實驗九：直流伺服馬達位置控制 暫態觀察與參數判別

一、實驗目的

觀察永磁式直流伺服馬達在位置控制時，由於物理特性及非線性機構對暫態及穩態響應之影響。學習使用控制理論加以分析並建立其數學模型。

二、硬體接線圖

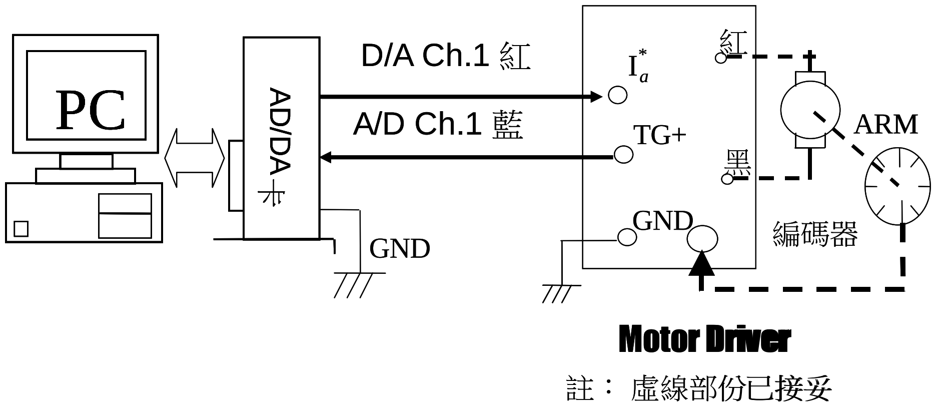

圖 9.1 馬達位置比例控制硬體接線圖

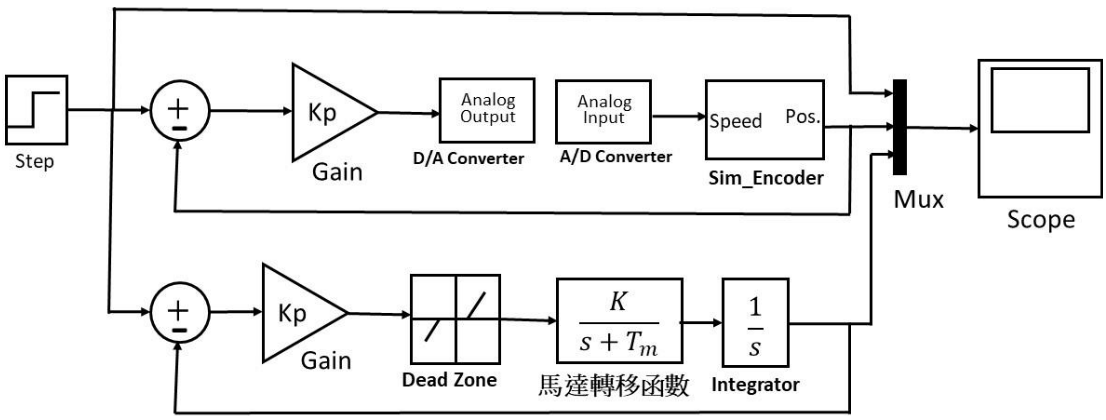

圖 9.2 SIMULINK 即時控制接線圖

三、相關原理

作直流伺服馬達的位置控制時，必須注意物理特性及非線性(如死區、

齒隙等)對系統之暫態及穩態現象造成之影響。適當利用迴授控制的原理，仍可達成位置控制之目的，並且可以使暫態及穩態響應符合性能要求。

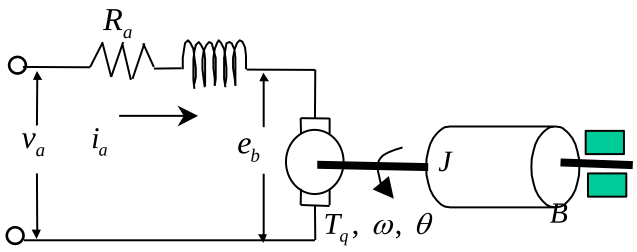

圖9.3 直流伺服馬達等效電路

其中 v_a ：電樞電壓 i_a ：電樞電流

R_a ：電樞電阻 L_a ：電樞電感

e_b ：反應電勢 T_q ：轉矩

J ：轉動慣量 B ：摩擦係數

ω： 角速度 θ ：轉子角位移

K_b： 反電勢常數 K_t ：轉矩常數

在忽略電樞電感量 L_a 的條件下，直流伺服馬達(見圖 9.3)從輸入直流電壓 v_a 到輸出轉速 ω 的轉移函數已在實驗七求得如下

$$\frac{\omega(s)}{V_a(s)} = \frac{K}{s+T_m} \tag{9-1}$$

因馬達轉子角位移 θ 為角速度 ω 之積分，即

$$\theta(t) = K_H \int_0^t \omega(\tau) d\tau \tag{9-2}$$

其中 K_H 表位置感測裝置之增益。取上式之拉氏轉換得

$$\theta(s) = K_H \frac{1}{s} \omega(s) \tag{9-3}$$

由(9-1)及(9-3)式，我們可求得從輸入直流電壓 v_a 到角位移 θ 的轉移函數為

$$\frac{\theta(s)}{V_a(s)} = \frac{K \cdot K_H}{s(s+T_m)} \tag{9-4}$$

其中

$$K = \frac{K_a K_t K_{tch}}{R_a J} \tag{9-5}$$

$$T_m = \frac{K_b K_t + R_a B}{R_a J} \tag{9-6}$$

將(9-3)式表成方塊圖 9.4，直流伺服馬達位置控制系統為二階控制系統。

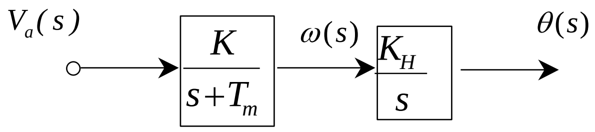

圖 9.4 直流馬達輸入電壓v_a至轉子角位移θ之模型

令$K_c = K \cdot K_H$，(9-3)式可表成

$$\frac{\theta(s)}{V_a(s)} = \frac{K_c}{s(s+T_m)} \tag{9-7}$$

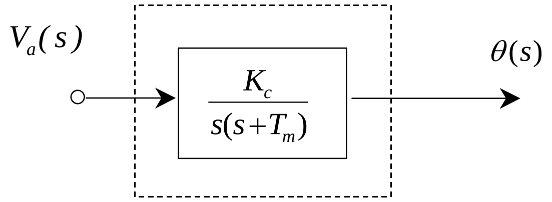

圖 9.5 直流伺服馬達輸入電壓v_a至轉子角位移θ之轉移函數

由(9-7)式知於直流伺服馬達位置之轉移函數為型式 1 (Type One)之系統，對步階輸入具有零穩態誤差之效應。由於馬達位置控制系統包含驅動器、馬達及位置感測器(編碼器或電位計……)如圖 9.1 所示，因此我們必須先將其參數K_c及T_m經由實驗判別出來。為了降低系統的阻尼比，使馬達有較大的超越量並減低非線性現象(死區)的效應，我們在驅動器之前加入一已知倍率為K_p之放大器如圖 9.6 所示，經由量測輸入-輸出波形判斷出系統之ω_n及ζ參數，再反推出K_c及T_m。

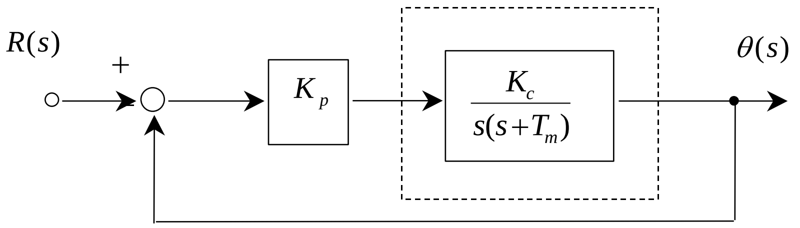

圖 9.6 直流伺服馬達位置比例控制系統

由圖 9.6 可知

$$\frac{\theta(s)}{R(s)} = \frac{K_p K_c}{s^2 + T_m s + K_p K_c} =: \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \tag{9-8}$$

設其步級響應如圖 9.7，若量測出 t_p 與 $P.O.$，則由暫態響應公式

$$P.O. = e^{\frac{-\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}} \times 100\,\%, \qquad t_p = \frac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}$$

我們可求出 ω_n 及 ζ 並由(9-8)式

$$K_p K_c = \omega_n^2, \quad T_m = 2\zeta\omega_n$$

反推出 K_c 及 T_m 如下：

$$K_c = \omega_n^2 / K_p, \quad T_m = 2\zeta\omega_n \tag{9-9}$$

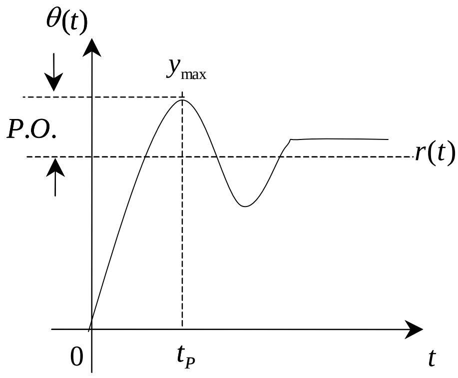

圖 9.7 典型馬達位置比例控制之步階響應

3-1 非線性現象--死區(Dead-Zone)之影響

由於馬達及傳動機構之摩擦慣量等非線性因素，使得電樞電壓在降低到 0 伏特附近時，馬達將停止運轉，此一現象稱為死區。對於直流馬達，其死區大小將隨著運轉條件及方向改變。在做位置控制相關實驗時，馬達會因位置誤差縮小而落入死區，因此會產生穩態誤差，此誤差會隨著系統增益增加而縮小，因此做馬達位置控制時，其步階響應之終值會落於死區內任一點，故計算 P.O.時要如圖 9.7 所示以步階輸入為基準不是以終值為基準。

$$p.o = \frac{y_{max} - r}{r} x100\% \tag{9-10}$$

預測：

假設圖 9.6 之系統做參數判別得到下列實驗數據： $K_p = 20$ 使輸出產生如圖 9.8 求馬達參數（ K_c, 及 T_m ）。

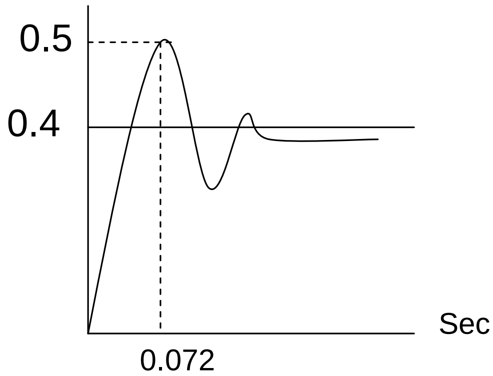

圖 9.8 馬達步階響應

四、實驗步驟

馬達位置控制模型參數量測

(1) 按圖 9.1 接線。

(2) 開啟 SIMULINK Model 檔 adda_test.mdl，修改成圖 9.2 並另存新檔。(註：在 MATLAB 視窗下鍵入 addalib 可呼叫出 Encoder 方塊)

(3) 設定 Step 方塊之參數如下：

Step time=0, Initial value=0, Final value=0.5 Sample time=0
（相當於輸出值為 0.5 之步級電壓）

(4) 設定比例控制器之增益 K_P=20。(注意: Step 方塊輸出 $\times K_p < \pm 10$）

(5) Parameter 選單中 Solver 的選項設定如下：

Start time=0, Stop tiime=0.6
Fixed step size（取樣時間）設為 0.001

(6) 參考實驗五相關原理第 B 節步驟 1~3，啟動即時控制介面程式。

(7) 觀察執行結果並使用 MATLAB plot 指令將波形繪出。

(8) 利用資料游標量測穩態誤差、峰值時間、最大超越量進而利用公式(9-9)

反推出計算 K_c 及 T_m 之值。

(9) 設定不同之比例控制器之增益 K_p (如記錄中的表格所示)，重做步驟(5)-(8)，利用(9-9)式計算 K_c 及 T_m 並求得平均值。**注意：若 K_p 的值大於 20，應調整 Step 方塊之步階輸出高度以避免 D/A Converter 輸出飽和。**

(10) 建立圖 9.2 之 SIMULINK 模擬方塊圖，將求得之平均值 K_c 及 T_m 代入與實作結果比較是否符。(此處之 T_m 與實驗六所求得之結果會不相同)

注意:因馬達具有死區，輸入步階時馬達位置終值無法與輸入相同，因此計算最大超越量時以輸入值為基準，計算式如(9-10)

(11) 將實驗數據填入下節之表格內，以供後續實驗參考運用。

五、記錄

Gain K_p	步級電壓v	e_{ss}	t_p	P.O.(%)	ζ	ω_n	T_m	K_c
20								
平均值								

說明: 1.自行增加 Gain 之大小使馬達步階響應產生超越量

2. Kp*Step(步級電壓)<10 避免輸出飽和。

3.列印馬達位置響應與模擬輸出於同一張紙上,並將縱軸轉換成角度，轉換方關係如討論 3。

硬體驗收標準:1.模擬與馬達實際輸出之上升曲線、 $P.O$ 及 t_p 盡可能接近。

2. 輸出轉成角度。

六、討論:

1. K_p 與欲判別之係數 K_c 及 T_m 之關係為何？
2. 就暫態及穩態觀測，分別討論直流伺服馬達之位置控制，將產生那些

問題?造成非線性現象原因又有那些，可否消除或降低此一現象?

3. 馬達旋轉一圈(360 度)產生 2000 個脈波經 4 倍頻後變成 8000 個脈波，此脈波送進 16 位元上下數計數器(0-65535)，此計數器之輸出轉換成±10v (20Vp-p)，求出當位置輸出為 1v 代表多少角度?

$$\frac{\text{度}}{\text{每一脈波}} \times \frac{\text{脈波}}{\text{伏特}} = \frac{\text{度}}{\text{伏特}}$$