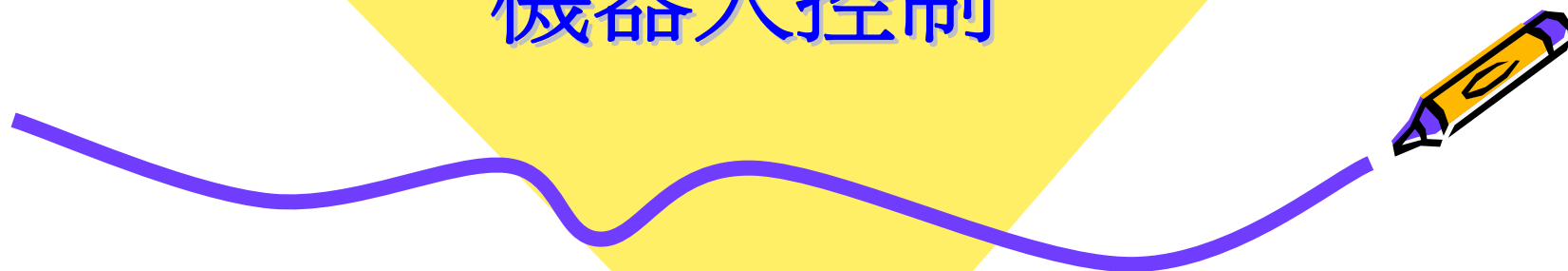




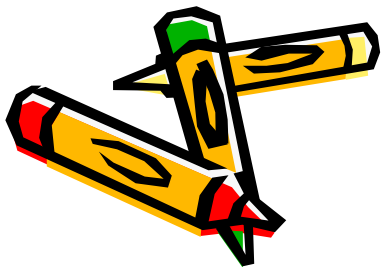
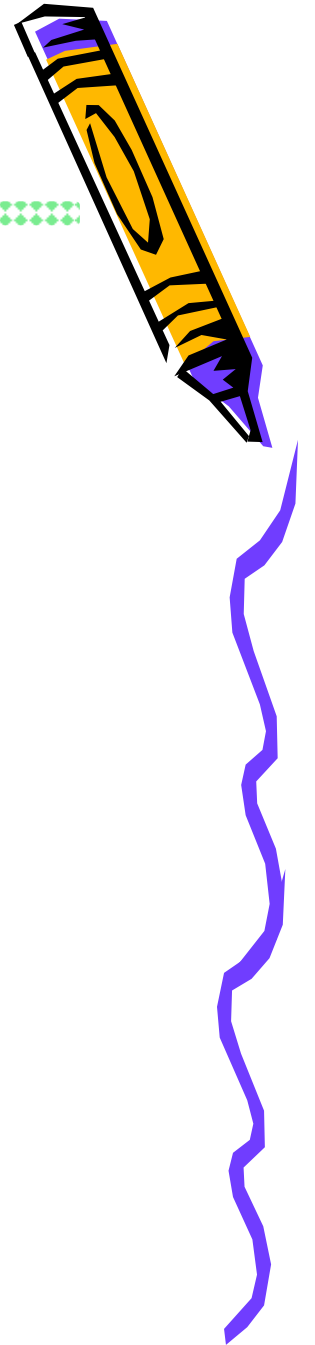
# 機器人學

機器人控制



# 內 容

- ④ 機器人控制系統簡介
- ④ 位置控制（定位控制）
- ④ 力矩控制（力控制）
- ④ 位置與力矩混合控制



# 機器人控制系統簡介(1/4)



## ● 控制系統的定義

爲了使系統達到期望的反應，設計組合一連串相關的元件，具有下達命令、引導及調節的功能。控制系統包含感測器，致動器、記憶體、傳輸設施等硬體，及決策邏輯軟體。

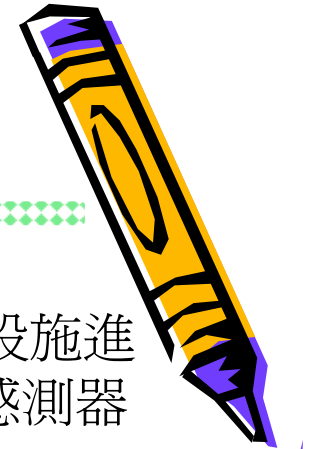
## ● 機器人控制系統元件

位置感測器，速度感測器、控制器、信號轉換介面、致動器與系統動力供應器。典型的致動器有油壓汽缸，伺服馬達，步進馬達等等。控制器有中央處理單元及記憶體。系統動力供應器爲提供內部電子零件電力或伺服系統致動器所需的電力。

## ● 機器人控制系統可分爲開迴路控制及閉迴路控制



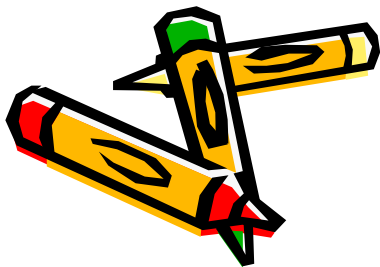
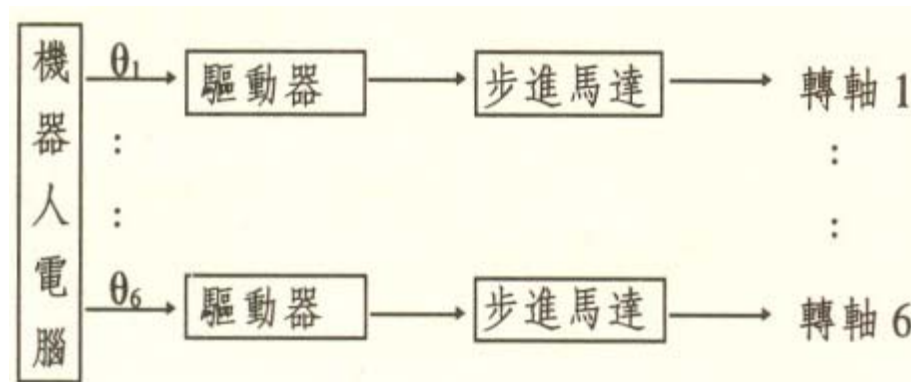
# 機器人控制系統簡介(2/4)



## ● 開迴路控制系統

內部採固定誓死點，可調整死點，極限開關或步進馬達等設施進行控制。非伺服型亦稱開路系統，其控制器並不使用迴授感測器來精確地控制手臂的驅動動力。其優點為：

- 機器人硬體成本較低。
- 以可程式控制器之型式，其控制器技術業已建立完整。
- 機械與電子系統較不精細，故保養與維護的需求較低。
- 熟悉此類系統的工程師與技術員較多。

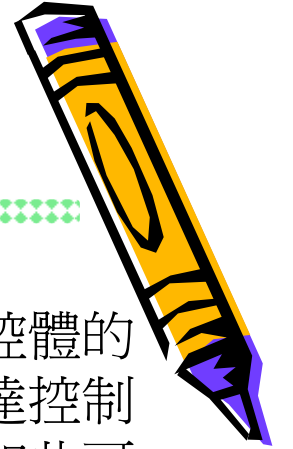


# 機器人控制系統簡介(3/4)

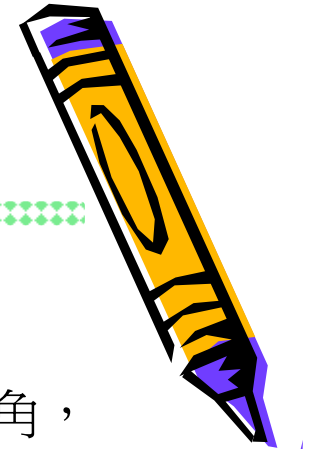
## ● 閉迴路控制系統

其操作是以伺服機構或伺服系統的理論作為基礎，輸出受控體的位置及位置的變化率，可經較低電力供應給控制器，以下達控制訊號給受控體。感測器通常都是安裝在機器人的手臂上，如此可將手臂上的位置及速度訊號回受到控制器，便可進行控制的目的。若感測器不在手臂上，其外部機構可採用路徑控制技術、可程式語言或系統感測器來控制手臂的運動。其優點：

- 伺服控制機器人在其工作空間內任何位置的定位深具高度重現能力
- 具有計算機能力的伺服型控制器可提供外接於機器人系統之設備與機器的系統控制
- 有效的程式指令只要利用簡單的程式步驟，即可執行繁複的加工工作
- 機器人若連接其他計算機控制的系統，如視覺或主計算機，以伺服型控制器即可輕易完成之。



# 機器人控制系統簡介(4/4)



## ● 機器人的控制介面

### (1)軸控制：

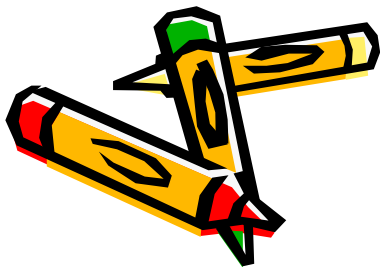
此方法是最低水平的控制方式，可儲存機器人手臂軸轉角，但對於機器人之間，程式無法互換。

### (2)座標轉換控制：

此方法的優點為容易編寫程式，可控制機器人做直線運動或工具中心點進行控制等。其法則是將使被需要轉動的角度轉換成直角座標移動量，因為操作人員是處於值角座標的工作環境，而機器人是軸空間座標下動作。

### (3)軌跡控制：

此方法屬於高階程式語言，其指令欲數人性會且具高效能控制。

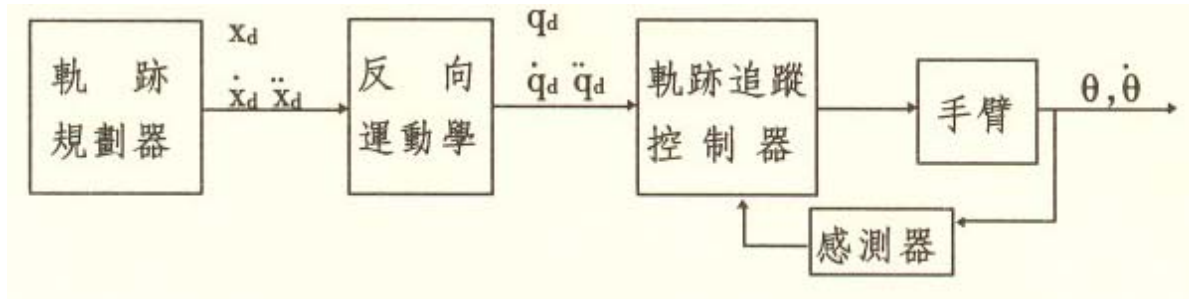


# 位置控制(1/11)

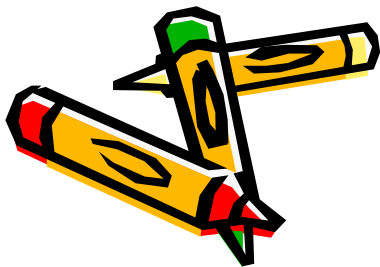
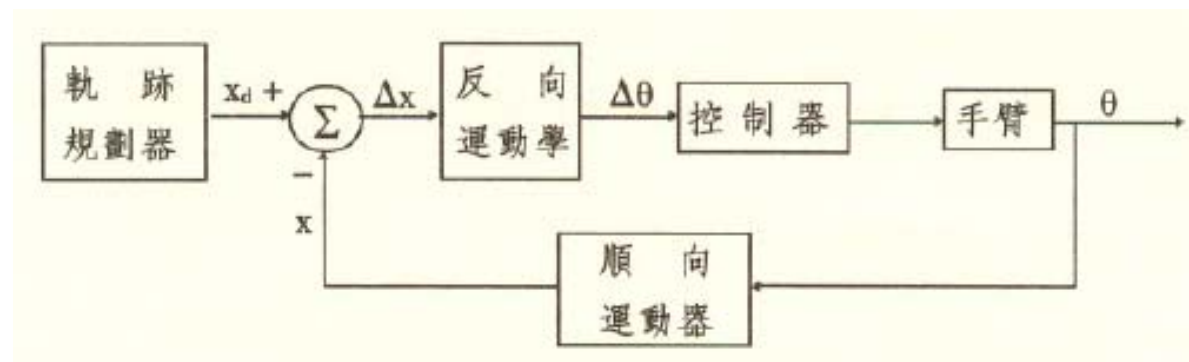


## ● 低階位置控制法

此法為一種直覺地控制機器人軸位置的方法，可將規劃的軌跡直接經反向運動學轉換為軸座標軌跡，再經由位置伺服迴路輸出，系統方塊如下圖所示：



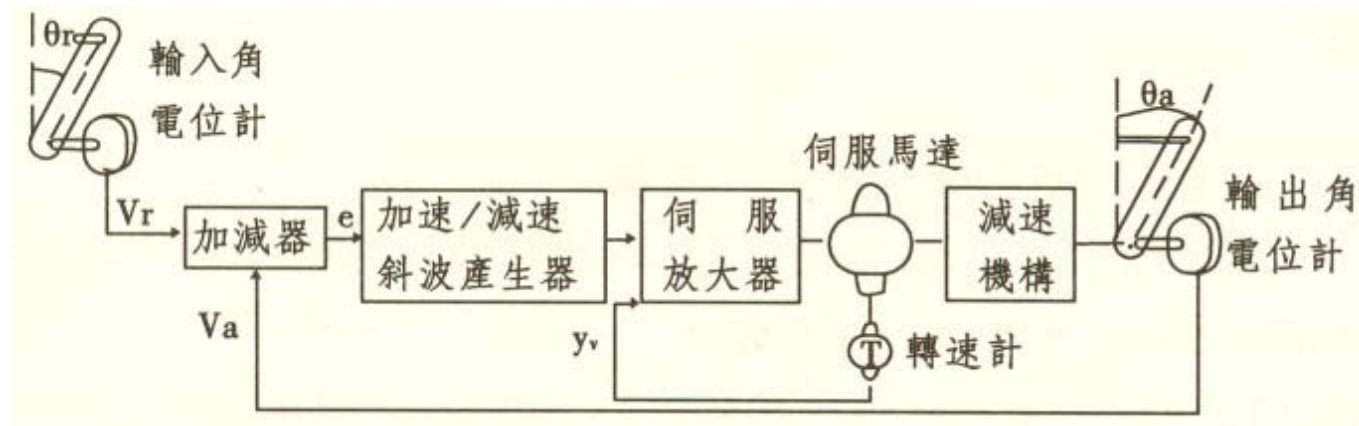
另外亦可將位置輸出訊號經順向運動學轉換到直角座標位置閉迴路校正，此改進系統方塊圖如下：



# 位置控制(2/11)

## ● 類比伺服控制法

首先針對機器人單一軸的位置進行類比伺服控制。系統方塊圖中的加速/減速斜坡產生器是爲了使馬達加速反應。



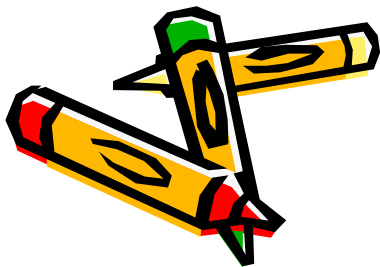
$\theta_r$  : 軸指定轉角

$\theta_a$  : 軸實際轉角

$v_r$  :  $\theta_r$  對應的電壓

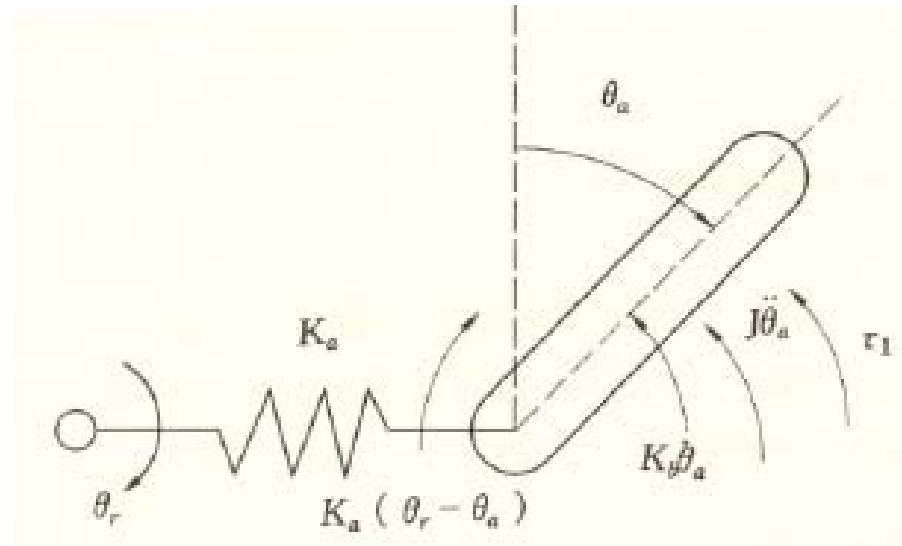
$v_a$  :  $\theta_a$  對應的電壓

$e$  : 位置電壓誤差訊號，即  $e = v_r - v_a$





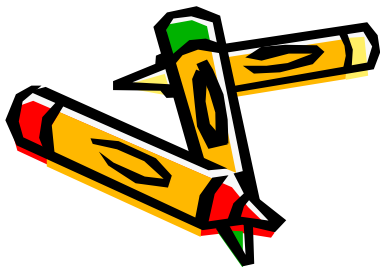
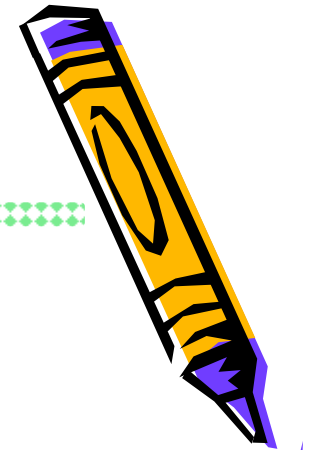
# 位置控制(3/11)



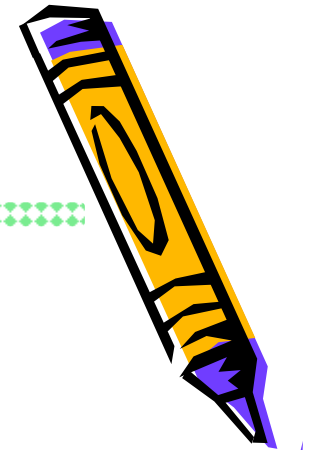
若考慮外在負荷力矩效應，單軸手臂運動方程式求解如下：  
根據力矩平衡原理

$$J\ddot{\theta}_a + K_d\dot{\theta}_a + \tau_l = K_a(\theta_r - \theta_a)$$

$$J\ddot{\theta}_a + K_d\dot{\theta}_a + K_a\theta_a = K_a\theta_r - \tau_l$$



# 位置控制(4/11)



兩邊取拉氏轉換

$$Js^2\Theta_a + K_b s\Theta_a + K_a\Theta_a = K_a\Theta_r - T_l$$

$$\Theta_a(s) = \frac{K_a}{Js^2 + K_b s + K_a}\Theta_r(s) - \frac{1}{Js^2 + K_b s + K_a}T_l(s)$$

同時  $e = \theta_r - \theta_a$ ，所以

$$E(s) = \Theta_r(s) - \Theta_a(s)$$

$$\therefore E(s) = \frac{Js^2 + K_b s}{Js^2 + K_b s + K_a}\Theta_r(s) + \frac{1}{Js^2 + K_b s + K_a}T_l$$

其中

$K_a$ ：馬達剛性係數

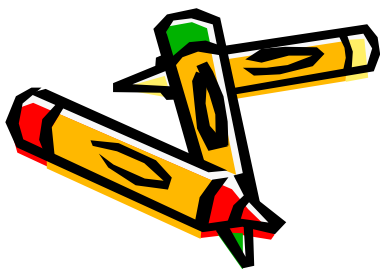
$K_b$ ：黏性阻尼係數

$J$ ：連桿質量慣性矩

$\tau_l$ ：外在負荷力矩

$\theta_a$ ：軸實際轉角

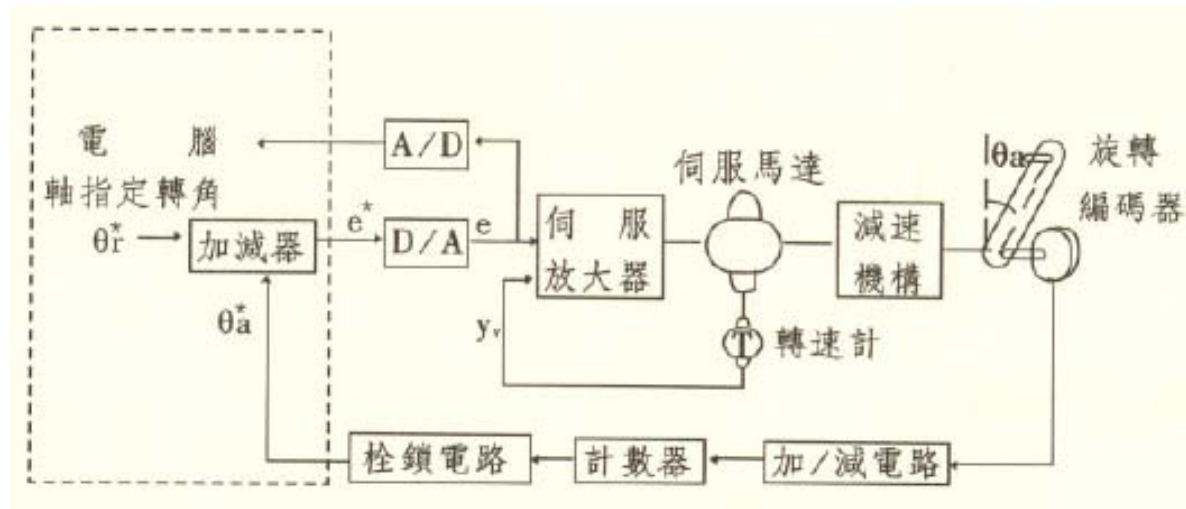
$e$ ：軸誤差信號



# 位置控制(5/11)

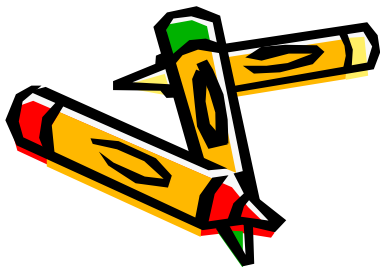
## ● 數位雙伺服控制

其優點可由電腦直接下達各軸預定的轉角訊號，除了有位置迴授外，尚有速度迴授。



進入伺服放大器的控制訊號為  $e_A = e - y_v$ ，其中  $e$  為轉角位置誤差，即  $e = \theta_r - y_p$ ， $y_v$  為測速計的輸出訊號。所以

$$e_A = \theta_r - y_p - y_v = \theta_r - (y_p + y_v)$$



# 位置控制(6/11)

- 利用PD控制法對單一質量系統的位置控制

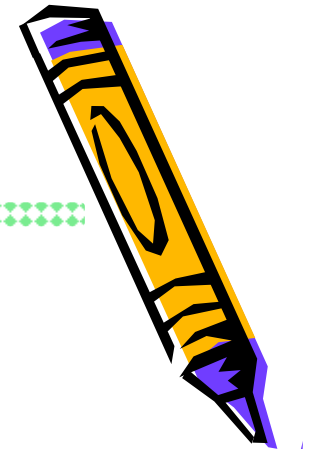
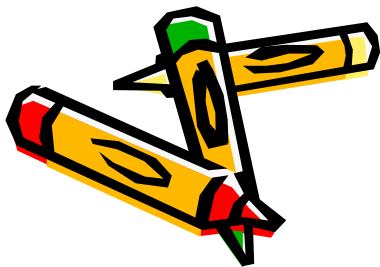
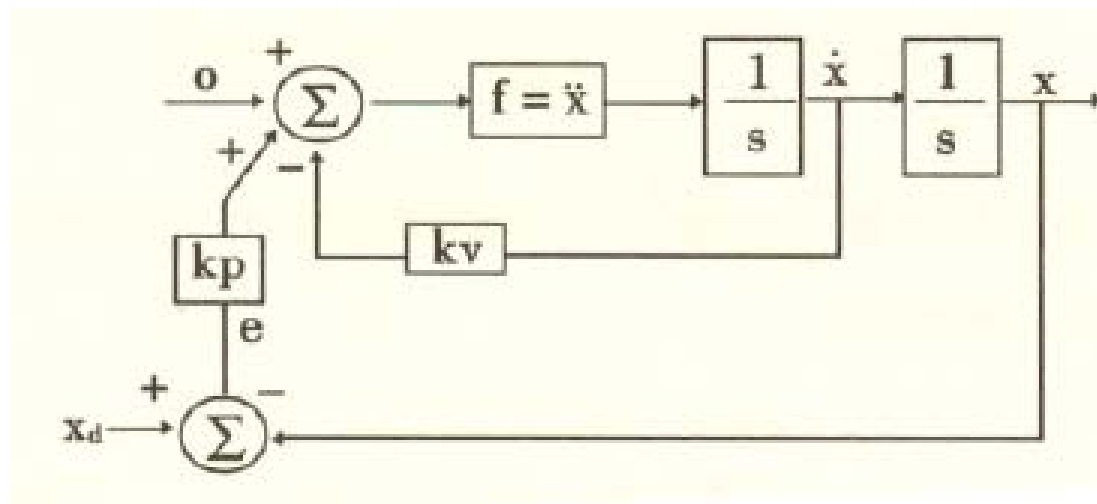
假設此系統的質量 $m=1$ ，根據牛頓定理：

$$f = m\bar{a} = 1 \cdot \ddot{x} = \ddot{x}$$

使用PD控制器設計控制力

$$f = -k_v \dot{x} - k_p(x - x_d)$$

其中 $x_d$ 為單一質量系統欲到達的位置。



# 位置控制(7/11)

- 利用PD控制法對單一質量系統的位置追蹤控制  
作用於單一質量的力為

$$f = \ddot{x}_d - k_v(\dot{x} - \dot{x}_d) - k_p(x - x_d)$$

根據牛頓定理: ( $m=1$ )

$$f = \ddot{x}$$

$$\Rightarrow \ddot{x} = \ddot{x}_d - k_v(\dot{x} - \dot{x}_d) - k_p(x - x_d)$$

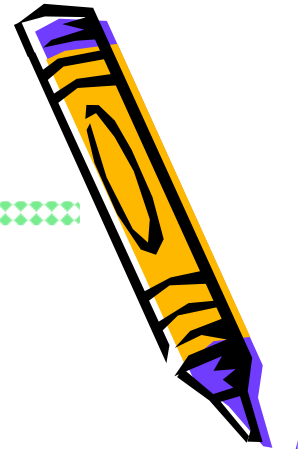
$$\Rightarrow (\ddot{x}_d - \ddot{x}) + k_v(\dot{x}_d - \dot{x}) + k_p(x_d - x) = 0$$

$$\Rightarrow \ddot{e} + k_v\dot{e} + k_p e = 0$$

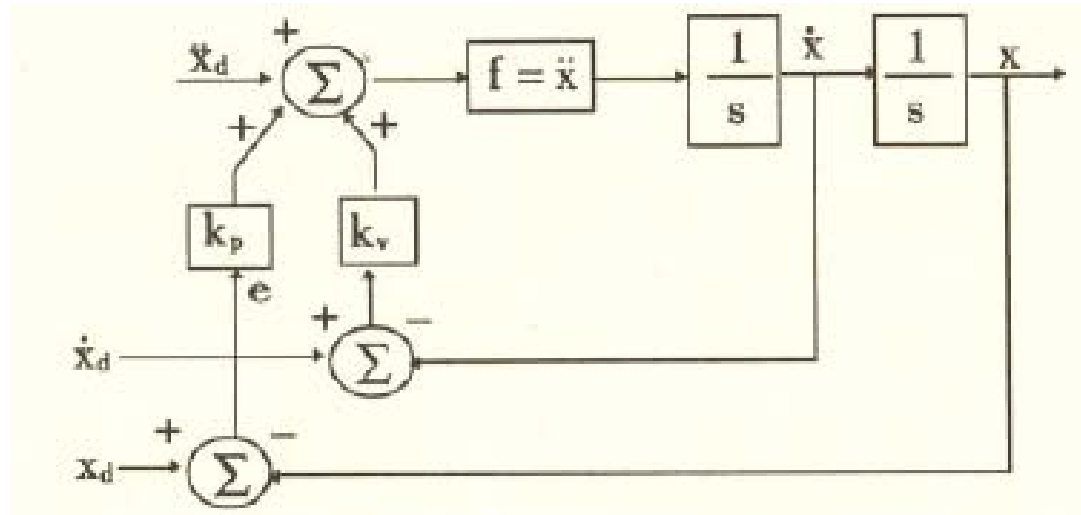
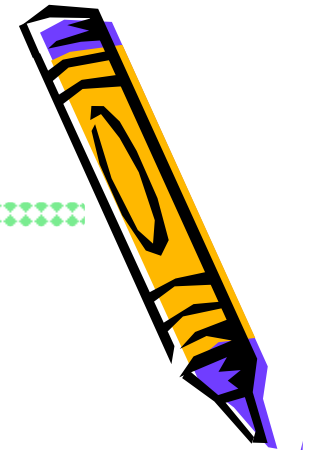
對上式兩邊取拉氏轉換  $(s^2 + k_v s + k_p)E(s) = 0$

則此系統的特性方程式為  $(s^2 + k_v s + k_p) = 0$

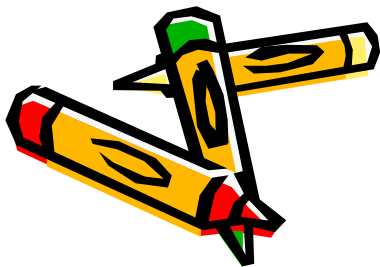
特徵值為  $s_{1,2} = \frac{-k_v \pm \sqrt{k_v^2 - 4k_p}}{2}$



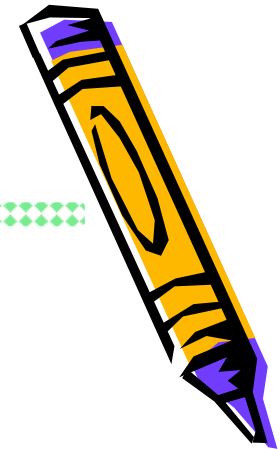
# 位置控制(8/11)



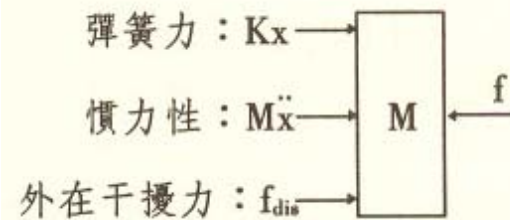
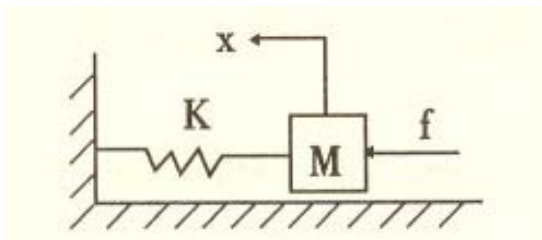
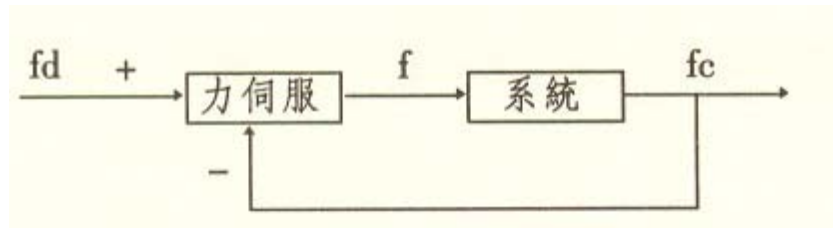
當  $k_v = \pm 2\sqrt{k_p}$  時系統處於臨界阻尼狀態，而臨界阻尼通常視為設計時期望的狀態。



# 力矩控制(9/11)



## ● 單一質量-彈簧系統力矩控制



假設彈簧力為 $f_c$   $f_c = Kx \Rightarrow x = K^{-1}f_c \Rightarrow \ddot{x} = K^{-1}\ddot{f}_c$

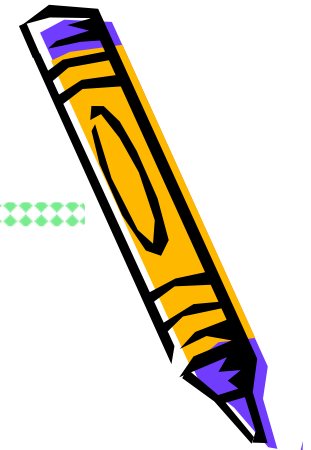
力平衡方程式  $f = M\ddot{x} + Kx + f_{dis} = MK^{-1}\ddot{f}_c + f_c + f_{dis}$

力的誤差  $e_f = f_d - f_c$  ( $f_d$ 為期望控制力， $f_c$ 為實際控制力)

若 $f_d$ 為常數，則  $\dot{f}_d = \ddot{f}_d = 0$



# 力矩控制(10/11)



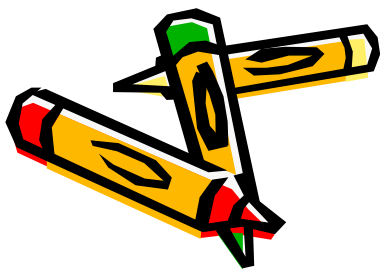
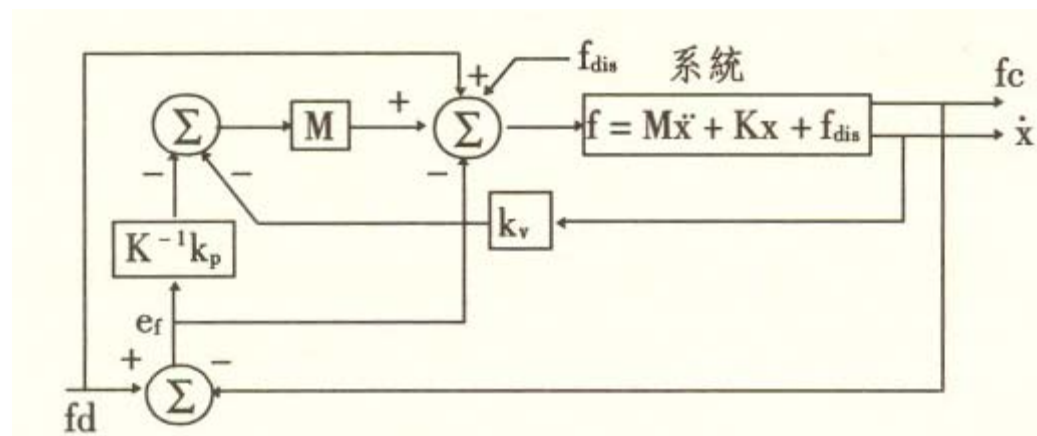
誤差方程式  $\ddot{e}_f + k_v \dot{e}_f + k_p e_f = 0$

$$\Rightarrow \ddot{f}_d - \ddot{f}_c + k_v(\dot{f}_d - \dot{f}_c) + k_p(f_d - f_c) = 0$$

$$\Rightarrow \ddot{f}_c = -k_v \dot{f}_c + k_p e_f$$

將上式代入力平衡方程式

$$\begin{aligned} f &= MK^{-1}(-k_v \dot{f}_c + k_p e_f) + f_c + f_{dis} \\ &= MK^{-1}(-k_v K \dot{x} + k_p e_f) + f_d - e_f + f_{dis} \\ &= M(-k_v \dot{x} + K^{-1} k_p e_f) + f_d - e_f + f_{dis} \end{aligned}$$



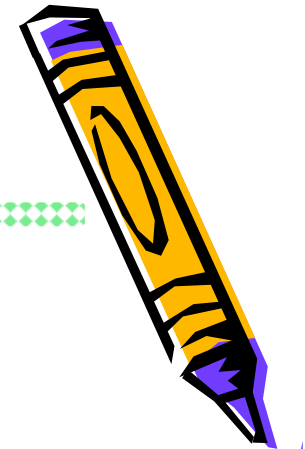
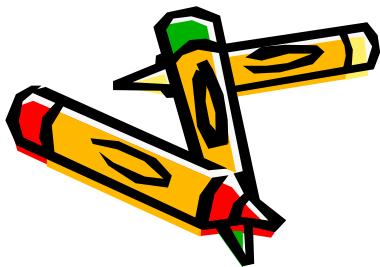
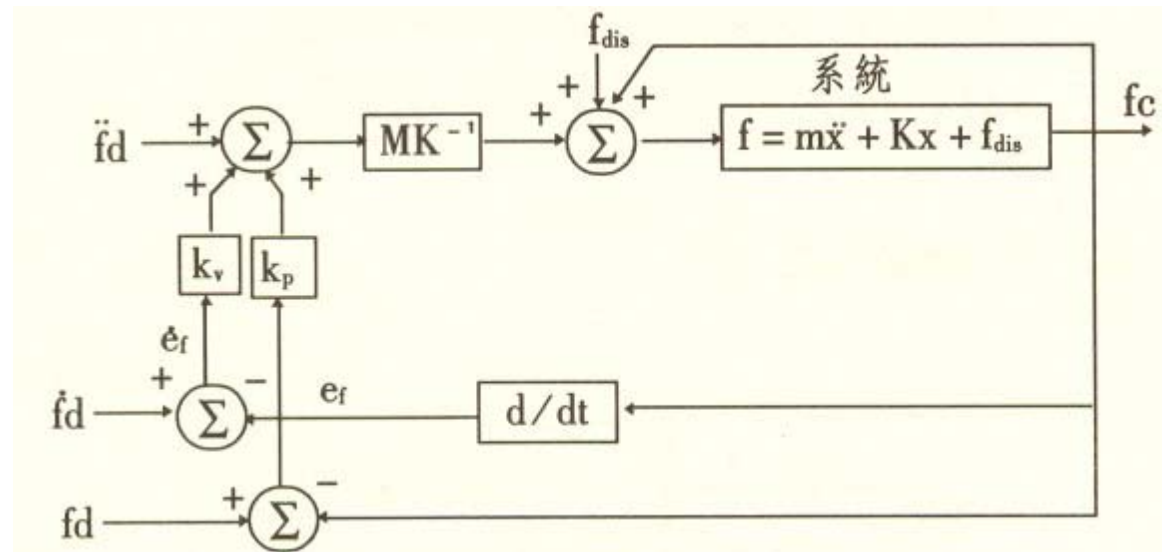


# 力矩控制(11/11)

## ● 單一質量-彈簧系統追蹤控制

力平衡方程式

$$\begin{aligned} f &= M\ddot{x} + Kx + f_{dis} \\ &= MK^{-1}\ddot{f}_c + f_c + f_{dis} \\ &= MK^{-1}(\ddot{f}_d - \ddot{e}_f) + f_c + f_{dis} \\ &= MK^{-1}(\ddot{f}_d + k_v\dot{e}_f + k_p e_f) + f_c + f_{dis} \end{aligned}$$

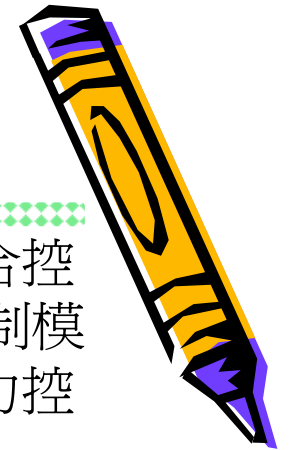
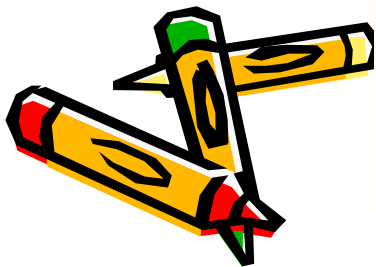
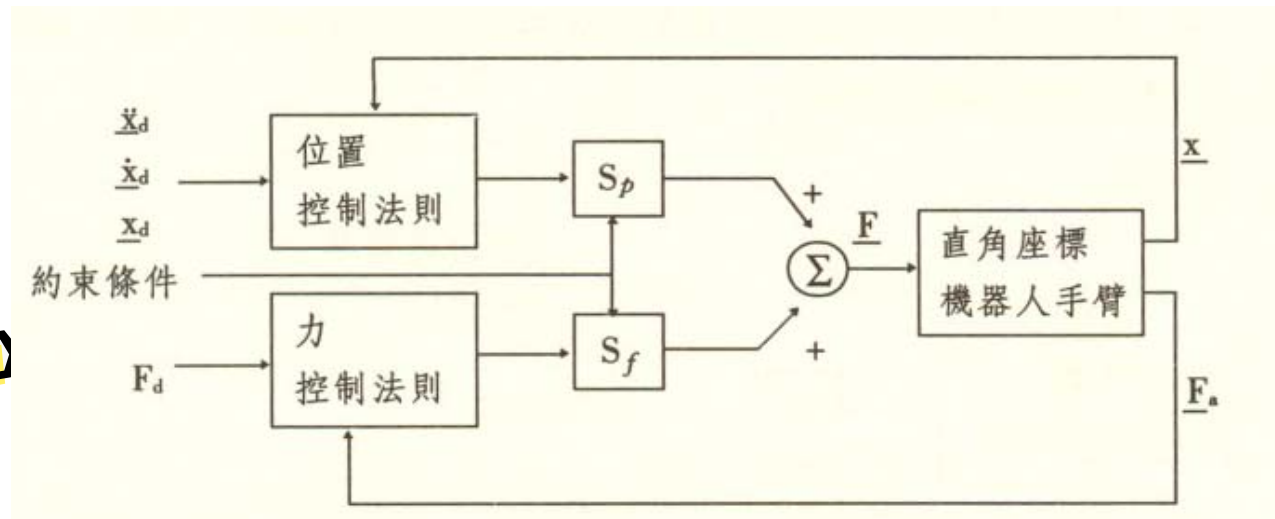


# 位置與力混合控制(1/2)

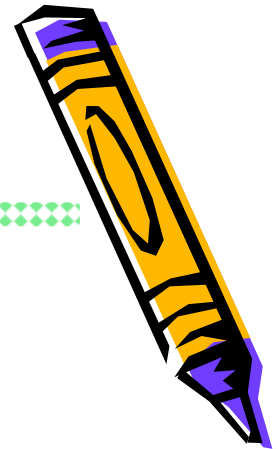
- 針對具有三個自由度之直角座標機器人進行位置與力的混合控制時，可利用兩組 $3 \times 3$ 的對角矩陣  $S_p$  及  $S_f$  進行欲設定的控制模式。例如對第一及第三關節進行位置控制，第二關節進行力控制，則

$$S_p = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, S_f = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

如果系統受到三個軌跡分量與三個力分量的組合控制，在理想情況下，機器人手臂座標系與約束座標系的座標軸方向一致。



# 位置與力混合控制(2/2)

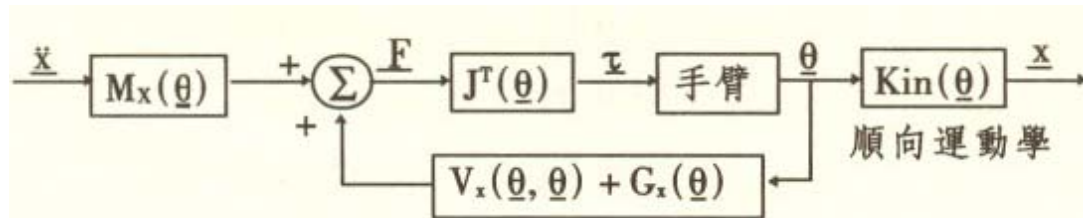


直角座標系統的動力方程式為

$$F = M_x(\theta) + V_x(\theta, \dot{\theta}) + G_x(\theta)$$

力矩向量  $\tau$  與力向量  $F$  之間關係式為

$$\tau = J^T(\theta)F$$



例：PUMA560 機器人採用位置與力混合控制方塊圖

