

第六章

前饋控制與循環誤差分析



綱要

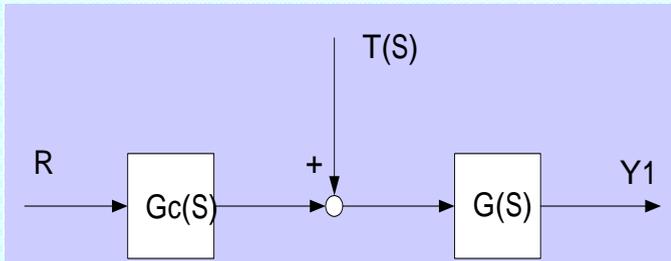
- ✿ 一.前饋補償控制
- ✿ 二.簡化伺服馬達控制迴路
 - (1)內、外迴路的模擬結果
 - (2)加入前饋控制後的影響
- ✿ 三.加減速控制
 - (1)加減速控制的型態
 - (2)兩種加減速方法的比較
- ✿ 四.循圓誤差與橢圓循跡誤差

前饋補償控制

控制系統的主要目的:

- 1. 命令追蹤(command trajectory tracking)
- 2. 干擾防止(disturbance rejection)
- 回授控制(Feedback Control)主要是來做外部干擾的防止
- 前饋控制(Feed forward Control)則是在回授控制系統中, 改善命令追蹤的結果

開迴路系統

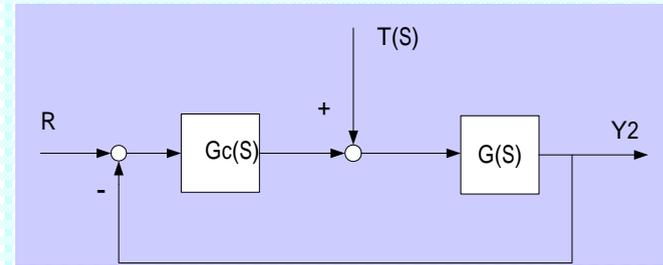


$$Y1(S) = G(S)T(S)$$

這表示閉迴路控制系統的結構可降低輸入干擾的影響。



閉迴路系統



$$Y2(S) = \frac{G(S)}{1 + Gc(S)G(S)}T(S)$$

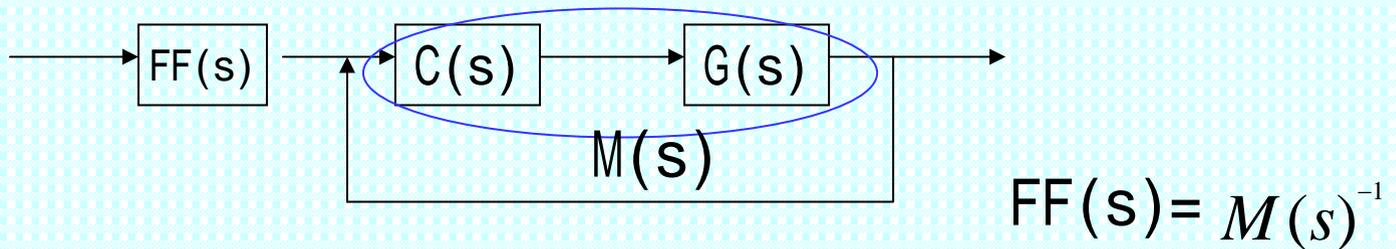
若 $|Gc(S)G(S)| \gg 1$

則可推得 $Y2(s) \cong 0$

前饋控制器基本架構

第一種：

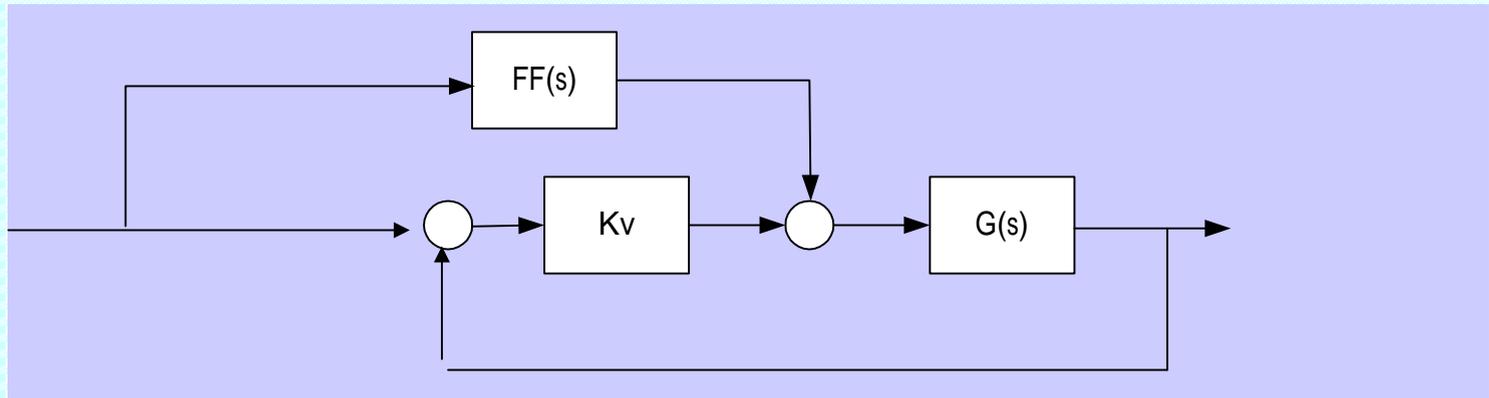
設定位置在輸出軸系統之前，先將以反置軸系統模型處理



前提：要有準確的系統模型才能有效的消除滯後誤差

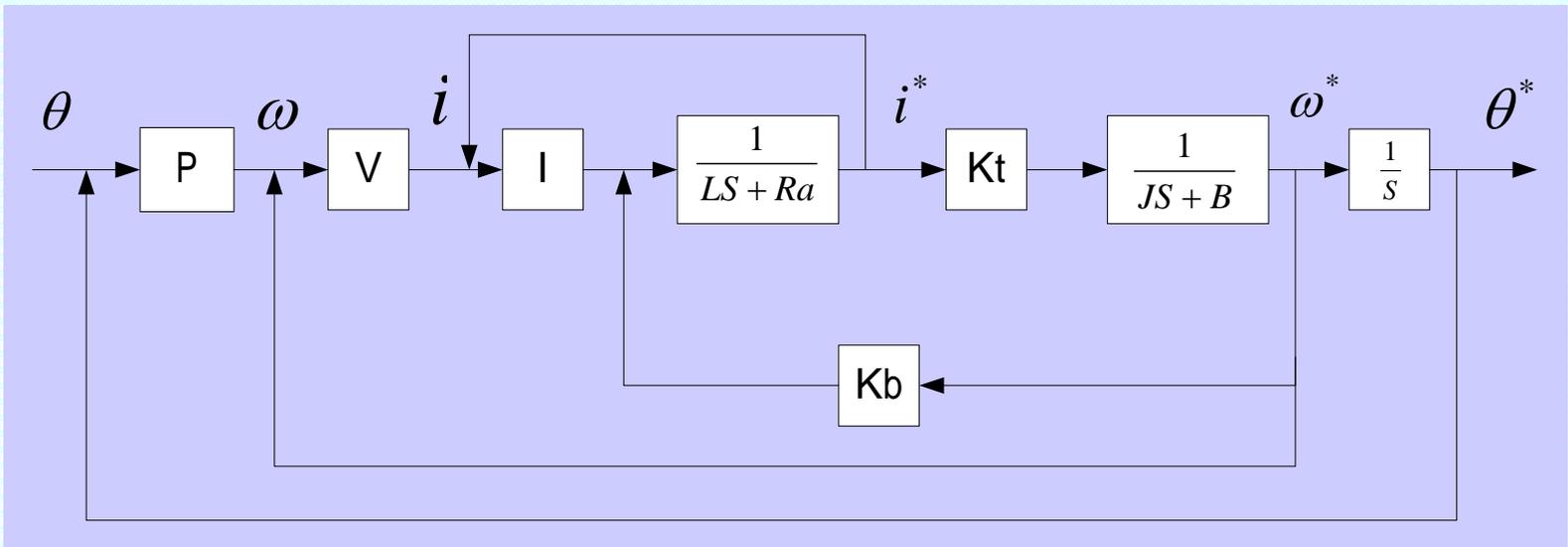
第二種：

在控制迴路中加入速度前饋控制器
或速度/加速度前饋控制器



簡化伺服馬達控制迴路

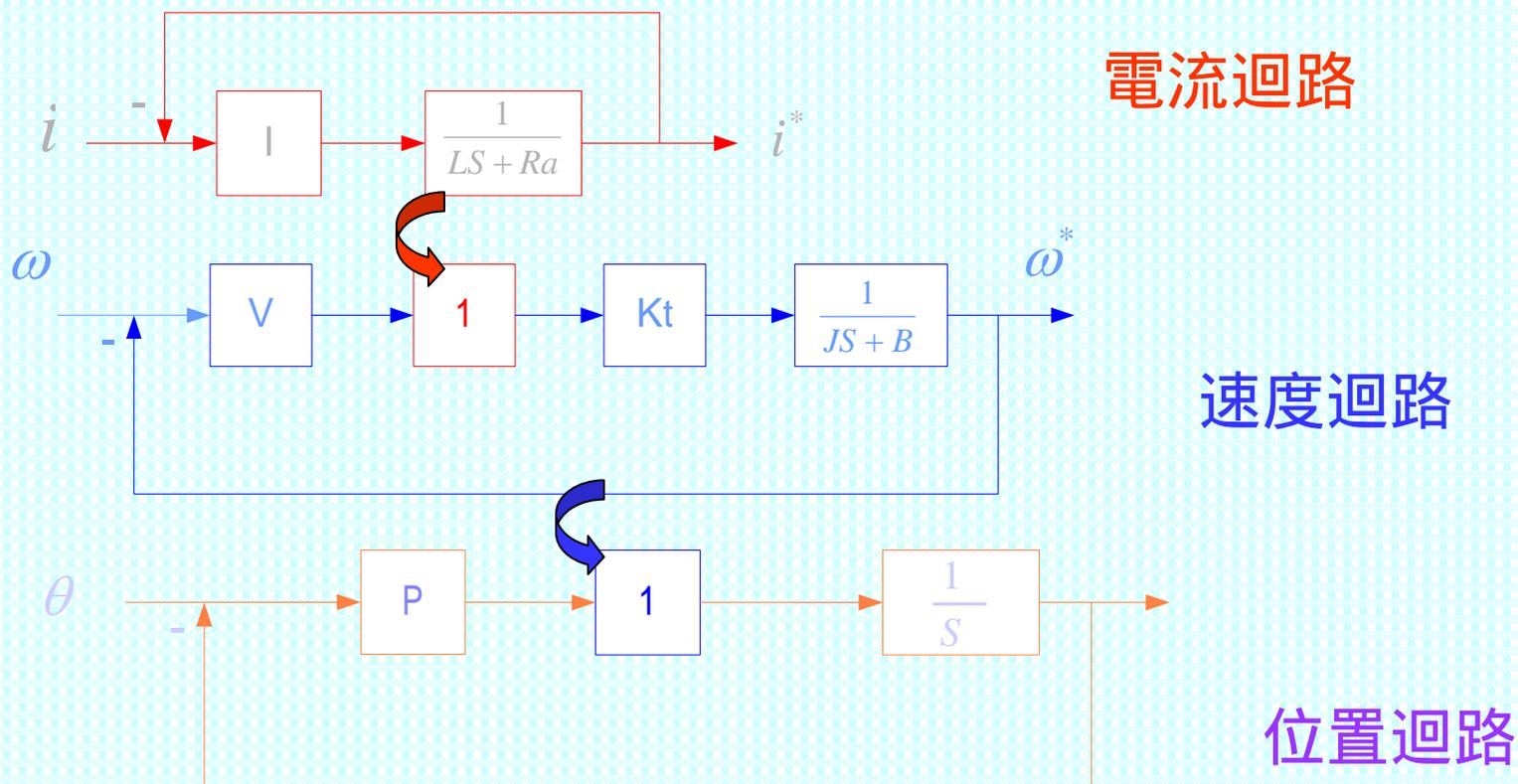
- 控制系統方塊圖:



■ 整個系統包含了電流迴路、速度迴路、位置迴路

• 各迴路間之簡化示意圖:

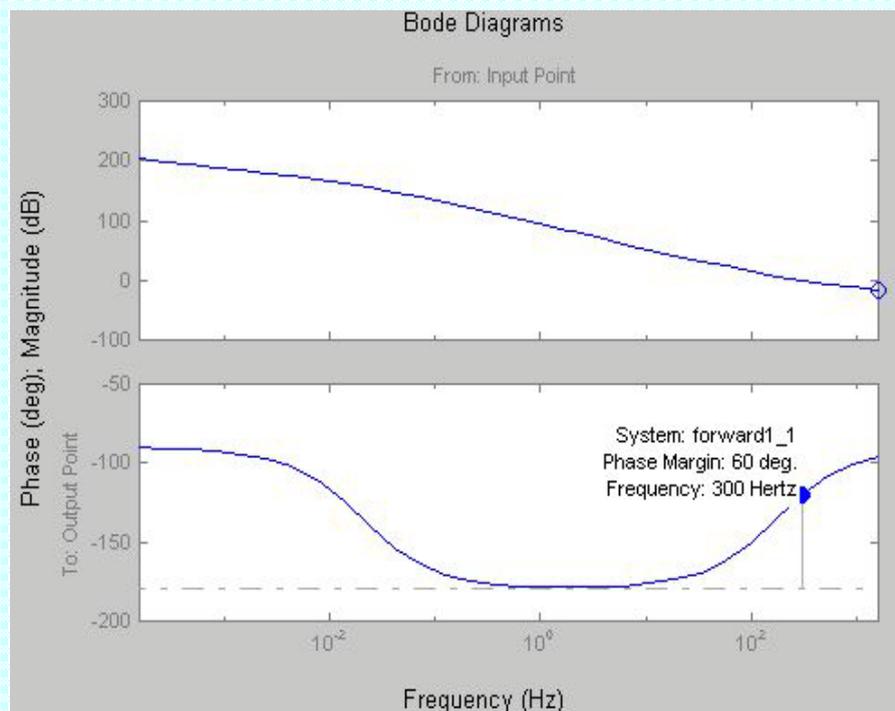
當內層迴路的頻寬比外層迴路的頻寬快10倍以上時，
可將內層迴路簡化為1:



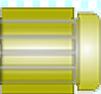
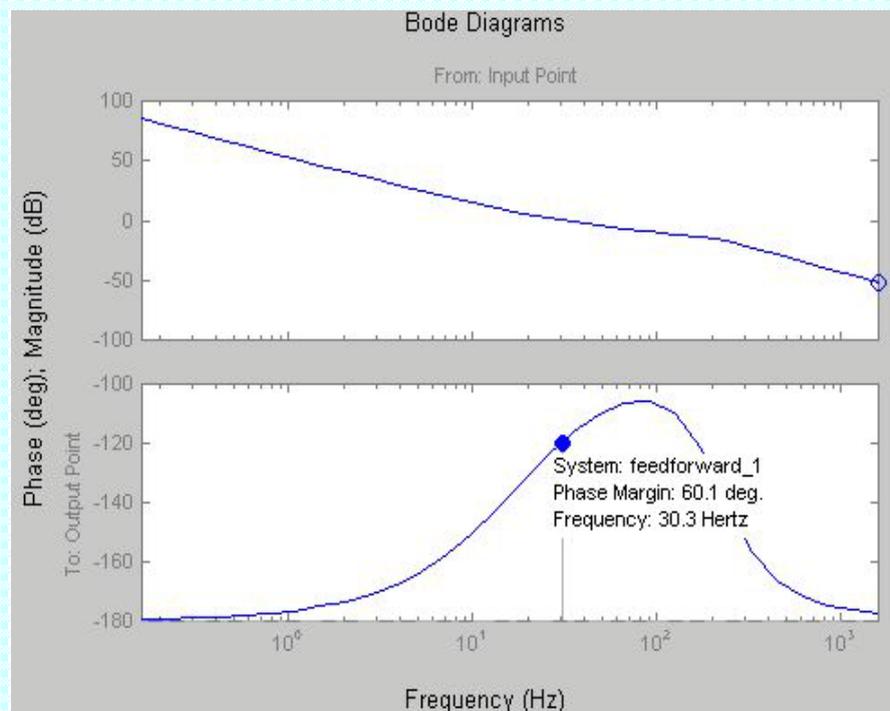
- 假設電流迴路(以下簡稱內迴路)已經比速度迴路快10倍，因此系統迴路簡化成只有速度和位置迴路。
- 下一步我們將利用IP控制器控制速度和位置迴路的頻寬在指定的大小，驗證是否速度迴路的頻寬比位置迴路的頻寬快10倍以上時，可將速度迴路的轉移函數簡化為1。
- 接下來利用簡化過後的位置迴路(以下簡稱外迴路)，加入前饋控制器來控制，觀察其結果。

內、外迴路模擬結果

內迴路的開迴路bode圖
(P.M.為60度)

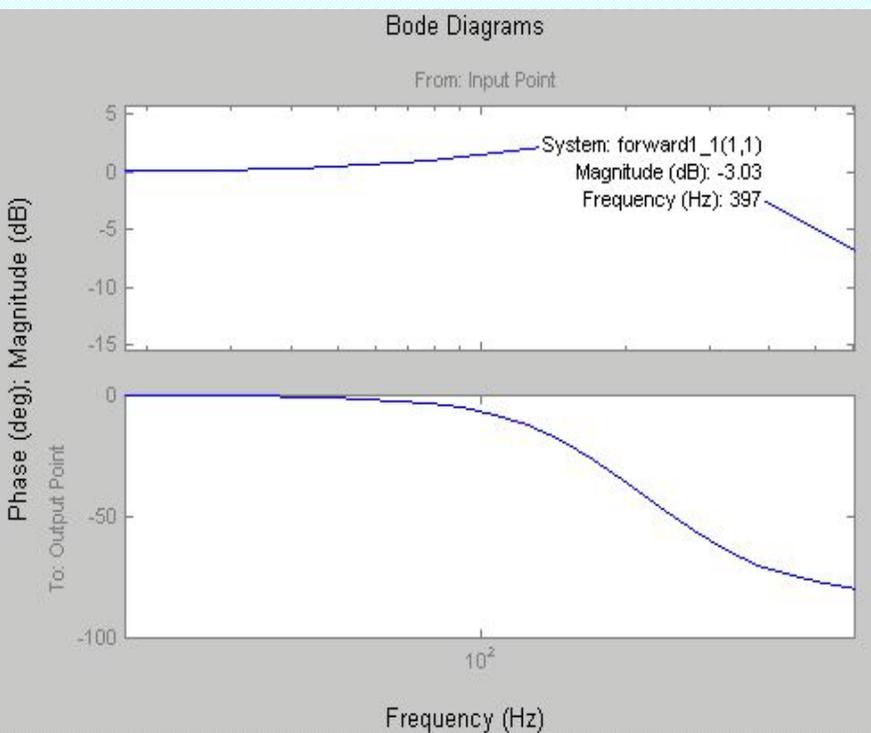


外迴路的開迴路bode圖
(P.M.為60.1度)



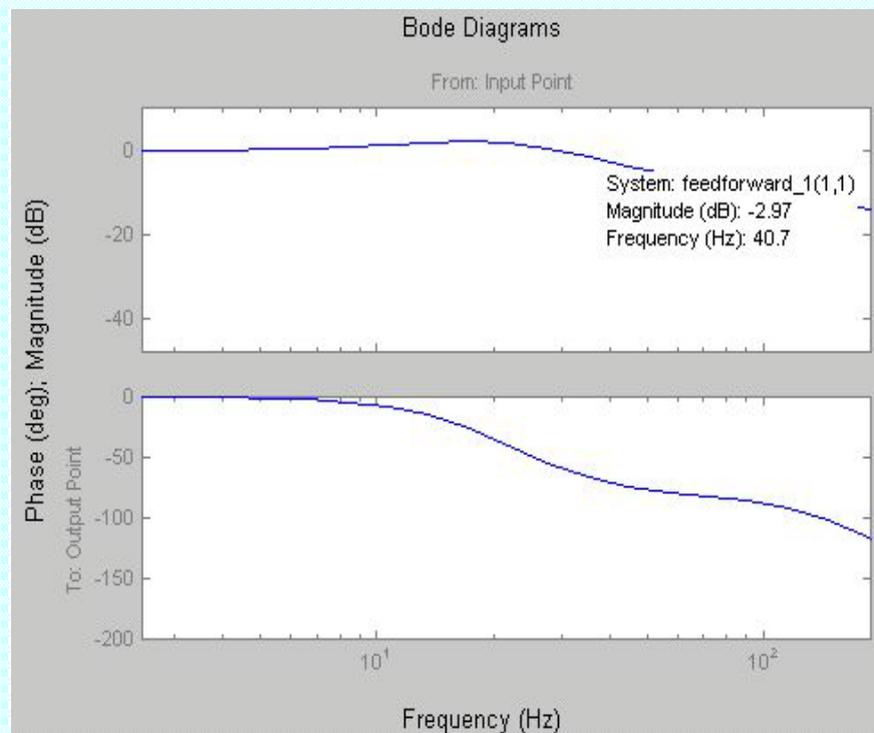
內迴路的閉迴路bode圖

(頻寬為397Hz)

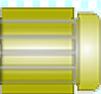


外迴路的閉迴路bode圖

(頻寬為40.7Hz)



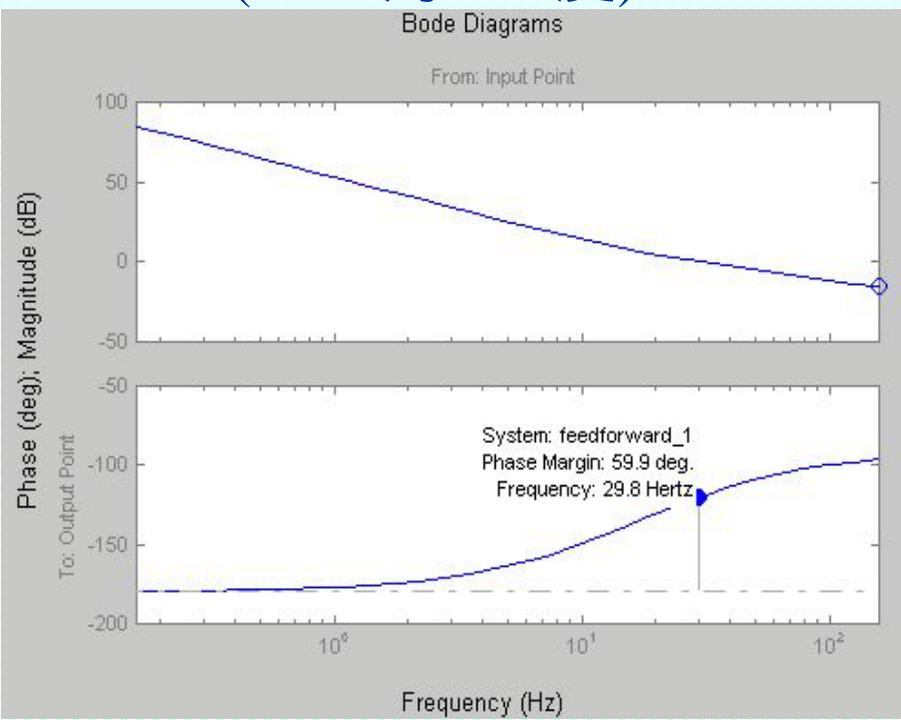
由此可知內迴路的頻寬約為外迴路頻寬的10倍。



■ 將內迴路轉移函數簡化成1之後:

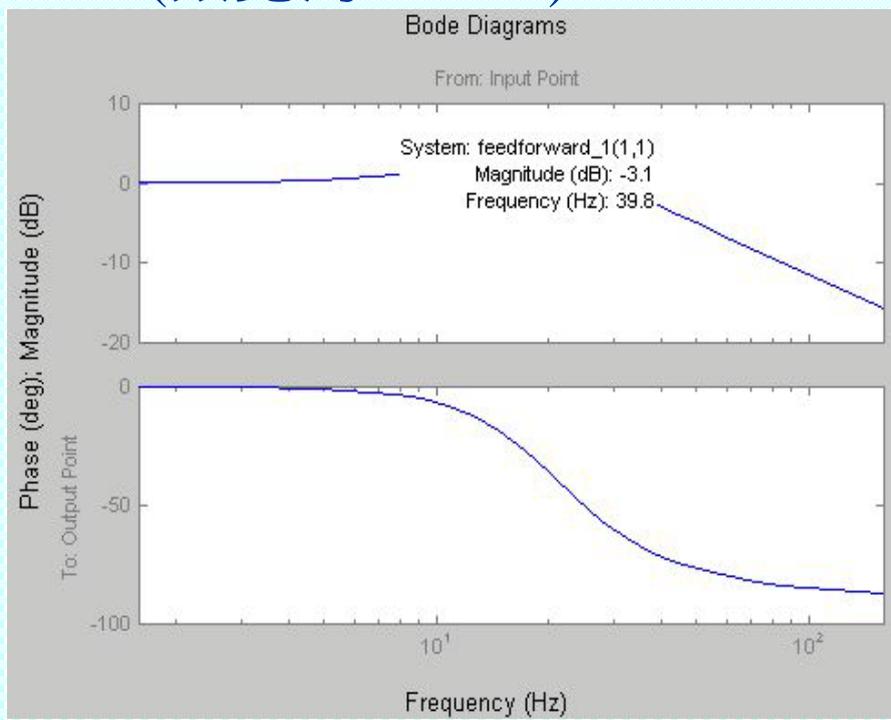
外迴路的開迴路bode圖

(P.M.為59.9度)



外迴路的閉迴路bode圖

(頻寬為39.8Hz)



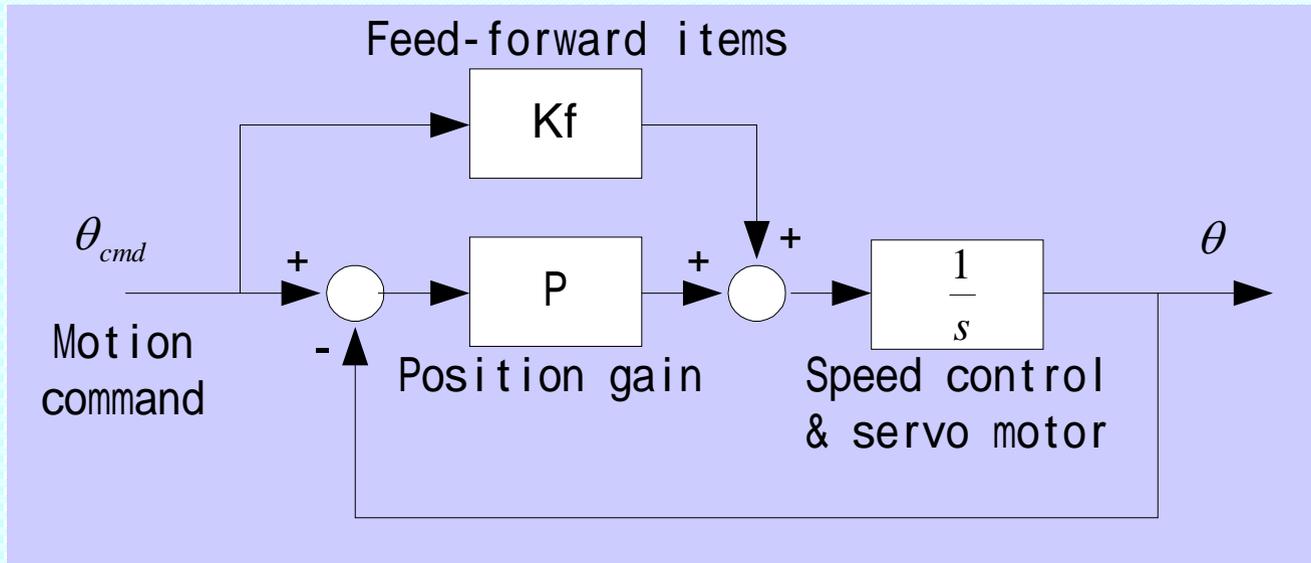
簡化後的P.M.與頻寬皆與簡化前相差不多，可見當內迴路比外迴路的頻寬快10倍以上時，可簡化內迴路轉移函數為1。

加入前饋控制器後的影響

前饋控制的功用:

- 一個控制系統之輸出應該能夠追輸入的命令，且使追蹤的誤差愈小愈好。在頻率域來看，誤差最小的情況，是當系統轉移函數為1的時候，也就是輸入等於輸出，達到零誤差，利用前饋控制器的作用，可以達到此目的。

- 加入前饋控制器後的外迴路:

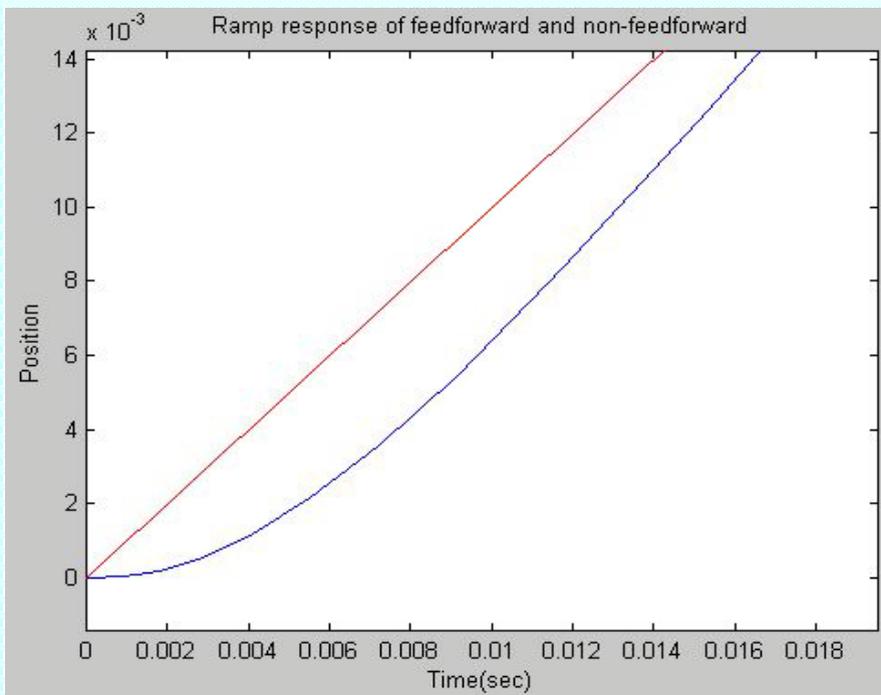


$$\frac{\theta(S)}{\theta_{cmd}(S)} = \frac{Kf + P}{S + P} \quad \Rightarrow \quad Kf = S$$

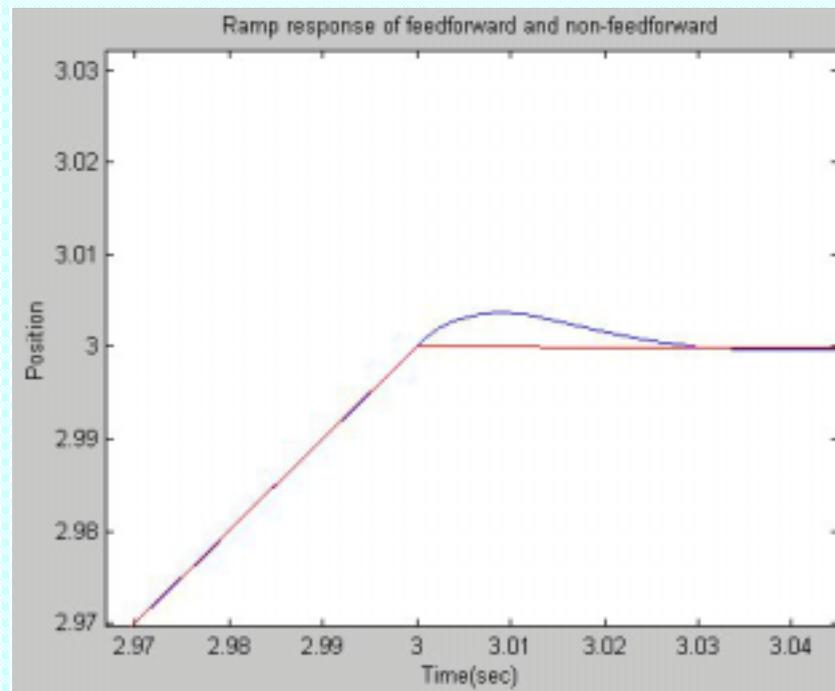
$$\frac{\theta(S)}{\theta_{cmd}(S)} = 1$$

- 時域響應圖：(藍線為無前饋 紅線為有前饋)

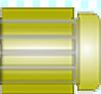
在起點時



在終點時



模擬結果：有前饋的在命令追蹤方面表現良好，輸出與命令幾乎一模一樣，然而無前饋在命令追蹤上可看出，一開始時就有落後的現象，而在終點也會有overshoot的現象。

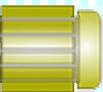
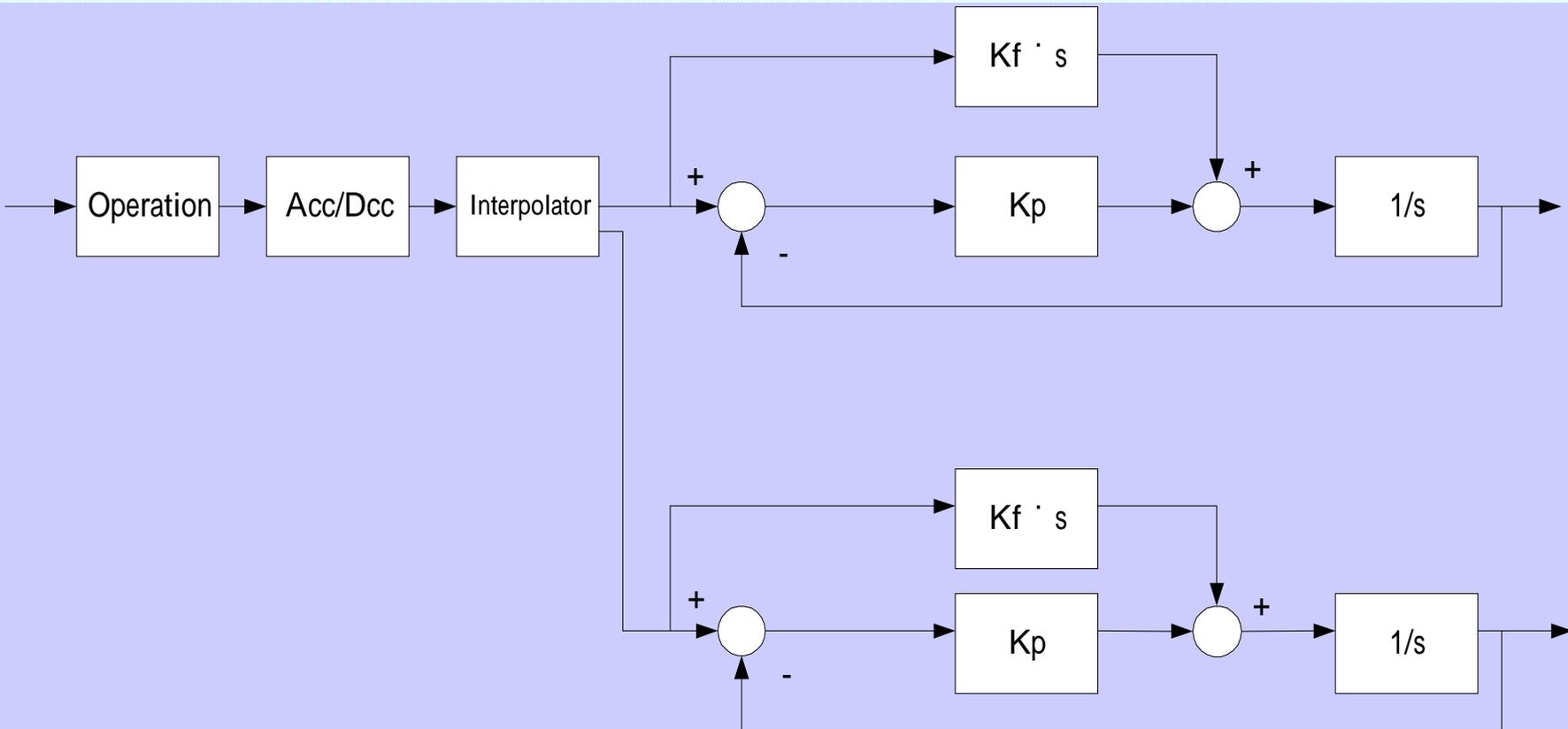


加減速控制

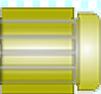
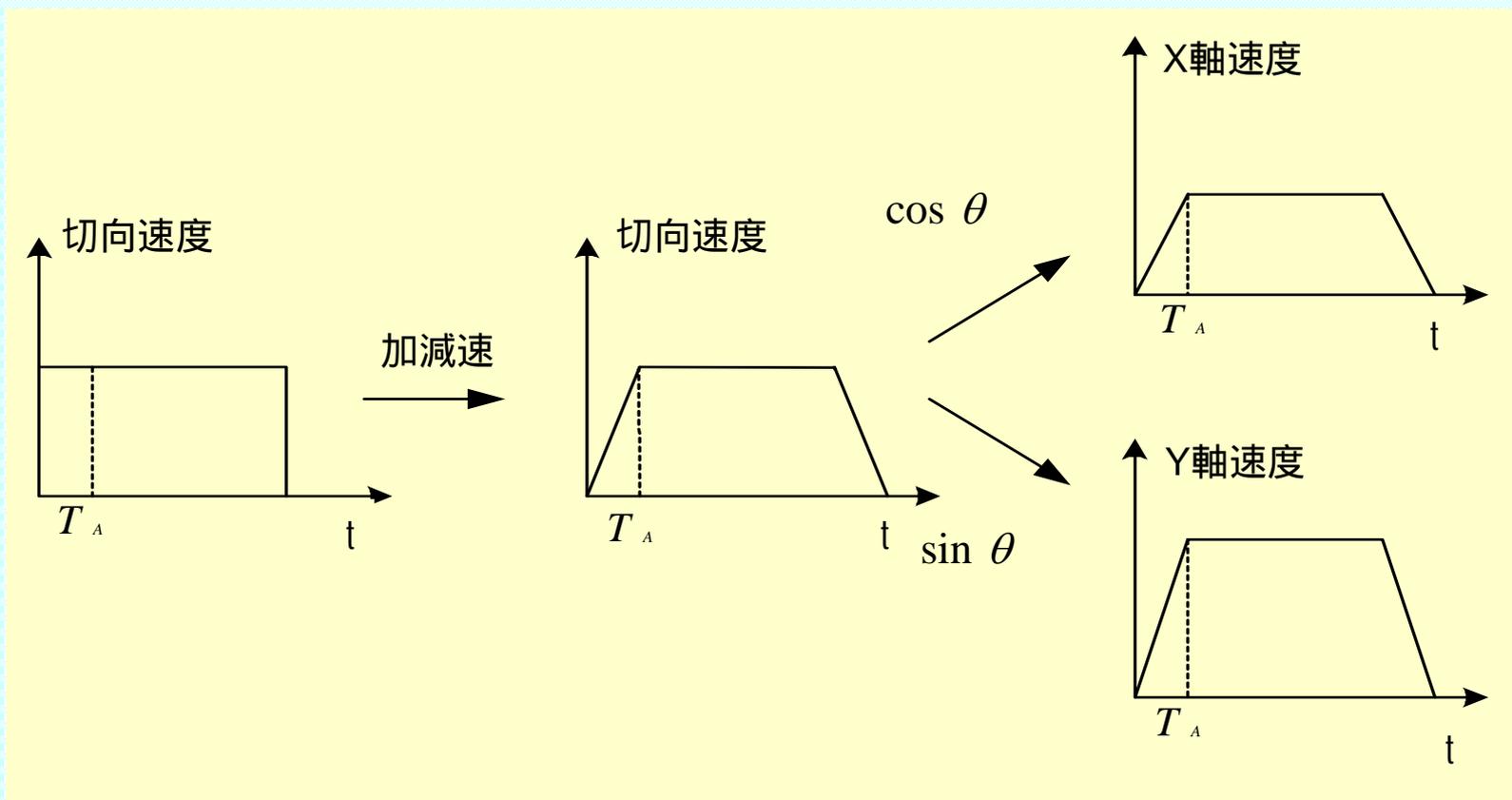
何謂加減速方法:

- 加減速方法可區分為“前”加減速及“後”加減速。
- 所謂“前”加減速，是指插補前做加減速；而“後”加減速是指插補後做加減速。
- 在型式方面，加減速控制亦可分為直線型加減速控制及指數型加減數控制。
- 好處：不因方向的改變而造成機械在加工時的振顫及停頓。

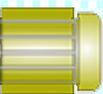
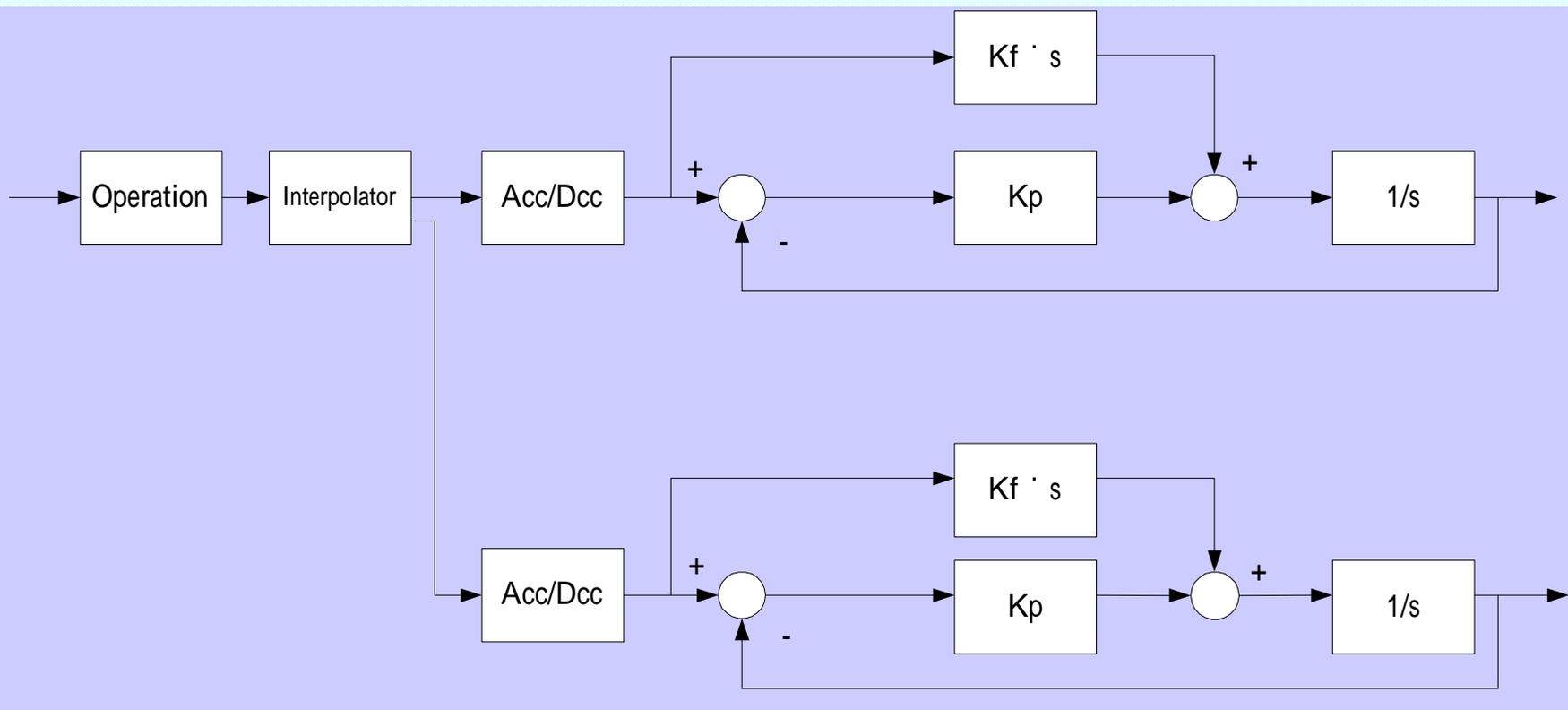
前加減速控制:



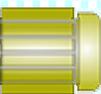
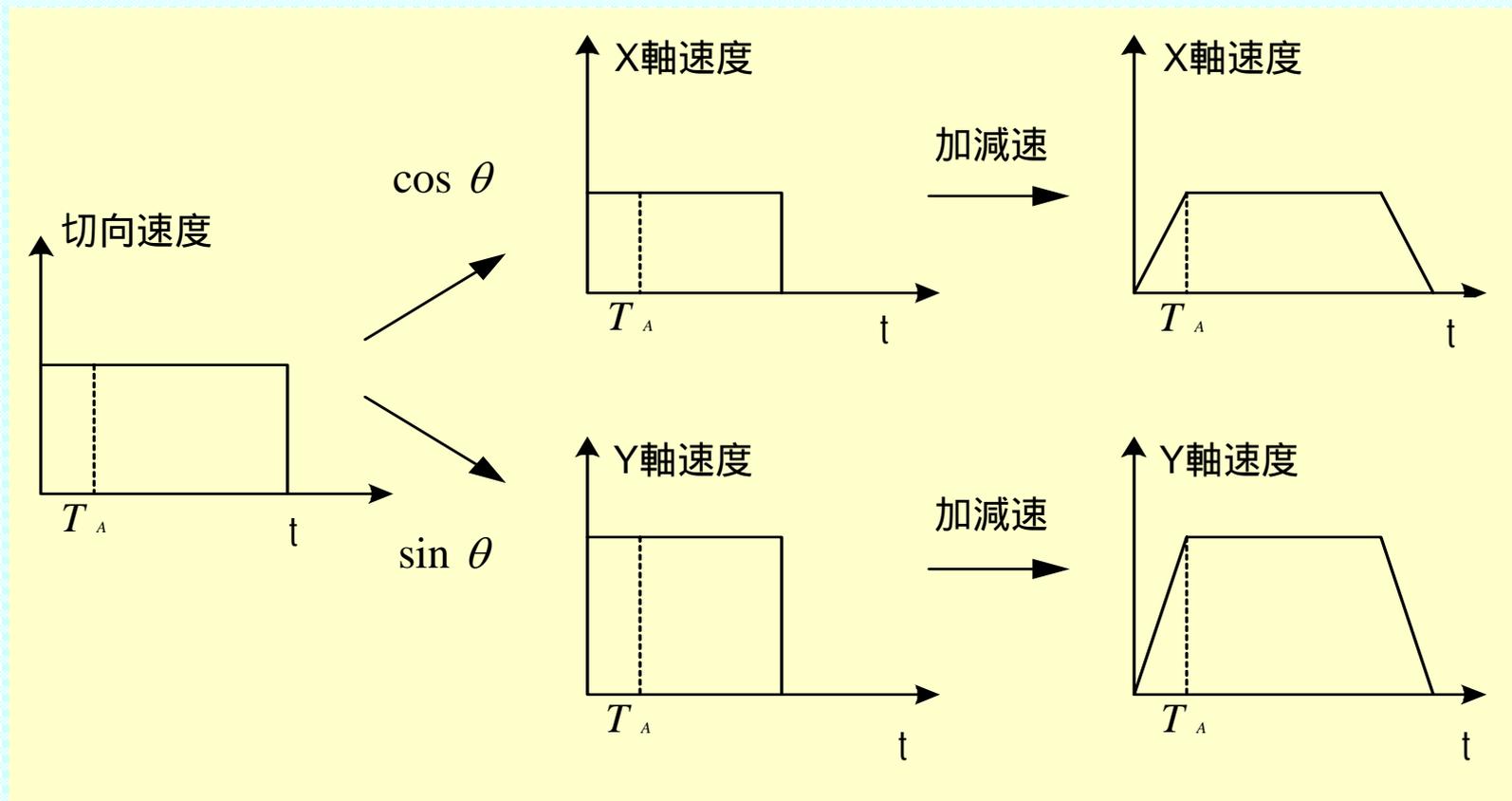
- 前加減速定義:



後加減速控制:

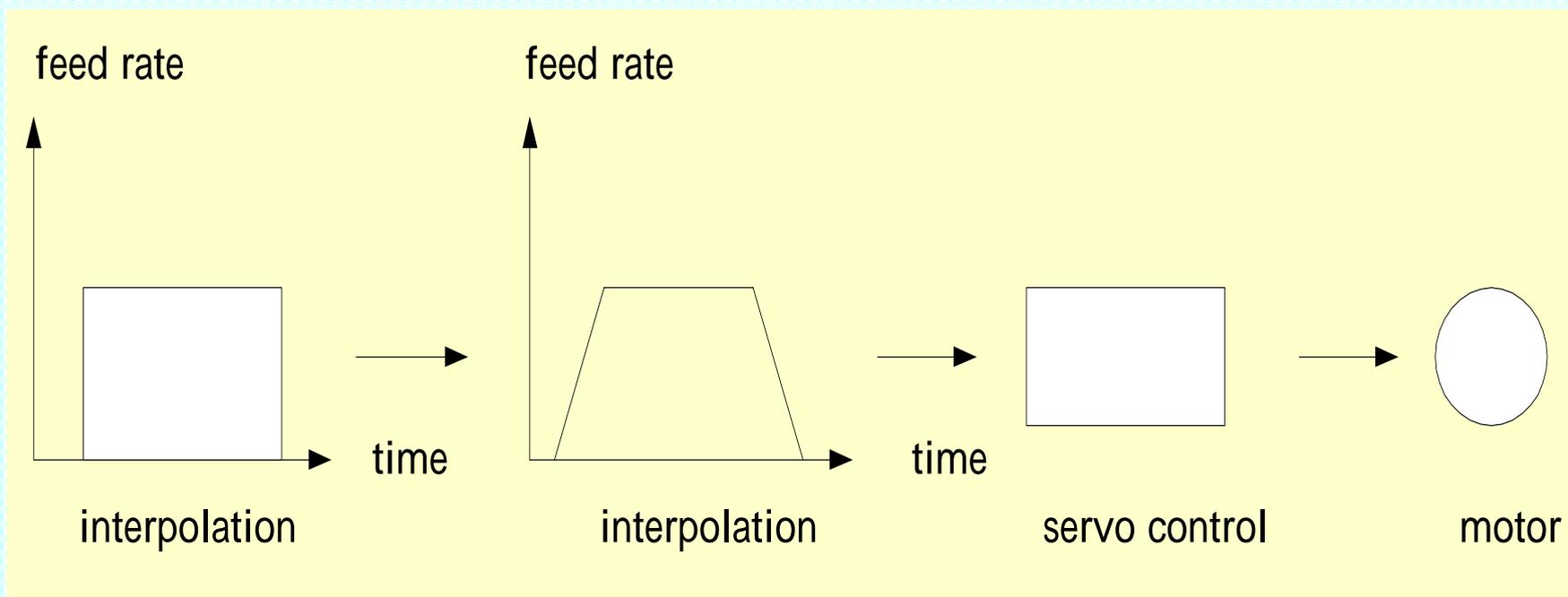


• 後加減速定義:

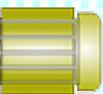
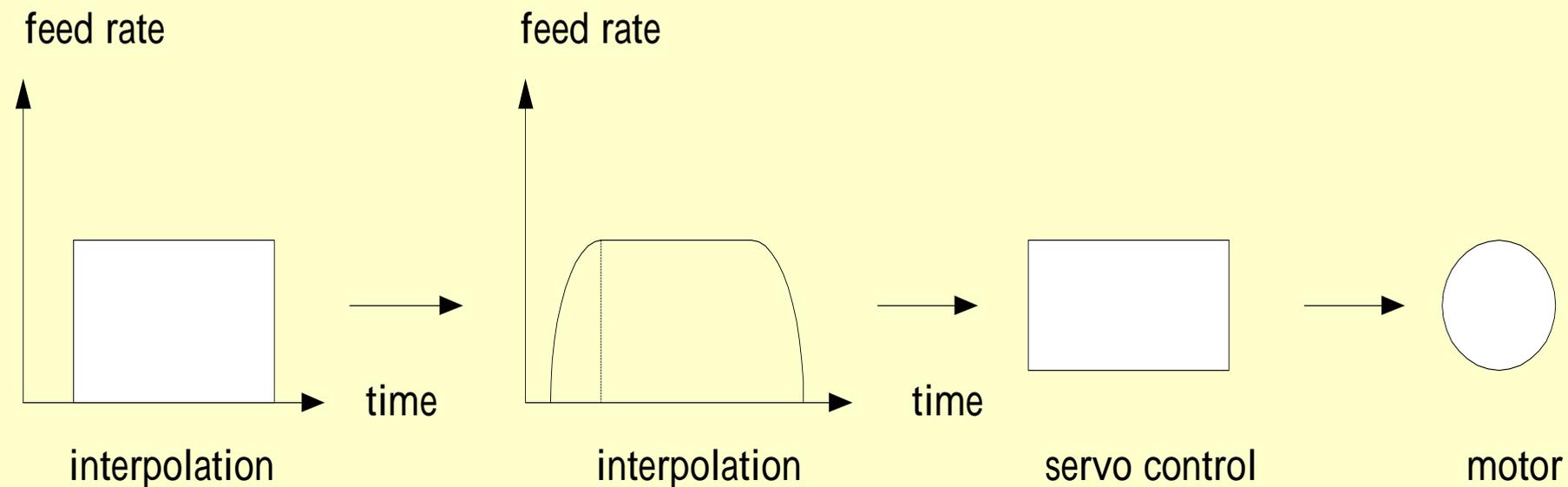


加減速控制的型態

■ 直線形加減速控制:

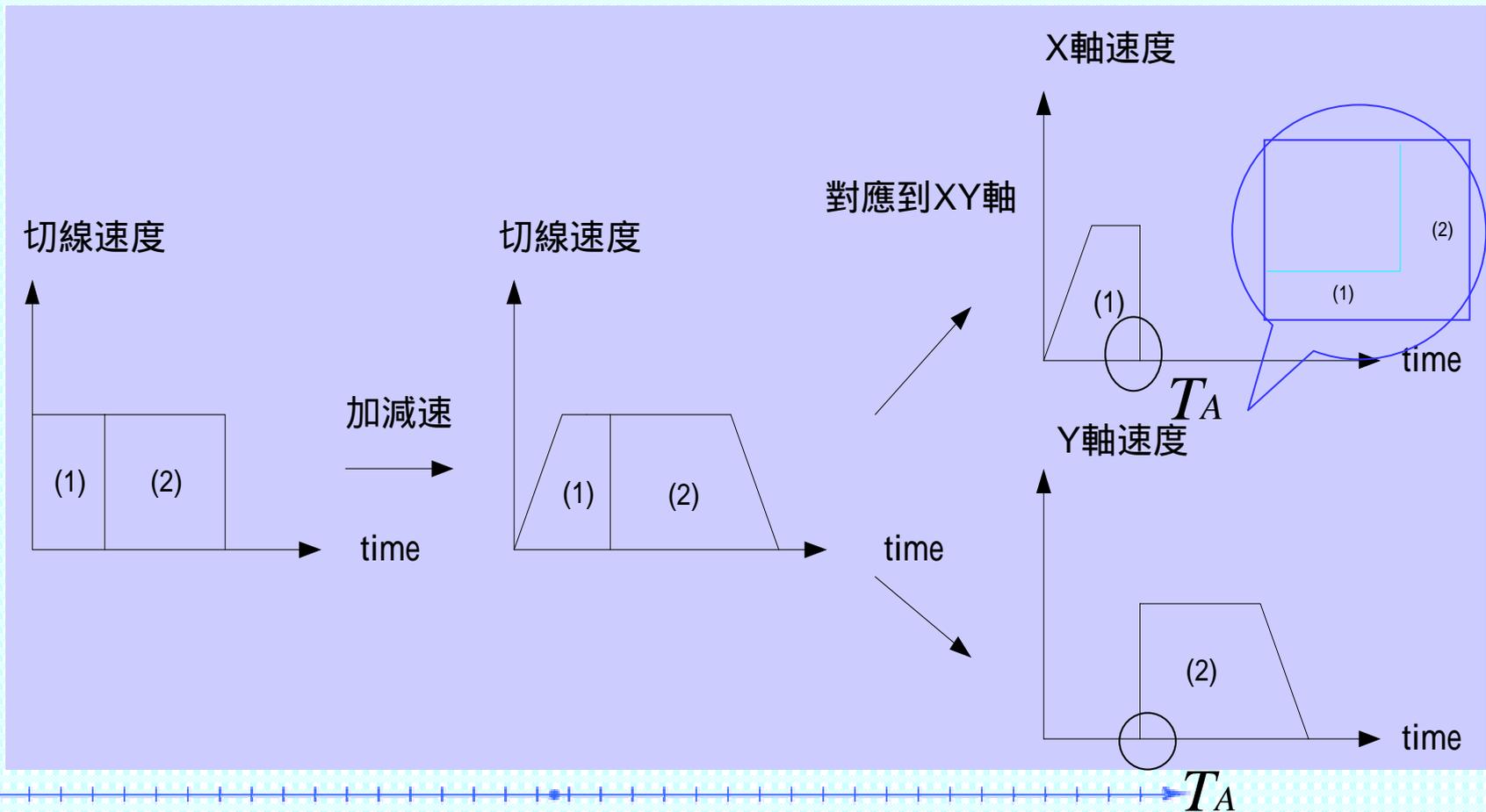


■ 指數加減速控制:

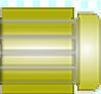
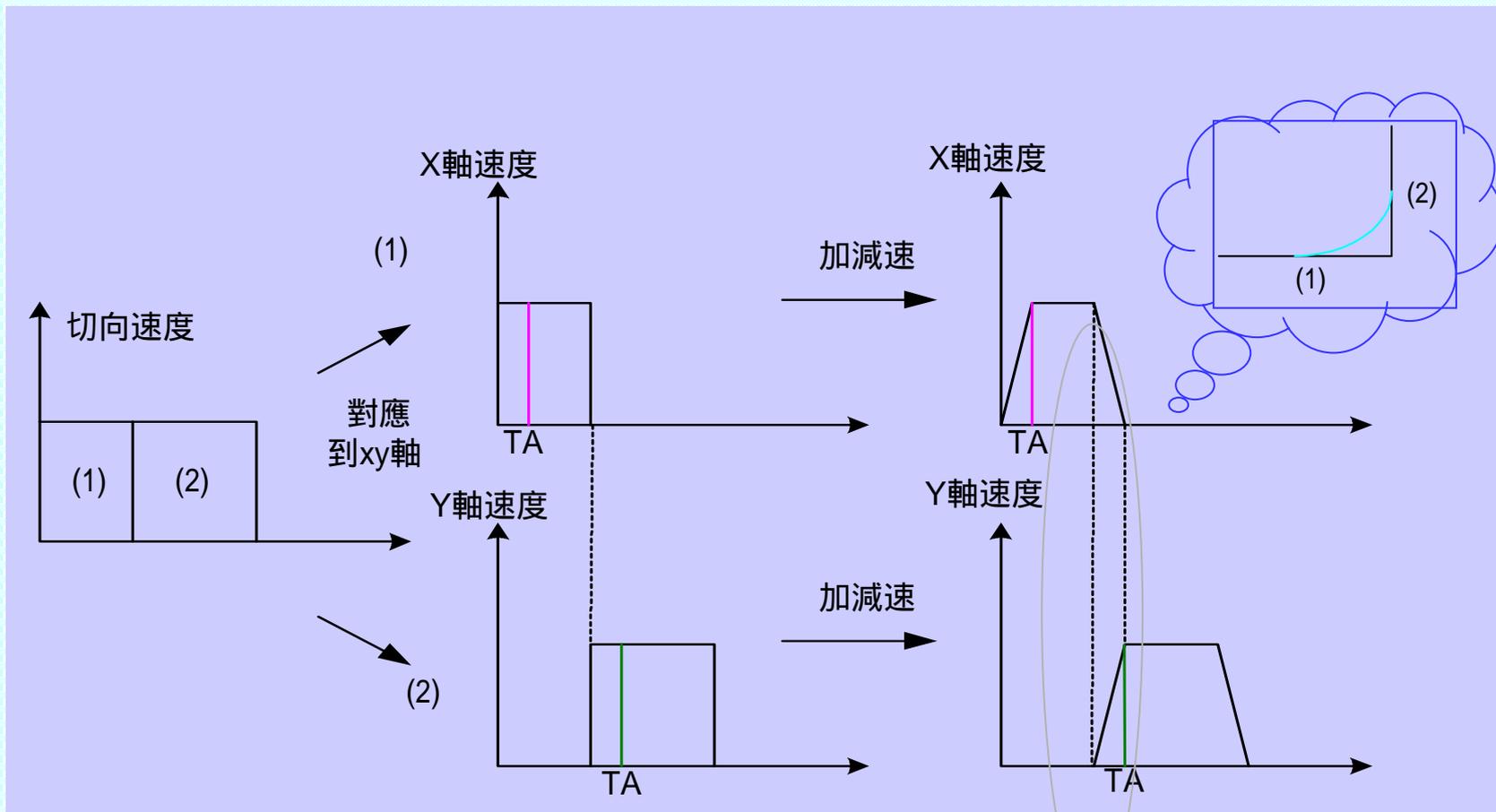


兩種加減速方法的比較

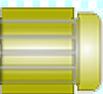
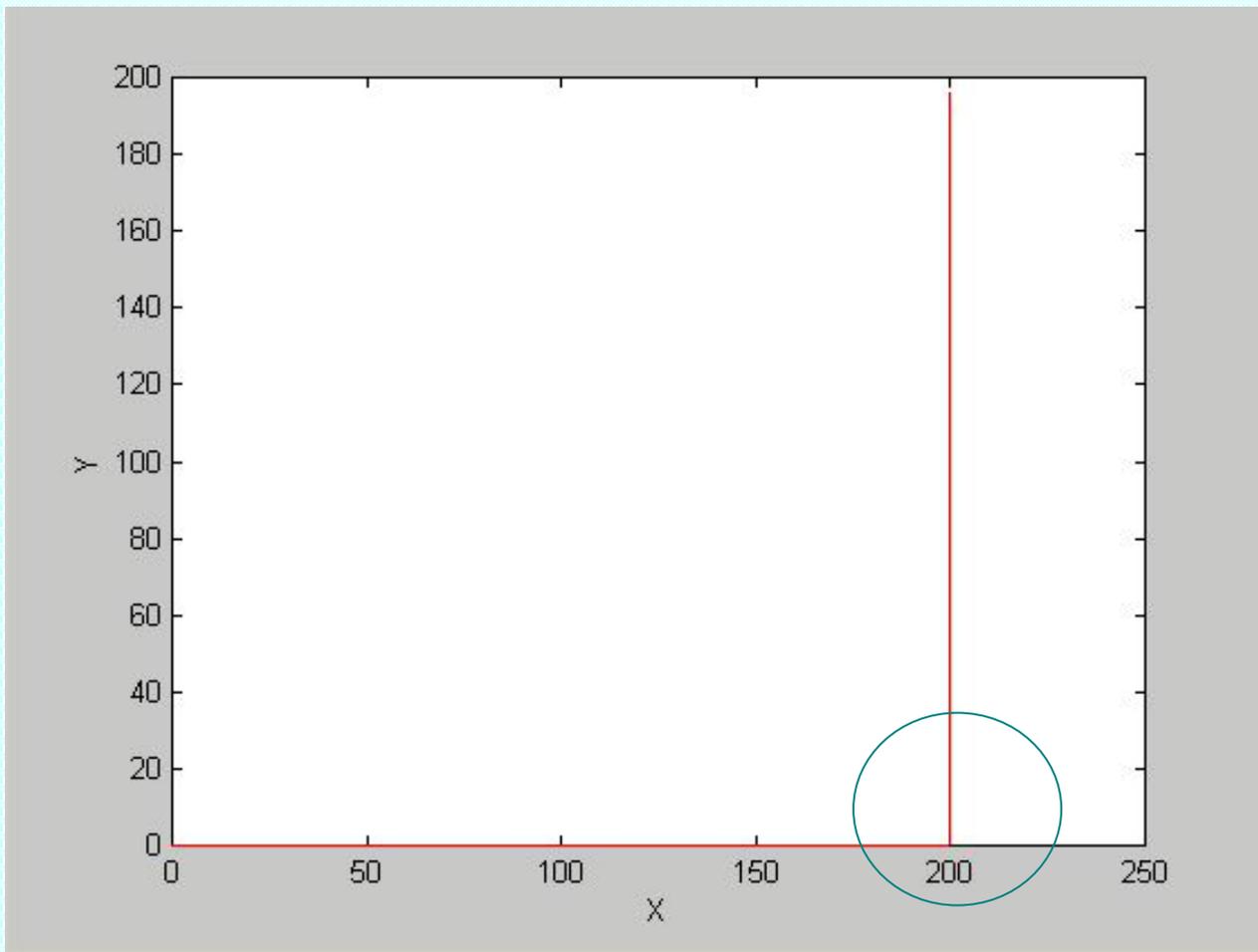
- 前加減速分多個區域控制:



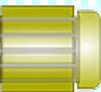
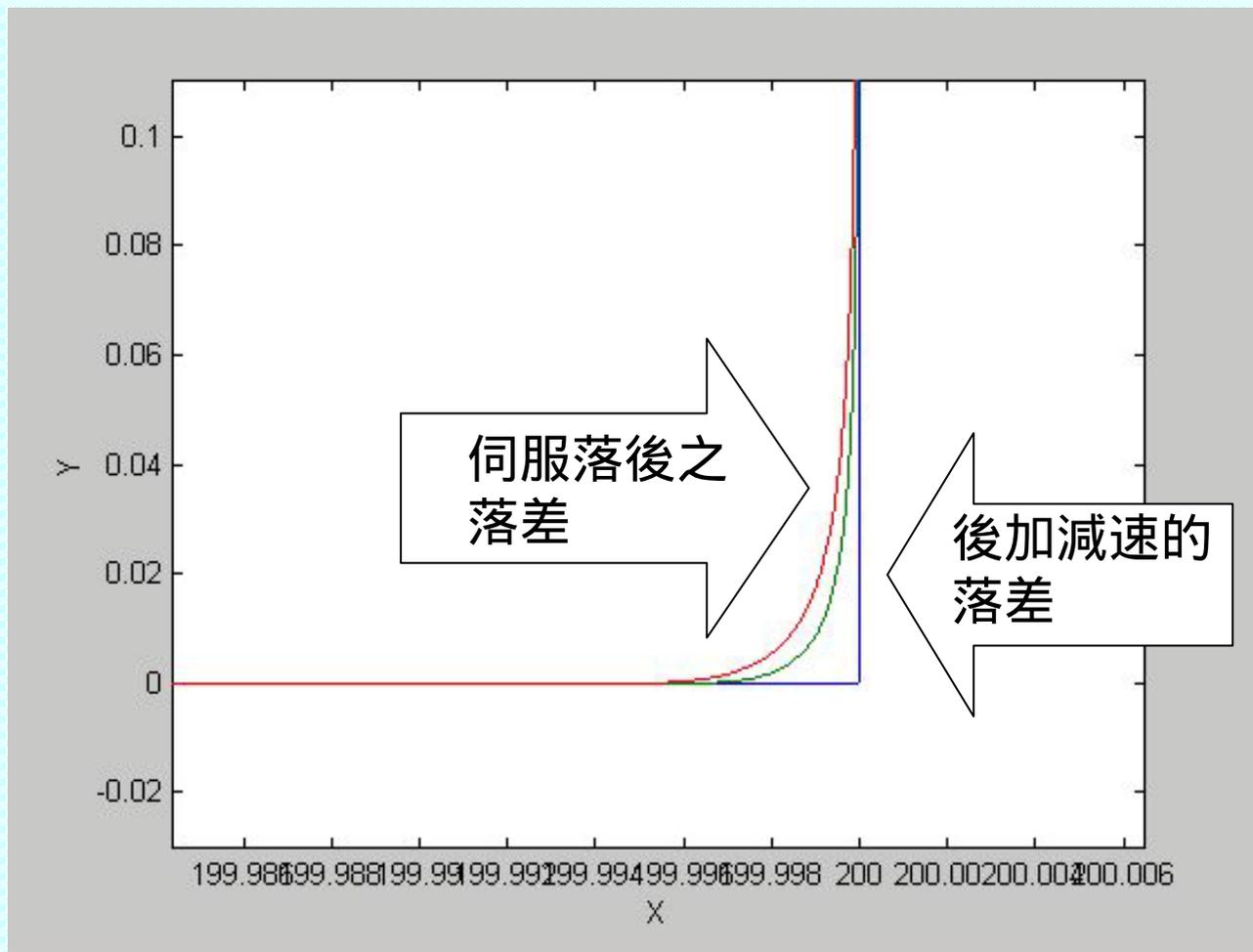
後加減速分多個區域控制:



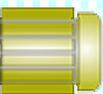
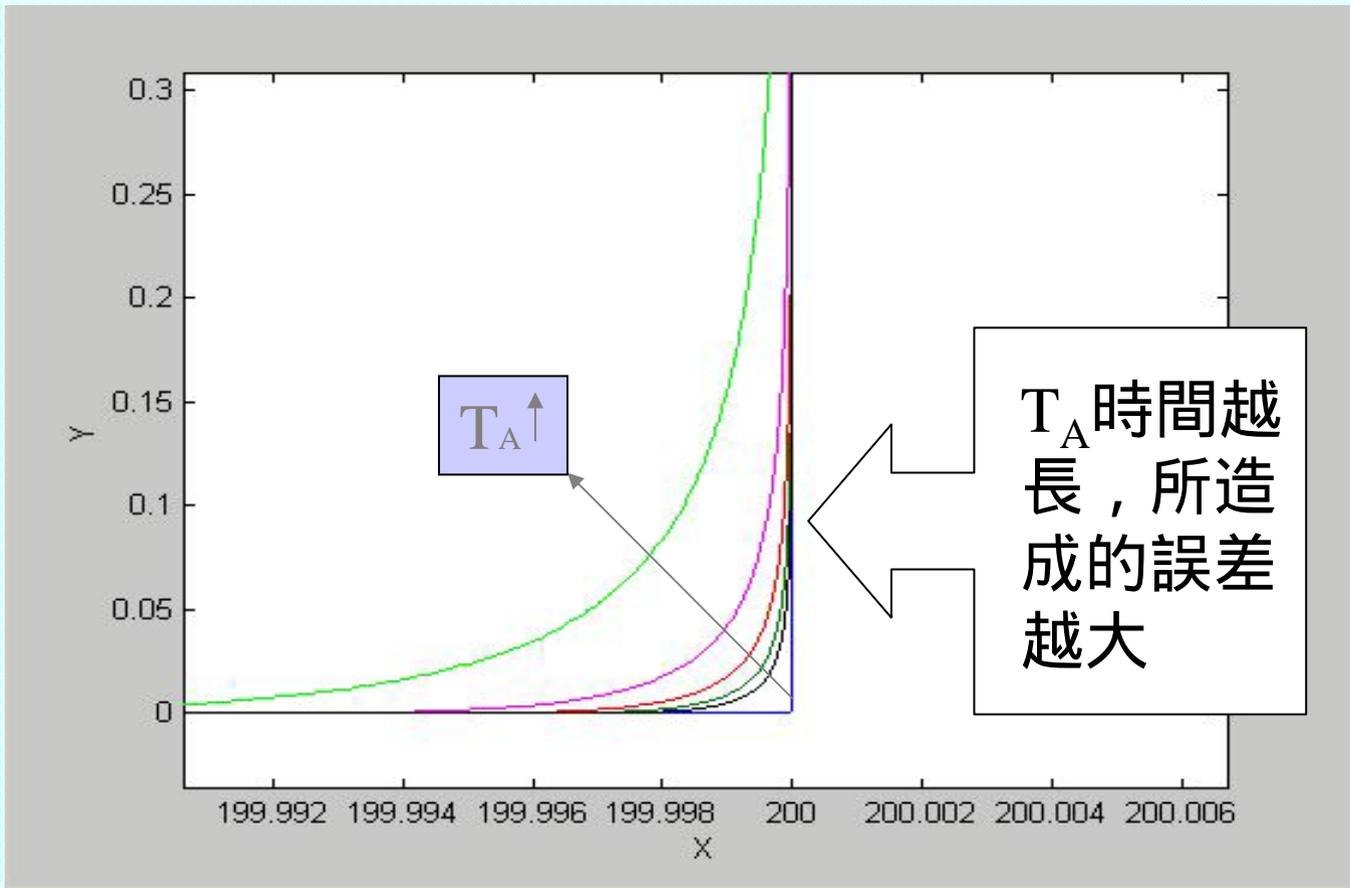
- 後加減速之轉角誤差:



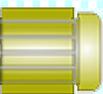
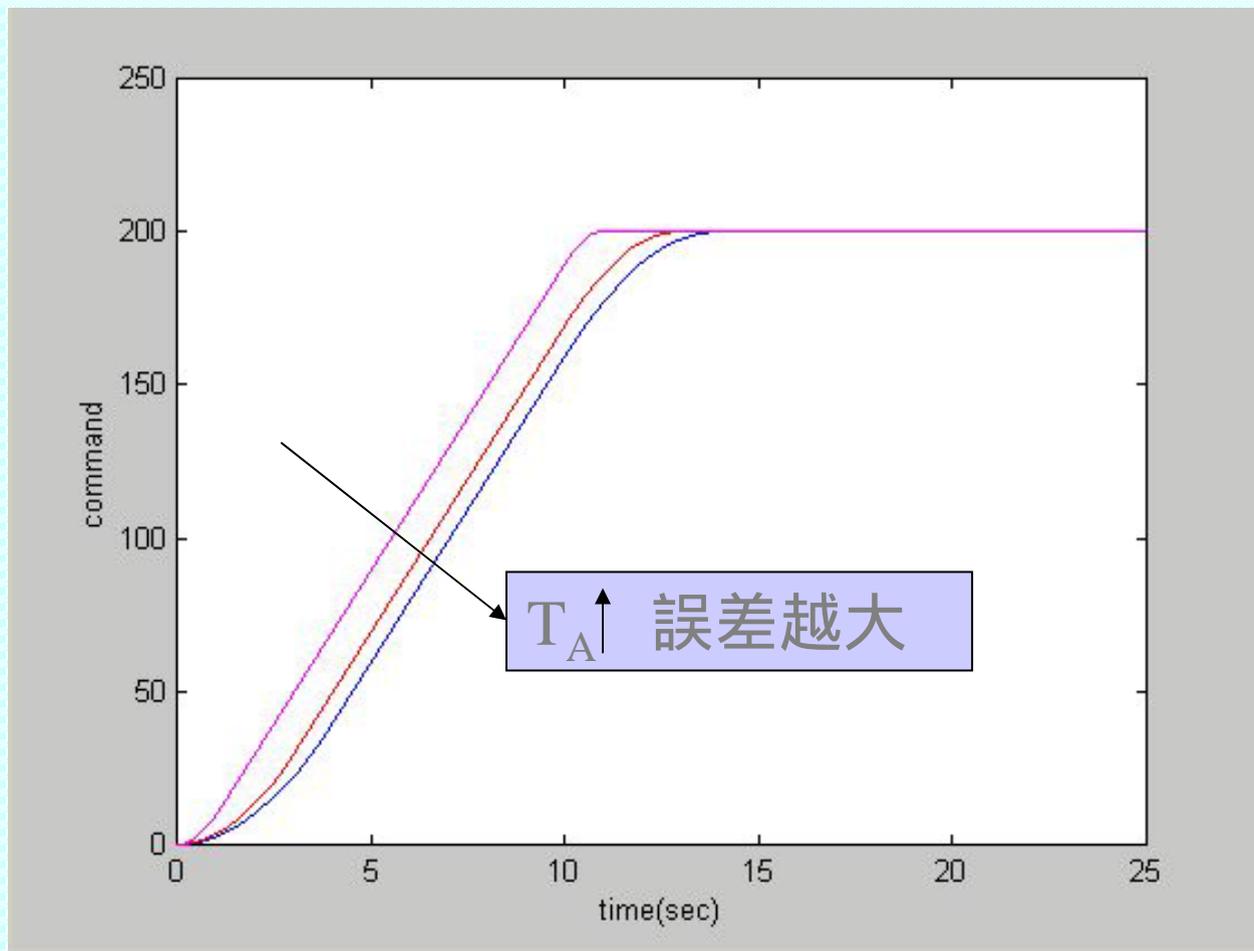
- 細部分析:



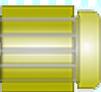
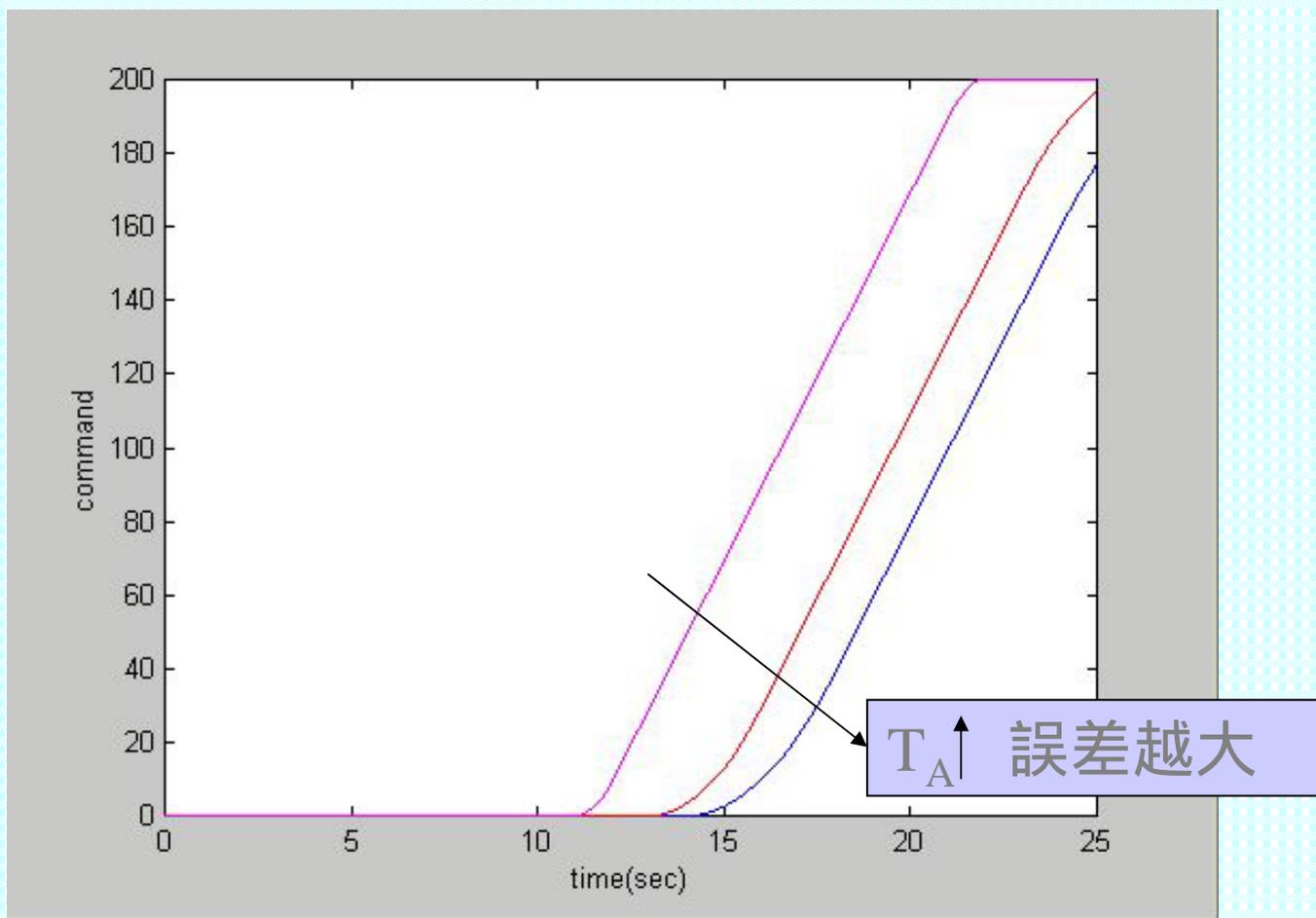
- 不同的XY軸加減速時間:



- X軸速度曲線:

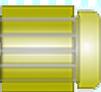


- Y軸速度曲線:



兩種加減速之優點比較:

- 後加減速：
 - 容易實現
 - 輸出的速度連續
 - 比較容易套用各型的加減速控制
- 前加減速：
 - 可有效降低由加減速控制的影響而形成的伺服誤差



循環誤差與橢圓循跡誤差

■ 循環誤差:

輸入指令:

設一圓形半徑R其XY位置可表示成：

$$\theta_{xcmd}(t) = R \cos \omega t$$

$$\theta_{ycmd}(t) = R \sin \omega t$$

拉式轉換



$$\theta_{xcmd}(S) = \frac{RS}{S^2 + \omega^2}$$

$$\theta_{ycmd}(S) = \frac{R\omega}{S^2 + \omega^2}$$

輸出指令:

$$\theta_x(S) = \frac{K_f T_p S + 1}{T_p S + 1} \cdot \theta_{xcmd}(S)$$

$$\theta_y(S) = \frac{K_f T_p S + 1}{T_p S + 1} \cdot \theta_{ycmd}(S)$$

$$\text{其中 } T_p = \frac{1}{K_p}$$

輸出半徑:

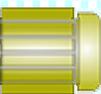
$$R' = \sqrt{\theta_{x,ss}^2 + \theta_{y,ss}^2} = R \sqrt{\frac{1 + (K_f \omega T_p)^2}{1 + (\omega T_p)^2}}$$

誤差 ΔR :

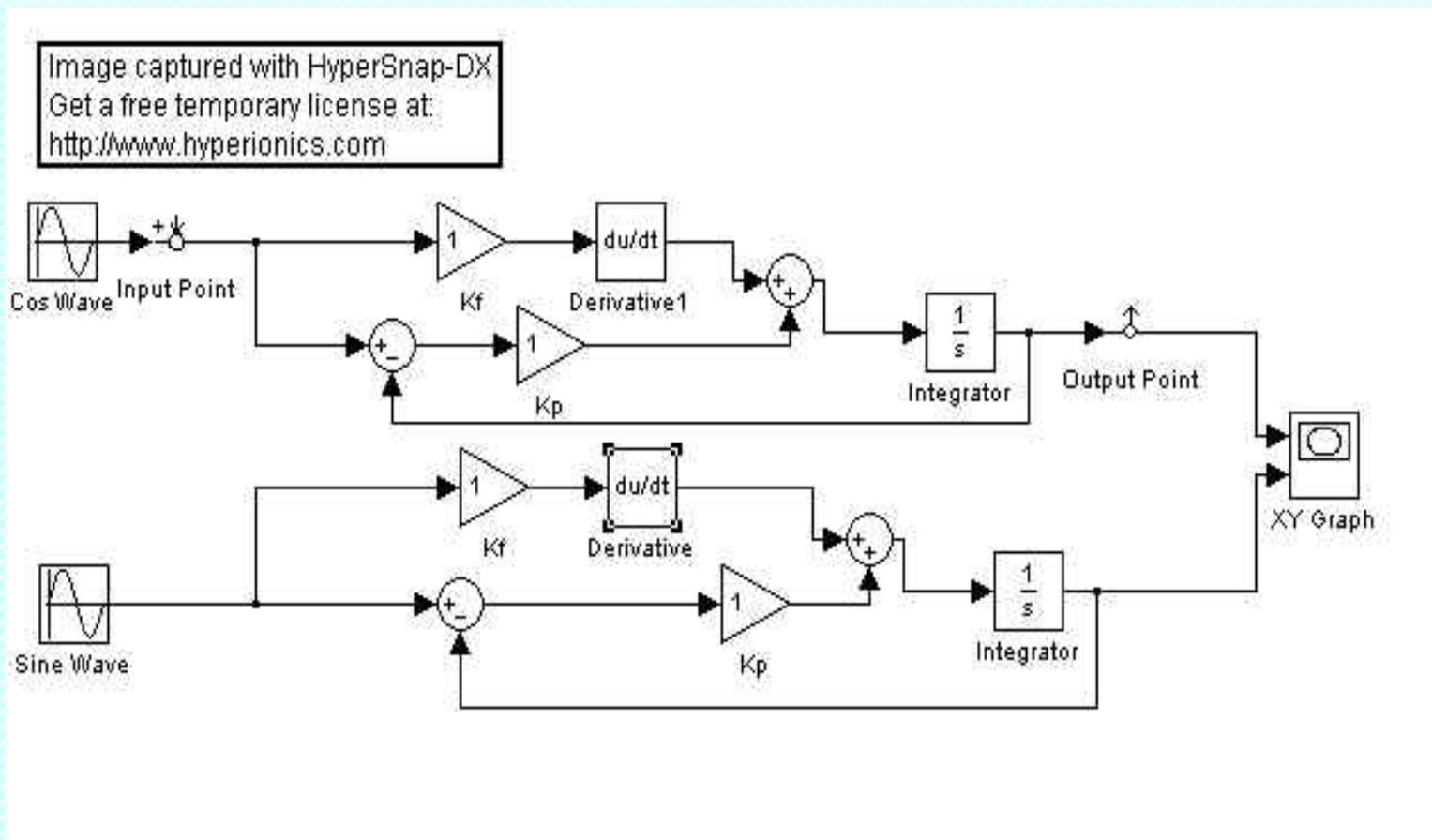
$$\begin{aligned} \Delta R &= R' - R \\ &= \frac{R (\omega T_p)^2}{2} \left[\frac{1 - K_f^2}{1 - \frac{1}{2} (\omega T_p)^2} \right] \\ &\approx T_p^2 (1 - K_f^2) \times \frac{F^2}{2R} \end{aligned}$$



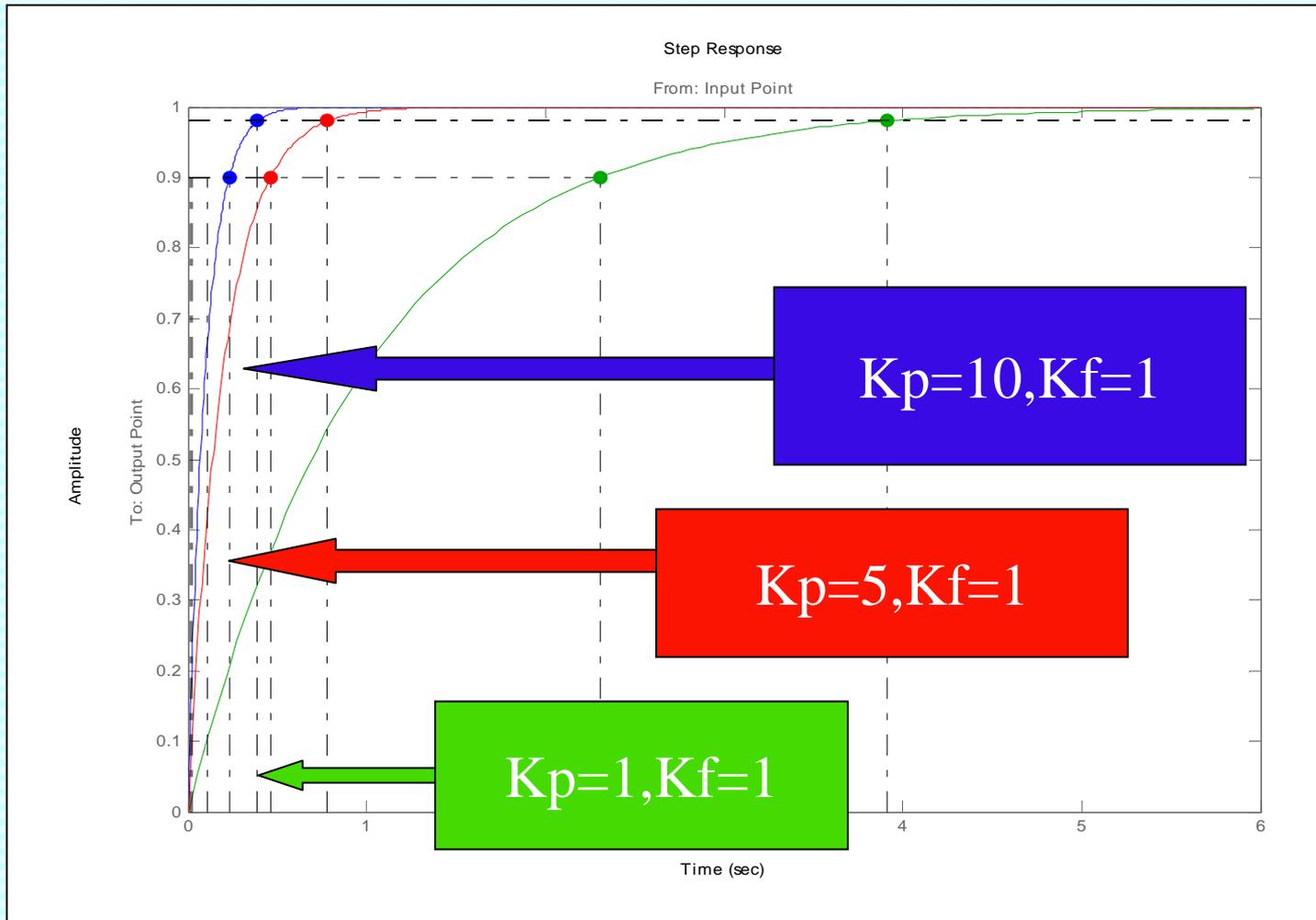
R增加
F降低
Tp降低
(Kp增加)
Kf趨近1

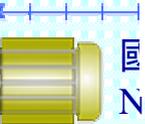
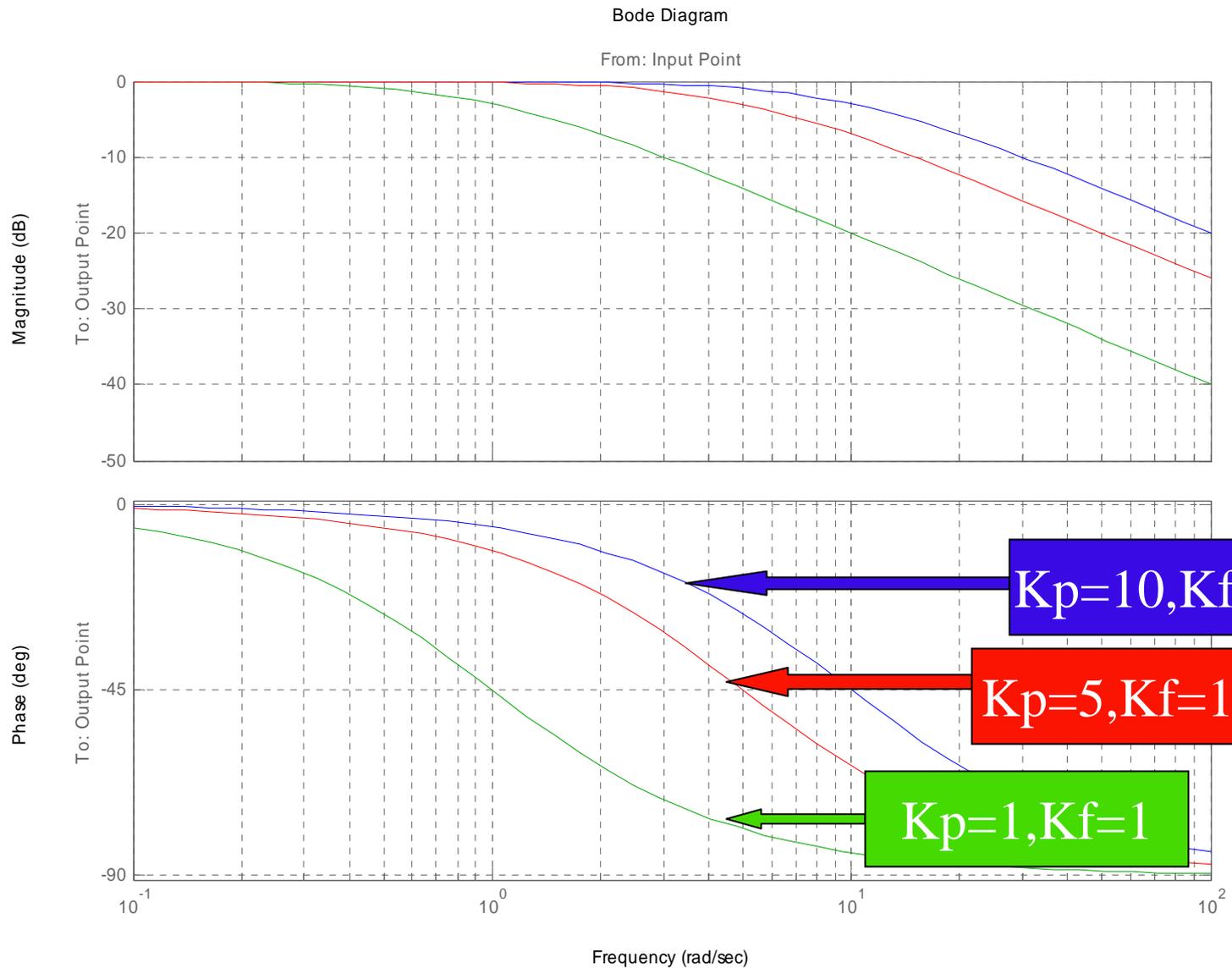


- 微分器:



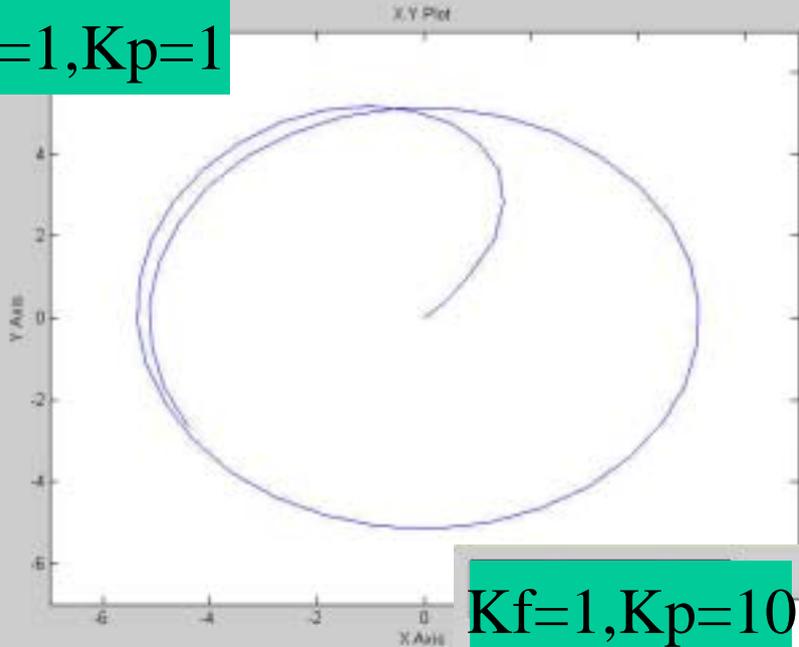
● 利用Matlab模擬:



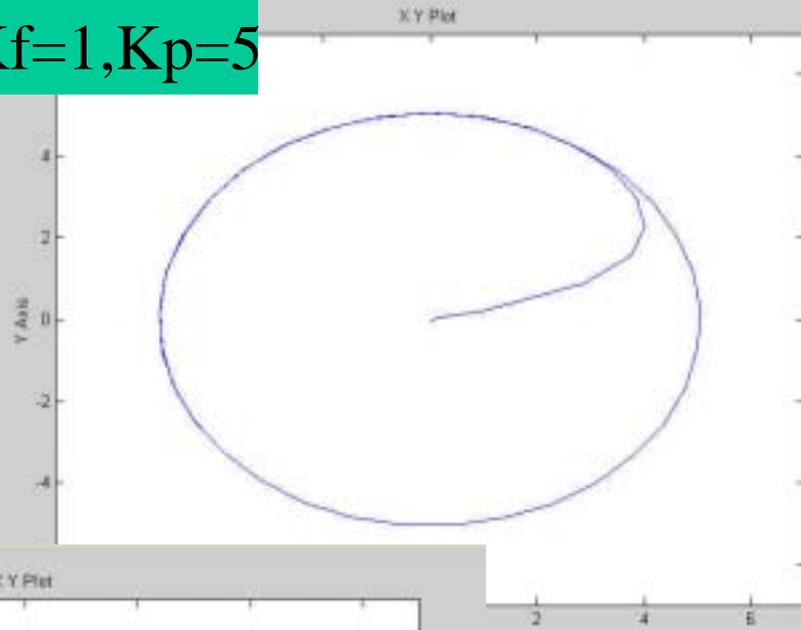


模擬結果:

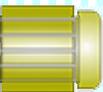
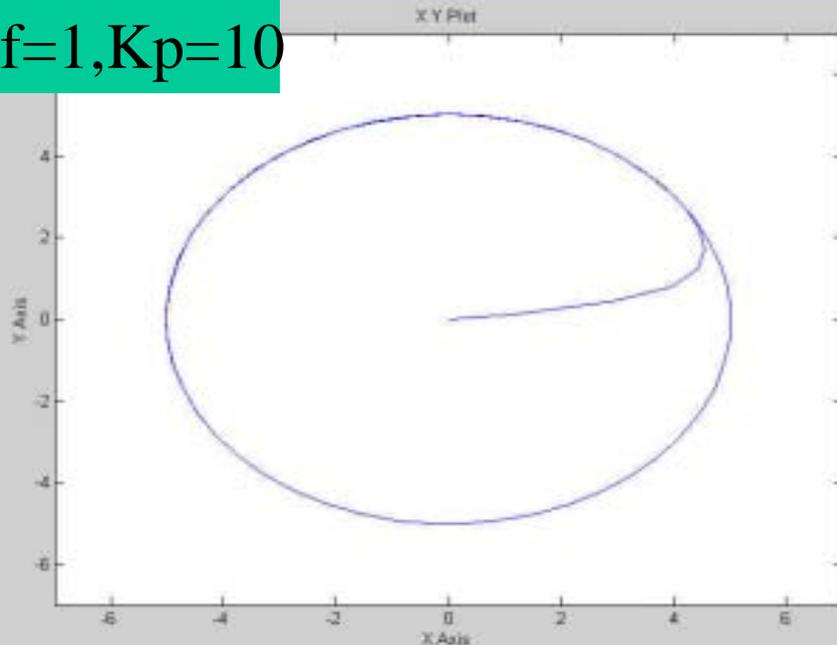
$K_f=1, K_p=1$



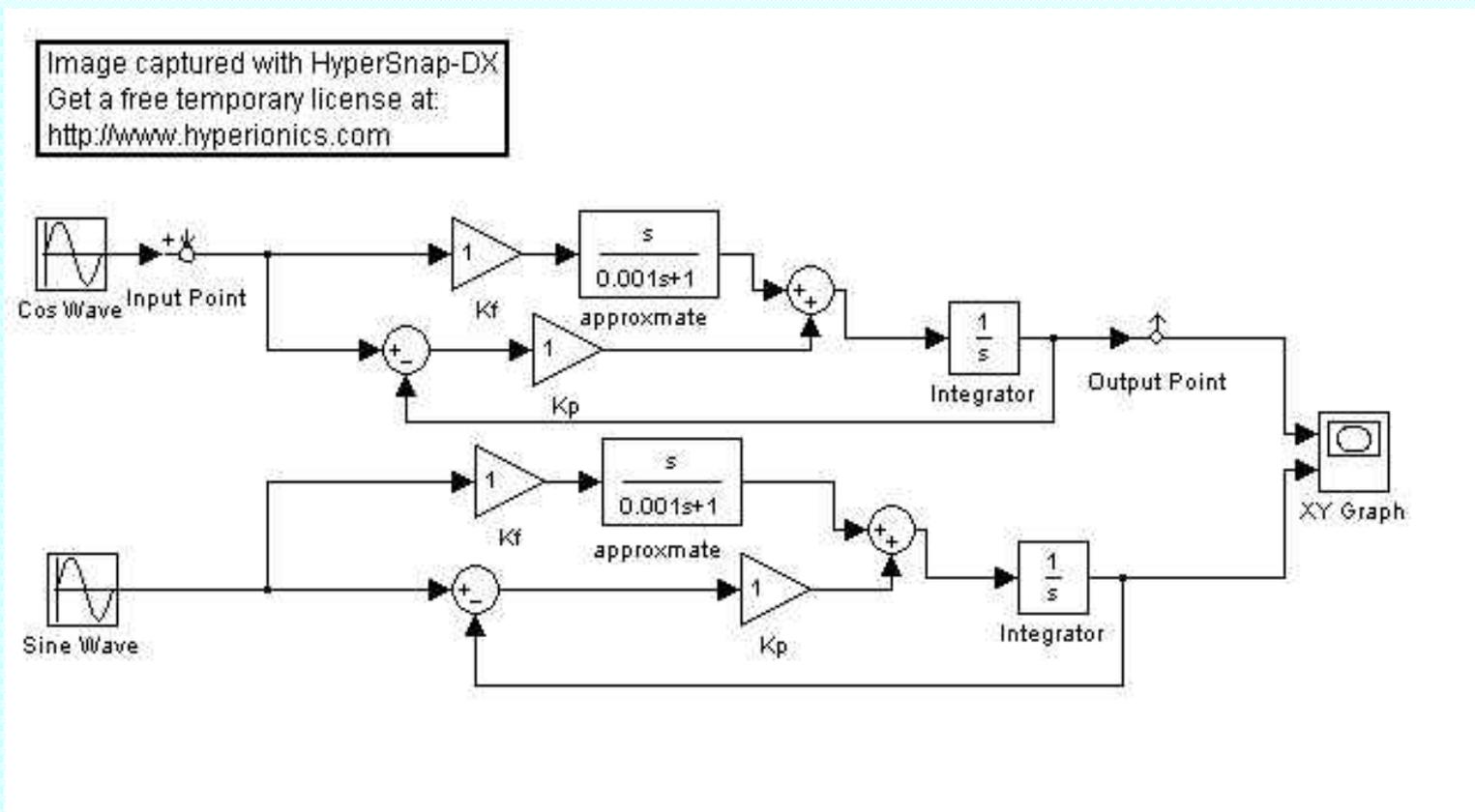
$K_f=1, K_p=5$



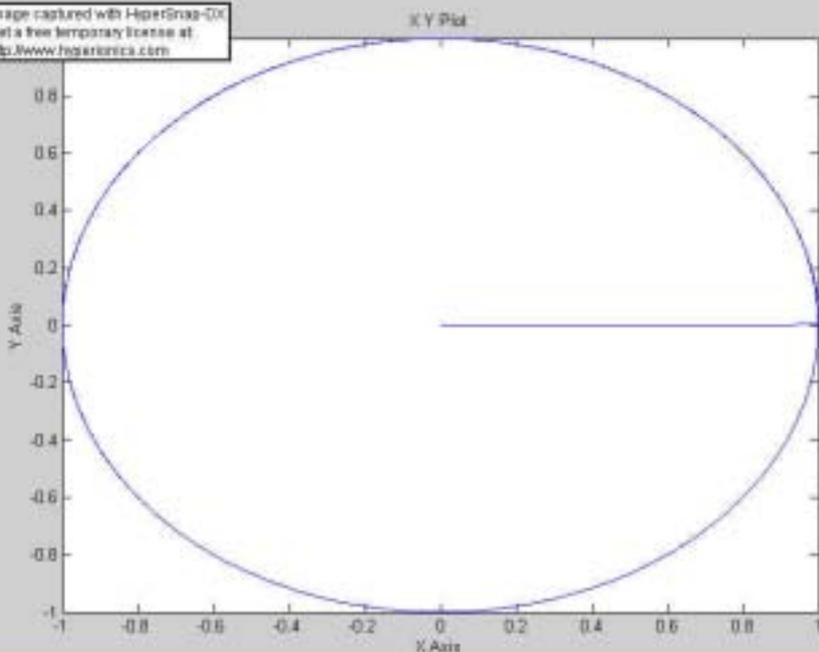
$K_f=1, K_p=10$



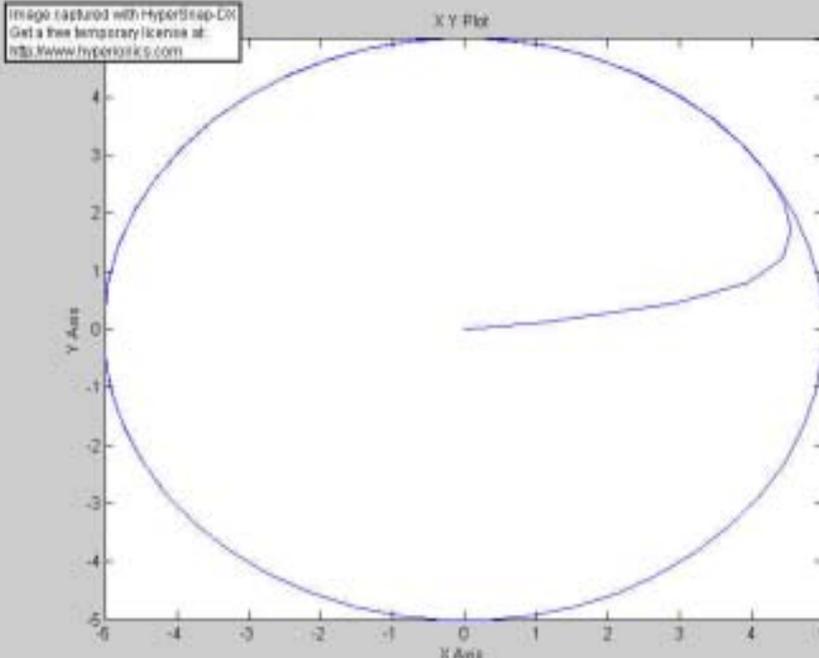
• 近似微分器:



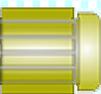
- 模擬結果比較:



近似微分器



微分器



- 橢圓循跡誤差:

輸入指令:

$$\theta_{xcmd}(t) = a \cos \omega t$$

$$\theta_{ycmd}(t) = b \sin \omega t$$

拉式轉換



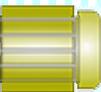
$$\theta_{xcmd}(s) = \frac{a s}{s^2 + \omega^2}$$

$$\theta_{ycmd}(s) = \frac{b s}{s^2 + \omega^2}$$

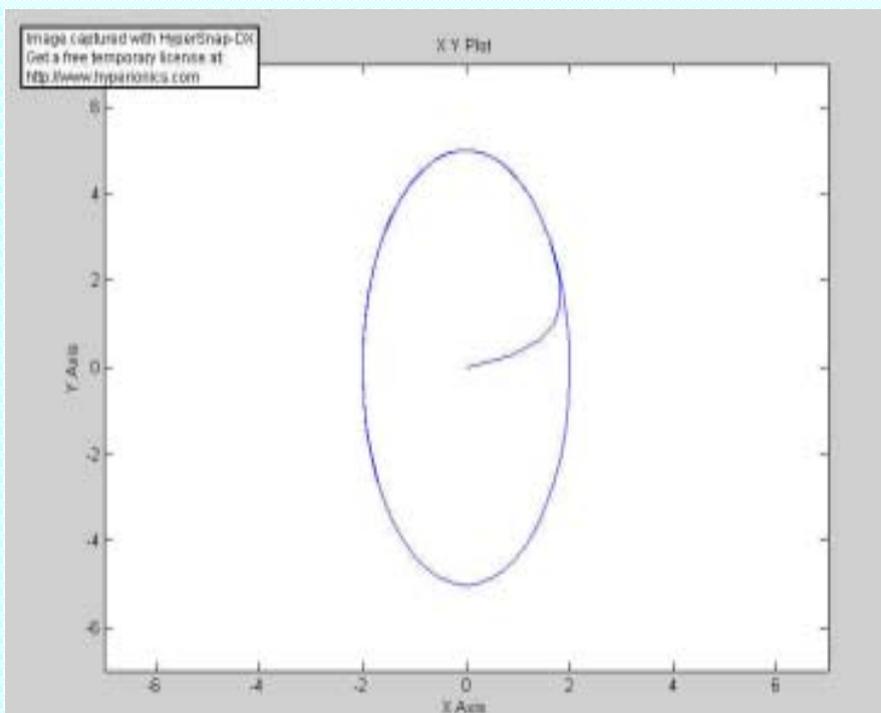
輸出指令:

$$\theta_x(s) = \frac{K_f T_p s + 1}{T_p s + 1} \cdot \theta_{xcmd}(s)$$

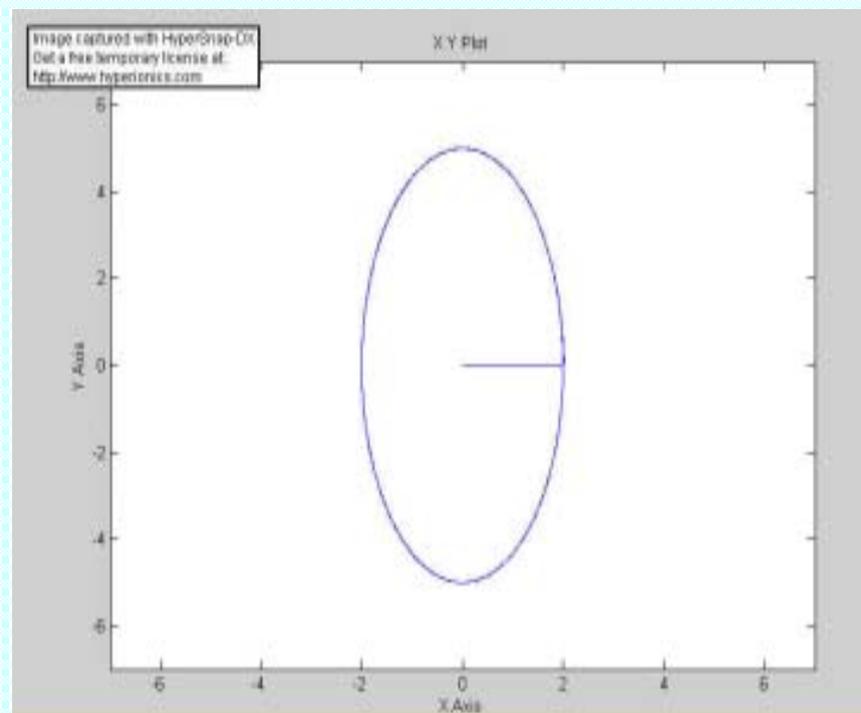
$$\theta_y(s) = \frac{K_f T_p s + 1}{T_p s + 1} \cdot \theta_{ycmd}(s)$$



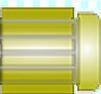
• 模擬結果比較:



微分器



近似微分器



結論

- 1. 在分析一個系統時，簡化這個動作可以讓我們分析時省時省力，但是相對的也會失去一些真實度，這其中的取捨，要考慮清楚。
- 2. 前饋控制用在兩軸同動的循跡上，仍有穩態誤差存在，表示光靠前饋控制要達到更高的精度是不夠的，可能要再加上適當的加減速規劃，使有較佳的速度曲線，再加上快速的差值器，將輸入命令送出，配上前饋控制器，可以有較佳的效果。