

== 實驗 12 ==

閉迴路直流馬達速度控制系統之 時域與頻域響應分析

利用閉迴路直流馬達速度控制系統當作系統轉移函數電路，以正弦波信號為輸入測試信號，量測速度控制系統之頻率響應與繪製波德圖，並以軟體 Matlab/Simulink 模擬與驗證。

ξ 學習目標

1. 瞭解閉迴路直流馬達速度控制系統如何測得頻率響應。
2. 量測閉迴路直流馬達速度控制系統之頻率響應與繪製波德圖。
3. 以軟體 Matlab/Simulink 模擬與驗證。

ξ 相關理論

1. 直流馬達速度控制系統與 PID(詳細過程可參閱實驗 4):

以 PID 控制器應用於控制系統，若受控體為直流馬達，以速度作為負回授信號，稱為 PID 直流馬達速度控制系統，如圖 12-1 所示

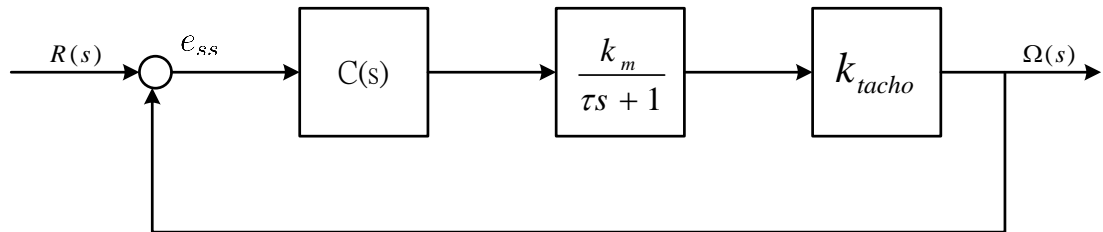


圖 12-1 PID 直流馬達速度控制系統方塊圖

圖 12-1 中， $C(s)$ 為 PID 控制器，其轉移函數為

$$C(s) = k_p + \frac{k_I}{s} + k_D s \quad (12-1)$$

2. 加入控制器後的轉移函數(令 $k_w = k_m k_{tacho}$)

P 控制器：

$$\frac{\Omega(s)}{R(s)} = \frac{\frac{k_p k_w}{1 + k_p k_w}}{1 + \frac{\tau}{1 + k_p k_w} s} \quad (12-2)$$

頻率響應下，s 用 $j\omega$ 代入，此時系統仍為一階系統

$$\text{增益：} \frac{\frac{k_p k_w}{1+k_p k_w}}{\sqrt{1^2 + \left(\frac{\tau\omega}{1+k_p k_w}\right)^2}} \quad (12-3)$$

$$\text{相位：} -\tan^{-1}\left(\frac{\tau\omega}{1+k_p k_w}\right) \quad (12-4)$$

PD 控制器：

$$\frac{\Omega(s)}{R(s)} = \frac{\frac{(k_p + k_D s)k_w}{1+k_p k_w}}{1 + \frac{\tau + k_D k_w}{1+k_p k_w}s} \quad (12-5)$$

頻率響應下，s 用 $j\omega$ 代入，此時系統仍為一階系統

$$\text{增益：} \frac{\sqrt{\left(\frac{k_p k_w}{1+k_p k_w}\right)^2 + \left(\frac{k_D k_w \omega}{1+k_p k_w}\right)^2}}{\sqrt{1^2 + \left(\frac{(\tau + k_D k_w)\omega}{1+k_p k_w}\right)^2}} \quad (12-6)$$

$$\text{相位：} \tan^{-1}\left(\frac{k_D \omega}{k_p}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{(\tau + k_D k_w)\omega}{1+k_p k_w}\right) \quad (12-7)$$

3. 波德圖繪製方法：

以正弦波為輸入信號，在某一特定頻率時，其輸入信號與輸出響應信號之關係如圖 14-2，可得：

增益為： $|G(j\omega_0)| = B/A$

相位為： $\angle G(j\omega_0) = \theta = \frac{-180^\circ}{\omega} \frac{T_2}{T_1}$

以同樣方法，改變正弦波輸入信號的頻率，可得另一組增益與相位，以此類推，如此取足夠頻率可畫出實際系統波德圖。

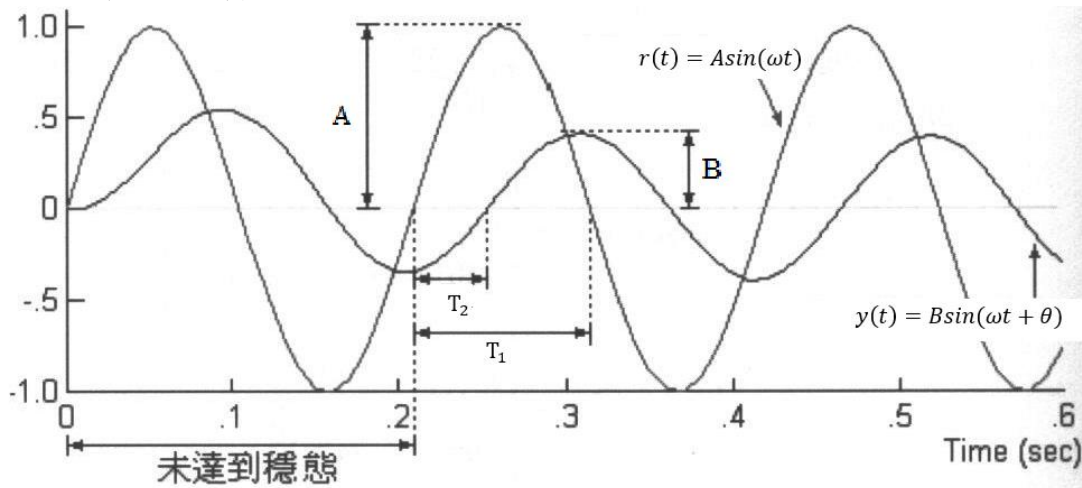


圖 12-2、正弦波輸入信號與輸出響應信號之關係圖

§ 實驗 12-1 【閉迴路直流馬達速度控制系統之時域與頻域響應(P 控制器)】

1. 步驟

- (1) 依圖 12-3，請完成直流馬達速度控制系統頻率響應接線。
- (2) 輸入信號為步階，步階之振幅可用 P3 衰減器調整至 ($\pm 5V$)，其頻率大小可由機構單元 面板右下角的旋鈕及切換開關來控制，調整 P1 旋鈕為 100%。
- (3) 輸入信號為正弦波，正弦波之振幅可用 P3 衰減器調整至 ($\pm 5V$)，其頻率大小可由機構單元 面板右下角的旋鈕及切換開關來控制，調整 P1 旋鈕為 100%。

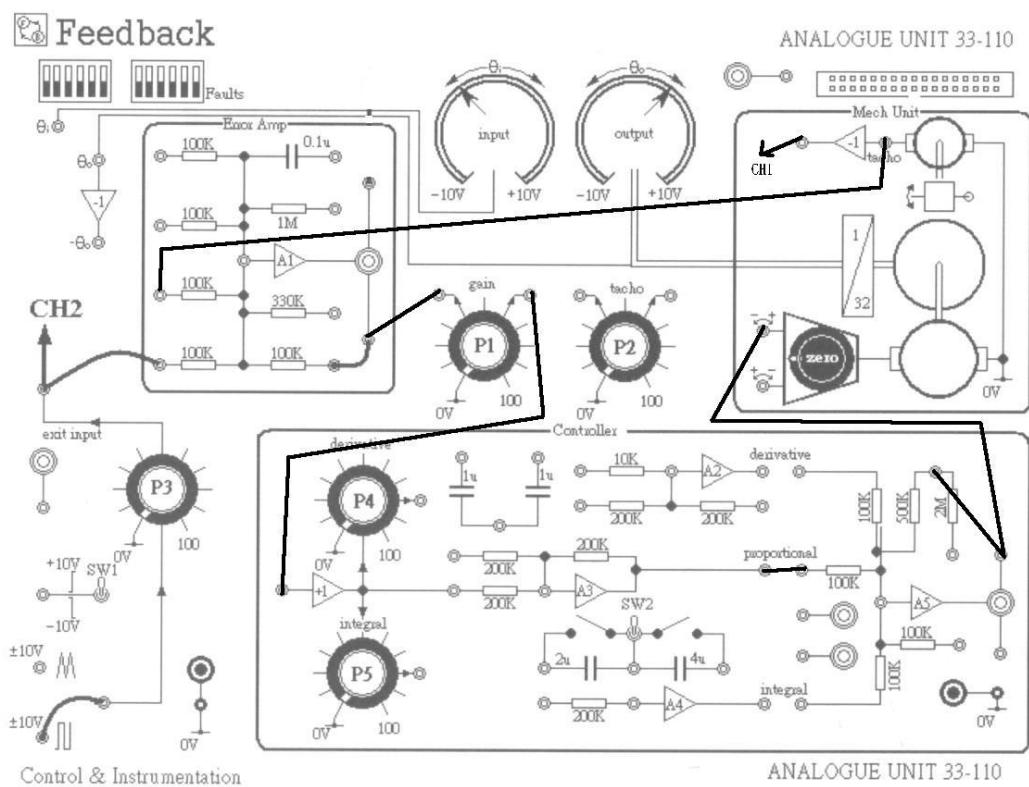


圖 12-3 閉迴路直流馬達速度控制系統之接線圖

2. 請完成

- (1) 輸入信號為步階 ($+5V$)、 $P1=100\%$ (P 控制器, $k_p = 1$)，存取示波器顯示之響應波形，並記錄其上升時間於下表 12-1。
- (2) 輸入信號為正弦波 ($\pm 5V$)、 $P1=100\%$ (P 控制器, $k_p = 1$)，觀察示波器顯示之響應波形，將相關數據記錄於表 12-3，繪製波德圖。

表 12-1、控制器與上升時間

控制器參數	$k_p = 1$
上升時間[s]	

頻率(f)	0.1Hz	0.3Hz	0.5Hz	0.6Hz	0.7Hz	0.75Hz	0.8Hz	0.9Hz	1Hz	3Hz	5Hz
$\omega = 2\pi f$ [rad/s]											
A [V]											
B [V]											
T_1 [sec]											
T_2 [sec]											
增益 $ G(j\omega) = \frac{B}{A}$											
增益(dB 值) $ G(j\omega) _{dB}$											
相位 $\theta = \frac{-180^\circ T_2}{\omega T_1}$											

表 12-2、加入 P 控制器($k_p = 1$ 、之增益與相位)。

§ 實驗 12-2 【閉迴路直流馬達速度控制系統之時域與頻域響應(PD 控制器)】

3. 步驟

- (1) 依圖 14-4，請完成直流馬達速度控制系統頻率響應接線。
- (2) 輸入信號為步階，步階之振幅可用 P3 衰減器調整至 ($\pm 5V$)，其頻率大小可由機構單元 面板右下角的旋鈕及切換開關來控制，調整 P1 旋鈕為 100%。
- (3) 輸入信號為正弦波，正弦波之振幅可用 P3 衰減器調整至 ($\pm 5V$)，其頻率大小可由機構單元 面板右下角的旋鈕及切換開關來控制，調整 P1 旋鈕為 100%。

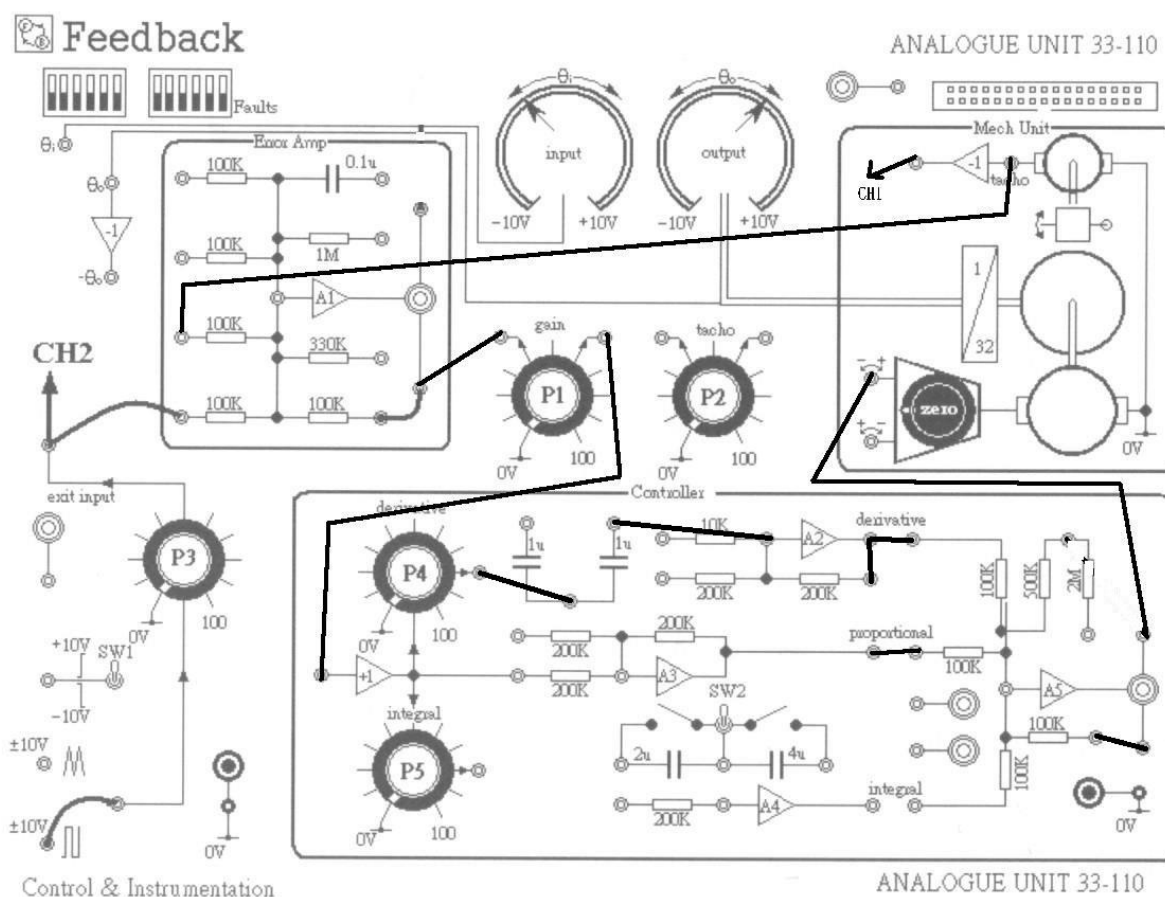


圖 12-4 閉迴路直流馬達速度控制系統之接線圖

4. 請完成

- (1) 輸入信號為步階 ($+5V$)、 $P1=100\%$ ，此時 $P4$ 為 100% (PD 控制器， $k_p = 1$ ， $k_D = 0.2$)，存取示波器顯示之響應波形，並記錄其上升時間於下表 12-4。
- (2) 輸入信號為正弦波 ($\pm 5V$)、 $P1=100\%$ ，此時 $P4$ 為 10% (PD 控制器， $k_p = 1$ ， $k_D = 0.2$)，觀察示波器顯示之響應波形，將相關數據記錄於表 12-6，繪製波德圖。

表 12-3、控制器與上升時間

控制器參數	$k_p = 1 \cdot k_D = 0.2$
上升時間[s]	

頻率(f)	0.1Hz	0.3Hz	0.5Hz	0.6Hz	0.7Hz	0.75Hz	0.8Hz	0.9Hz	1Hz	3Hz	5Hz
$\omega = 2\pi f$ [rad/s]											
A [V]											
B [V]											
T_1 [sec]											
T_2 [sec]											
增益 $ G(j\omega) = \frac{B}{A}$											
增益(dB 值) $ G(j\omega) _{dB}$											
相位 $\theta = \frac{-180^\circ T_2}{\omega T_1}$											

表 12-4、加入 PD 控制器($k_p = 1 \cdot k_D = 0.2$)之增益與相位