

## 第6章 系統測試

為驗證 MCX314 的性能與所規劃之函式庫的正確性，針對單軸加減速運動或多軸補間運動以三軸馬達平台為實驗機台，馬達驅動器為 Panasonic MINAS AC 伺服驅動器 MSD 系列，控制模式為位置(脈波)控制，由於各軸負載大小不同，經由測試調整後，速度迴路和位置迴路之各參數如表 6-1 所示：

表 6-1 馬達驅動器參數設定

|                | 設定範圍    | X 軸 | Y 軸 | Z 軸 |
|----------------|---------|-----|-----|-----|
| 位置迴路增益         | 10~1000 | 400 | 500 | 300 |
| 速度迴路增益         | 25~3500 | 150 | 200 | 100 |
| 速度迴路積分<br>時間常數 | 1~1000  | 50  | 300 | 50  |



圖 6-1 三軸馬達平台

從 PC 端的程式下達函式庫中的運動命令至 MCX314，由 MCX314 輸出脈波至馬達驅動器，觀察三軸伺服馬達的各種運動，以下就單軸驅動或多軸同動的加減速、二軸三軸直線補間運動、圓弧補間運動、連續補間運動等測試討論之。關於運動過程中速度和加速度資料的存取，並非在外接 Encoder 卡所讀取，而是由 MCX314 本身自行計算出，再呼叫讀取速度和加速度函數讀取其速度和加速度暫存器的值，以顯示或儲存整個運動行程的速度與加速度變化，其中程式取樣時間為 1ms。

## 6.1 單軸驅動或多軸同動

承接 3.2.1~3.2.3 節，MCX314 能提供單軸驅動或多軸同動，以等速、T-Curve、S-Curve 加減速的方式定量驅動或連續驅動。定量驅動的速度曲線可分為加速段、等速段、減速段來分段設計。連續驅動則可以規劃加速段的部份，當到達驅動速度後待使用者的下達停止命令才停止驅動。以下就定量驅動對於 T-Curve 加減速、S-Curve 加減速觀察討論之。



### 6.1.1 T-Curve 加減速

T-Curve 加減速中，由使用者給定之初速度、驅動速度、加速度等參數，而推算出加減速段的時間，由輸出脈波即為所設置之終點座標，等速段的長度取決於加減速的時間和輸出脈波，加減速時間越長(加速度值越小)，等速段的長度則越短。當加減速段和等速段所消耗的脈波數仍小於設定的脈波數時，則會減速至初速度後以等速度消耗剩於脈波。如圖 6-2 所示。

選擇單軸運動軸 Axis1 為 X 軸，執行 TCurve\_F 函數並設置各參數：

| 倍率(M) | 初速度(SV) (PPS) | 驅動速度(V) (PPS) | 加速度(A)<br>(PPS/Sec) | 終點座標(FP) |
|-------|---------------|---------------|---------------------|----------|
| 5     | 100           | 4000          | 80                  | 5000     |

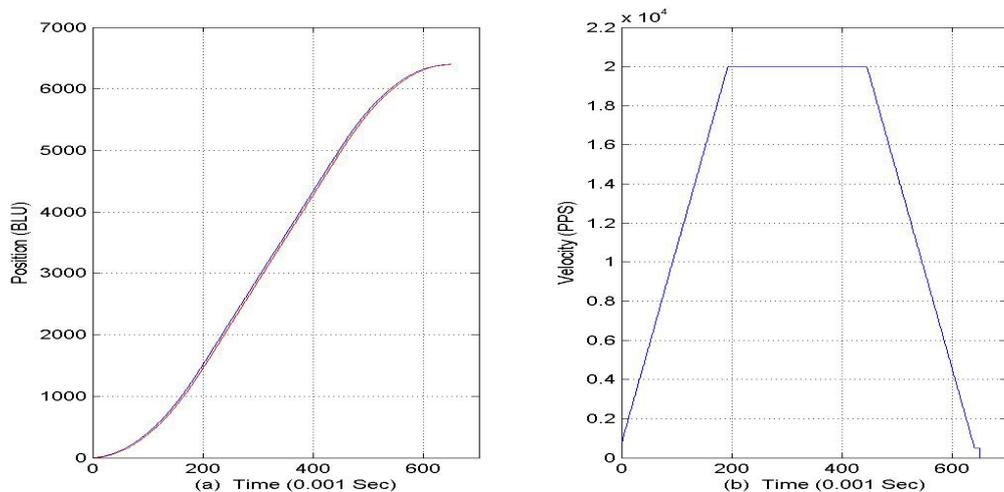


圖 6-2 單軸直線加減速

(a)位置命令與響應；(b)速度響應

當運動參數設計不良時，(諸如驅動脈動不足或驅動速度和加速度過大)，有時會產生減速停止或未達規劃之驅動速度的情形產生。如圖 6-3 所示。

選擇單軸運動軸 Axis1 為 X 軸，執行 TCurve F 函數並設置各參數：

| 倍率(M) | 初速度(SV) (PPS) | 驅動速度(V) (PPS) | 加速度(A) (PPS/Sec) | 終點座標(FP) |
|-------|---------------|---------------|------------------|----------|
| 5     | 500           | 2000          | 80               | 5000     |

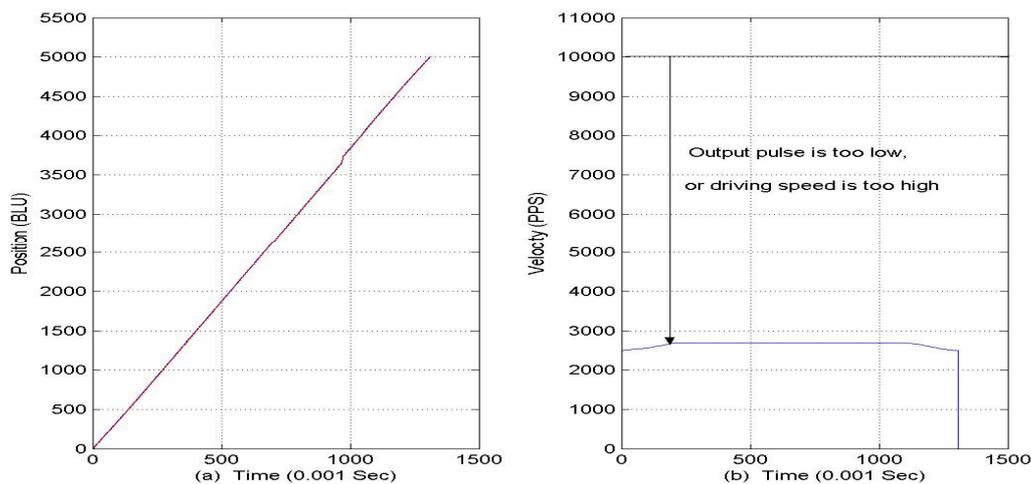


圖 6-3 加減速規劃參數設計不良

(a)位置命令與響應；(b)速度響應

## 6.1.2 S-Curve 加減速

由 3.2.3 節的推導，依據不同的驅動速度 V 值、加速度 A 值、加速度變化率 K 值的設計，而會有完全 S-Curve 曲線(如圖 6-4 所示)和混合 S-Curve 曲線(如圖 6-5 所示)。

MCX314 對於 S-Curve 加減速的規劃都是先設計為兩段 S 曲線和一段直線的混合曲線，判斷加速度在到達指定值前，目標驅動速度減去現在速度小於現在速度，上述的直線區間則會消失，形成完全的 S-Curve 曲線。

關於加速度的變化量是由 MCX314 所計算，其讀取加速度值的暫存器本身並不會自動清除，會保留上一次所存取的資料，而且在 S-Curve 加減速過程中，讀取加速度的暫存器會保留等減速段的最後一個值，並維持此定值直至等速段結束後才開始變化，但實際上等速段的加速度是為零的。如圖 6-4(c)、圖 6-5(c)所示。

以下驗證單軸之 S-Curve 加減速規劃依不同運動參數設計而有不同的曲線規劃。

### ■ 完全 S-Curve 曲線

選定運動軸 Axis1 為 X 軸，設置各參數如下表後執行 SCurve\_F 函數：

| 倍率(M) | 初速度(SV)<br>(PPS) | 驅動速度(V)<br>(PPS) | 加速度(A)<br>(PPS/Sec) | 加速度變化率(K)<br>(PPS/Sec <sup>2</sup> ) | 終點座標(FP) |
|-------|------------------|------------------|---------------------|--------------------------------------|----------|
| 10    | 100              | 4000             | 160                 | 625                                  | 6400     |

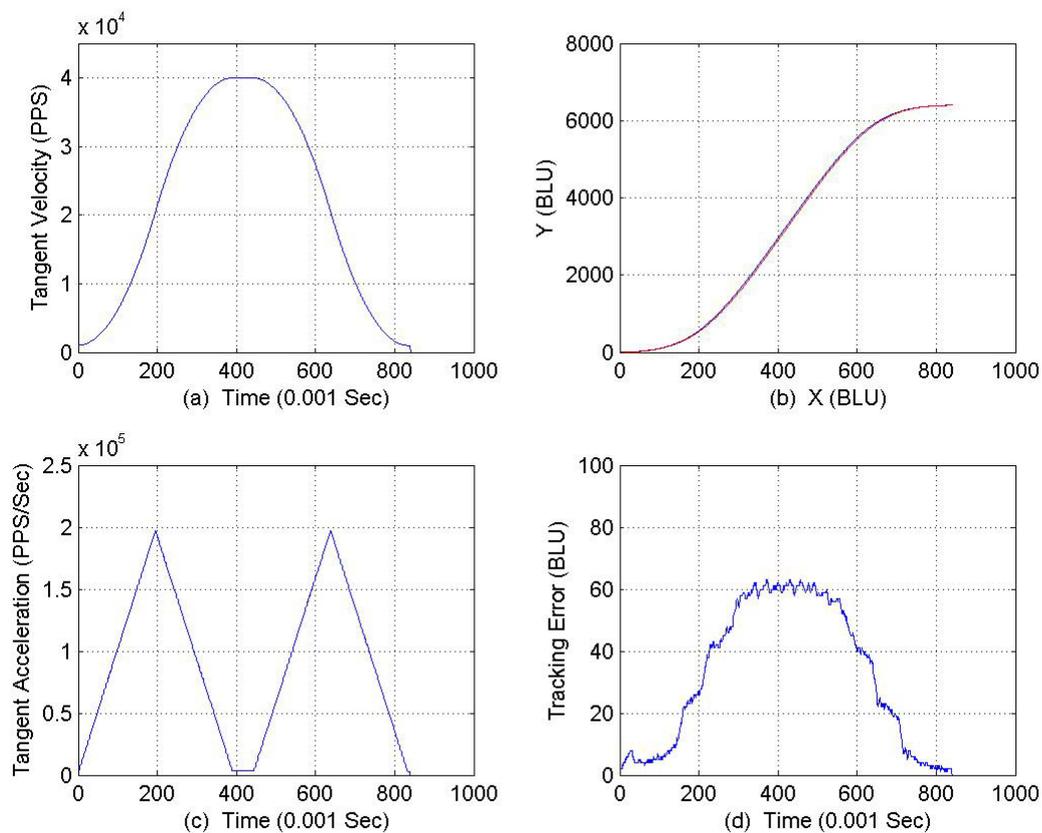


圖 6-4 完全 S-Curve 曲線規劃

(a)速度響應；(b)位置命令與響應；(c)加速度響應；(d)追蹤誤差

■ 混合 S-Curve 曲線

單軸運動軸 Axis1 為 X 軸，設置各參數後執行 SCurve\_F 函數：

| 倍率(M) | 初速度(SV)<br>(PPS) | 驅動速度(V)<br>(PPS) | 加速度(A)<br>(PPS/Sec) | 加速度變化率(K)<br>(PPS/Sec <sup>2</sup> ) | 終點座標(FP) |
|-------|------------------|------------------|---------------------|--------------------------------------|----------|
| 10    | 100              | 4000             | 80                  | 1250                                 | 20000    |

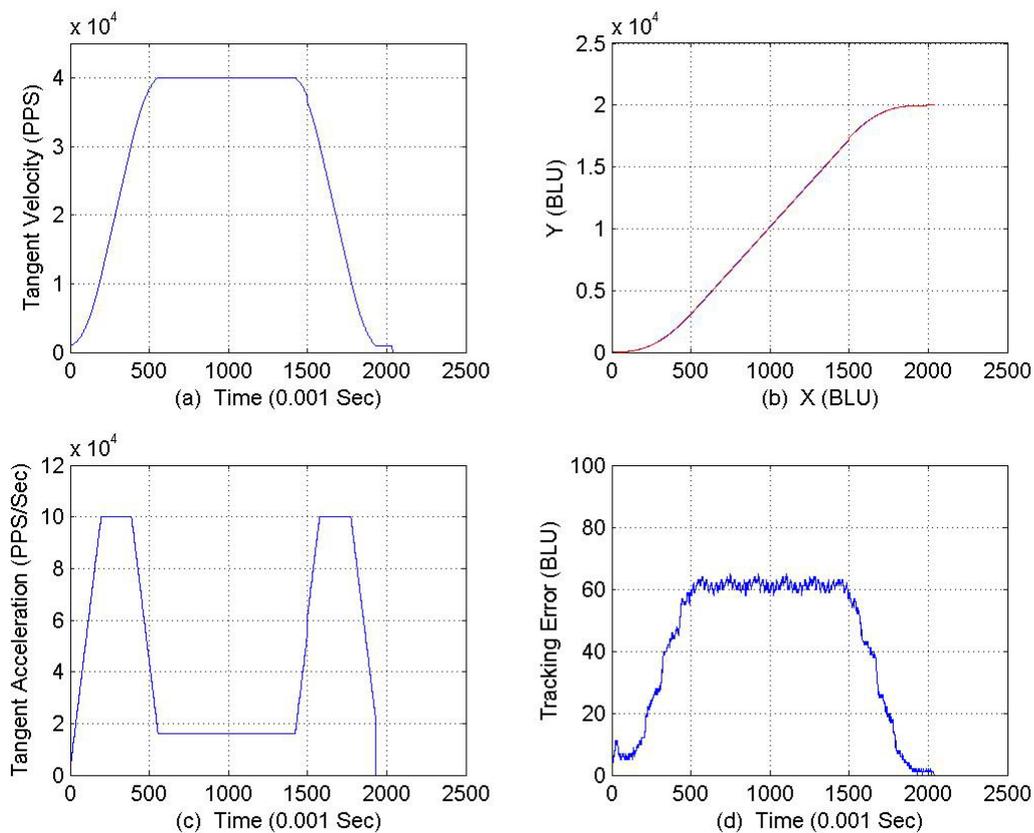


圖 6-5 混合 S-Curve 曲線規劃

(a)速度響應；(b)位置命令與響應；(c)加速度響應；(d)追蹤誤差

## 6.2 直線補間

承接 3.2.3 節，在 MCX314 中可在四軸中任意選擇二軸或三軸做直線補間運動，直線補間的終點設置是將採相對座標，而加減速方式則有等速、T-Curve 加減速、S-Curve 三種。兩運動軸 Axis1 和 Axis2 分別為 X 軸和 Y 軸。觀察發現雙軸的追蹤誤差雖然隨著驅動速度的增加而變大，但最後的終點誤差皆在  $\pm 1$  BLU 的容許誤差範圍內。因伺服落後所造成位置誤差與速度有成正比的關係，因此雙軸的追蹤誤差曲線和速度曲線的輪廓相似。雙軸因負載大小和馬達驅動器的參數調整不一，所以各軸位置響應有所不同，由實驗觀察 Y 軸的負載較 X 軸大，而調整後 Y 軸的位置迴路增益也較大，所以於開始驅動的加

速段誤差較高。

### 6.2.1 等速補間

設置各參數後執行 Line2D\_C 函數：

| 倍率(M) | 驅動速度(V) (PPS) | 終點座標(FP)    |
|-------|---------------|-------------|
| 5     | 1000          | (5000,5000) |

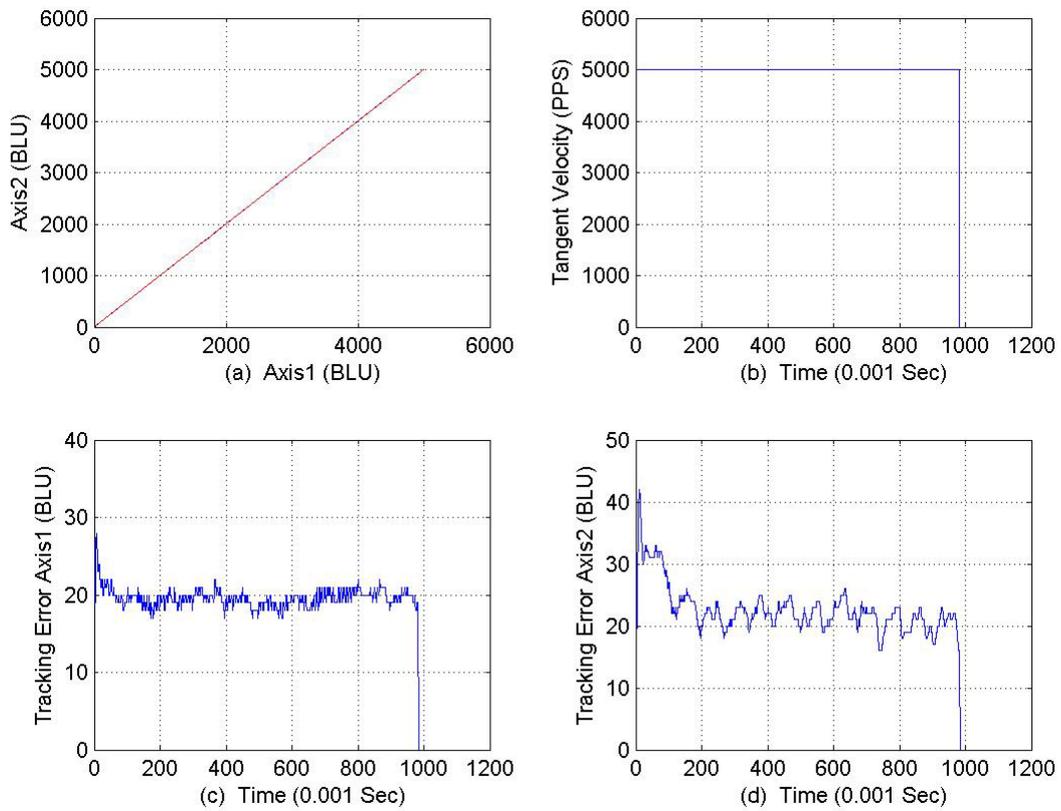


圖 6-6 等速直線補間

(a)雙軸直線補間；(b)速度響應；(c)Axis1 追蹤誤差；(d)Axis2 追蹤誤差；

## 6.2.2 T-Curve 加減速補間

設置各參數後執行 Line2D\_T 函數：

| 倍率(M) | 初速度(SV) (PPS) | 驅動速度(V) (PPS) | 加速度(A)<br>(PPS/Sec) | 終點座標(FP)    |
|-------|---------------|---------------|---------------------|-------------|
| 5     | 100           | 1000          | 160                 | (5000,5000) |

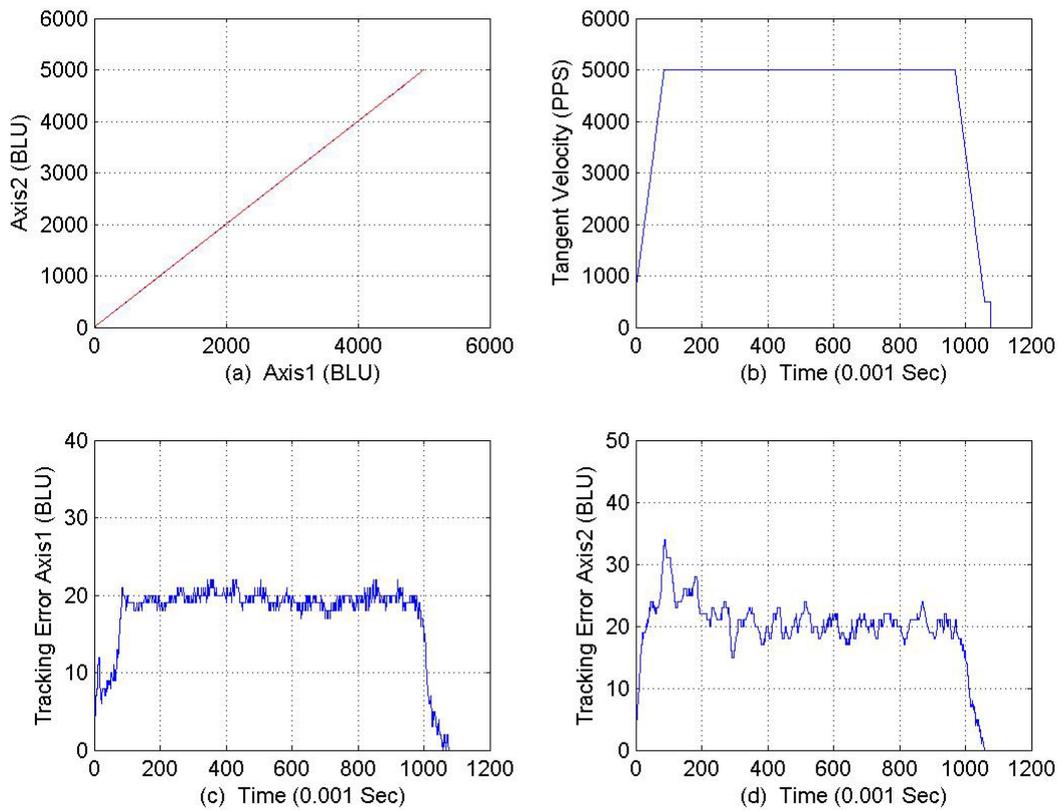


圖 6-7 T-Curve 加減速直線補間

(a)雙軸直線補間；(b)速度響應；(c) Axis1 追蹤誤差；(d)Axis2 追蹤誤差；

### 6.2.3 S-Curve 加減速補間

設置各參數後執行 Line2D\_S 函數：

| 倍率(M) | 初速度(SV)<br>(PPS) | 驅動速度(V)<br>(PPS) | 加速度(A)<br>(PPS/Sec) | 加速度變化率(K)<br>(PPS/Sec <sup>2</sup> ) | 終點座標(FP)    |
|-------|------------------|------------------|---------------------|--------------------------------------|-------------|
| 5     | 100              | 1000             | 80                  | 625                                  | (5000,5000) |

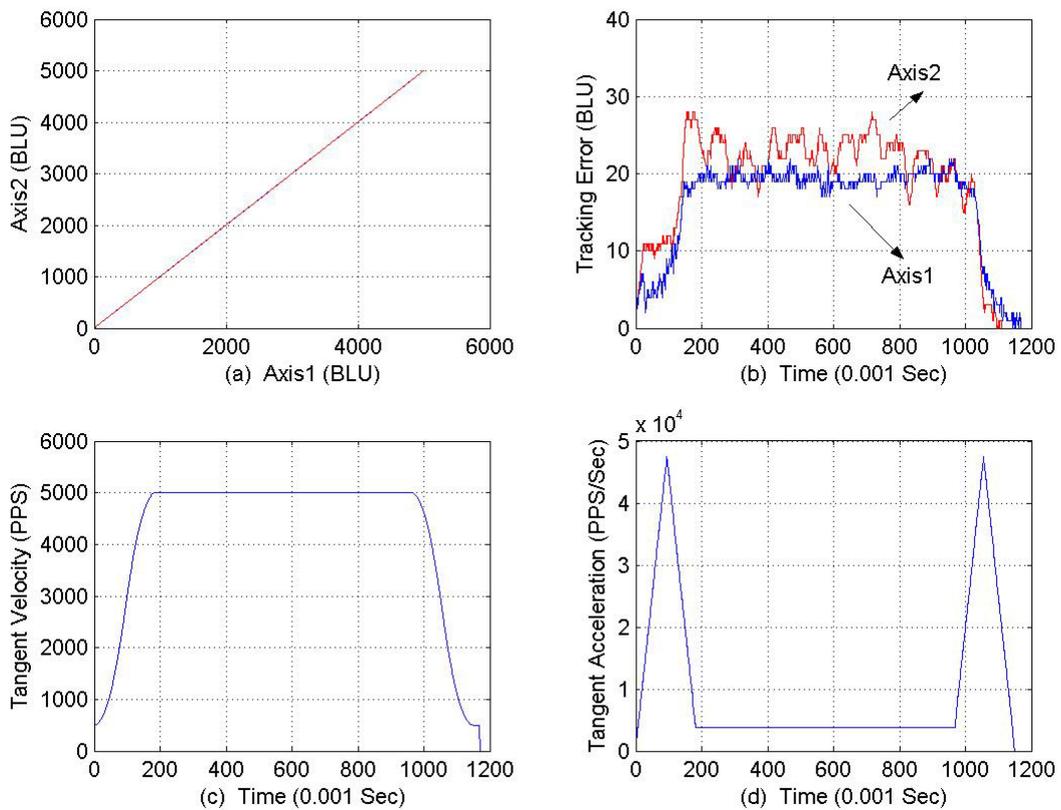


圖 6-8 S-Curve 加減速直線補間

(a) 雙軸直線補間；(b)雙軸追蹤誤差；(c)速度響應；(d)加速度響應

## 6.3 圓弧補間

由於 MCX314 對於圓弧補間加減速的設計只能以等速或是 T-Curve 加減速的方式。因此關於圓弧補間的測試以等速和 T-Curve 加減速的雙軸循圓來觀察討論，經觀察雙軸的命令和響應後，發現雙軸位置響應因加減速命令而有伺服落後(Servo lag)的現象，而理論上雙軸循圓的響應因伺服落後而會有內縮的情形。但是由於實驗用之馬達平台是以導螺桿傳動，且運動平台的三個自由度皆有皮帶所連結而傳動，當在運動轉向時，齒隙現象(Backlash)所造成的影響，使得雙軸循圓響應內縮的現象不明顯，在轉向區更有明顯的齒隙誤差發生。

實驗之圓弧補間設置的起點皆在正方向的橫軸(Axis1)上，運動方向為 CW 方向，運動過程依序經由 IV、III、II、I 象限最後到達終點，如圖 6-9、圖 6-11 所示。兩運動軸 Axis1 和 Axis2 分別為 X 軸和 Z 軸，由於兩運動軸的負載不同(X 軸大於 Z 軸)，因此在運動轉向時，X 軸的誤差較 Z 軸來的明顯，響應 tracking 的效果也較 Z 軸差。

MCX314 對於圓弧補間只能以等速或 T-Curve 加減速的方式規劃，沒有 S-Curve 加減速的功能。且於 T-Curve 無法自動減速(無法自己計算出減速點的值)，需設置人工減速點，並設置減速有效的指令，使其在運動過程中最後能先減速至低速再停止，而經由實驗發現其人工減速點的設置並沒有產生預期的功能，還是由驅動速度直接停止，因此當驅動速度過大時，無法減速停止的結果，將會使機台過衝而無法準確地到達規劃之終點。而且圓弧依象限由長短軸輸出的設計方式，含有補間誤差，所以 MCX314 圓弧補間之加減速的設計規劃仍有待改善的空間。

### 6.3.1 等速補間

設置各參數後執行 CirCleCW\_C 函數：

| 倍率(M) | 驅動速度(V)<br>(PPS) | 終點座標(FP) | 圓心座標(CP)  |
|-------|------------------|----------|-----------|
| 5     | 1000             | (0,0)    | (-1000,0) |

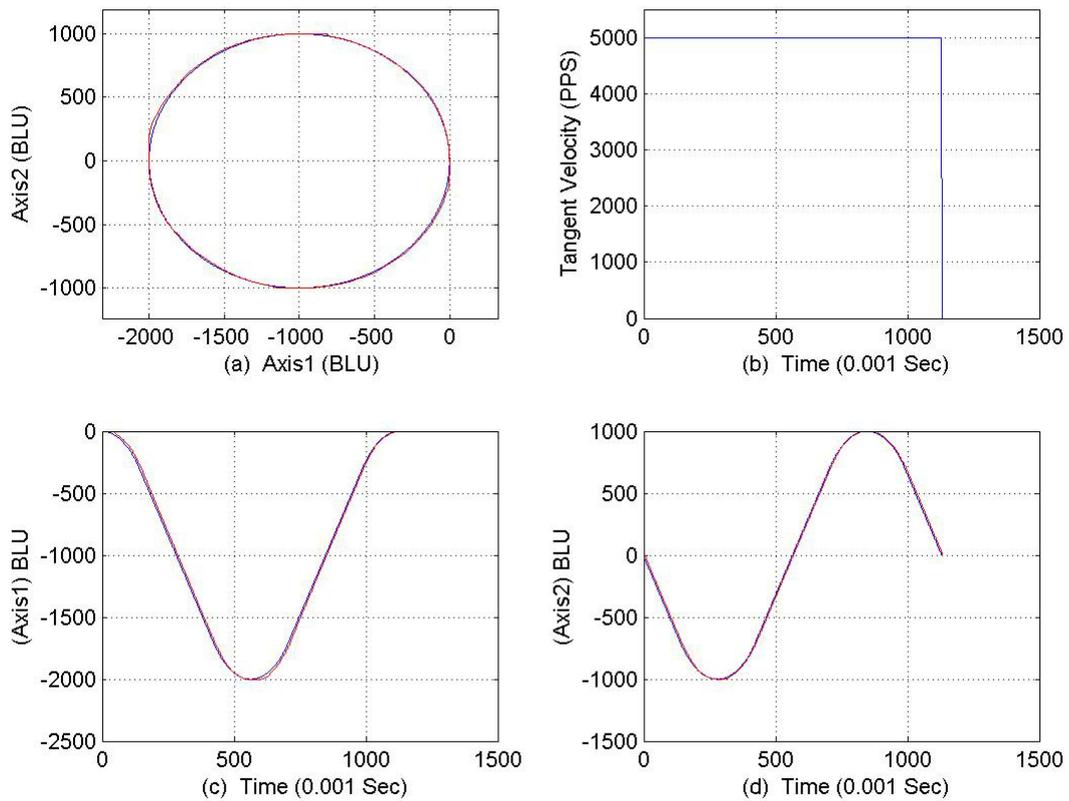


圖 6-9 圓弧等速補間

(a)雙軸循圓軌跡；(b)切線速度響應；(c)Axis1 位置響應；(d)Axis2 位置響應

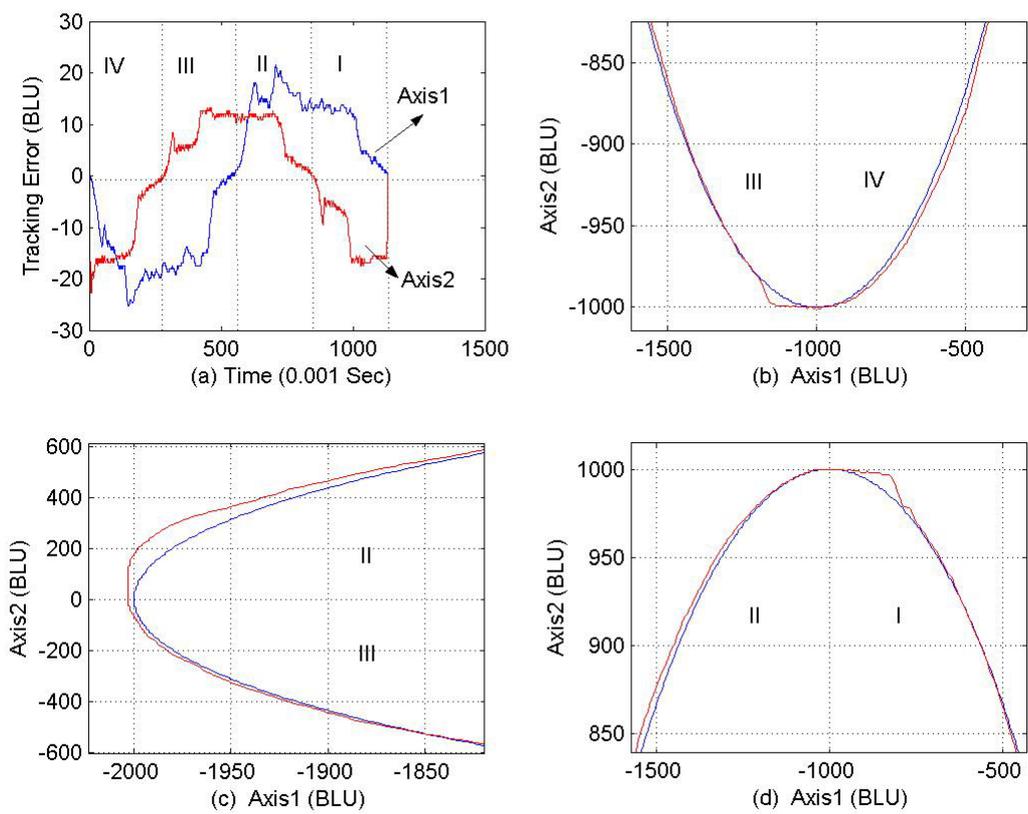


圖 6-10 圓弧等速補間誤差和轉角軌跡：

(a)雙軸追蹤誤差；(b) Axis2 軸(負~正)換向軌跡放大；(c) Axis1 軸(負~正)換向軌跡放大；(d) Axis2 軸(正~負)換向軌跡放大

### 6.3.2 T-Curve 加減速補間

設置各參數後執行 CircleCW\_T 函數：

| 倍率(M) | 初速度(SV)<br>(PPS) | 驅動速度(V)<br>(PPS) | 加速度(A)<br>(PPS/Sec) | 終點座標<br>(FP) | 人工減速<br>點(DP) | 圓心座標<br>(CP) |
|-------|------------------|------------------|---------------------|--------------|---------------|--------------|
| 5     | 1000             | 2000             | 80                  | (0,0)        | 10413         | (-5000,0)    |

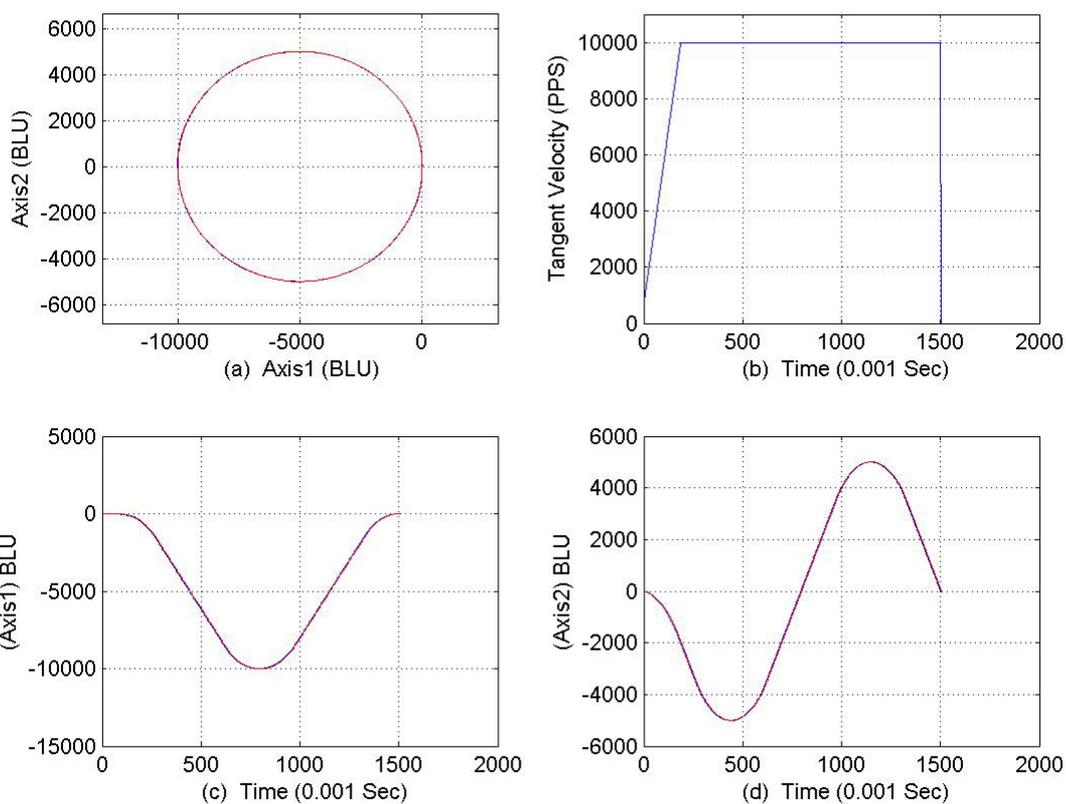


圖 6-11 T-Curve 加減速圓弧補間

(a)雙軸循圓軌跡；(b)切線速度響應；(c) Axis1 位置響應；(d) Axis2 位置響應

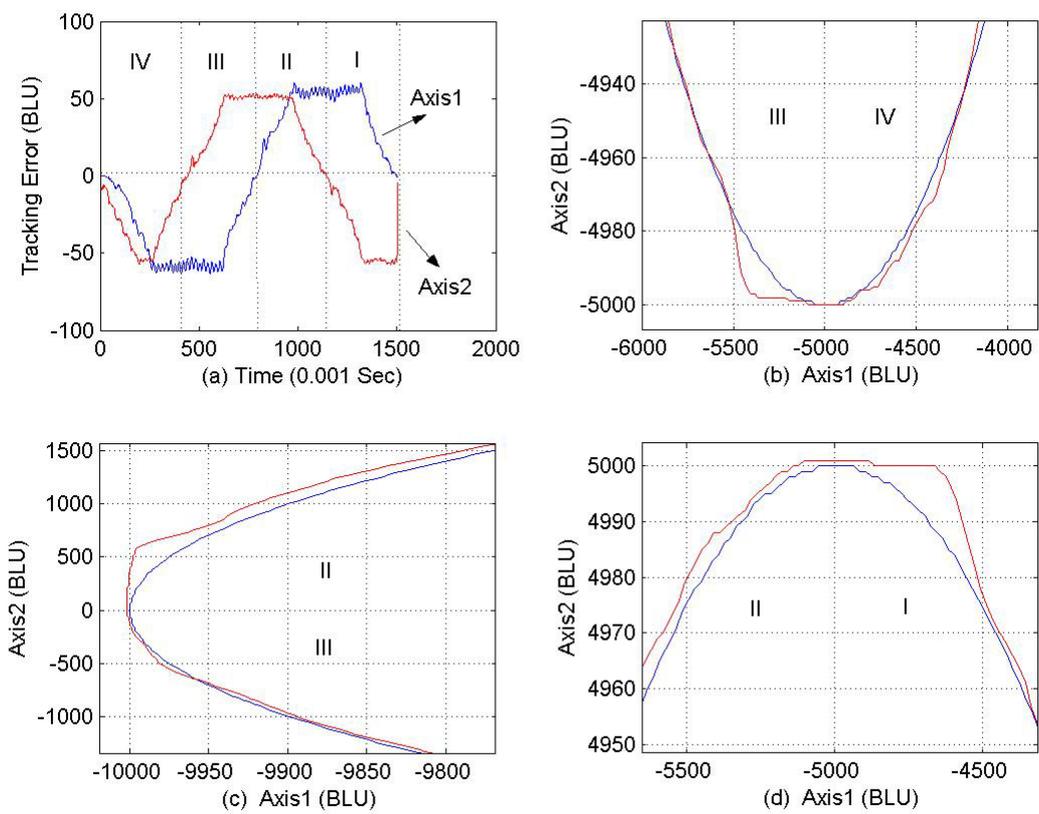


圖 6-12 圓弧直線加減速補間誤差和轉角軌跡

(a)雙軸追蹤誤差；(b) Axis2 軸(負~正)換向軌跡放大；(c) Axis1 軸(負~正)換向軌跡放大；(d) Axis2 軸(正~負)換向軌跡放大