

實驗六：直流馬達參數判別

一、實驗目的

利用實驗方法判別永磁式直流伺服馬達參數以建立其數學模型，並以電腦模擬加以印證。

二、系統方塊

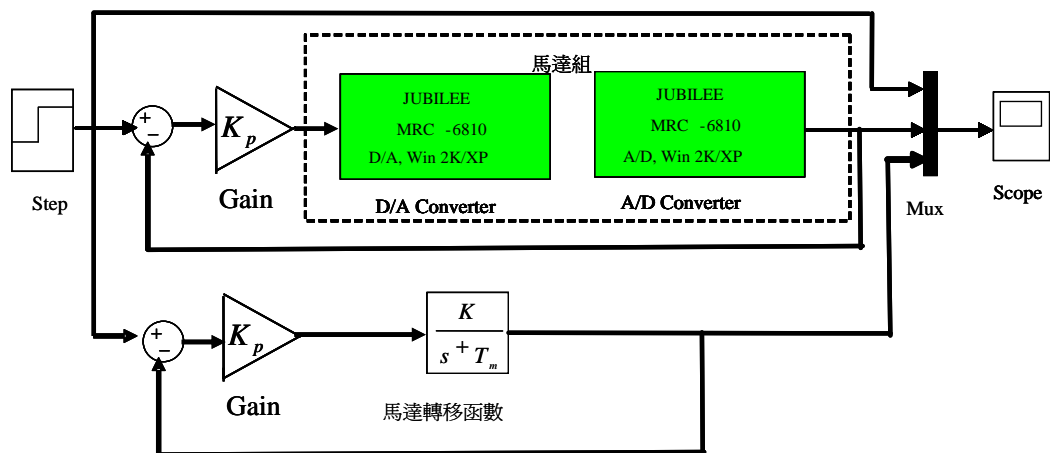


圖 6.1 系統模擬及實作方塊圖

三、硬體接線圖

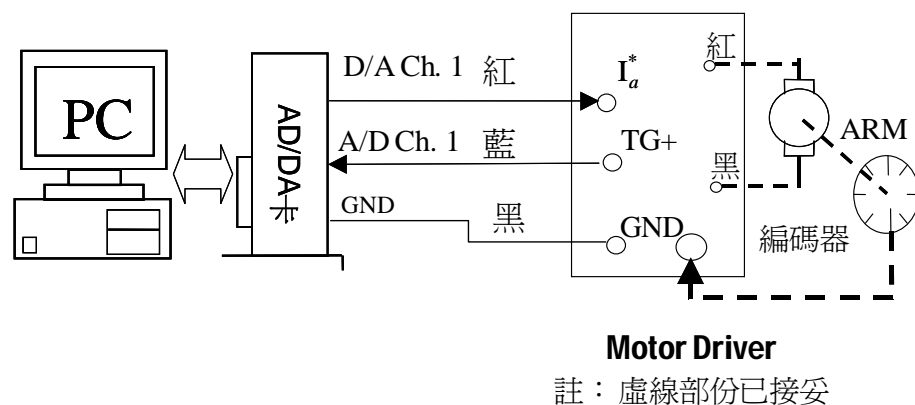


圖 6.2 直流伺服馬達參數判別接線圖

四、相關原理

自動控制系統常使用永磁式直流伺服馬達作為驅動裝置，其等效電路如

圖 6.3 所示。

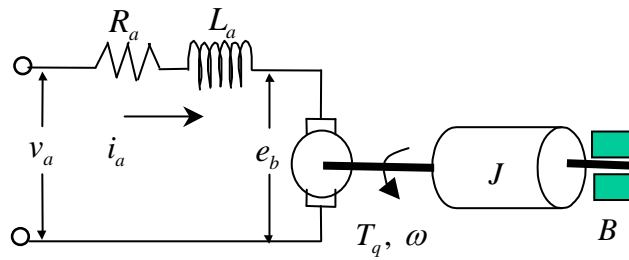


圖6.3 伺服馬達等效電路

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	B : 摩擦係數
J : 轉動慣量	T_q : 轉矩
ω : 角速度	K_t : 轉矩常數
K_b : 反電勢常數	

我們可由下列關係式，來建立其數學模型：

$$v_a(t) = R_a i_a(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt} + e_b(t) \quad (6-1)$$

$$e_b(t) = K_b \omega(t) \quad (6-2)$$

$$T_q(t) = K_t i_a(t) \quad (6-3)$$

$$T_q(t) = J \frac{d\omega(t)}{dt} + B\omega(t) \quad (6-4)$$

將上列各式取拉氏轉換並整理合併後得

$$V_a(s) = (R_a + L_a s)I_a(s) + K_b \omega(s) \quad (6-5)$$

$$T_q(s) = K_t I_a(s) = (Js + B)\omega(s) \quad (6-6)$$

由(6-6)式知

$$I_a(s) = \frac{Js + B}{K_t} \omega(s) \quad (6-7)$$

將(6-7)式代入(6-5)式整理後得到馬達之轉移函數為

$$\frac{\omega(s)}{V_a(s)} = \frac{K_t}{(R_a + L_a s)(Js + B) + K_b K_t} \quad (6-8)$$

利用(6-5)及(6-6)式表成圖 6.4 所示的方塊圖，吾人亦可求得(6-8)式。

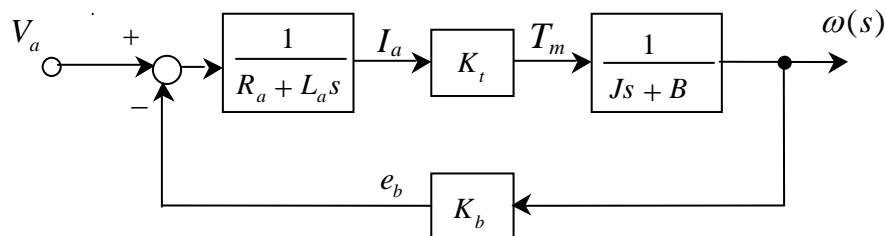


圖 6.4 直流伺服馬達方塊圖

爲了增加阻尼使響應特性改善，工業用的伺服馬達結構常選用低電感量的材料製作，使得電樞電感 L_a 甚小，即(6-8)式中在負實數軸上有一遠離原點的極點存在，此一極點所引起的暫態，消失甚速。因此令 $L_a = 0$ ，則(6-8)式可化簡爲

$$\frac{\omega(s)}{V_a(s)} = \frac{K_m}{s + T_m} \quad (6-9)$$

其中

$$K_m = \frac{K_t}{R_a J} \quad (6-10)$$

$$T_m = \frac{K_b K_t + R_a B}{R_a J} \quad (6-11)$$

若將伺服放大器的增益 K_a 及轉速發電機(tachometer)之增益 K_{tch} 考慮進來，則伺服馬達的一階模型變成：

$$\frac{\omega(s)}{V_a(s)} = \frac{K}{s + T_m} \quad (6-12)$$

其中 $K = K_a K_m K_{tch}$ 。故簡化後的馬達轉速與電樞電壓爲一階的關係。

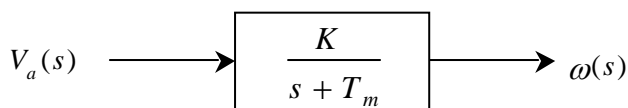


圖6.5 含伺服放大器及轉速發電機之直流伺服馬達模型

由於直流伺服馬達之模型可簡化為一階系統，其步階函數響應可由實驗三得知為一指數上升之波形如圖 6.6 所示。因此如果無法得到馬達的規格資料，那麼只要對馬達加入一個步階電壓 V_a ，量測其轉速在達穩態的 63.2% 時所需的時間及穩態值，即可求出馬達之參數 T_m 及 K 。

設轉速在達穩態的 63.2% 時所需的時間為 τ_m 且穩態值為 V_b ，則由實驗四及(6-12)式可知

$$T_m = \frac{1}{\tau_m} \quad (6-13)$$

而其穩態值 V_b 與輸入步階電壓 V_a 之比即為穩態直流增益 $\left. \frac{\omega(s)}{V_a(s)} \right|_{s=0} = \frac{K}{T_m}$ ，故

可反推出

$$K = \frac{V_b}{V_a} T_m \quad (6-14)$$

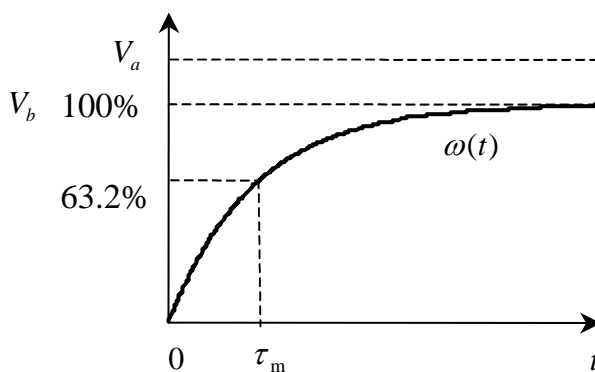


圖 6.6 一階系統步階響應

雖然利用 6-13 及 6-14 式可以求得馬達開迴路之轉移函數，但是馬達於實際運轉時，常使用於閉迴路同時為增加輸入信號的頻率變化，我們使用閉迴路方式以求出更加準確的參數。如圖 6-7 所示加入一已知的比例控制器 K_p 使得轉移函數變成

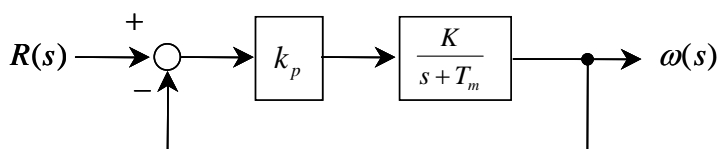


圖 6-7 閉迴路模型

$$\frac{\omega(s)}{R(s)} = \frac{\frac{k_p K}{s + T_m}}{1 + \frac{k_p K}{s + T_m}} = \frac{k_p K}{s + (T_m + k_p K)} \quad (6-15)$$

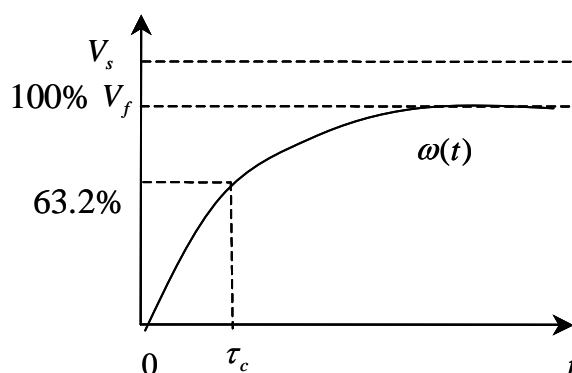


圖 6-8 閉迴路步級響應

如圖 6-8 之響應閉迴路輸入電壓為 V_s 其輸出終值為 V_f 到達終值 63.2% 之時間為 τ_c 則依照 6-15 式可得到

$$\text{時間常數：} \quad T_m + k_p K = \frac{1}{\tau_c} \quad (6-16)$$

$$\text{穩態值：} \quad \frac{V_f}{V_s} = \frac{k_p K}{T_m + k_p K} \quad (6-17)$$

在已知 k_p 情況下解 6-16 及 6-17 聯立方程式可求出 T_m 及 K 值。

利用上述系統判別方法建立馬達轉移函數後，我們可加入迴授控制器改善其轉速響應，由於其為一階系統，我們可以應用比例+積分控制器，加以補償，加速暫態響應，消除穩態誤差。比例+積分控制直流馬達轉速控制系統方塊如圖 6.7 所示。細節將在實習八：一階比例+積分控制時再作詳討。

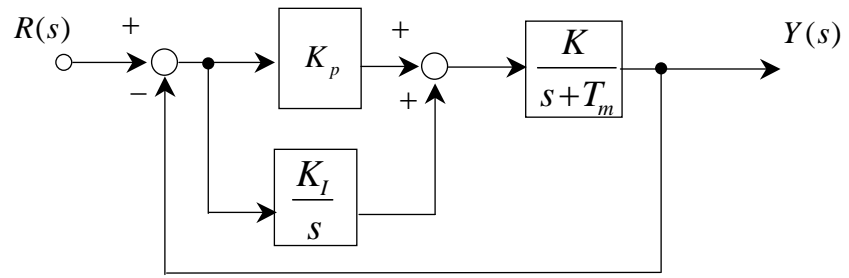


圖6-9 直流馬達比例+積分轉速控制方塊圖

預測：

- (1) 如圖 6-7 之系統設 $k_p = 2$ ，實驗輸出如圖 6-10，推導出 T_m, K 之大小。
- (2) 圖 6-7 之系統如果 $k_p = 15$ ，請說明輸入步級電壓之最大值，原因為何。
- (3) 已知轉速發電機之規格為 7v/1k rpm 求圖 6-10 之馬達轉速，誤差轉速？

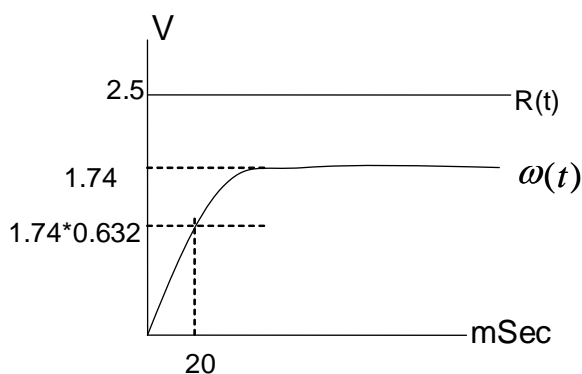


圖 6-10 閉迴路馬達轉速步級響應圖

五、實驗步驟

- (1) 依照硬體接線圖 6.2 連接。
- (2) Copy c:\ft_mrtc\adda_test.mdl 到 d 碟
- (3) 開啓 SIMULINK Model:d:\adda_test 檔，將 Signal Generator 方塊置換成 Step 方塊並修改成如圖 6.1，將其另存新檔。
- (4) 設定 Step 方塊之參數如下：
- (5) Step time=0, Initial value=0, Final value=7, Sample time=0 (相當於輸出終值為 7 之步級電壓) (先令 $T_m = 1$ 及 $K = 1$)
- (6) Parameter 選單中 Solver 的選項設定如下：

Start time=0, Stop time=1.2 (可視需要調整，但不可太小。)

Fixed step size (取樣時間) 設為 0.001

- (7) 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(進入控制面板 External Mode Control Panel 中調整緩衝器點數建議值:10001)。
- (8) 觀察執行結果並使用 MATLAB plot 指令將波形繪出。
- (9) 使用資料游標量測時間常數及穩態值並利用公式(6-16)及(6-17)計算 K 及 T_m 。
- (10) 將計算所得之 K 及 T_m 代入圖 6.1 中，重新執行，如實際輸出與模擬輸出差異過大則重新計算 K 及 T_m 。(提示:若馬達轉速響應發生振盪現象，須降低 K_p 值以免馬達高階特性被激發。)
- (11) 重做(3)-(8)，輸入不同之步級電壓(如記錄中的表格所示)。分別計算 K 及 T_m 並求得平均值。
- (12) 將求得之平均值 K 及 T_m 代入系統模擬方塊(如圖 6.1 所示) 與實作結果比較是否符。
- (13) 將實驗數據填入下節之表格內，以供後續實驗參考運用。

六、記錄

1. 閉迴路

步級電壓	K_p	時間常數	穩態值	K 值	T_m 值	轉向
3						正轉
2						正轉
1						正轉
-3						逆轉
-2						逆轉
-1						逆轉
平均值						

K_p *步級電壓<飽和電壓，並且 K_p 勿太太以免激發馬達高階特性造成響應出現振盪現象 K_p 太小則無法求出正確模型。

2. 設定不同步級電壓證逆轉各三個波形將轉速實作及模擬輸出波形繪在兩張圖上，**Y軸轉換成轉速單位(rpm)**並列印。(不要使用subplot以免圖形太小無法觀察誤差大小)。

七、討論

1. 當加入步級電壓的高度不同時，何以會得到不同之參數?
2. 馬達正轉及逆轉所測得之參數是否相同?若不是原因何在?

故障排除：

驅動器「Over Current」指示燈點亮：表示瞬間過電流，內部保護電路啓動關閉電源，查明無短路現象後，重開驅動器電源。