

# == 實驗 3 ==

## 直流馬達速度控制系統之增益響應

分析直流馬達控制系統，探討增益對其暫態響應及穩態響應的影響，並以軟體 Matlab/Simulink 模擬與驗證。

### 學習目標

1. 分析直流馬達控制系統。
2. 探討增益對直流馬達速度控制系統之暫態響應及穩態響應的影響。
3. 以軟體 Matlab/Simulink 模擬與驗證。

### 相關理論

#### 直流馬達(回顧)

直流馬達系統角度位移與輸入電壓之轉移函數

$$\frac{\Theta(s)}{E_a(s)} = \frac{k_m}{s(1 + \tau s)} \quad (3-1)$$

其中

$$k_m = \frac{k_i}{R_a B + k_b k_i}, \text{ 直流馬達增益} \quad (3-2)$$

$$\tau = \frac{R_a J}{R_a B + k_b k_i}, \text{ 馬達時間常數} \quad (3-3)$$

由式 3-1 知，角速度與輸入電壓之轉移函數為

$$\frac{\Omega(s)}{E_a(s)} = \frac{k_m}{(1 + \tau s)} \quad (3-4)$$

其方塊圖如圖 3-1。

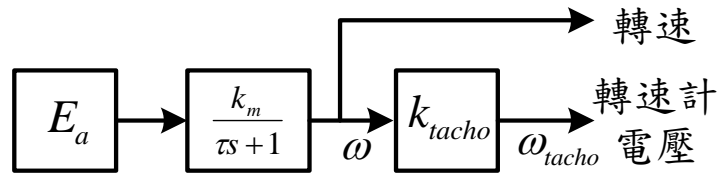


圖 3-1 DC Motor 開迴路系統方塊圖

### 直流馬達速度控制系統之增益影響

速度控制系統，其方塊圖如圖 3-2。

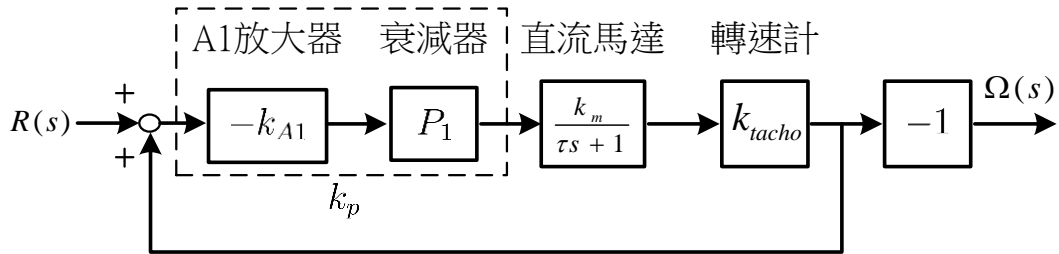


圖 3-2、直流馬達速度控制系統方塊圖

圖中  $R(s)$  為速度命令， $k_p = k_{A1} \times P1$ ， $k_{A1}$  為放大器  $A1$  的增益， $P1$  為衰減器的增益。

直流馬達速度控制系統之閉迴路轉移函數為

$$\frac{\Omega(s)}{R(s)} = \frac{\frac{k_p k_m k_{tacho}}{1 + \tau s}}{1 + \frac{k_p k_m k_{tacho}}{1 + \tau s}} = \frac{\frac{k_p k_m k_{tacho}}{1 + k_p k_m k_{tacho}}}{\left( \frac{\tau}{1 + k_p k_m k_{tacho}} \right) s + 1} = \frac{k}{\tau_v s + 1} \quad (3-5)$$

$$k = \frac{k_p k_m k_{tacho}}{1 + k_p k_m k_{tacho}} \text{ 為閉迴路速度控制系統之增益}$$

$$\tau_v = \frac{\tau}{1 + k_p k_m k_{tacho}} \text{ 為閉迴路速度控制系統之時間常數}$$

由式(3-5)可知閉迴路時間常數小於開迴路時間常數，故直流馬達速度控制系統閉迴路之暫態響應會較快。

當系統輸入信號為步階函數( $R(s) = A/s$ )時，可得閉迴路直流馬達速度控制系統步階響應  $\omega(t)$  為

$$\omega(t) = kA(1 - e^{-t/\tau_v}), t \geq 0 \quad (3-6)$$

下列為此實驗之重點：

$$1. \text{ 增益為 } k = \frac{k_p k_m k_{tacho}}{1 + k_p k_m k_{tacho}} \quad (3-7)$$

$$2. \text{ 時間常數為 } \tau_v = \frac{\tau}{1 + k_p k_m k_{tacho}} \quad (3-8)$$

## 實習 3-1 【開迴路速度控制系統之步階響應】

### 1. 請完成

- (1) 輸入訊號為步階 +5V 及 +7V。
- (2) 觀察示波器顯示之步階響應波形，量測輸入訊號電壓、響應穩態值、時間常數之實際值，將結果填於表 3-1、3-2、3-3、3-4。
- (3) 寫出直流馬達系統角速度與輸入電壓之轉移函數。
- (4) 將實驗所得之馬達參數以 MATLAB/Simulink 模擬及驗證。

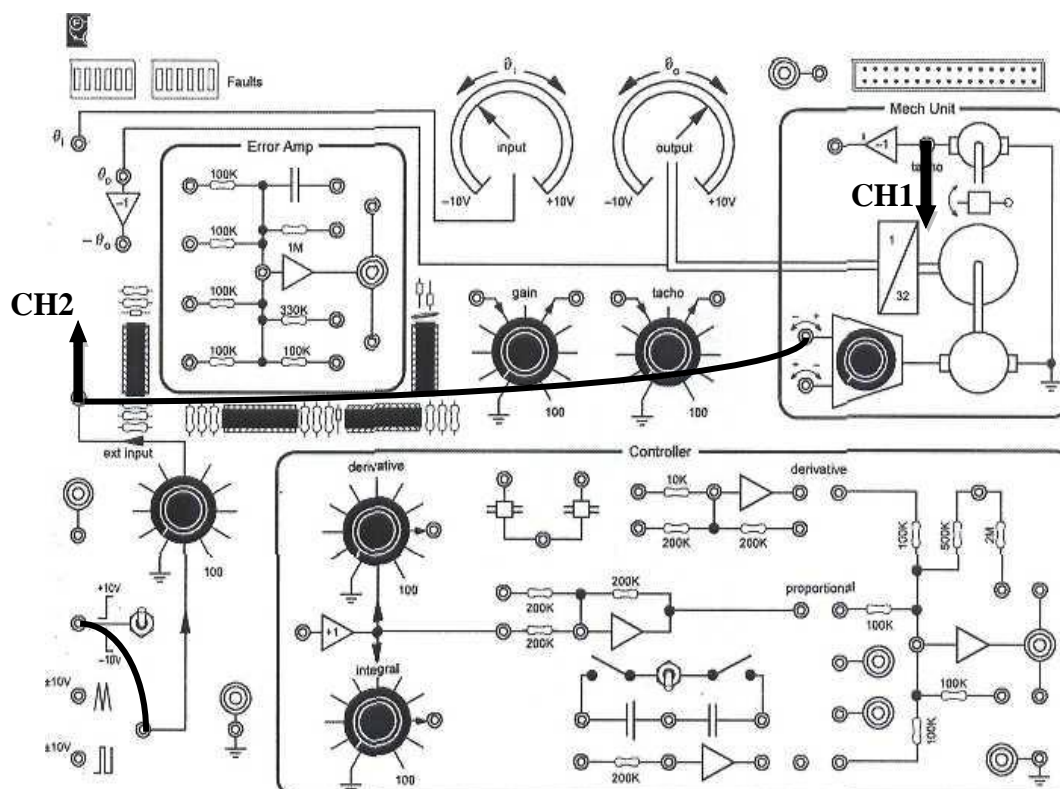


圖 3-3、開迴路直流馬達速度控制系統接線圖

(1)  $k_m$  = 轉速/輸入電壓。

表 3-1、+5V 直流馬達增益

步階輸入訊號 $E_a(V)$	響應穩態值		直流馬達增益 $k_m = \omega_{ss}(rpm)/E_a(V)$
	$\omega_{ss}(rpm)$	$\omega_{ss}(V)$	

表 3-2、+5V 直流馬達時間常數

步階響應穩態值之 0.632 $0.632 * \omega_{ss}(V)$	直流馬達時間常數 $\tau$

表 3-3、+7V 直流馬達增益

步階輸入訊號 $E_a(V)$	響應穩態值		直流馬達增益 $k_m = \omega_{ss}(rpm)/E_a(V)$
	$\omega_{ss}(rpm)$	$\omega_{ss}(V)$	

表 3-4、+7V 直流馬達時間常數

步階響應穩態值之 0.632 $0.632 * \omega_{ss}(V)$	直流馬達時間常數 $\tau$

## 實習 3-2 【直流馬達速度控制】

### 1. 步驟

- (1) 調整零位調整器 (zero) 使馬達停止不動，並依圖 3-4 接線。
- (2) 輸入信號為步階，步階之大小可用 P3 衰減器來調整。
- (3) 以軟體 Matlab/Simulink 模擬與驗證。

### 2. 請完成

- (1) 請以終值定理推導式 3-6 之穩態值。
- (2) 請繪出圖 3-4 之系統方塊圖。
- (3) 請完成輸入信號為步階 +6V、P1 調整至 25%，觀察示波器顯示之響應波形，計算系統閉迴路之時間常數與增益，將結果填於表 3-5，並以軟體模擬與驗證。
- (4) 請完成輸入信號為步階 +6V、P1 調整至 50%，觀察示波器顯示之響應波形，計算系統閉迴路之時間常數與增益，將結果填於表 3-6，並以軟體模擬與驗證。
- (5) 請完成輸入信號為步階 +6V、P1 調整至 80%，觀察示波器顯示之響應波形，計算系統閉迴路之時間常數與增益，將結果填於表 3-7，並以軟體模擬與驗證。

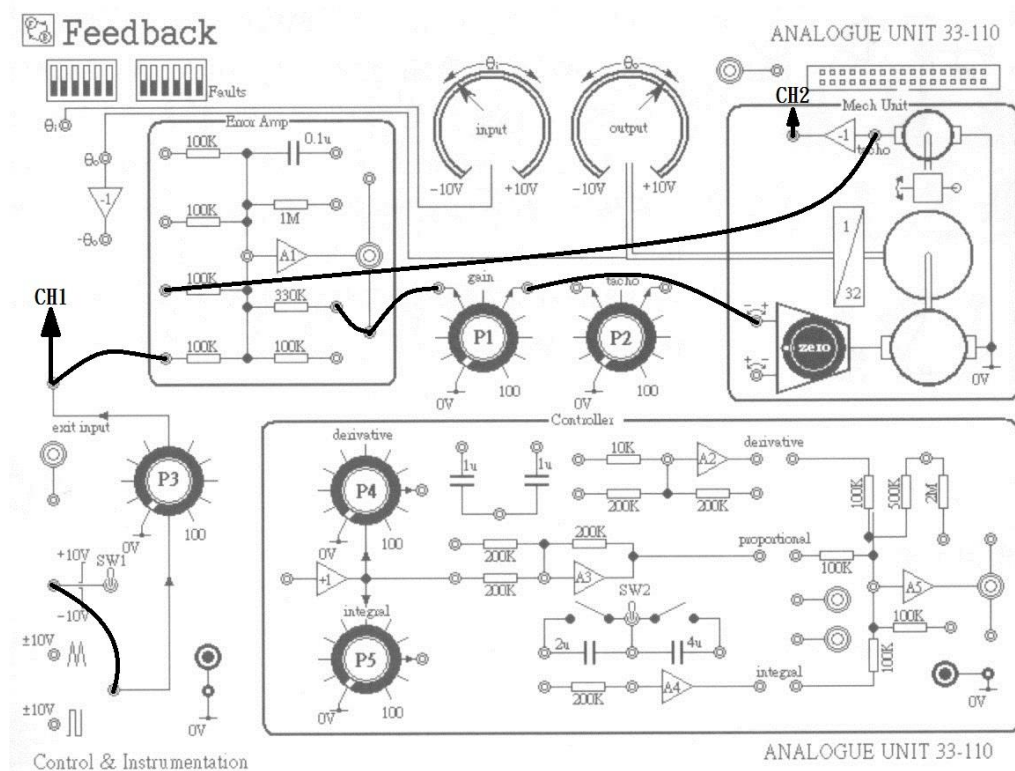


圖 3-4、直流馬達速度控制系統接線圖

表 3-5、P1 調整至 25%

項目	輸入信號 $E_a(V)$	響應穩態值 $\omega_{ss}(V)$	增益 $\omega_{ss}(V)/E_a(V)$	步階響應值 $0.632*\omega_{ss}(V)$	時間常數 $\tau_v$
實驗					
理論			式 3-7		式 3-8

表 3-6、P1 調整至 50%

項目	輸入信號 $E_a(V)$	響應穩態值 $\omega_{ss}(V)$	增益 $\omega_{ss}(V)/E_a(V)$	步階響應值 $0.632*\omega_{ss}(V)$	時間常數 $\tau_v$
實驗					
理論			式 3-7		式 3-8

表 3-7、P1 調整至 80%

項目	輸入信號 $E_a(V)$	響應穩態值 $\omega_{ss}(V)$	增益 $\omega_{ss}(V)/E_a(V)$	步階響應值 $0.632*\omega_{ss}(V)$	時間常數 $\tau_v$
實驗					
理論			式 3-7		式 3-8

## ξ

## 問題討論

1. 比例控制器增益增大時，對直流馬達速度控制系統之**暫態**響應有何影響？
2. 比例控制器增益增大時，對直流馬達速度控制系統之**穩態**響應有何影響？
3. 圖 3-4 中，當運算放大器 A1 之回授電阻為  $1M\Omega$  時，請畫出控制系統之方塊圖，並推導其轉移函數及模擬？
4. 請述閉迴路速度控制系統之優點。