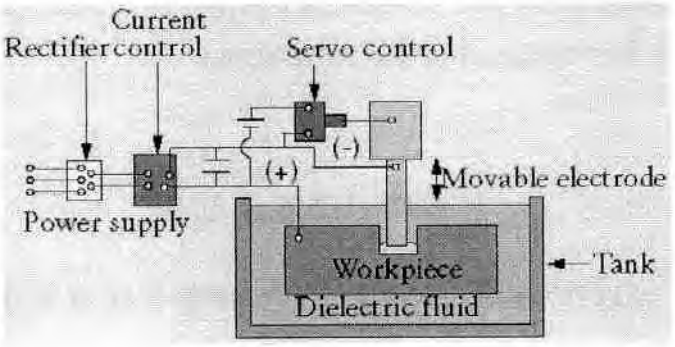

圖 30 傳統放電加工

而另一種更加普遍的是線型放電加工機，它是利用銅線導電後切割加工基材，它會依照線徑的大小決定切割範圍的大小，而傑克斯爾大學的放電加工機正是 Brother HS-3600 型的線型放電加工機。一般加工棒都是採用高導電性及抗腐蝕性材料。而採用放電加工的優點係僅需輸入加工程式後，機器則自動完成後續的加工動作。除非在加工過程中銅線斷裂，不然無須一直守著機具。除此之外，放電加工切割的材質可由硬脆性的材料到一般的金屬，

切割非常小的角度，切割其他加工機具無法達到的精度，這些都是放電加工的優勢。而在實驗中，一開始我們設計的圖案再程式模擬階段一直都無法完成，後來發現是因爲 CNC 程式碼內切削圓的指令爲 R，但是在放電加工機時，必須以 I、J（弧度到圓心距離的指令）加以編碼，因此，變更了原先的設計（如圖 31）。

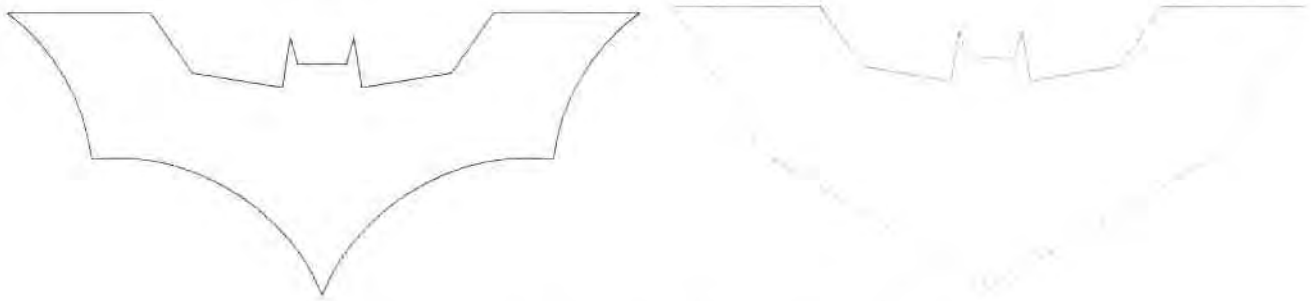

圖 31 原始蝙蝠圖與程式模擬後修改之蝙蝠圖

然在實際加工過程中，銅線斷裂許多次，因此銅線必須重新連接，其中的原因，可能是因爲火花能量設定過高、流體壓力過高、銅線材質以及銅線張力設定不佳造成。除此之外，仍需考慮每個材料有不同的特性及熔點，因此加工參數的設定必須依據實際加工時的各個因素予以設定。而線型放電加工係在銅線與加工基材中產生火花，利用火花熔融加工材後，由切削液將材料移除（如圖 32）。

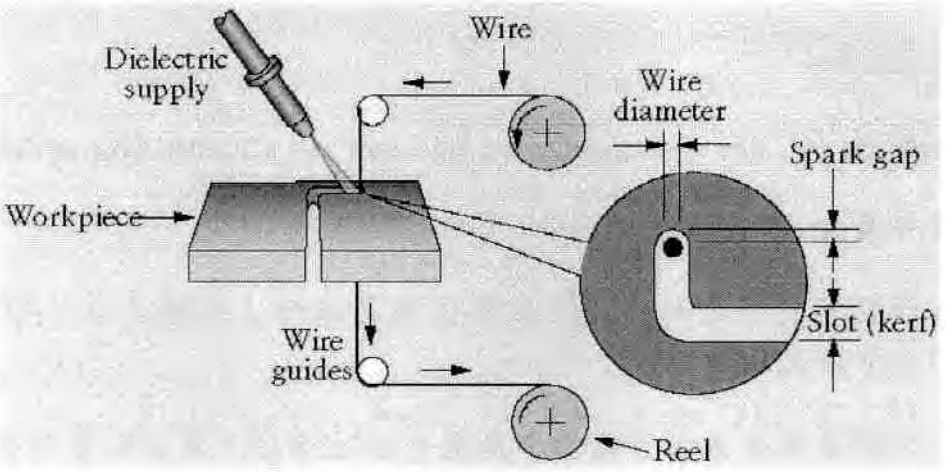

圖 32 線型放電加工原理

（六）電漿應用（Application of Plasma）：

本課程由電漿產生之原理開始，逐步介紹各類型電漿之相關知識，及電抗匹配的發展技術，再導入真空系統反應腔體之設計，讓學生對電漿系統與

其相關應用有整體瞭解。課程內容含括：基礎電漿物理原理介紹、基礎電漿氣相化學介紹、各式電漿產生之原理介紹（DC、AC、RF、MW等）、各類電漿反應器之設計原理、真空濺鍍技術原理及其在光電產業之應用等。電漿是物質的第四態。固態、液態、氣態是物體隨著溫度而轉變其外在表現，所顯示出的三種型態。當溫度再次升高，氣體分子就有可能分裂成原子，甚而游離出電子。這種混合著中性氣體、正離子與電子的高溫游離氣體就稱之爲電漿。事實上，在一般溫度下有些氣體分子會自然解離的，但數量過少而不會影響氣體性質。一旦氣體被加溫到足夠的能量，便可能解離出較多的帶電粒子，中性氣體的行爲逐漸退居次要，這個電漿團便由帶電粒子的運動所支配，外界的電磁場繪強烈影響它的行爲模式。不論是部份或是完全解離的氣體，其中正離子與電子的電性應該是正負相抵的，亦即一團電漿的總帶電量爲零，此及電漿的準電中性。而日光燈是最常見的電漿應用，它在真空玻璃管中注入惰性氣體或是水銀蒸氣，加電壓將氣體游離成電漿態，並激發出紫外線，在與燈管壁上的螢光染劑作用而發光。電漿電視的原理亦同，只是他有特別組成的螢光染劑已發出紅藍綠三個原色。而電漿技術已充分應用到人工鑽石薄膜、電漿發電機、塗料、黏劑等現代工業。

（七）工程管理一（Engineering Management I）：

本課程係爲工程管理之基礎課程，其目的除提供後續相關工程管理所需之商業知識外，另要求學生需因應管理問題的不同面向進行分析，並依據上課所學融會貫通，運用本身智慧及溝通技巧，以達到實際管理效用。教學方法係採用指定閱讀、上課教授、每週考試、每週研討、每週作業及二篇心得報告等方式進行。課程內容含括：工程管理介紹，管理者工作分工、商業環境、一般計畫程序、SWOT分析、先期預測計畫分析、計畫與戰略管理、目標導向管理、組織架構、控制幅度、專案組織管理、混合編組、人力資源管理、人員篩選、評鑑方法及標準、權力來源、代理制度的建立與運作、雙因子理論、情境領導模式、馬斯洛需求理論、公平理論、三需求理論、行爲主義理論、權變管理方式、性格理論、領導行爲連續體理論、同期控制、有效控制、前饋控制、回饋控制、掙值管理、責任中心運轉模式、產品週期理論、產品開發戰略、專利權、商標權、版權、商業秘密、研發設計流程控制模組等。課程中教授要求學生能將課堂上所學的方法，加入自己本身的思考之後，撰寫成一份有效管理的報告，期間總共有三次報告，其報告與職所學心得分述

如下：

1.第一份報告係要求閱讀完迪卡爾的四個法則乙書後，將其轉變爲一般計畫程序，並加以分析其中之異同。而迪卡爾的四法則雖與一般計畫程序處理事情的方法，其中有著許多相似的部分，然其中卻有著許多的缺點（如表2）。

一般計劃程序	迪卡爾的四法則	相似的部分
確認問題	在未完全清楚了解事情之前，絕不輕易相信或接受。也就是說避免輕率和偏見，在未清楚明白且明確排除所有可疑之前，絕不輕易下決斷。	在處理問題之前，必須先找出問題之所在。因此，我們必須去懷疑鎖遇到的任何事情，然後一步步將不可能性加以排除後，就能得到我們真正希望要解決的問題。
定義問題	盡可能將每項困難細分並加以審查，以便於獲得足夠的解決方案。	在定義問題之前，清楚了解問題的本質將所有懷疑之處排除是必須的。相反的，如果我們沒有完全了解問題的細項以及收集足夠的資訊，我們將會因爲問題定義錯誤而走錯方向。
發展解決方案	盡可能將每項困難細分並加以審查，以便於獲得足夠的解決方案。	在我們定義問題之後，如何去發展解決方案呢？迪卡爾告訴我們說把問題一項項抽絲剝繭，然後一個個確認之後，解決方案自然就會浮現了。
評估解決方案	在任何情況下，完整的列出每件事情，以及以平常心去審查，如此，便能確保什麼也沒有遺漏。	當我們評估解決方案時，我們必須一點點一步步的去處理，如此才能確認我們已經將所有層面考慮周詳了，而沒有遺漏任何事情。因此

		這與迪卡爾所說的法則相符。我們必須將思緒整理清楚並將其整合，如此才能將解決方案評估出來。
實施最佳方案	在任何情況下，完整的列出每件事情，以及以平常心去審查，如此，便能確保什麼也沒有遺漏。	在評估解決方案之後，我們就可獲得最佳的選擇。在此階段我們必須依照計劃 100% 執行，並常常確認其與原先的計劃有無相符。

表 2 迪卡爾四法則與一般計劃程序相似之處

從表 2 中，我們可以得知迪卡爾四法則闡述了如何執行一般計劃程序內每個階段。然而，迪卡爾四法則卻有以下兩點缺點：

A.一般而言，完全了解一件事情當然有益於確認問題。然而，在今天的商業模式中，我們不可能會有足夠的時間去了解事情的本身。有時你必須要儘快確認並定義問題所在，以獲取更大的商業利益。

B.你不可能將所有的錯誤細分及常常去確認它，這只是個理想。在決定最佳選擇之前，我們應該考慮週遭的情況。最好的選擇就是可以被執行的解決方案以及從中獲取最大利益，而不是細分所有的錯誤及常常去確認它。

因此，採取了一般計畫程序爲主迪卡爾四法則爲輔的方式進行總結，確認其實兩種方法可同時使用，簡述如次：

A.確認問題：透過廣泛收集相關資訊以及瞭解事情的原委，我們將更容易確認問題爲何？

B.定義問題：在排除所有的疑點與認清事實的真相之後，問題將自然被定義出來。

C.發展解決方案：在發展解決方案時，必須將問題分爲若干的部分，以便於分析與診斷，然後對症下藥，則解決方案自然浮現。

D.評估解決方案：將思慮整理清楚並加以整合，如此在評估解決方案時，將不至於錯誤百出。

E.實施最佳方案：在確認最佳方案之後，必須要時常確認有無偏離原始解決方案，如果此解決方案效果不佳，則應立即重新確認問題並找出另一個最佳解決方案。

2.第二份報告係要求依據上課及教科書所列各項人員激勵方式，建立當自己爲管理者時之激勵方案。對職而言，激勵方案的首選爲公平理論，除此之外，就是要滿足馬斯洛五個需求的理論。然而，並非每位被管理者所需要被滿足的部分是跟我一樣的。所以，首先定義人們可概括分爲三種，在針對每種的不同的需求進行激勵方案的實施。

A.新進員工：依據馬斯洛理論生理需求，採取物質方面的激勵方案，例如加薪、紅利、各式員工福利等方案。

B.資深員工：基於他們已經有較佳的物質生活條件，所以必須物質與精神方面同時並劑。物質方面就仍採用如同新進員工方式辦理。精神方面，依據雙因子理論滿足他們內在及外在的需求。內在就是要激發他們對公司的認同感與責任心，在在就是要給予他們適當的職位，讓他們有上進心，甚至讓他們能夠擁有參予決策的機會。

C.領導階層員工：他們所需要的是事業的企圖心以及更寬廣的空間。所以依據馬斯洛五個需求的理論，他們需要的是自我實現與情感。因此對此類員工，我們需要提供更多的表現機會給他們，或是採用目標導向的方式去管理他們。

其實，員工激勵的方法不外乎是賞罰分明與科學與系統化的管理，我們必須尋找員工真正的需求並依環境狀況的不同給予激勵，如此才能確保激勵的效果是持續並且有效。

3.第三份報告係看完人生的意義乙書後，針對前份報告內是否有修要修改

的地方，提出自己的見解，心得摘述如後：在看完該書之後，書內有數段令人感觸良多，其中”人生的意義在於生命中的每一刻”，”人生從來沒有無意義的時刻，即使在受苦或是死亡”，”我們應該停止追尋生命的意義，而是去經歷生活中的每刻片刻”，”一個人若有活下去的理由，幾乎任何痛苦皆能忍受”，因此在修改原先的激勵方案之前，必須先要去假設倘若我的部署是集中營內囚犯的心態後，始加以評斷。而集中營中囚犯的心態，他們希望獲取生命的意義與對未來的希望，並且害怕出獄之後原先的幻想破滅、心理壓力突然間的釋放、對外在社會缺少責任感以及持續生活在原先自我設定的幻想之中。據此，依據三個不同階層的員工，依續作了若干改變：

A.新進員工：公開讚揚並透過競爭的方式提供表現最佳者物質上實際的獎勵，以及提供更多的訓練機會以增進他們的本質學能，藉以增強他們的自信心。

B.資深員工：除原先提供的方法之外，無時無刻傾聽他們的聲音並陪同他們克服心中的恐懼。

C.領導階層的員工：除原有方法之外，要讓他們知道當外在環境無法改變時，我們就要試著改變自己。

所以，我們可以從工作中或是經歷某些事情趣找尋自己生命中的意義，提供工作給所需要的人，讓他們在工作中發現自我價值並重建對未來的自信心。而我們真摯的讚美與願意傾聽他們的一雙耳朵，最終將獲得他們的尊敬。

（八）獨立研究（Independent Study&Research）：

研究主題係以德州儀器 TMS320F28335 之數位訊號處理器微處理器(Digital Signal Processor)爲主，後續陸續搭配馬達控制器及溫度感測試器等其餘周邊配件，進行實際操作，以瞭解原理並能實際操作然後應用在產品研發上。實驗內容含括：數位訊號處理器微處理器 PWM 波量測與控制、數位訊號處理器微處理器專案建立與程式撰寫、使用數位訊號處理器微處理器進行開放迴圈馬達速度控制、使用數位訊號處理器微處理器進行封閉迴圈馬達速度控制、使用 PI 控制器進行馬達速度控制、使用使用數位訊號處理器微處理器進行溫度感測器量測及控制等。業經強健性控制一二三連續課程之

後，職與指導教授討論後，決定自己獨立研究微數位訊號處理器之控制性能。因爲現今的科技，對晶片的要求運算速度加快，集成度提高，功能日益強大，應用領域越來越廣泛，由最初控制晶片研發係因成本、低功率、性能增加、結構彈性、進入市場時間快等方面，至現今要求需具有復合式功能之數位訊號處理器晶片期間發展歷程、原理及其後續應用。因此數位訊號處理器這種將核心及其周邊元件集成到一個晶片的需求越來越大，這種晶片可廣泛應用到圖像處理、語音處理、通訊、電腦等等。而軍事方面的應用也越來越普及，對資料傳輸或是飛行器控制等均使用相當廣泛。在此次獨立研究中，係採用美國德州儀器公司所生產之 TMS320F2812 數位訊號處理器（如圖 33），搭配該公司出品之 CCS3.1(Code Composer Studio)軟體環境下進行 C/C++控制程式撰擬與執行。職總共進行六個實驗，茲分述如下：

1. 數位訊號處理器微處理器 PWM 波量測與控制：使用示波器觀察 T1PWM、T2PWM、T3PWM、T4PWM、PWM1-12 等波形及其數據，觀察其與理論數值的差距如何，是否爲可接受的範圍之內。首先使用 CCS3.1(Code Composer Studio)軟體開啓 "Example_281xEvPwm.pjt" ，並注意其中有各 "Example_281xEvPwm.c" C 語言檔。然後依照線路配置圖連接馬達控制版後（如圖 34、35），點選重新建立。然後開啓電源，點取 Debug 以連接主控制版，再由軟體程式讀取" Example_281xEvPwm.out" 語言檔，然後點選運作，我們則可由示波器觀察到馬達運作的情形（如圖 36），其結果如表 3。

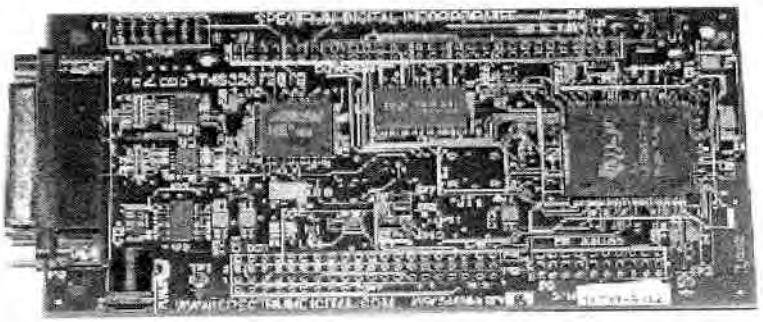

圖 33 美國德州儀器公司所生產之 TMS320F2812 數位訊號處理器

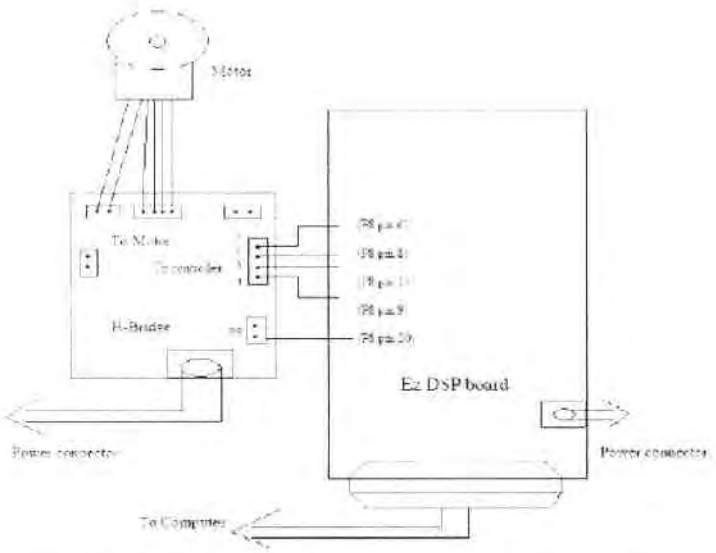

圖 34 數位訊號處理器、馬達控制版及馬達連接線路示意圖

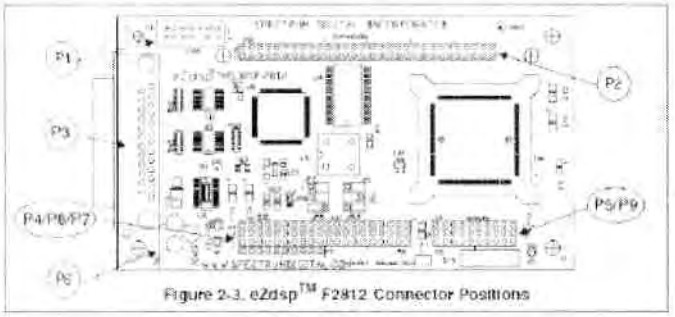

圖 35 數位訊號處理器接口示意圖

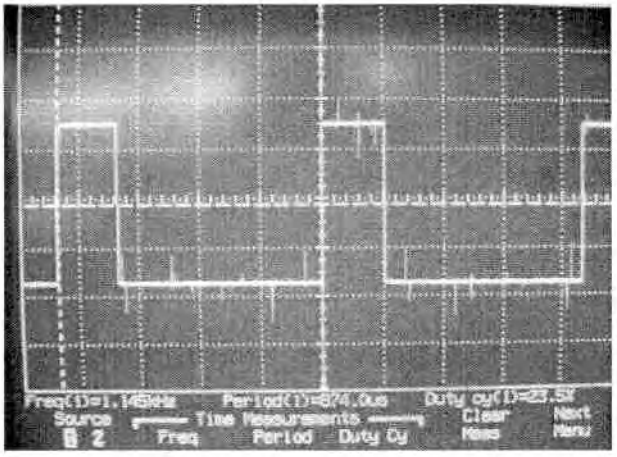

圖 36 馬達於示波器上顯示的結果

觀察點	理論週期	測試週期	理論 duty cycle	測試 duty cycle	誤差
T1PWM	0.8738 ms	.873ms	23.44%	23.5%	0.2%
T2PWM	0.05461ms	0.0546ms	76.54%	76.6%	0.07%
T3PWM	0.8738 ms	0.875ms	23.44%	23.5%	0.26%
T4PWM	0.00341ms	0.00341ms	80.86%	81.1%	0.29%
PWM1	0.873 ms	0.874ms	95.3%	95.4 %	0.1%
PWM2	0.873 ms	0.874ms	4.6%	4.6 %	0%
PWM3	0.873 ms	0.874ms	76.56%	76.43 %	0.169%
PWM4	0 .8738ms	0.874ms	23.46%	23.34%	0.51%
PWM5	0.873ms	0.874ms	1.5%	1.48%	6%
PWM6	0.873ms	0.874ms	98.43%	98.51%	0.08%
PWM7	0.8738ms	0.874ms	95.31%	95.3%	0.01%
PWM8	0.8738ms	0.874ms	4.69%	4.69%	0%
PWM9	0.8738 ms	0.874ms	76.56%	76.66%	0.13%
PWM10	873.81 ms	0.874ms	23.4%	23.46%	0.25%
PWM11	873.81 ms	0.874ms	1.6 %	1.49%	7.38%
PWM12	873.81 ms	0.874ms	98.4%	98.396%	0.004%

表 3 觀察結果與誤差值

在此實驗中，我們透過示波器觀察 T1PWM, T2PWM, T3PWM, T4PWM 以及 PWM1-12，並計算其實驗值與理論值的差距後，得到其誤差相當的微小而且是可以接受的。

2. 數位訊號處理器微處理器專案建立與程式撰寫：此實驗中係嘗試產生 PWM 訊號波並於示波器中觀察。然後再觀察 PWM 波的週期與 duty cycle 之後，再嘗試使用軟體中的 Slider GEL 去改變 T1PR 與 CMPR2 的數值，觀察示波器圖形是否有跟隨變化，並計算其實際值與理論值之差距。其專案建立的步驟如下：

   A. 複製 folder 2s_a_buildproj_pwm_orig 資料夾並將其改名爲 2s_a_buildproj_pwm。注意其資料夾內包含 2s_a_buildproj_pwm.c 檔案。

   B. 啓動 CCS 軟體。

   C. 再 CCS 視窗中，選取建立一個新專案，並將專案名改爲

2s_a_buildproj_pwm，然後點選完成並將新專案儲存於 2s_a_buildproj_pwm.prj 資料夾下。

D. 將下列檔案依序新增到專案資料夾內： 2s_a_buildproj_pwm.c、DSP281x_DefaultIsr.c, DSP281x_PieCtrl.c, DSP281x_PieVect.c, DSP281x_GlobalVariableDefs.c, DSP281x_CodeStartBranch.asm, F2812_EzDSP_RAM_lnk.cmd , DSP281x_Headers_nonBIOS.cmd,and DSP281x_SysCtrl.c. 然後確認總共有" .pjt" 檔案,2個" .cmd" 檔案, 6個" .c" 檔案,以及" .asm" 檔案。而f2812.ge1將會於專案執行時自動產生。 在專案內的Compiler選項內，將下列指令複製進去-g -q -pdr -fr"C:\tidcs_du_sp07\c28\dsp281x\v100\Class_sp07\1s_pwm_basics\Debug"-fs"C:\tidcs_du_sp07\c28\dsp281x\v100\Class_sp07\1s_pwm_basics\Debug"-i"..\..\DSP281x_headers\include" -i"..\..\DSP281x_common\include" -d"_DEBUG" -d"LARGE_MODEL" -ml -mt -v28 或是-g -q -pdr -fr"$[Proj_dir]\Debug" -fs"$[Proj_dir]\Debug" -i"..\..\DSP281x_headers\include" i"..\..\DSP281x_common\include" -d"_DEBUG" -d"LARGE_MODEL" -ml -mt -v28，然後點選完成並儲存，然後就會自動生成相關檔案。（如圖37）

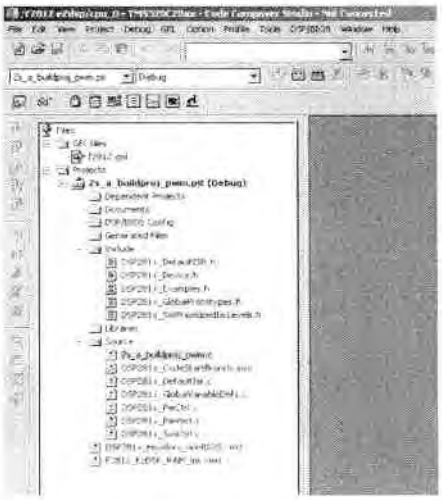

圖37 專案建立

E. 選取專案→Rebuild All，則自動生成與執行2s_a_buildproj_pwm.out檔案。

F. 選取檔案→Load Program →Debug →Run。

G. 確認數位訊號處理器仍在運轉中，Watch window允許我們直接在其中改變數值並觀察其變化。 選取View→Watch Window，點選Watch 1 以及在Watch Window中輸入 EvaRegs.T1PR, EvaRegs.CMPR1,EvaRegs.CMPR2，然後依據Watch Window中數值，進行PWM波的週期與duty cycle計算。於Watch Window中將T1PR值由0xFFFF變更爲30,000以及將CMPR2值由15,360變更爲15,000，再次觀察與計算其PWM波的週期與duty cycle（如圖38）。

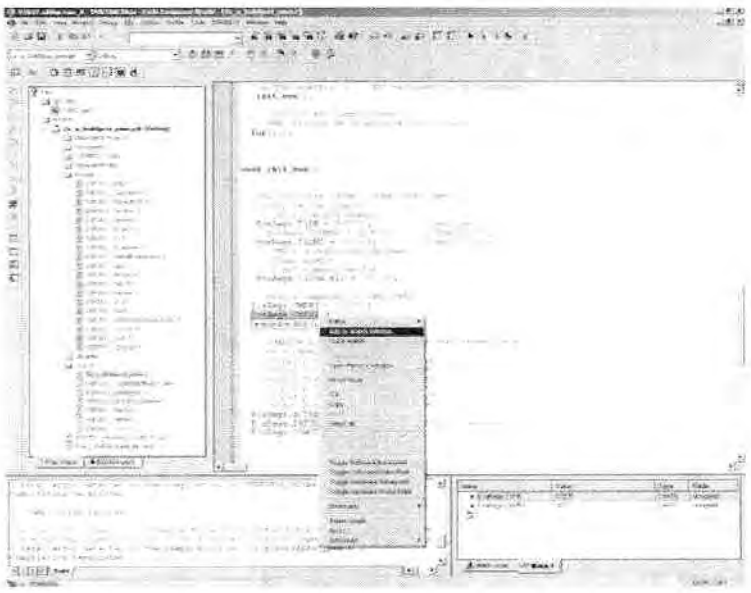

圖38 Watch Window示意圖

H. 選取檔案讀取dutycycle.gel檔（撰寫程式如下），然後產生GEL slider，利用控制EvaRegs.T1PR的值去改變PWM的週期，然後同樣觀察與計算其PWM波的週期與duty cycle（實際控制情形如圖39）。

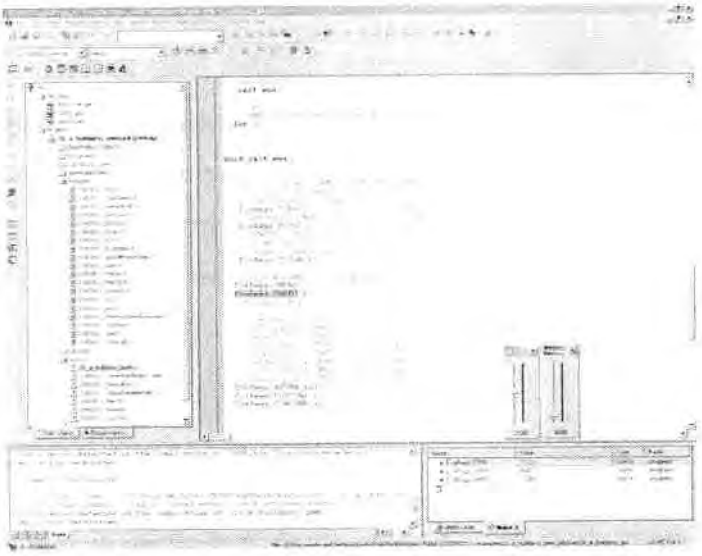

圖39 使用GEL slider控制EvaRegs.T1PR的值去改變PWM的週期

	未改變前	採用Watch Windows控制	採用GEL slider控制
週期（理論值）	0.873ms	0.400ms	0. 399ms
週期（實驗值）	0.872ms	0.400ms	0. 399ms
Duty Cycle 1（理論值）	95.31%	89.75%	89.72%
Duty Cycle 1（實驗值）	95.2%	89.7%	89.7%
誤差	0.11%	0.05%	0.02%
Duty Cycle 2（理論值）	76.56%	50.00%	49.84%
Duty Cycle 2（實驗值）	76.4%	50.1%	50.1%
誤差	0.02%	0.2%	0.52%

表4 實驗結果

由表 4 發現，理論值與實驗值的誤差爲 1%以下，經由此次實驗我更加熟悉 PWM 波訊號以及 CCS 軟體的應用。而且無論使用 Watch Windows 或 GEL slider 控制，CCS 軟體最終的結果都令我們相當滿意。

3.使用數位訊號處理器微處理器進行開放迴圈馬達速度控制：此實驗中嘗試產生 PWM 波去控制馬達，並觀察 EvaRegs.T1PR、EvaRegs.CMPR1 以及

EvaRegs.CMPR2 數值的變化，並由此得知如何透過 PWM 波控制物理系統。另外亦嘗試撰擬 GEL file 控制 duty cycle 由 0%至 100%，然後馬達應該在 50% 時停止運轉，因此，我設計此軟體應於 0-50%時馬達爲反轉， 50-100%時馬達爲正轉。而爲了要設計一個 dutycycle.gel 能夠控制 duty cycle 由 0%至 100%，必須先考慮 327.67 這個數值，其原因在於，一我們設定其週期爲 32767，另一爲我們設定 CMPR1_parameter 爲變數，而 duty cycle 由 0%至 100%。因此，我撰擬了一個 GEL file 如下（實際操作情形如圖 40、41，結果如表 5、6）：

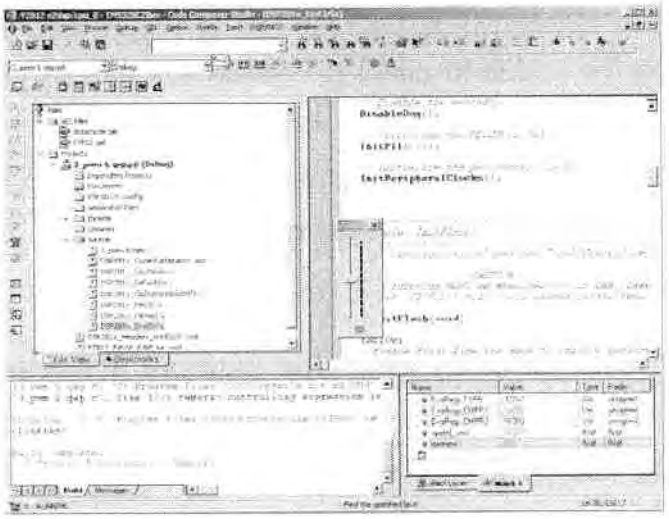

圖 40 CCS 軟體實際操作 DUTY CYCLE 50% 情形

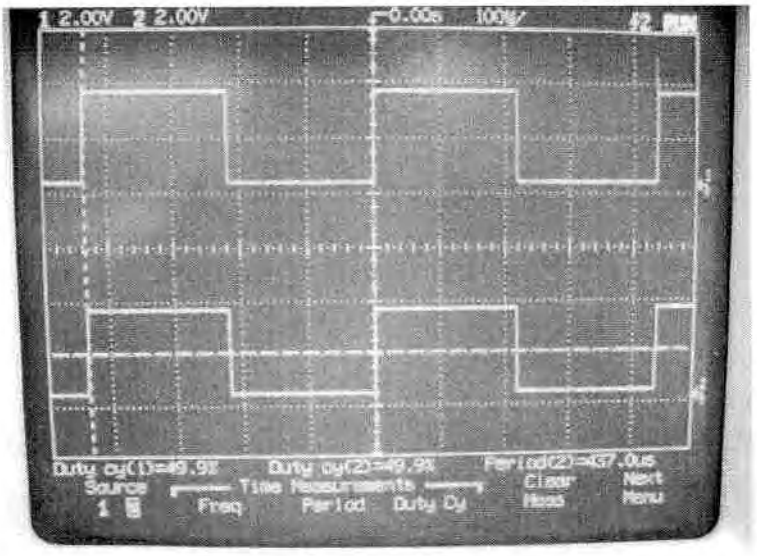

圖 41 示波器於 DUTY CYCLE 50% 情形

counts	rpm	T1PR	CMPR2
10000	-130		
15000	-34		
20000	93		
25000	215	32767	16383
30000	328		
35000	374		
40000	377		

表 5 使用 speed_cntrl.gel 的實驗結果

Duty	100	90	80	70	60	50
rpm	325	314	231	158	76	0
Duty	50	40	30	20	10	0
rpm	0	-133	-173	-185	-194	-234

表 6 使用 duty.gel 控制 duty cycle 由 0%至 100%的結果

在實驗的前半部時我們運轉了 3_pwm & qep.prj 檔案，然後我們透過改變 CMPR1 的方法改變馬達的速度。從改變 CMPR1 數值中我們發現，CMPR1 數值不能夠比 T1PR 數值大，假如 CMPR1 數值比 T1PR 數值大，則會因爲 duty cycle 的時間超過週期，而導致馬達暫停運轉。而且相對於直接輸入數值，speed_cntrl.gel 讓我們可以有不同的方式去調整馬達的速度與方向。除了前面所說到的，當我們在調整馬達速度到達所希望的速度時，duty cycle 一直都非常不穩定。而由表 6 中得知，馬達轉速與 duty cycle 有一定關係存在，因此在計算之後，發現其關係如圖 42 所示，係一五階多項式。

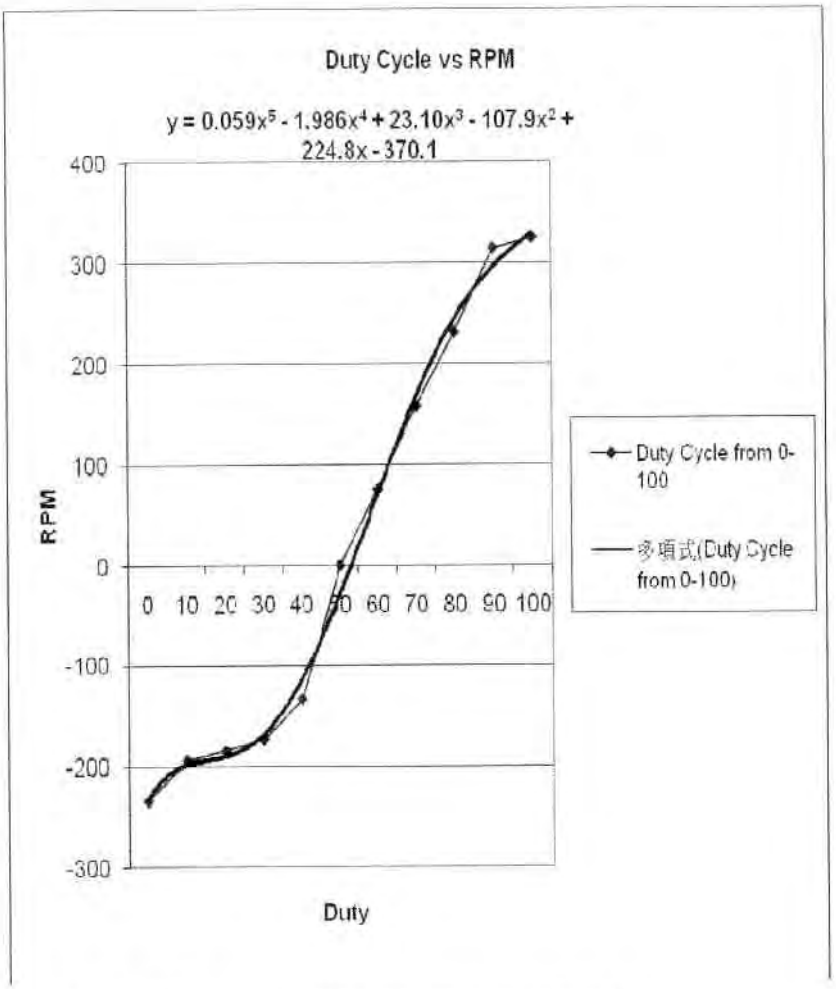

圖 42 duty cycle 與馬達轉速之數學模型

4. 使用數位訊號處理器微處理器進行封閉迴圈馬達速度控制：在此次實驗中，首先設定馬達的控制器並且進一步觀察馬達的轉速，並修改 GEL 控制桿由-250rpm 至 250rpm。因此，將學習到如何使用 C++語言進行程式修改，進而控制某些特定參數。我們修改了 GEL 控制桿由-250rpm 至 250rpm，然而爲了方便，我們將數值由{-250,250} 變更爲{0,500}，也就是說在新的控制桿 0rpm 等於-250rpm，250rpm 等於 0rpm,500rpm 等於 250rpm。 除了前面所提及的以外，我們同樣修改了原始碼去限制馬達的轉速不要超過最大值。也就是說，如果我們輸入的速度超過馬達的物理性最大轉速，它就會自動降爲馬達物理性的最大轉速。設計概念流程圖（如圖 43）、修改的程式碼及實驗結果（如圖 44、45、46）如下：

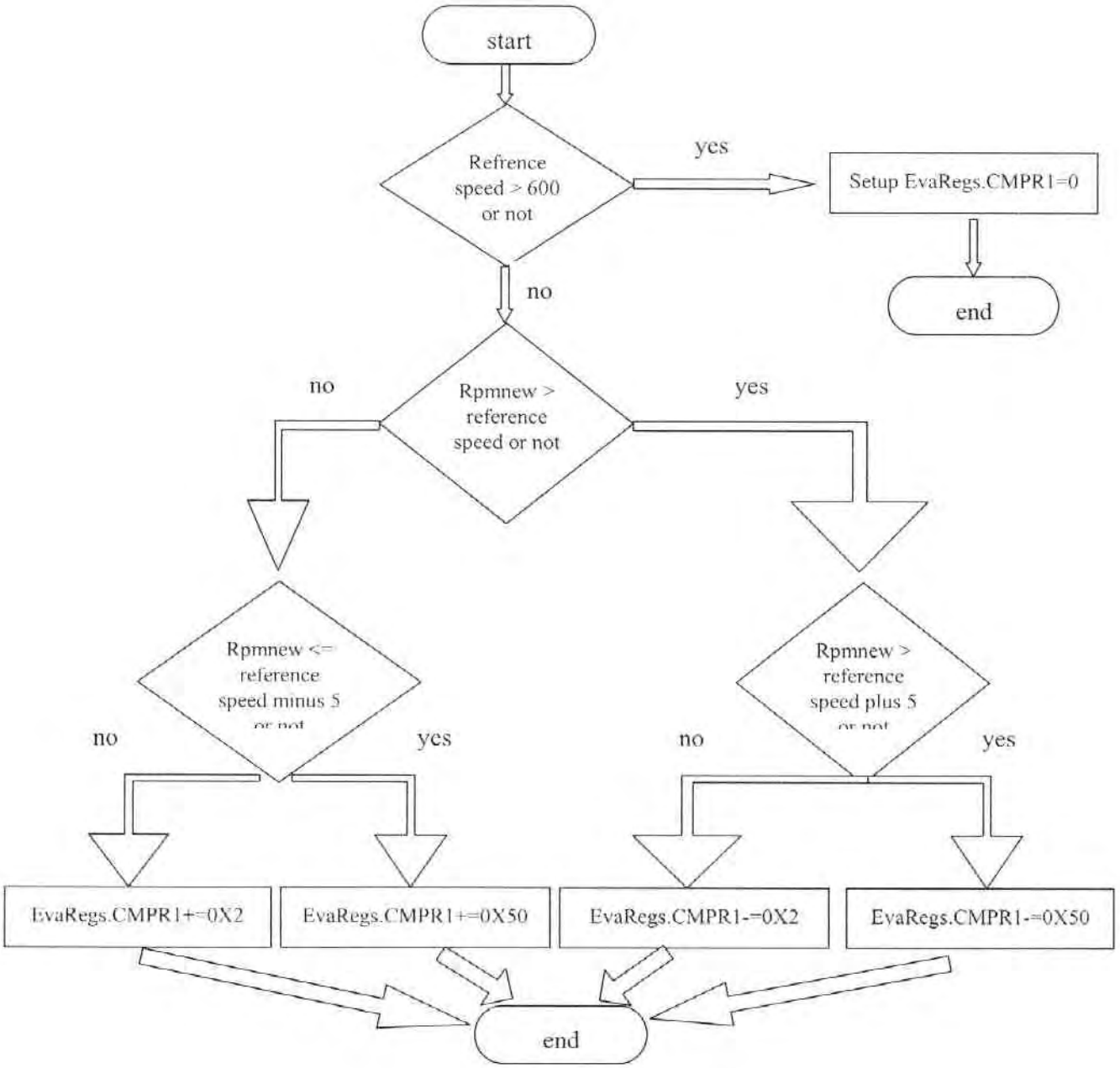

圖 43 設計概念零成圖

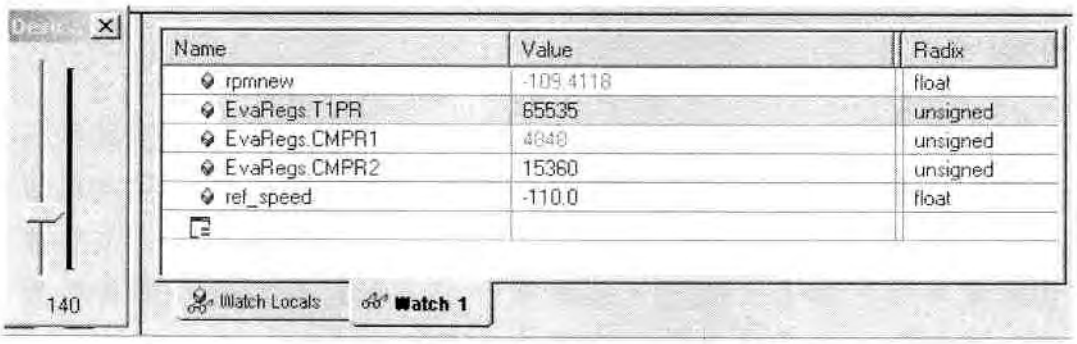

圖 44 GEL slider 在馬達參考速度 -110rpm時

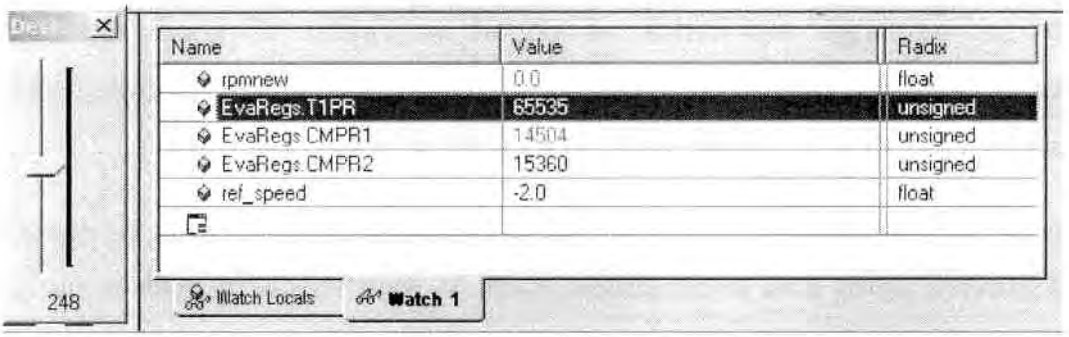

圖 45 GEL slider 在馬達參考速度-2rpm 時

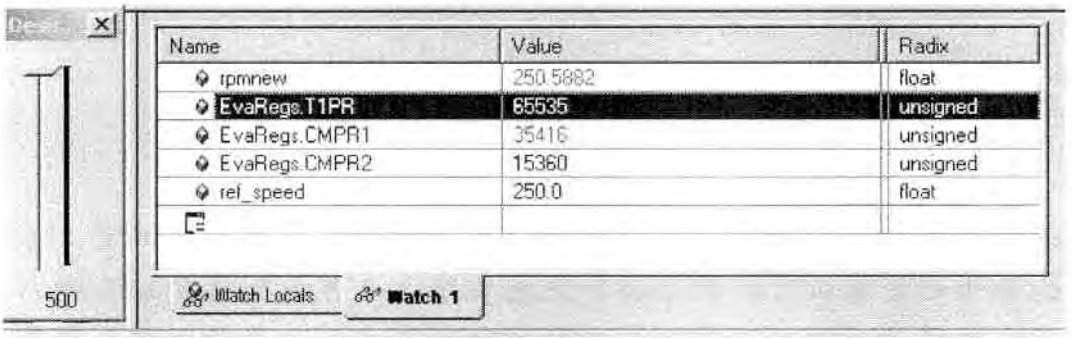

圖 46 GEL slider 在馬達參考速度 250rpm 時

我們再次修改了程式，觀察對於馬達轉動時的角速度與其角度位置的關係。其設計概念流程圖與程式碼如下：

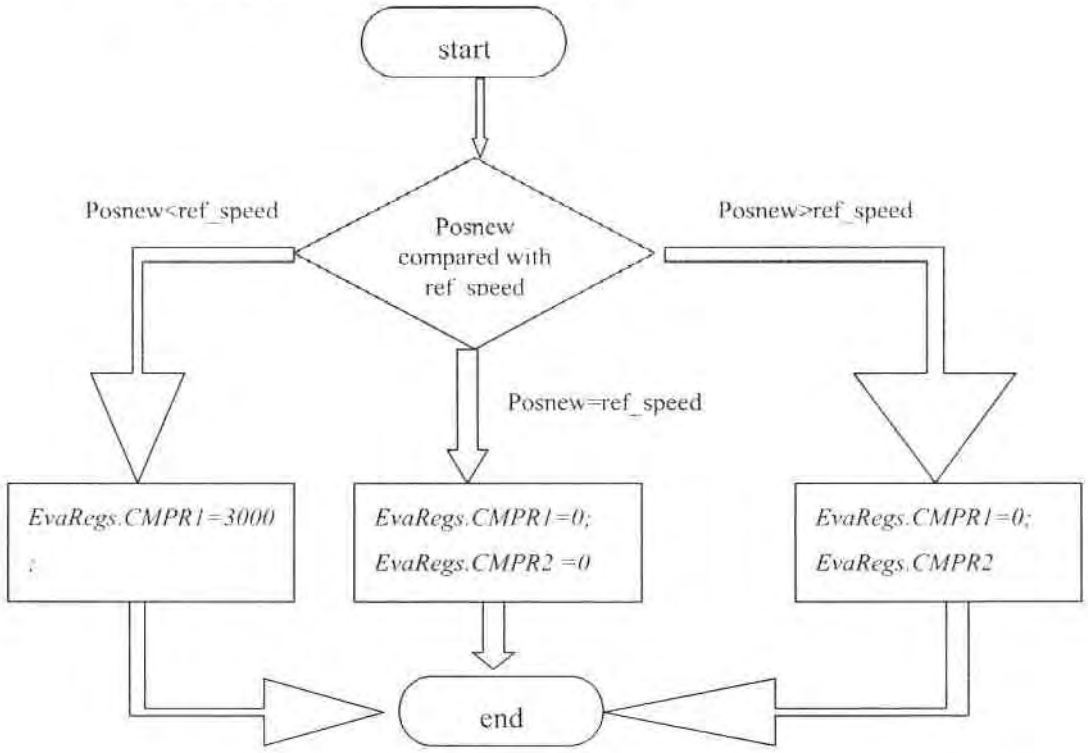

圖 47 設計概念流程圖

在此實驗中，首先我們設定了控制器並使用 GEL 控制桿去調整速度且觀察實際馬達速度的變化。由此次實驗中，知道設計 C++程式前應先將流程圖繪出，如此才能易於後續修改程式碼使用。

5. 使用 PI 控制器進行馬達速度控制：熟悉 PI 控制器並利用其控制馬達速度符合週期時間的輸入。透過 CCS 軟體，我們可以調整 Ki 與 Kp 值，去觀察輸入速度與真實速度的差異；並嘗試修改程式碼去控制以及監測馬達的位置。首先，我們必須知道原始值與其相相關的資訊，所以設定 Ki = 0 並觀察 Kp 的反應(結果如圖 48、49、50、51)。

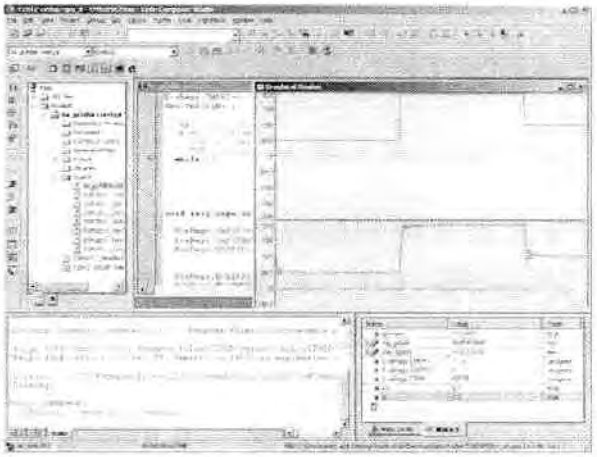

圖 48 在 Kp = 0.1 Ki=0.5 時，系統反應圖

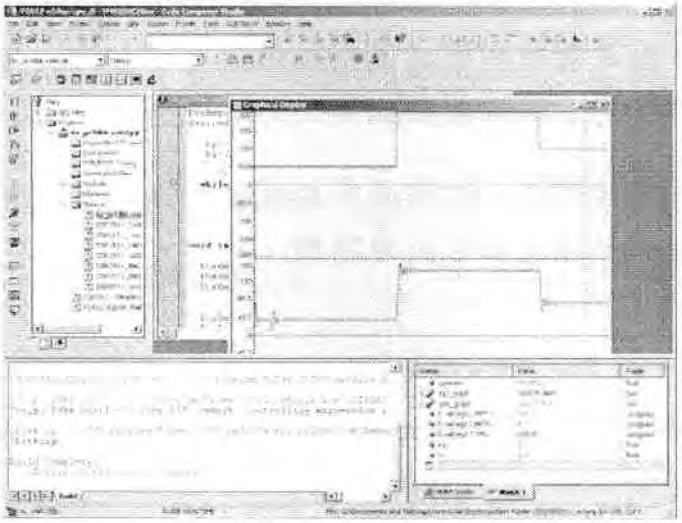

圖 49 在 Kp = 0.1 Ki=0 時，系統反應圖

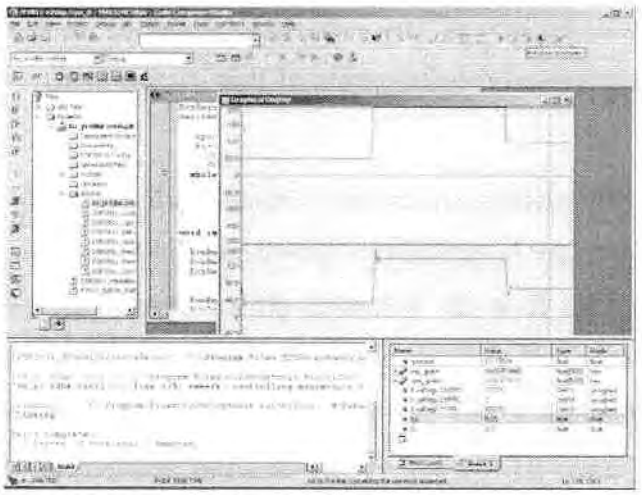

圖 50 在 Kp = 0.05 Ki=0 時，系統反應圖

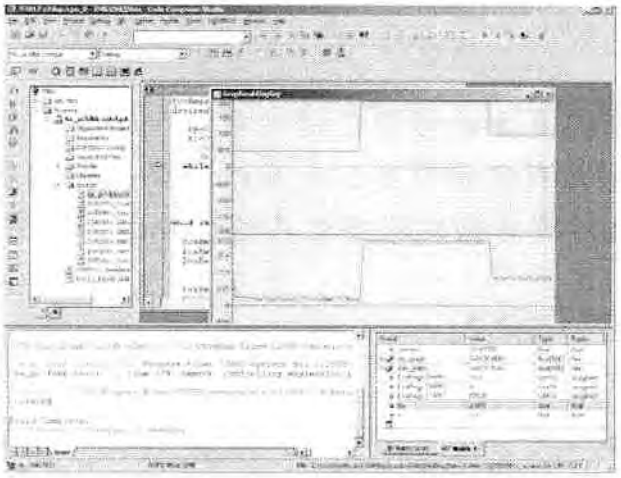

圖 51 在 Kp = 0.005 Ki=0 時，系統反應圖

由上述圖表可知，藉由降低 Kp 值，振幅越來越小，穩定狀態的誤差越來越大。雖然我們不能確定在 Ki 值爲 0 時，增加 Kp 值，可以降低系統的振幅與穩定狀態誤差。但是，如果我們調整 Ki 值則可以使穩定狀態誤差值接近於 0。因此，我們嘗試調整 Ki 值與 Kp 值，盡可能達到與參考輸入的波形相符。最後，我們得到 Ki=0.666 與 Kp=0.015 時，有最小的穩定狀態誤差（如圖 52），如此我們可以再近一步設計 PI 控制器。

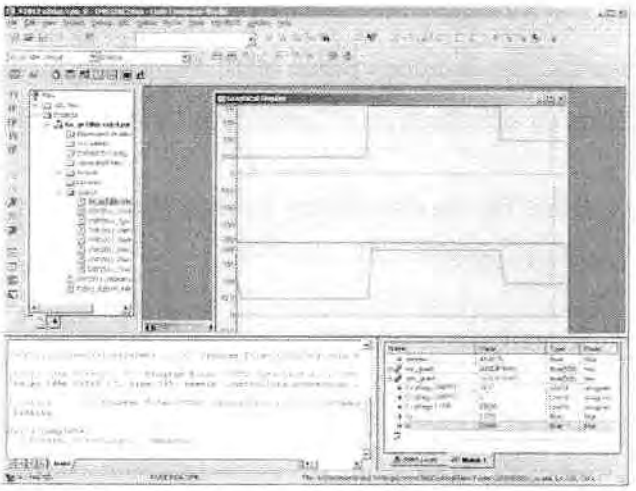

圖 52 Kp = 0.015 and Ki=0.666 時，系統響應圖

爲了 PI 回授控制器能控制馬達的位置，我們修改了程式，讓系統的響應與參考輸入一樣（圖 53）。

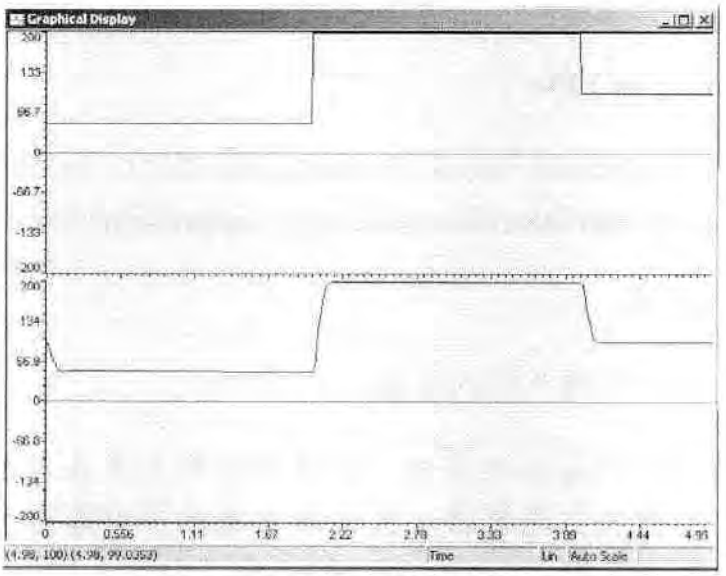

圖 53 調整後的系統響應圖

由此次實驗中得知，如何藉由 CCS 軟體並使用 PI 控制器去控制馬達。而無論改變 Kp 值或 Ki 值，其 PI 控制器的性能就會跟著改變。舉例而言，如果改變 Ki 值，則 settling time 會有所改變；如果改變 Kp 值，則系統爬升的速度則會增加。藉由使用 PI 控制器，我們可以設計一個波形非常接近輸入波。而我們修改程式，則是把一直在旋轉的馬達，要求他可以旋轉到我們指定的角度。因此，我們易學習到如何使用 PI 控制器控制馬達速度與位置以及像調整 settling time 降低 rise time 以達到理想結果。

6. 使用數位訊號處理器微處理器進行溫度感測器量測及控制：利用 LM34 溫度感知器觀察溫度變化並嘗試產生 PWM 波信號降低溫度感知器之溫度。由此實驗得知，LM34 是一種以電流測定溫度的精密晶片，因此當緊握該感知器時，可明顯的感受到溫度之變化，並嘗試修改程式，藉由 PMW 波之產生以達降低溫度之目的（線路配置圖如圖 54）。

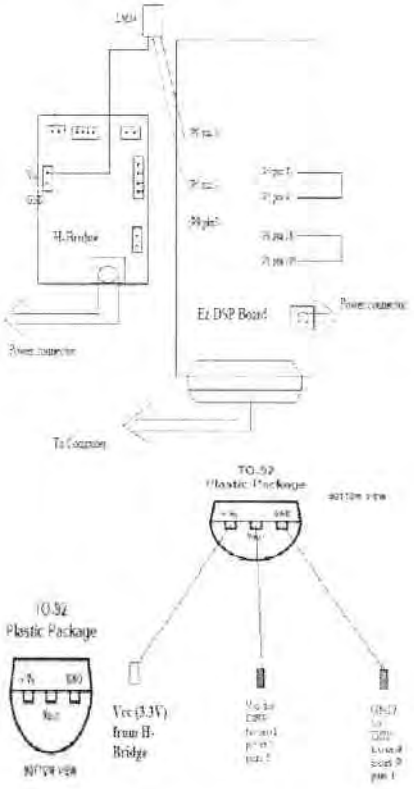

圖 54 LM34 溫度感知器與 TMS320F2812 數位訊號處理器線路配置圖

首先，我們使用 CCS 軟體測知試內溫度爲 75°F（如圖 55）。然後我們用力壓 LM34 溫度感知器，發現其溫度值逐漸上升並且越來越高（如圖 56）

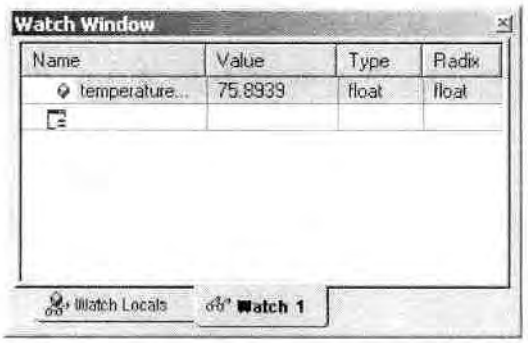

圖 55 原始溫度感知器溫度

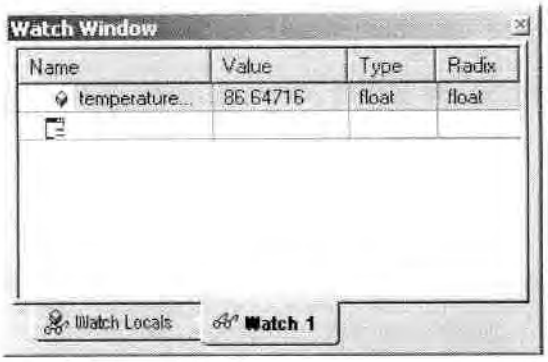

圖 56 當我們緊壓溫度感知器時，其溫度越來越高

然後我們嘗試使用產生 PWM 波訊號透過 H-bridge 版去控制溫度感知器的溫度（如圖 57）。

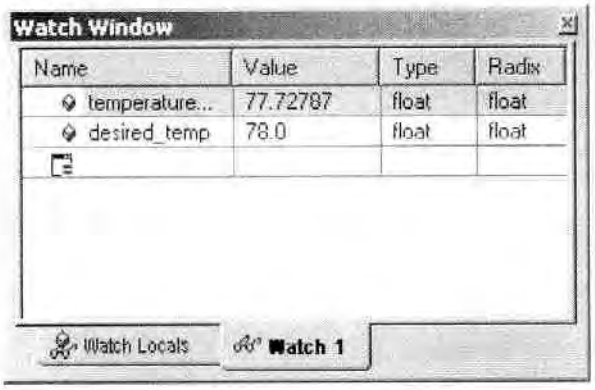

圖 57 控制後的溫度感知器溫度爲華式 77.72 度

從此實驗中我們得知 LM34 溫度感知器是一個非常精密以電流量測的晶片，因此，當我們用力壓它的時候，其溫度的變化相當的敏感且起伏波動相當的大。當我們嘗試用 PWM 波去控制並冷卻其溫度時，可以讓它溫度降到任何我們所希望達到的溫度。

三、生活狀況：

傑克斯爾大學位於費城市中心，與賓州大學相鄰，而費成爲美國東岸第 2 大城，全美第 5 大城，總人口數高達 5 千 8 百萬餘人，其交通便利，地下傑運系統四通八達，生活上尚稱便利，然其生活費及房租費因地處市中心及兩大國際知名大學因素，居高不下；除此，因城市人口眾多，費城治安不佳亦是全美排名前 5，街頭隨處可見遊手好閒之游民、車子遭破壞偷竊、留學生遭搶遭竊，甚有女學生遭歹徒尾隨進入公寓遭受不幸等情事發生，故職每每上課結束後，均速速回租屋處，不敢夜晚在

外行走。雖說如此，費城仍是美國最古老的城市，著名的美國獨立宣言發表地，許多攸關美國歷史發展的重大歷史事件與決策皆在此發起。因此，市區內博物館隨處可見，深具文化氣息，每年提供全世界數以百萬計的人們前往旅遊、參觀、洽商與研究。

由於傑克斯爾大學爲一民間大學，故在費城生活一年半，認識很多美國及國際間各國國際學生，除美國學生佔多數之外，其餘有來自中華民國、韓國、新加坡、立陶宛、傑克、英國、加拿大、澳洲、斯洛伐克、希臘、土耳其、印度、孟加拉、中國等不同國家之學生，大家相處上尚稱融洽，但因各國宗教及習俗不同，必須謹慎小心，避免犯他人忌諱而不自知。而絕大部分的學生都有強烈的求知慾，均主動針對問題發問，並藉由同學之間的討論及共同研究，加強對各專門學科知識的瞭解與吸收，因此讀書風氣很盛也很競爭，也因此增加了我的國際觀，使我更勇於使用英文來溝通，習慣於眾人目光中發言，並增進英文溝通能力。

在求學過程中，由於職期盼能提早半年畢業返國任職，因此必須於一年半之時間內修習至少十五門專業課程。而在進修期間，除了期中考及期末考外，教授於每週授課完後，總會交付問題或是家庭作業，同學之間，可以相互討論或自行尋找資料解答，於下次上課時寫成報告呈交；另每一門課程，均需針對課程主題，將研究結果向教授及同學報告，並依與會者之提問完成報告修訂後，呈交教授審核，課業可謂相當繁重，鮮有外出遊玩之時間。

四、醫療保健：

美國醫療費用較我國貴許多，即使有了健康保險，保險公司也僅支付部分費用，一般保險並不包含牙齒與眼睛的給付，而就醫後，若有吃藥之必要，需由醫生開具處方簽後，再由病人自行到藥局自費購藥，其花費之大、過程之繁瑣，令人難以接受。關於此項，職有切身之痛，職於 97 年 9 月 29 日抵美第一天，因膝蓋突感不適，故至學校之健康中心檢查，在繳交 20 美金掛號費及等待 1 個小時後，醫生告知無法診斷原因，需轉診至賓州大學附設醫院檢查。然至賓大醫院，僅進行膝蓋 X 光檢查及抽取膝關節液，等待 2 小時後，檢驗爲痛風，僅需開藥回家修養三天即可。然一個月後，職收到帳單居然需繳交 5,000 美元，經與醫院與保險公司溝通協調後，職仍需支付 300 美元。因此，進修學員除需購買保險外，於國內及早接受治療並維護健康是最佳選擇，如此才能全心專注於課業之上。

參、心得:

一、鑒於人員持續精簡及科技持續進步，產品製造及品管部分應需逐步改爲全面自動化，以降低人員出錯頻率、減少人事管理費用及提昇產品品質等爲最終目標。因此，於現有部分產品製程流程中，倘若搭配其他各型的感知器等，再配合影像處理技術與模式鑑別原理等，並運用數位訊號處理器微處理器予以監測或是控制產品生產速度、進行品質檢驗、機械手臂自動化生產、數值控制、資料存取等等。除此之外，甚可研發追瞄系統、無人防衛系統，配合本廠武器雷射測距與觀測系統，進行槍口初速變異補償等，如此將可大幅提昇基金營運效能。

二、以本廠現有狀況，面對後續研發新式武器與永續經營的挑戰，新技術的發展與導入以達成製造過程節能、節料、精簡製程均是刻不容緩的。鑒於未來單兵武器將持續朝「輕、薄、短、小」等方向發展，因此部分另件應考量採用射出成型，進行輕量化、多樣化及精密成型等方向發展。近年來，工研院等相關單位均進行鎂合金成型技術的精進，考量鎂合金材料質輕，以常用的AZ91D爲例，其比重爲1.8，僅爲鋼鐵的四分之一，鋁合金的三分之二左右。相較於一般常用之金屬，鎂合金具有較佳的比剛性、比強度、切削性、制振性、導熱性以及可回收等諸多利基，此外亦有防電磁波之特性。因此雖現本廠部分武器件已改爲鋁合金壓鑄製造毛胚後再進行後段精密加工，但若考量後續環保及輕量化的趨勢下，可就鎂合金半固態射出成型法進行研究。鎂合金半固態射出成型法係因應鎂合金壓鑄法之缺點所發展出來的新技術，是利用射出成型機將料管內加熱到半固態而具有球狀固相結構的鎂合金漿料送入模具內成型，因其射出之材料屬於半固態，本身流動性較低，係屬於層流模式，比較不會產生亂流及捲氣之現象，故表面孔洞缺陷可減少。此外半固態材料凝固收縮量較小，成品尺寸較易控制，也比較不會變形。

三、考量本廠係一各式槍彈武器製造之工廠，於開發新式武器時，除需就現行武器性能向上提昇外，仍需參考國際間其他兵工廠產品，萃取其產品精華及避免專利權等相關商業規範，然其相關技資及武器藍圖獲得不易，僅能獲得其最終產品；另因二〇五廠槍彈生產機具均屬專用機具，原廠零配件不再生產、報價超乎市場行情過高或

難以獲得等因素。因此若能採用反向工程之技術，應可使本廠後續於生產或研發階段階較爲容易。然而做一個逆向設計的工作，可能比做一個正向設計更具有挑戰性。在設計一個產品之前，首先必須儘量理解原有模型的設計思想，在此基礎上還可能要修復或克服原有模型上存在的缺陷。從某種意義上看，逆向設計也是一個重新設計的過程。在開始進行一個逆向設計前，應該對零件進行仔細分析，主要考慮以下一些要點：

（一）確定設計的整體思路，對自己手中的設計模型進行系統地分析。首先要週全地考慮好先做什麼，後做什麼，用什麼方法做，主要是將模型劃分爲幾個特徵區，得出設計的整體思路，並找到設計的難點，基本做到心中有數。

（二）確定模型的基本構成形狀的曲面類型，這關係到相應設計軟體的選擇和軟體模組的確定。對於自由曲面，例如汽車、摩托車的外覆蓋件和內飾件等，一般需要採用具有方便調整曲線和曲面的模組；對於初等解析曲面件，如平面、圓柱面、圓錐面等則沒必要因爲有測量數據而用自由曲面去擬合一張顯然是平面或圓柱面的曲面。

如能掌握這些要點，則反向工程對二〇五廠而言，則是相當高價值的製造方法。

四、同步工程應可作爲兵工廠現階段或後續參考之用，因其可降低進入市場之時間、降低產品總體費用、以及增進產品品質，其主要精神在於能同時或平行將產品發展週期（包含設計、分析、製造、測試、品管以及市場開發等）的所有相關面向，於產品研發構思初期即同時列入考慮，藉以縮短產品週期中各階段之差距。迄今，相關進行同步工程改善的公司（例如波音公司），均達到顯著的成效，例如縮短進入市場的時間55%，產品效能利用達70%以及提昇品質水準達350%等（如圖29）。

Development time	30-50% less
Engineering changes	60-95% less
Scrap and rework	75% reduction
Defects	30-85% fewer
Time to market	20-90% less
Field failure rate	60% less
Service life	100% increase
Overall quality	100-600% higher
White-collar efficiency	20-110% higher
Return on assets	20-120% higher

圖 29 採用同步工程法後，產品生產週期各階段成效表

而同步工程方法係結合設計單位、製造單位、品管單位、維修單位、行銷單位、採購單位及衛星廠商人員，組成設計評估專案小組，進行群體合作設計，使產品在研發初期對產品生命週期中所有重要的因素，如品質、成本、生產流程及使用需求等做一完整的規劃；也就是說，同步工程的手法，係主張設計初期便對未來可能遇到的問題進行研發，因此設計出的產品較能符合各階段工程的要求，減少了後期設計變更的次數，可因此縮短研發時程。

進入廿一世紀的今天，在現今的競爭領域中，我們可以體會到，整個市場對於品質及速度的要求更加嚴苛了，如何做的比別人更好更快，是每個主管無不費盡心思鑽研的課題。依循以往的工作模式，除了一再壓縮各個階段的時間，以及壓榨工程師的勞力外，已經很難有大幅的突破，同步工程提供了一個全新的思考模式及工作方法，可一舉將設計流程縮短 50%以上。因此，考量第二〇五廠係我國研發生產各式小型槍砲彈藥基地，倘若採用同步工程進行產品精進，除可充分發揮機具生產效能、有效維持機具運作、提高品質、降低成本、縮短研發時程、提高顧客滿意度外，更能與國際接軌，與國際上其餘槍械彈藥生產工廠競爭。

五、近年來，電漿技術已廣泛開發於耐磨耗、抗腐蝕、抗氧化及生物相容性等需求的相關產業（如機械產業、航太與汽機車產業、刀具與模具產業以及生醫產業）上，儼然成爲一項先進材料的表面改質技術。現在電漿技術更結合了鍍膜技術，以此方式所合成的薄膜使用壽命，遠遠超過使用其他表面強化技術所合成之薄膜。考量二〇五廠彈線每年生產所需工模具耗用甚大，若以現有優化材料表面性質之技術（如：電鍍、蒸鍍、濺鍍、物理或化學蘑積等方式），實有難以解決之問題，例如膜與基材間的殘留應力會使得工件彎曲變形；工件受到撞擊或是膜與基材的材料差異性太大時，容易造成膜的附著力不佳而崩落等等，因此採用電漿技術來強化材料表面性質，則可避免上述的一些問題，並且增加硬度、降低摩擦係數、增加抗磨損、抗氧化、抗腐蝕等特性，工件尺寸也不因其而發生變化。所以，可考量開發電漿鍍鉻技術取代非環保之電鍍鎘，甚或精進電漿披覆應用工程技術，取代電鍍鉻及陽極處理等污染製程；電漿注入氮化表面，改質提昇表層硬度，取代傳統氮化，除可節省製程時間及符合環保要求外，亦可大幅降低工模夾具製造費用及延長產品壽命。

六、而綜合前面所述，考量二〇五廠係一生產工廠，除如何應用自動化及電腦技術整合

生產系統中之設計、規劃、製造、裝配、搬運、控制、資訊等子系統，以建立最佳化生產製造系統之外，仍需應用人性績效（例如生理、心理等各式企業管理方法），改善工作系統（包括人、工作、工具、設備、工作場所、工作責任與周邊環境等），使得人員能在安全、舒適的情況下，發揮其最大工作效率及提高整體產能。所以，鑒於現今全球化之趨勢，企業之生產、儲運及配銷體系日趨整合，若在增進人員績效（如增加工作的速度、提高工作時的安全性與增進工作時的正確性）、減少能力的浪費與疲勞、減少對特殊技巧與能力的依賴、增進人力的使用、減少人爲錯誤所引發的事故等各方面，皆能有所改善，將可提高產品附加價值，提高企業競爭力及永續經營。

七、經過爲期一年半之美國傑克斯爾大學機械工程研究所訓練課程，對於職之學識涵養、語文能力、溝通技巧及思維邏輯等多所助益，進修期間藉課堂討論及課後互動，增進對其他學生國家文化之瞭解，此經驗實爲難得寶貴。另課餘期間，職亦積極參與美國各項社團活動，例如：復活節活動、感恩節活動、英語教唱、英語口說訓練、維吉尼亞軍校參訪、櫻桃節活動等等，戮力融入美國社會，了解文化差異並增進個人語文能力；另美國人員對我方優於該國等等制度甚感興趣，例如健保制度等，此種亟需獲取新知並不吝下問之學習態度，值得我學習效法。本報告附上上課期間職所交之報告與相關生活照片，如附件。

肆、建議：

一、面對原物料、能源價格快速成長，連帶人力成本急遽增加的環境，本廠後續的生存挑戰更爲嚴峻，需及早掌握未來的生產技術與搭配精緻的管理系統，才能永續經營並佔取關鍵的地位。考量國外各大名校均爲國際優秀人才培育及交流之基座，赴外進修除可增進個人本職學能外，亦能獲取現今最新科技並爲我軍所用，建議在經費允許條件下，膺續計劃培育我軍科技研發人力，以厚植我軍國防自主及新式武器研發之能力。

二、賓州費城爲美國第四大都會區，許多全美五百大公司均設在此處，例如：美國網路與有線電視公司 Comcast、葛蘭素史克藥廠、波音集團的直昇機及汽車零件部門與全美最大的 Vanguard 基金公司等。故其物價之高，以我國學員每月津貼 1,150 美元

仍不符支應，相較他國學生，我國學生在求學期間常感經濟拮据，實不足爲奇，建議提高對學員津貼，以符現況所需。

三、隨時代演進，雖軍備局各兵工廠均已生產自動化且陸續引進專業先進之機具設備，然產業界新技術之開發及創新速度卻是日新月異，因此身爲國軍科技軍官，應主動以公餘進修、參加研討會等方式，持續精進自身本職學能並貢獻所學，強化國防自主之科技研發能量。

伍、附件:

一、畢業證書

二、上課期間繳交之心得報告

三、國外生活照片