



---

PID

最佳調控技術



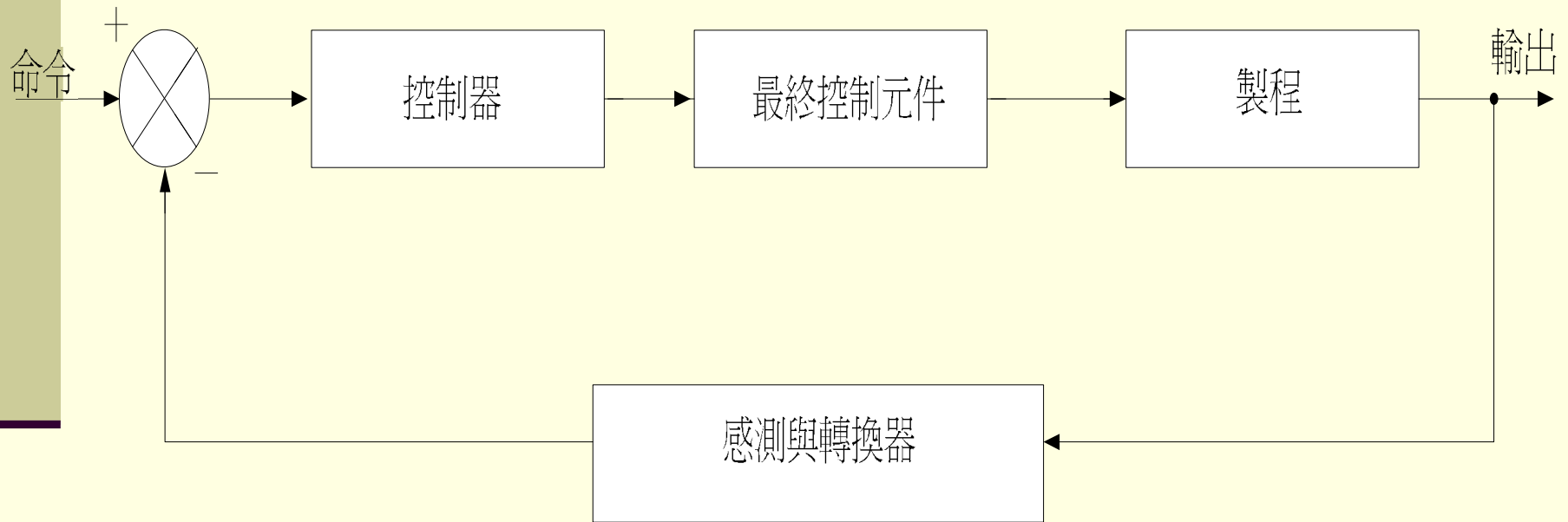
# 內容：

---

- 一. PID回授控制概要
- 二. PID參數調整
- 三. 系統辨識
- 四. 傳統PID自動演算法
- 五. 雙PID調控技術
- 六. 雙PID控制實務
- 七. smith調控技術
- 八. 實例

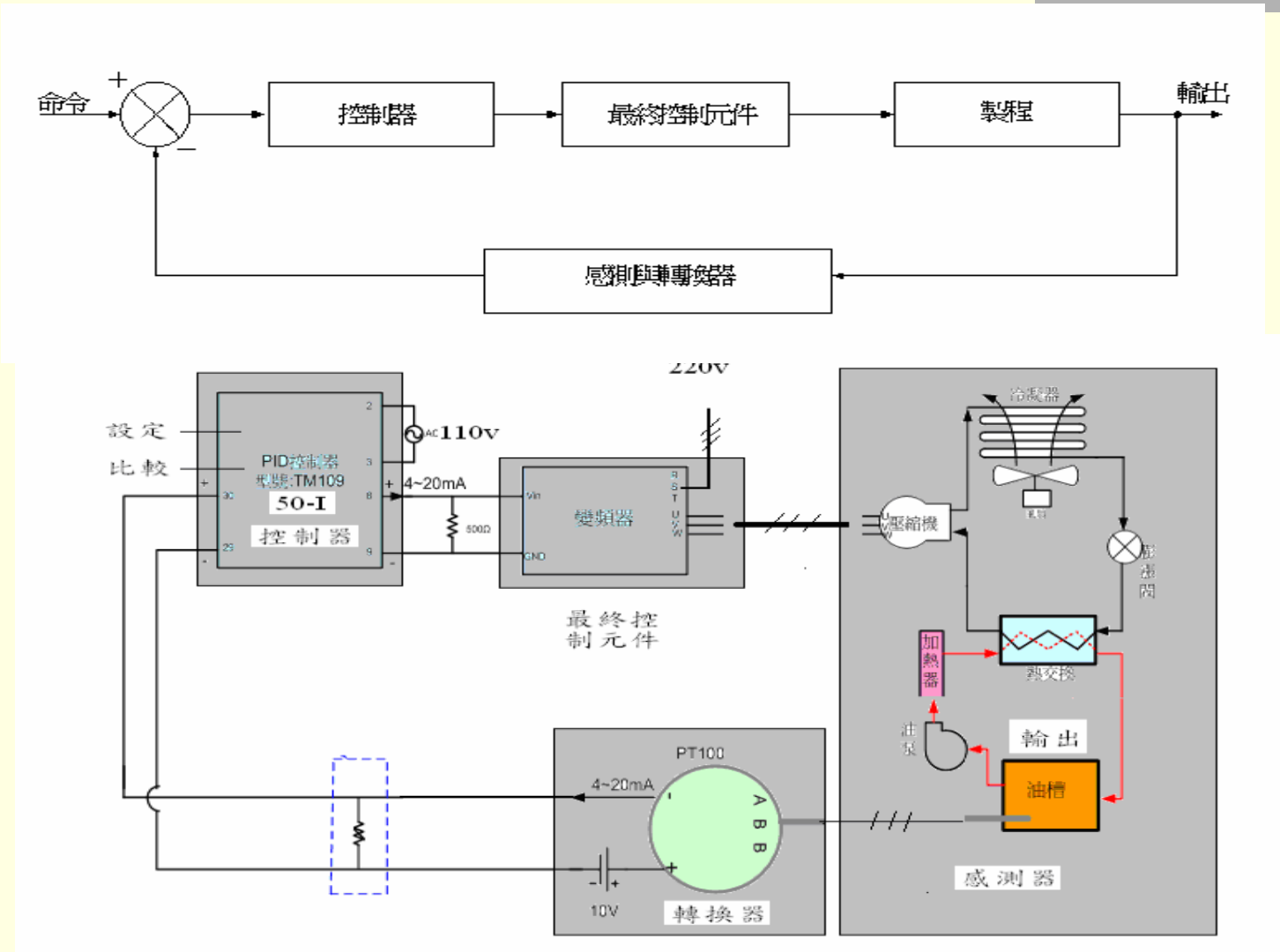
# 一.PID回授控制概要

## 基本PID回授控制圖

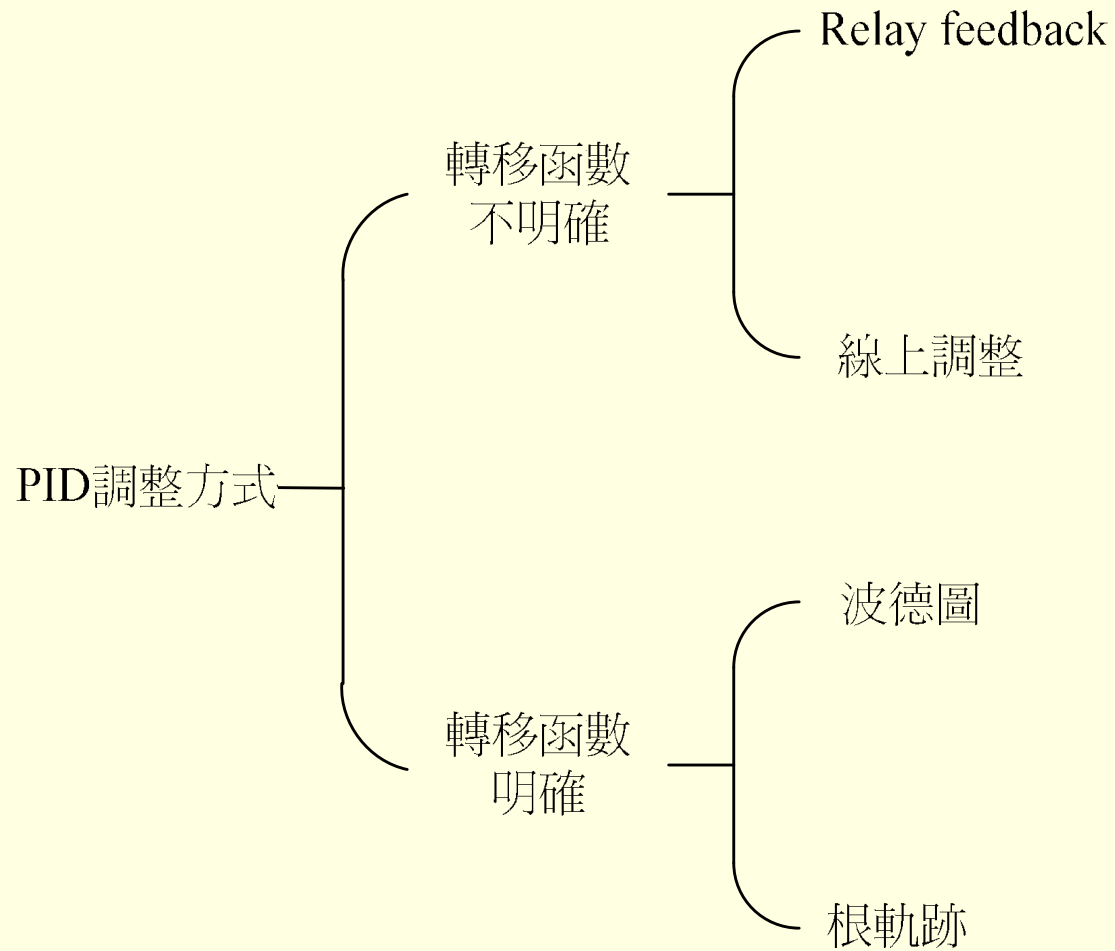


回授控制是指將設定值與系統的輸出值做比較，求出偏差量，利用偏差量去調控制程的輸出，使達到與設定值一致。

# 閉迴路系統



## 二.PID參數調整

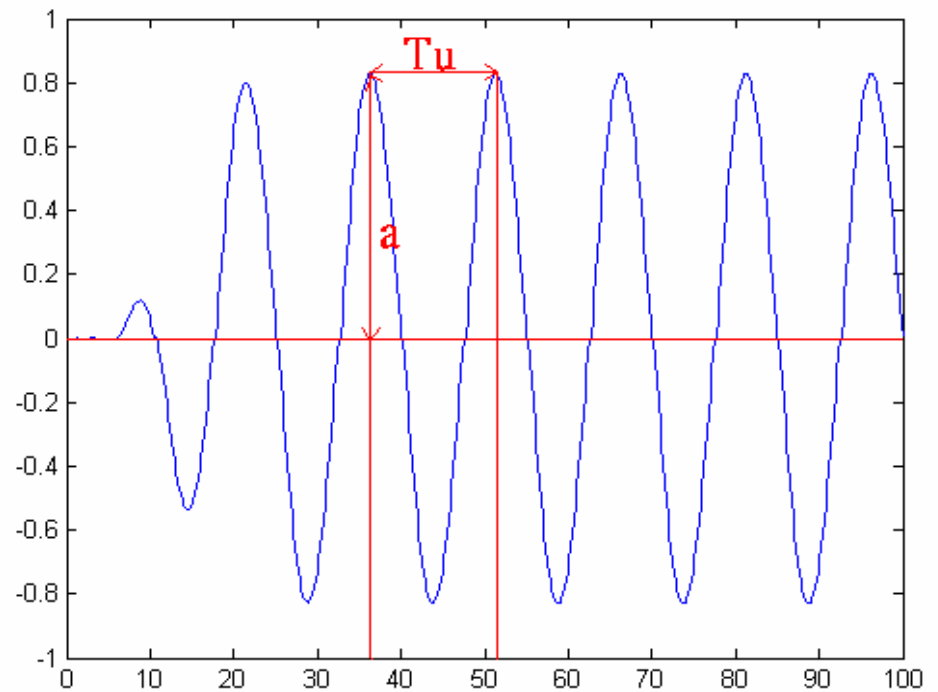


# 轉移函數不明確系統之PID調整法

## ■ Relay feedback法：

利用Relay的On-Off作用，使系統擾動，可得該系統於臨界狀態時的盪週期 $T_u$ 及臨界增益 $K_u$ 。再用Ziegler-Nichols經驗法則得出PID控制器 $K_p$ 、 $T_i$ 、 $T_d$ 之值。

系統持續震盪特性曲線



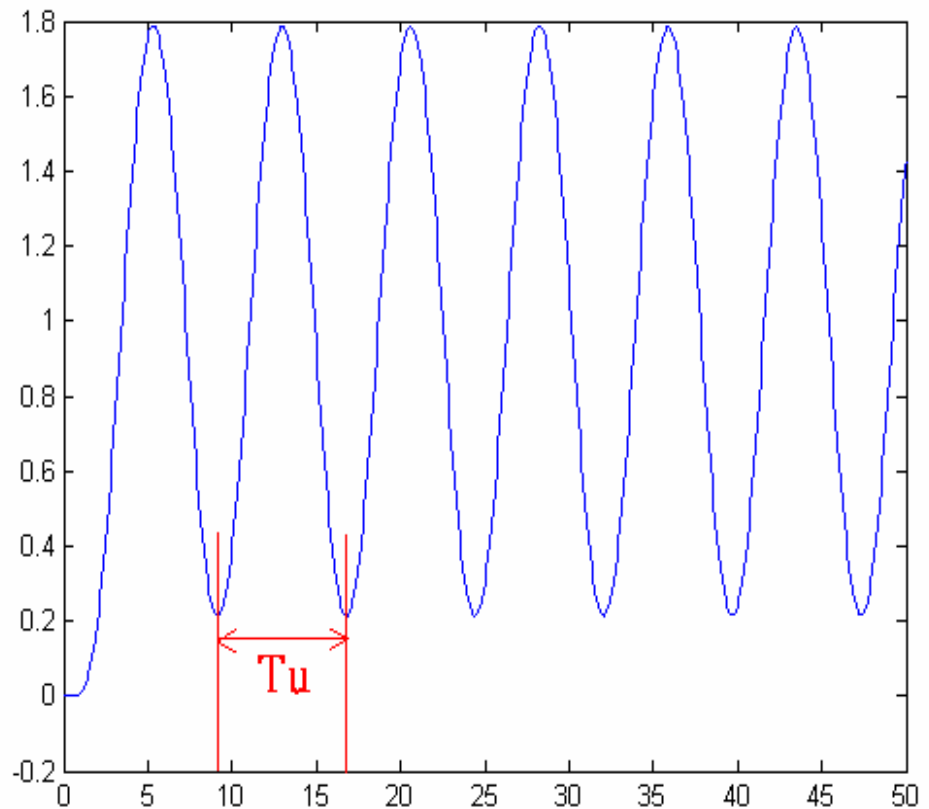
$$K_u = \frac{4}{\pi} \times \frac{d}{a}$$

$a$ ：輸出振幅大小  
 $d$ ：relay提供電壓幅值

# 轉移函數不明確系統之PID調整法

線上調整法：

線上調整法係直接於PID控制器調整，亦即使PID控制器裡的I值與D值設為無效，僅調整P值讓系統達臨界值產生震盪，這時的P值為臨界震盪增益  $K_u$ ，震盪週期為  $T_u$ 。



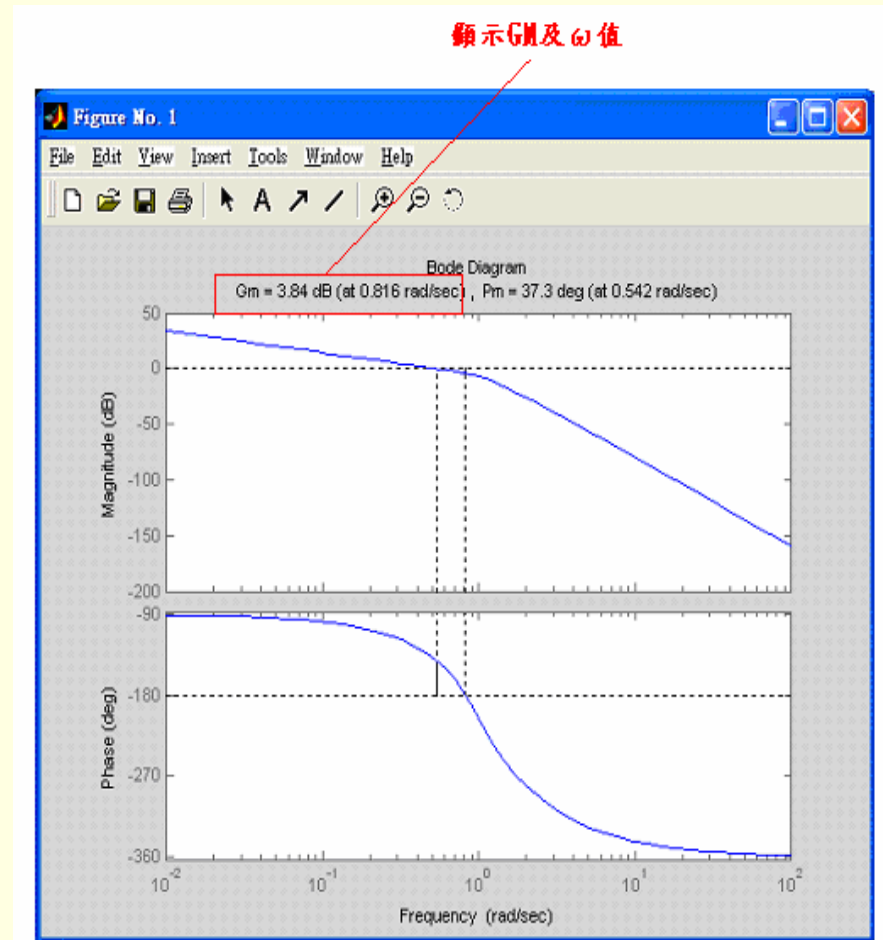
# 系統轉移函數明確之PID調整方法

## 波得圖法

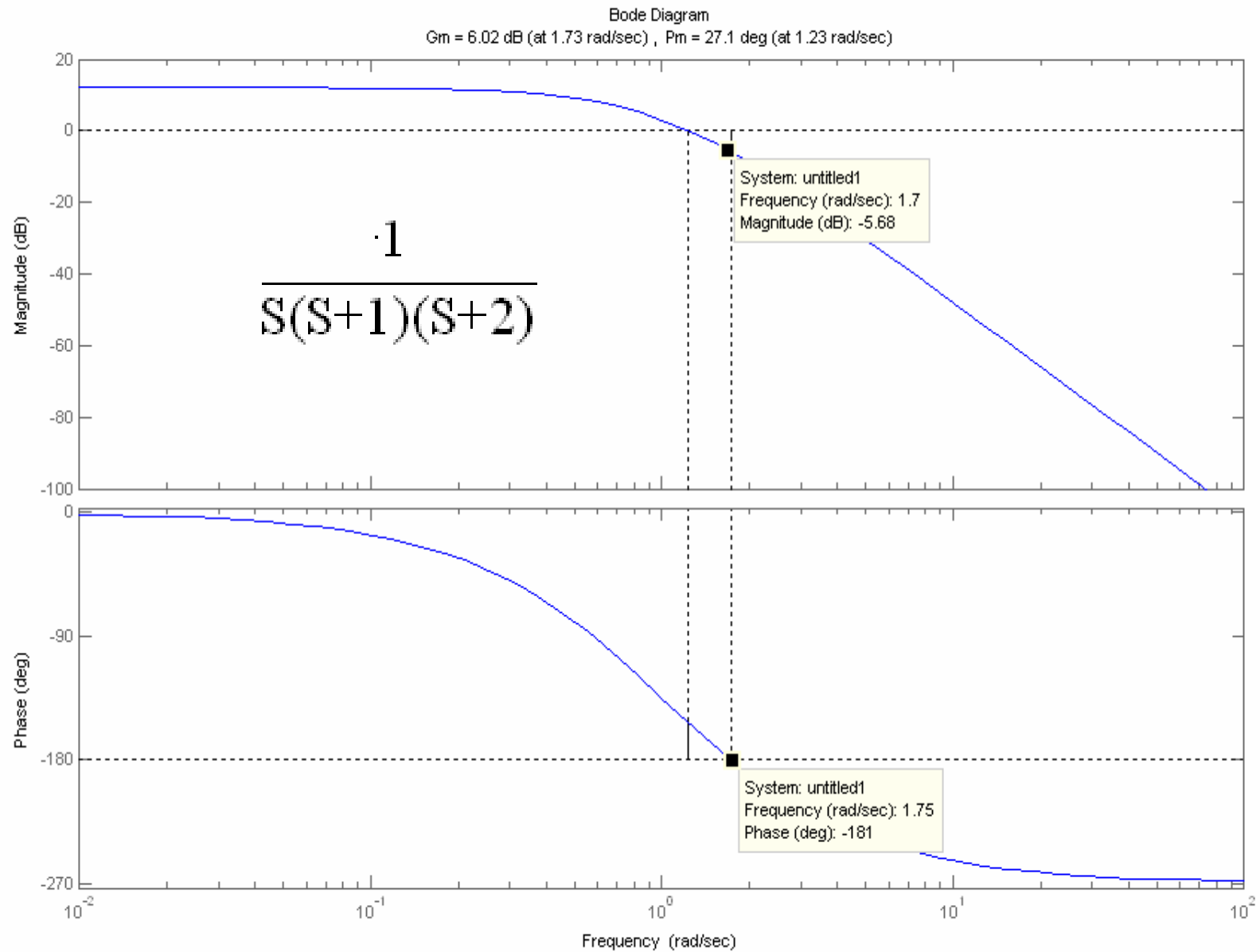
- 繪出波德圖
- 顯示GM及 $\omega_u$ 值。

$$Ku = \log^{-1} \frac{Gm}{20}$$

$$Tu = \frac{2\pi}{\omega}$$

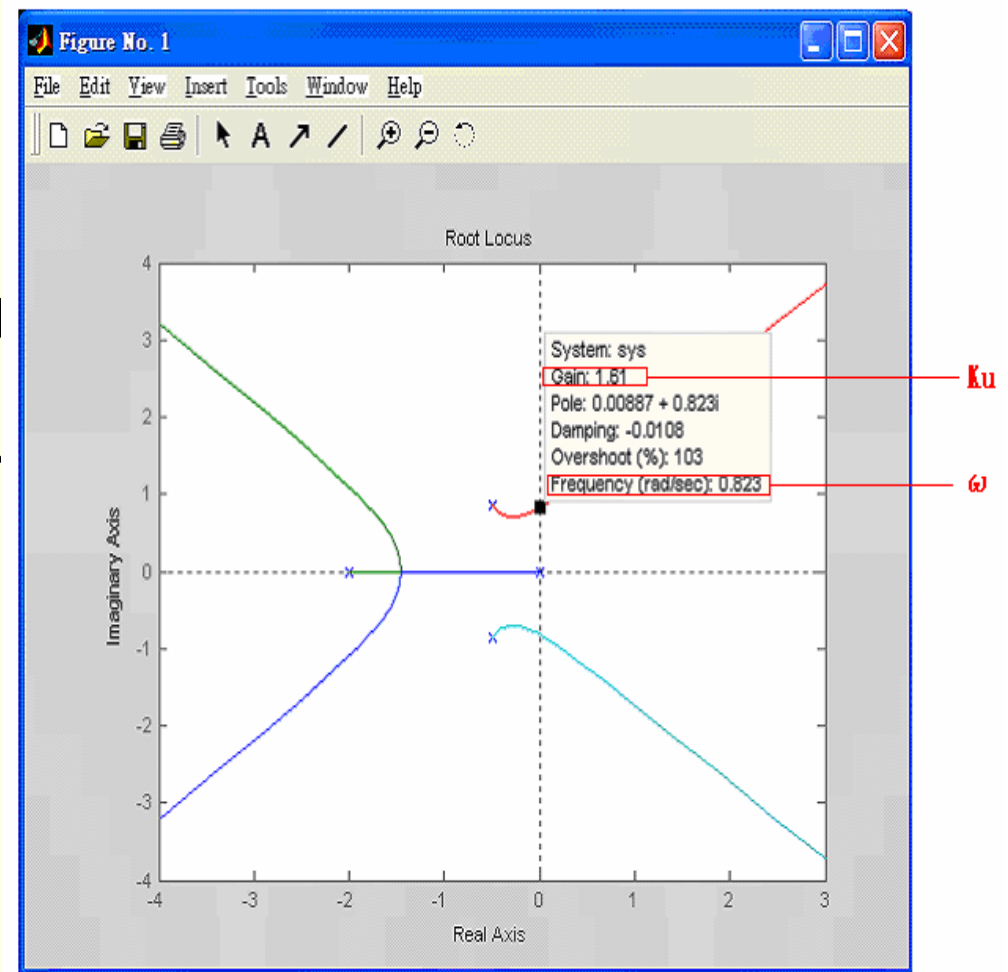






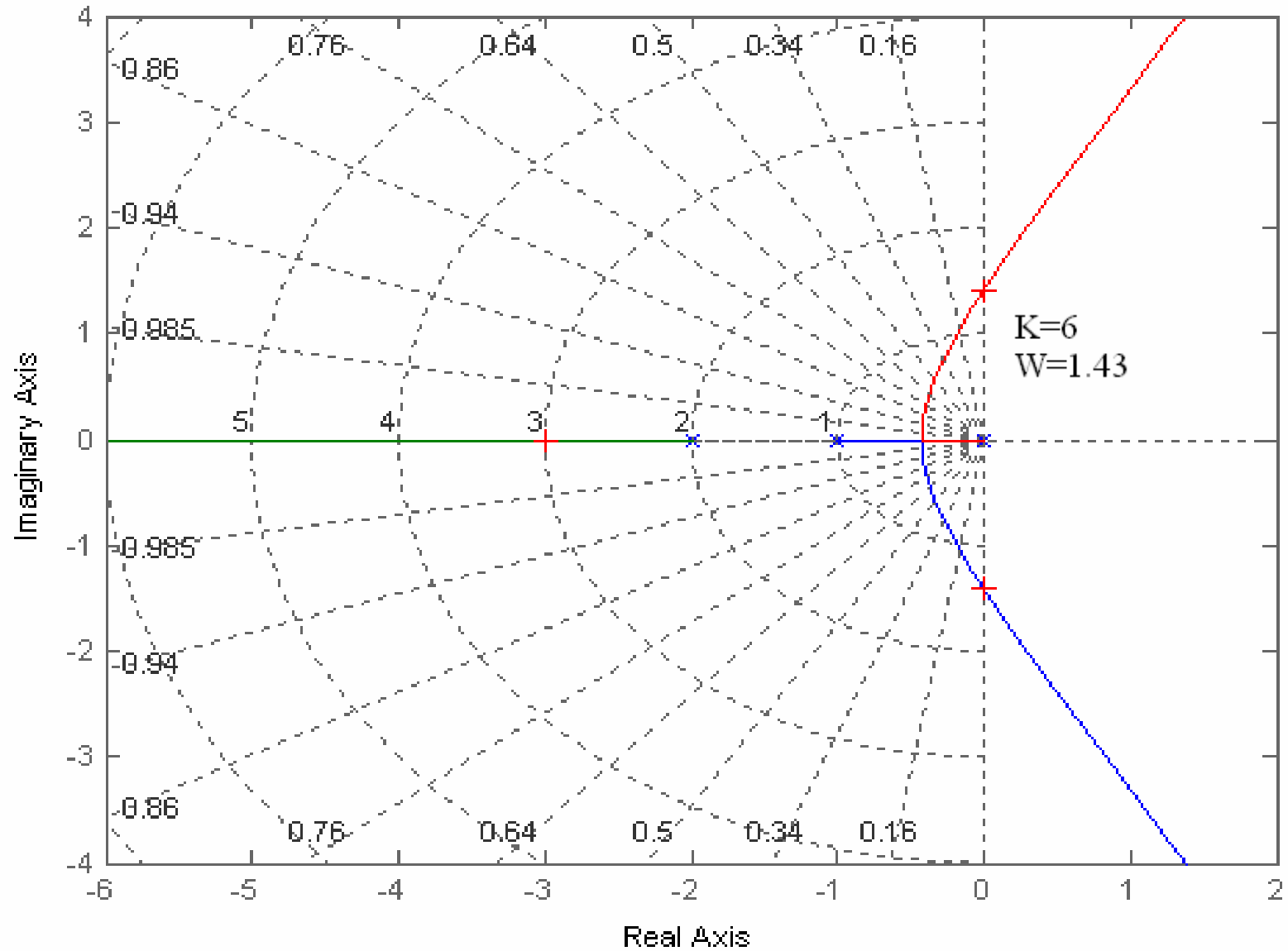
# 根軌跡法

- 取臨界Gain的值為Ku值。
- 取臨界 $\omega$ 的值換算為Tu值。
- Ziegler-Nichols調整法則別Ku及Tu代入
  - $k_p=0.6k_u$ 、 $T_i=0.5T_u$ 、 $T_d=0.125T_u$
- 分別求出 $k_p$ 、 $T_i$ 及 $T_d$ 值。



$$S(S+1)(S+2)$$

根軌跡圖



## Z-N的經驗公式

controller	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$\frac{1}{a}$		
PI	$\frac{0.9}{a} \left( \frac{0.6}{a} \right)^*$	3.3L	
PID	$\frac{1.2}{a} \left( \frac{0.9}{a} \right)^*$	2L	$\frac{L}{2}$

- (1) 比例增益  $K_p$  的作用，是加快系統的響應速度，但易產生超調，甚至導致系統靜態、動態特性變差。提高  $K_p$  的調節精度，使系統響應速度提高，但易產生超調，甚至導致系統靜態、動態特性變差。
- (2) 積分時間  $T_i$  的作用，是消除系統的穩態誤差。  $T_i$  越大，響應過程的初期較難消除積分飽和積分影。  $T_i$  過小，將引起超調，從而使系統調節精度降低。
- (3) 微分時間  $T_d$  的作用，是改善系統的動態特性，並有效減少超調量，從而使系統調節時間縮短。

# 參數 $K_p$ 、 $T_i$ 和 $T_d$ 對閉迴路系統的作用

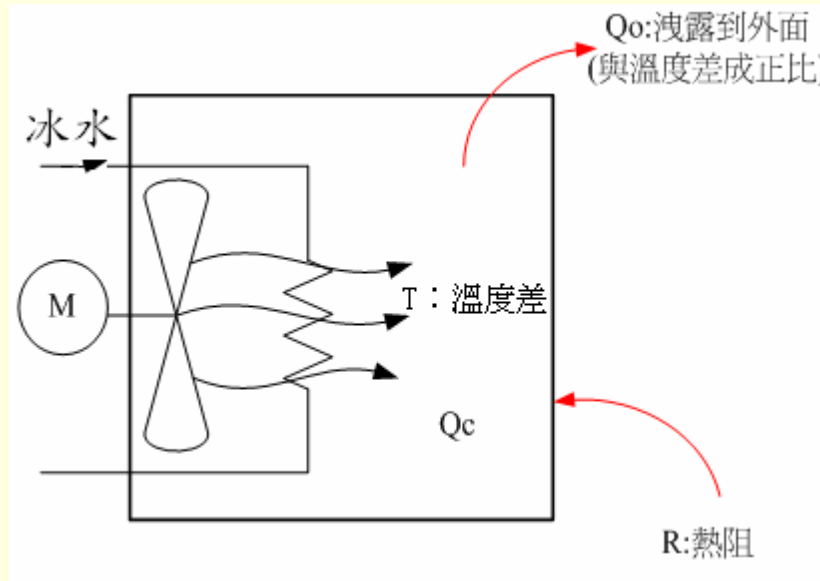
名稱	上升 時間	超調量	調節 時間	穩態 誤差
$K_p$	減小	增大	變化 不大	減小
$T_i$	增大	減小	減小	消除
$T_d$	變化 不大	減小	減小	變化 不大

# 三. 系統辨識

---

- 所謂系統辨識即是在不知道系統轉移函數時，以實驗方法把系統特性辨識出來且以數學式表示。

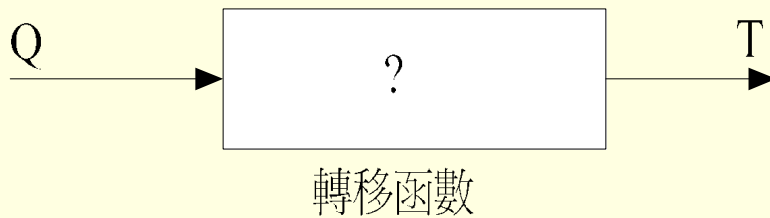
# 系統轉移函數



$$Q = Q_o + Q_c$$

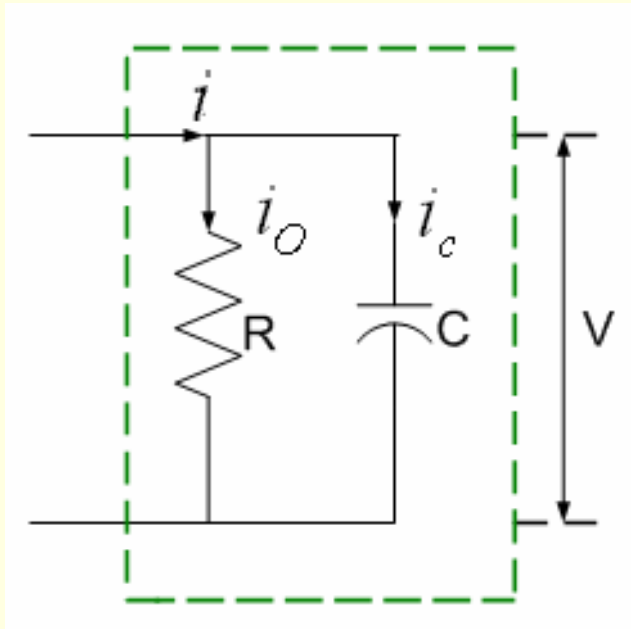
$$Q = \frac{T}{R} + C \frac{dT}{dt}$$

$$Q = \frac{T}{R} + CST$$



$$\frac{T}{Q} = \frac{R}{RCS + 1} = \frac{R}{\tau S + 1}$$

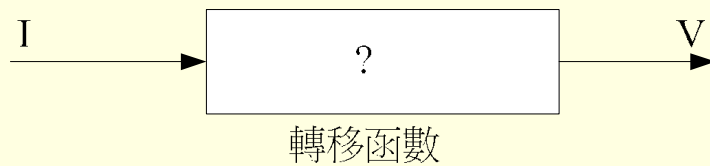




$$i = i_o + i_c = \frac{V}{R} + C \frac{dv}{dt}$$

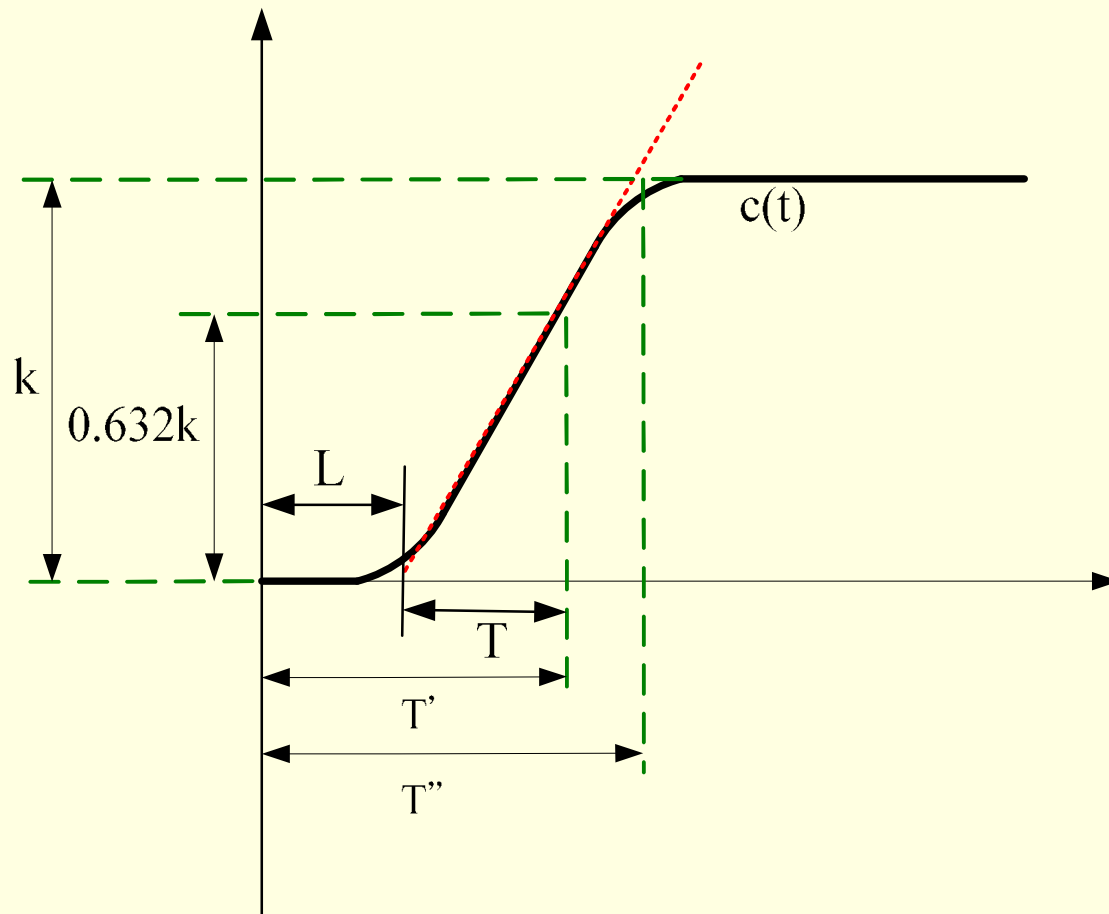
$$I = \frac{V}{R} + C \frac{dV}{dt}$$

$$I = \frac{V}{R} + CSV$$

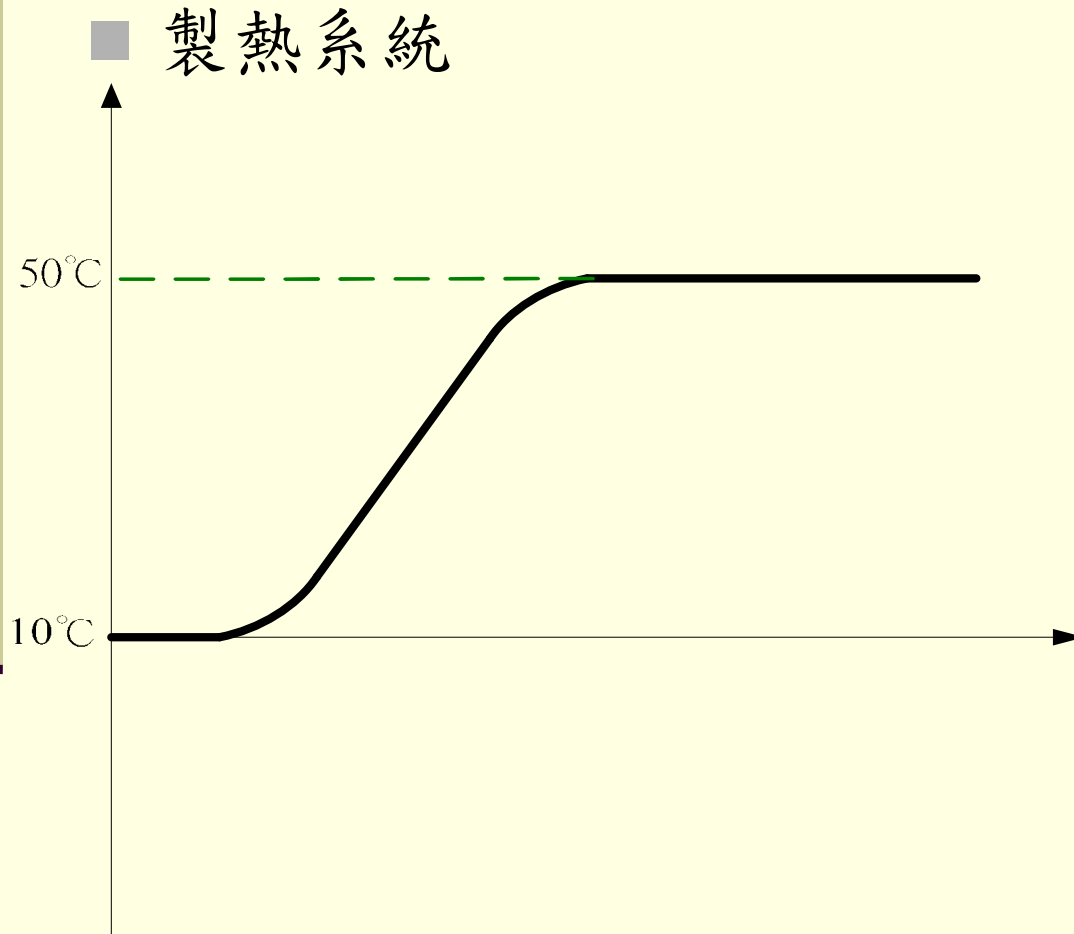


$$\frac{V}{I} = \frac{R}{RCS + 1} = \frac{R}{\tau S + 1}$$

# 製程反應曲線

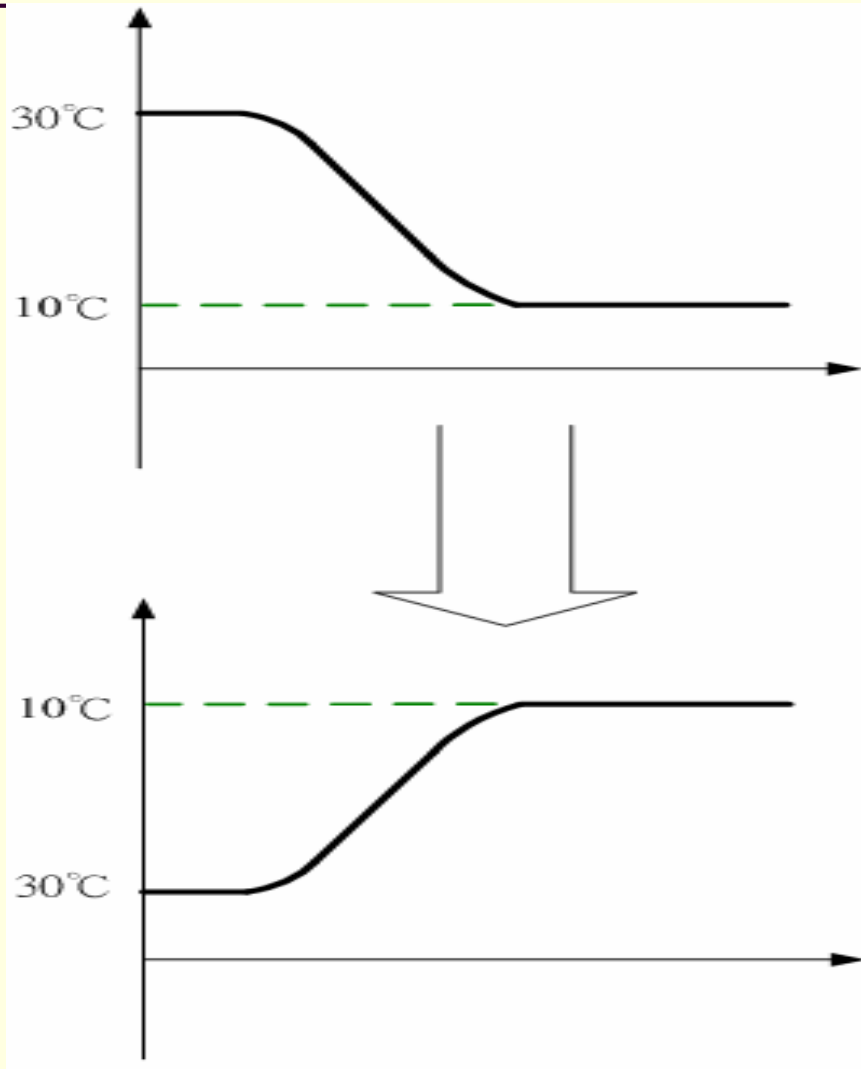


# 系統特性圖



使用最大信號去  
控制系統製程，  
直到系統穩定之  
後。也就是熱值  
無法再上升時，  
此即系統特性。

## 製冷系統

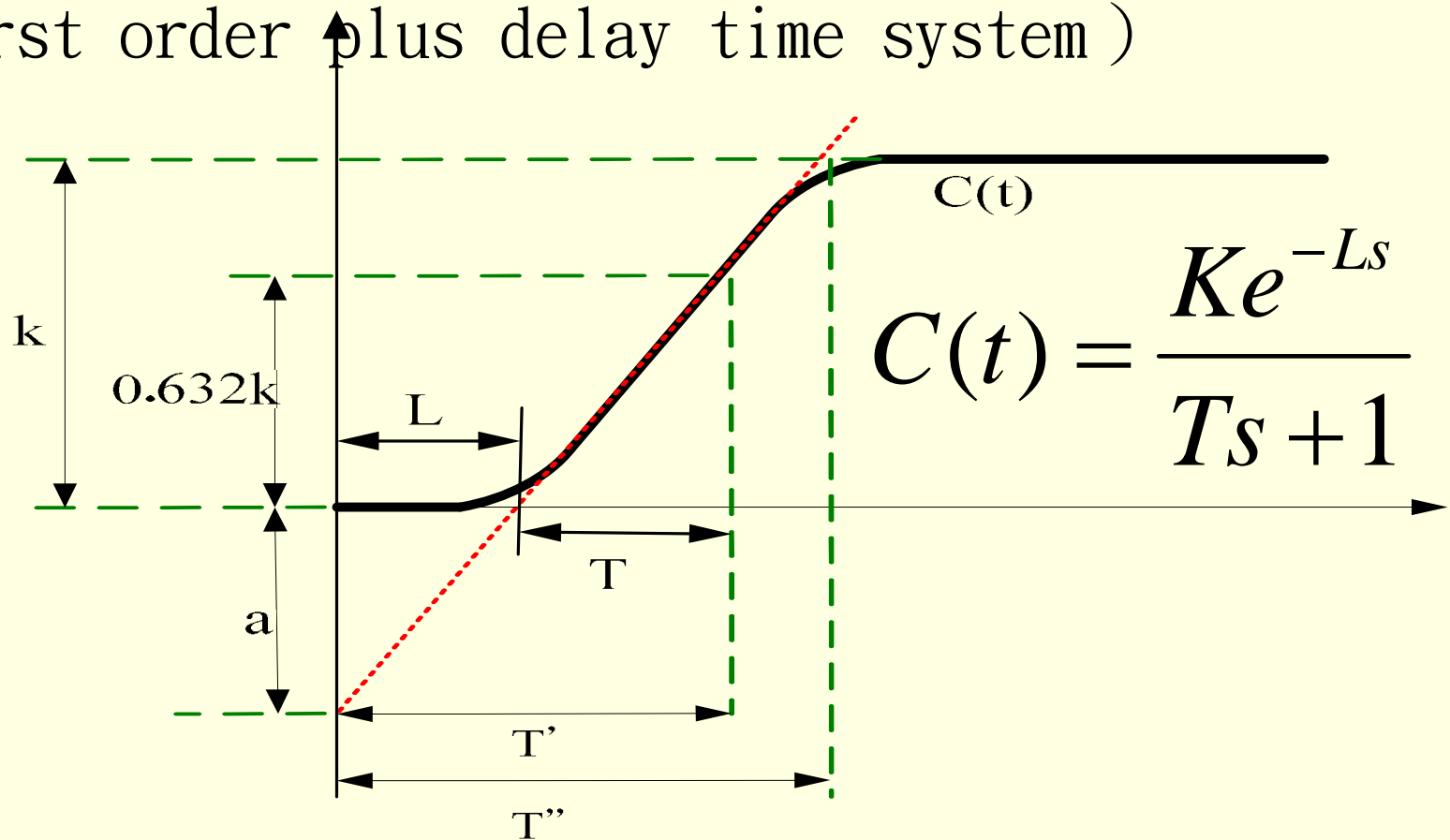


用最大信號去控制系統製程，穩定之後，也就是冷值無法再下降時，此時即系統特性。

# 系統辨識方法

一階帶有延遲特性之系統

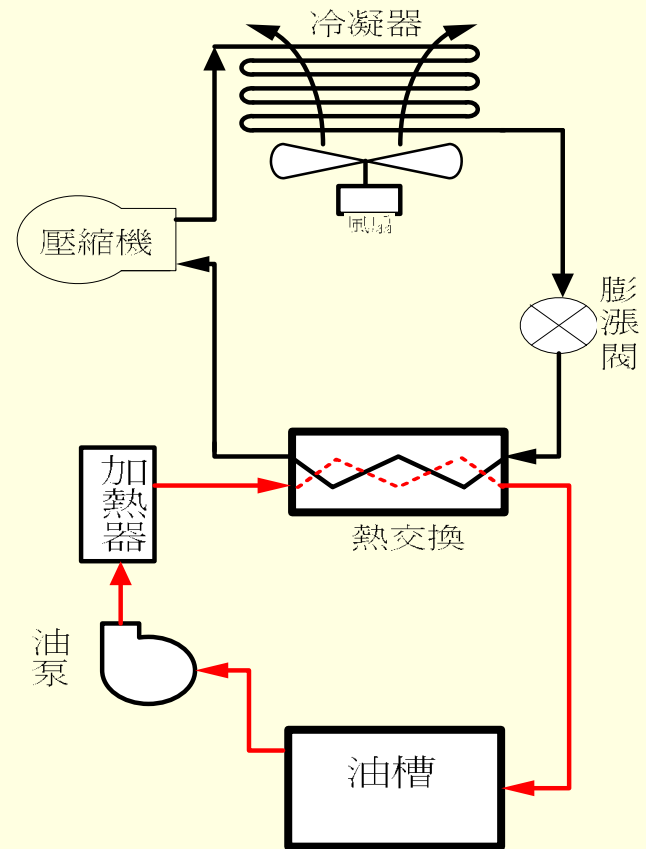
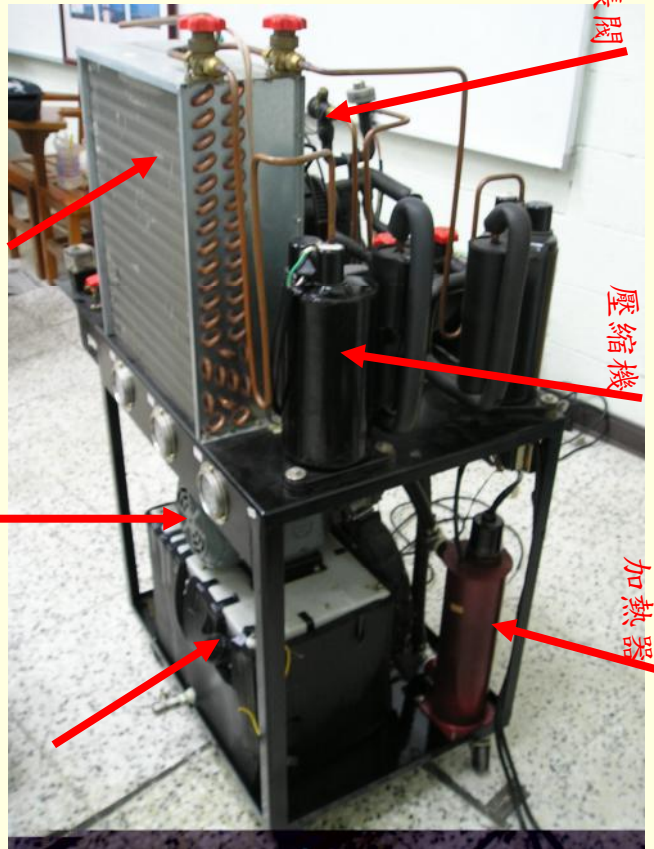
(first order plus delay time system)



controller	$K_p$	$T_i$	$T_D$
P	$0.5K_0$		
PI	$0.45K_0$	$0.83T_0$	
PID	$0.6K_0$	$0.5T_0$	$0.125T_0$

# 四. 油冷卻機之PID調控技術

## 油冷卻器



冷凝器

油泵

油槽

膨脹閥

壓縮機

加熱器

冷凝器

風扇

壓縮機

膨脹閥

加熱器

熱交換

油泵

油槽

# 感測與轉換器 — 電阻式溫度檢測器





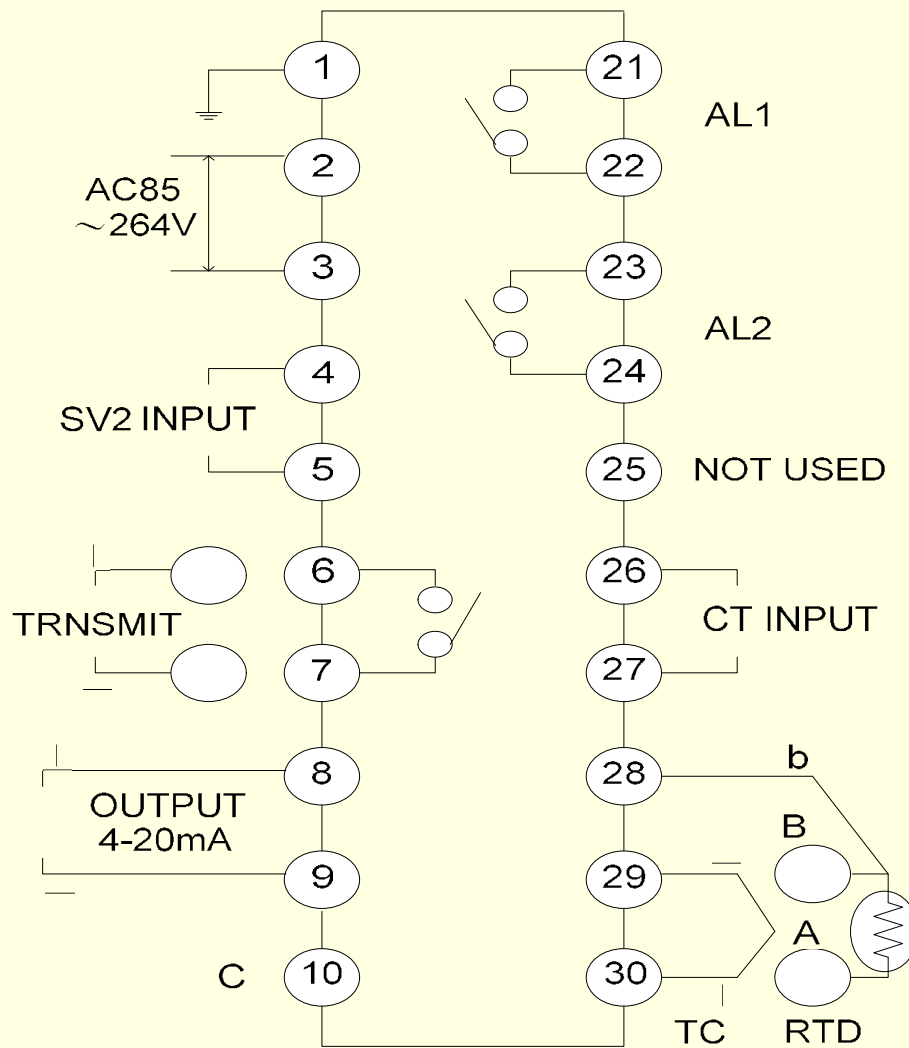


# PID控制器 TOHO—TM-109



設定項次	設定值	附註
P	1.5	設定範圍： 0~200
I	400	設定範圍： 0~3600
D	120	設定範圍： 0~3600
I/O (Inout/ Output)	30-I	30 : 為4~20mA 輸入信號 I : 為4~20mA 輸出信號
Cnt (Control)	4	2, 4為正向操作 1, 3為反向操作

# PID接線圖



# 變頻器 寧茂 RM5



	設定值	附註
頻率設定	1	範圍： 0~4
最大輸出頻率	60 HZ	範圍： 0.1~400HZ
基底頻率	60 HZ	範圍： 0.1~400HZ
基底電壓	110V	範圍： 0.1~255V
頻率下限	0.25	1=最大輸出 頻率

AM+	12V	Vin	GND	lin	FWD	COM	REV	X5	COM	Ta1	Tb1	Tc1
FM+	M-	Y1	CME	Y2	X3	X1	COM	X2	X4	X6	Ta2	Tc2

R S T U V W  
電源端 負載端

# 溫度記錄器 Brainchild VR-18



電 源： 90-250VAC，  
47-63Hz，  
60VA，30W

取樣速率： 每秒5次

溫度效應： mA輸入：  
 $\pm 3.0 \mu\text{V} / ^\circ\text{C}$

其它輸入：  $\pm 1.5 \mu\text{V} / ^\circ\text{C}$

精密度  
(於  $25^\circ\text{C}$  時)：

輸入信號	精密度
PT100	$\pm 0.4^\circ\text{C}$
mV	$\pm 0.05\%$
mA	$\pm 0.05\%$
1-5V	$\pm 0.05\%$

# 溫度記錄器跳腳(Jump)設定與接線圖

JUMPER AND SWITCH SETTING			V1.9								OTA18ZC			
FUNCTION			MINI-JUMPER			DIP SW SETTING								
			J1	J2	J3	1	2	3	4	5	6	7	8	
UNIT	°C	T/C or RTD	—	—										
	°F	T/C or RTD				■								
	mV	0 ~ 60mV		—										
		0~1000mV	—				■							■
	V	0 ~ 5V		—						■				■
		1 ~ 5V		—				■			■			■
		0 ~ 10V		—					■					■
	mA	0 ~ 20mA			—			■	■					■
		4 ~ 20mA			—				■	■				■
	THERMOCOUPLE	J					■							
K							■							
T						■								
E									■					
B						■				■				
R								■		■				
S							■	■		■				
N											■			
L							■				■			
TC1									■		■			
RTD	PT100								■	■				
	JPT100						■							
	RTD1							■	■	■				
									■	■	■			

實驗所調的跳腳

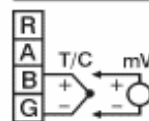
3-wire RTD



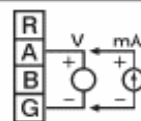
2-wire RTD



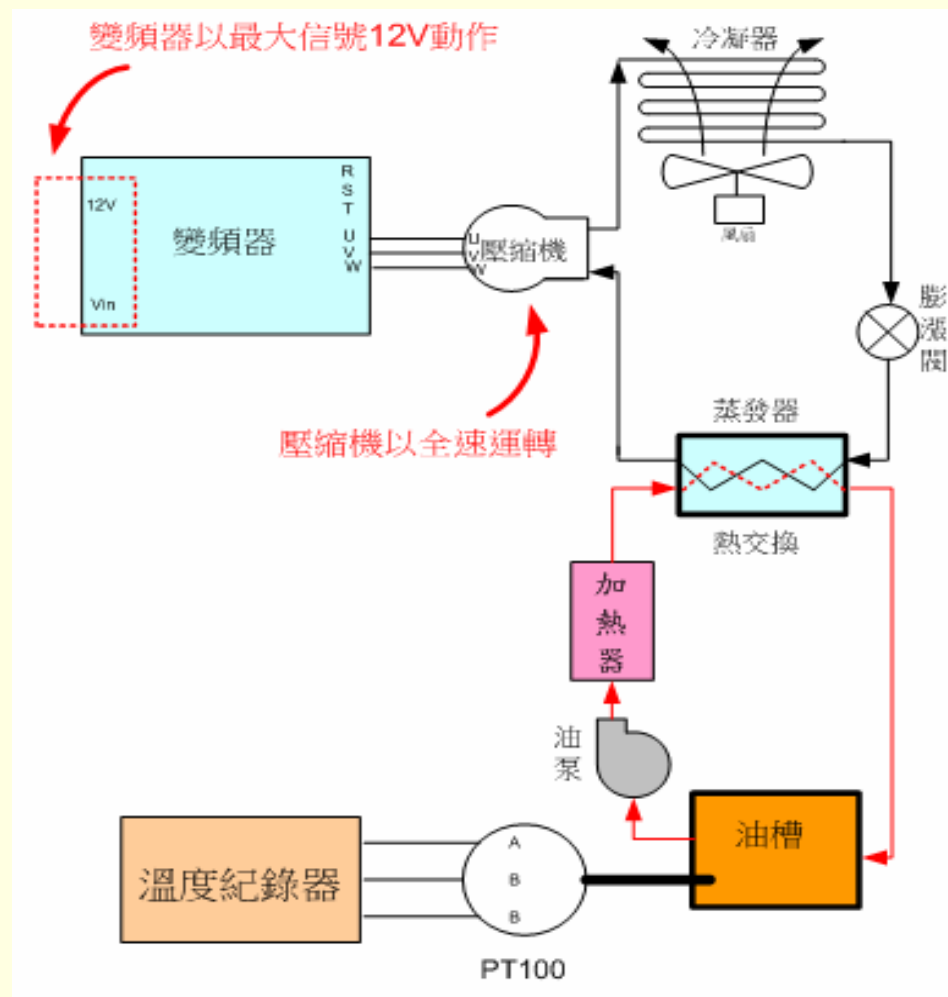
0-60mV, T/C



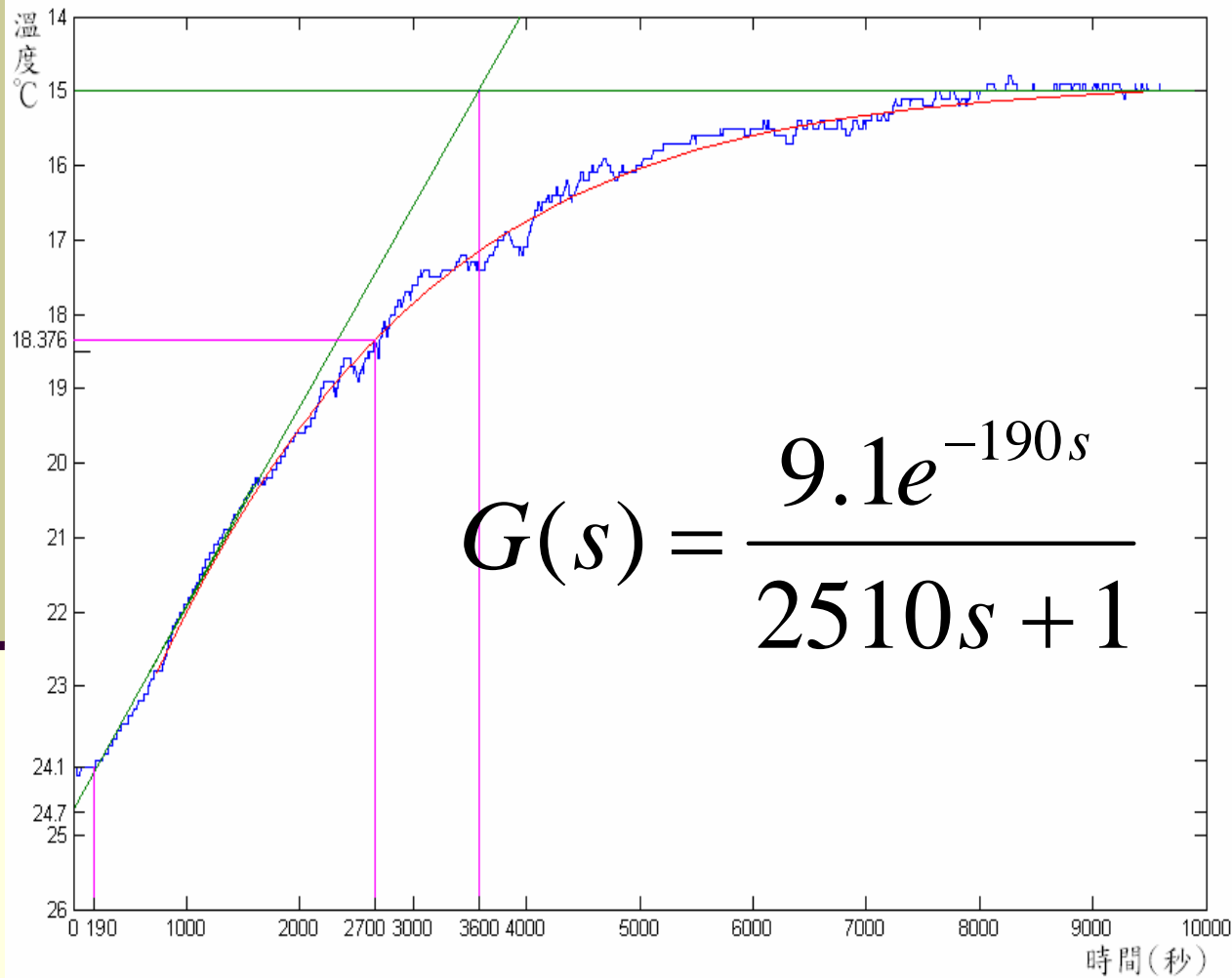
0-1000mV, V, mA



# 油冷卻機系統辨識



# 油冷卻機控制之PID求解過程



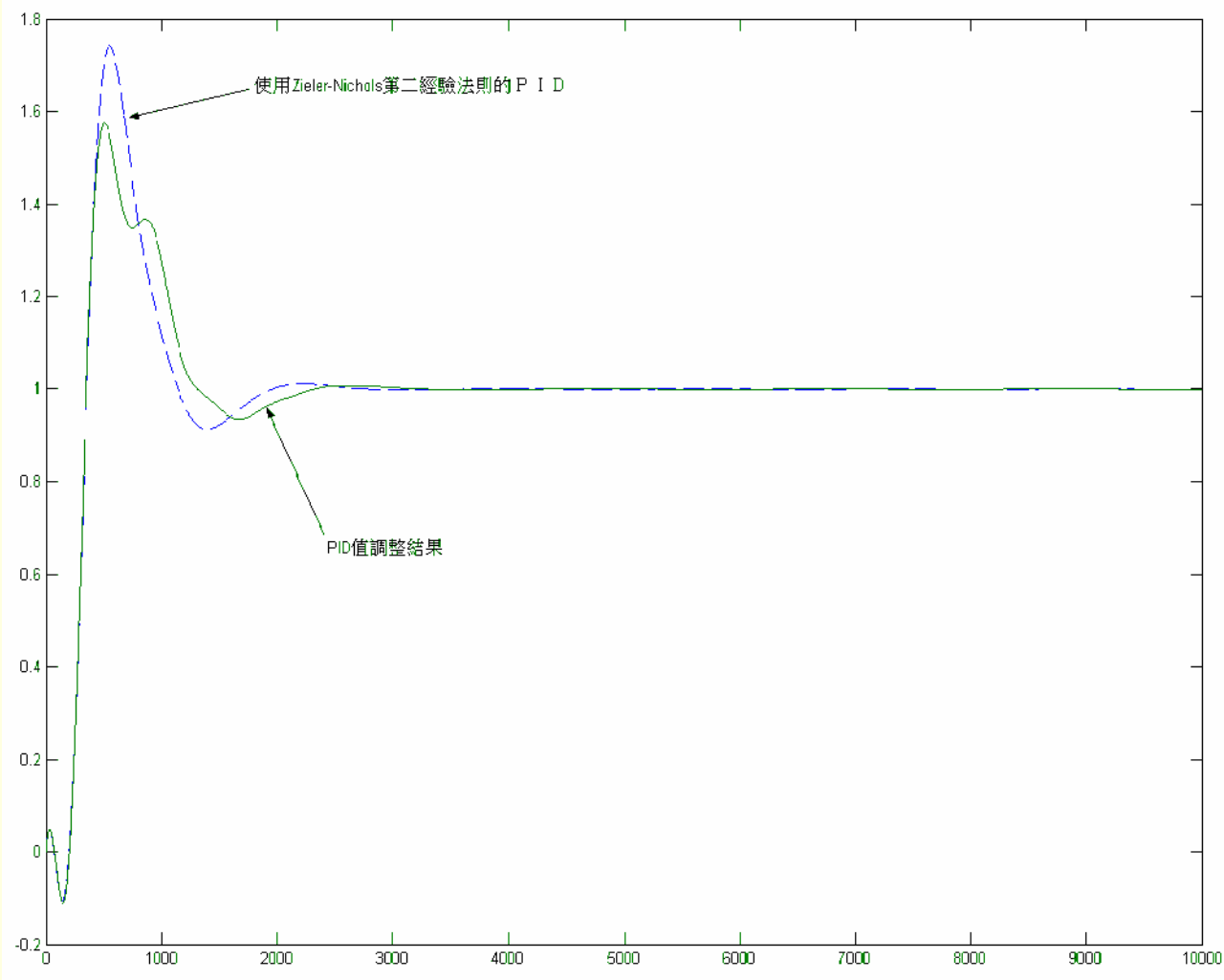
$$K=24.1-15=9.1$$

$$L=190$$

$$T=2700-190$$

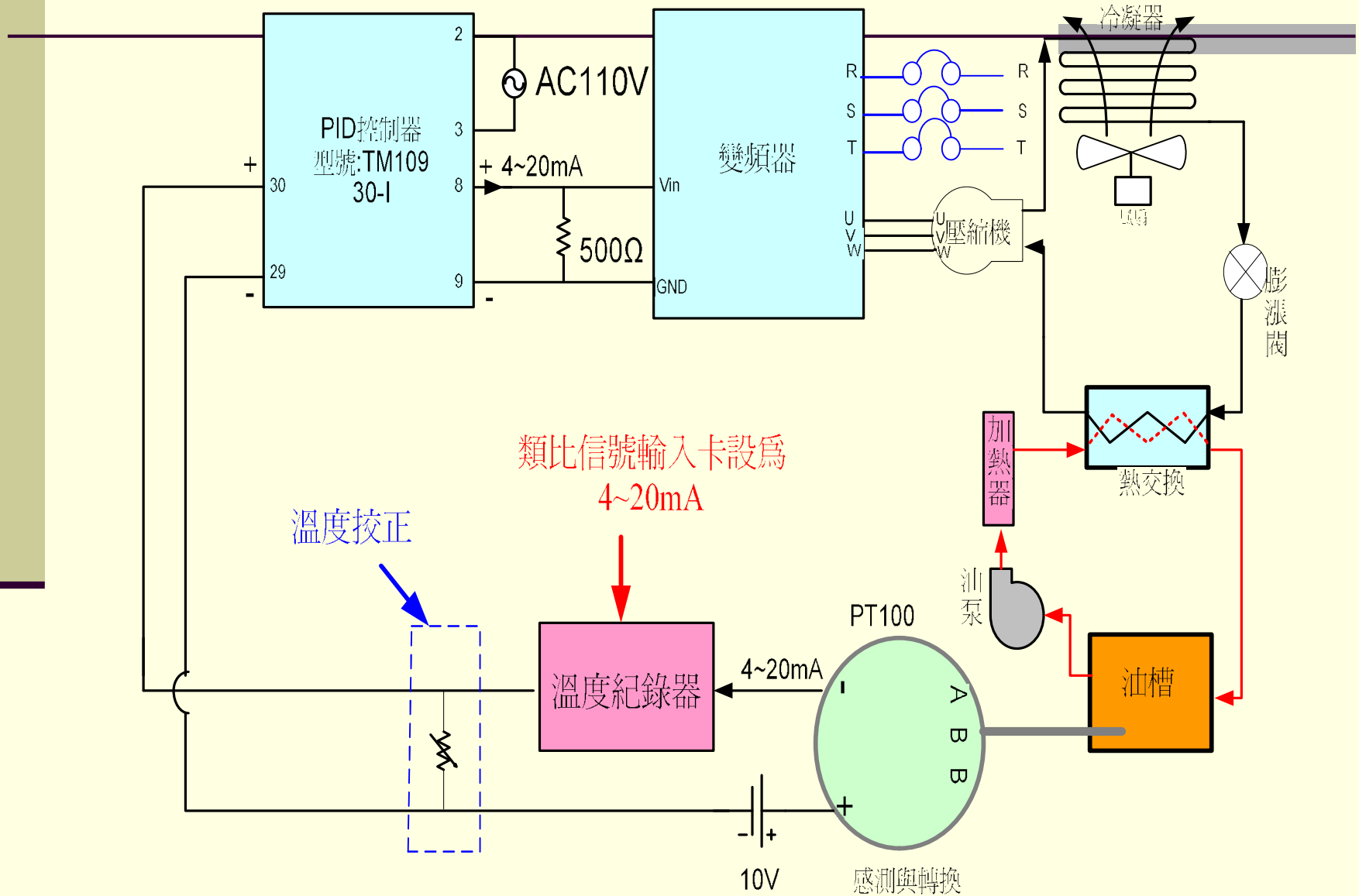
$$=2510$$



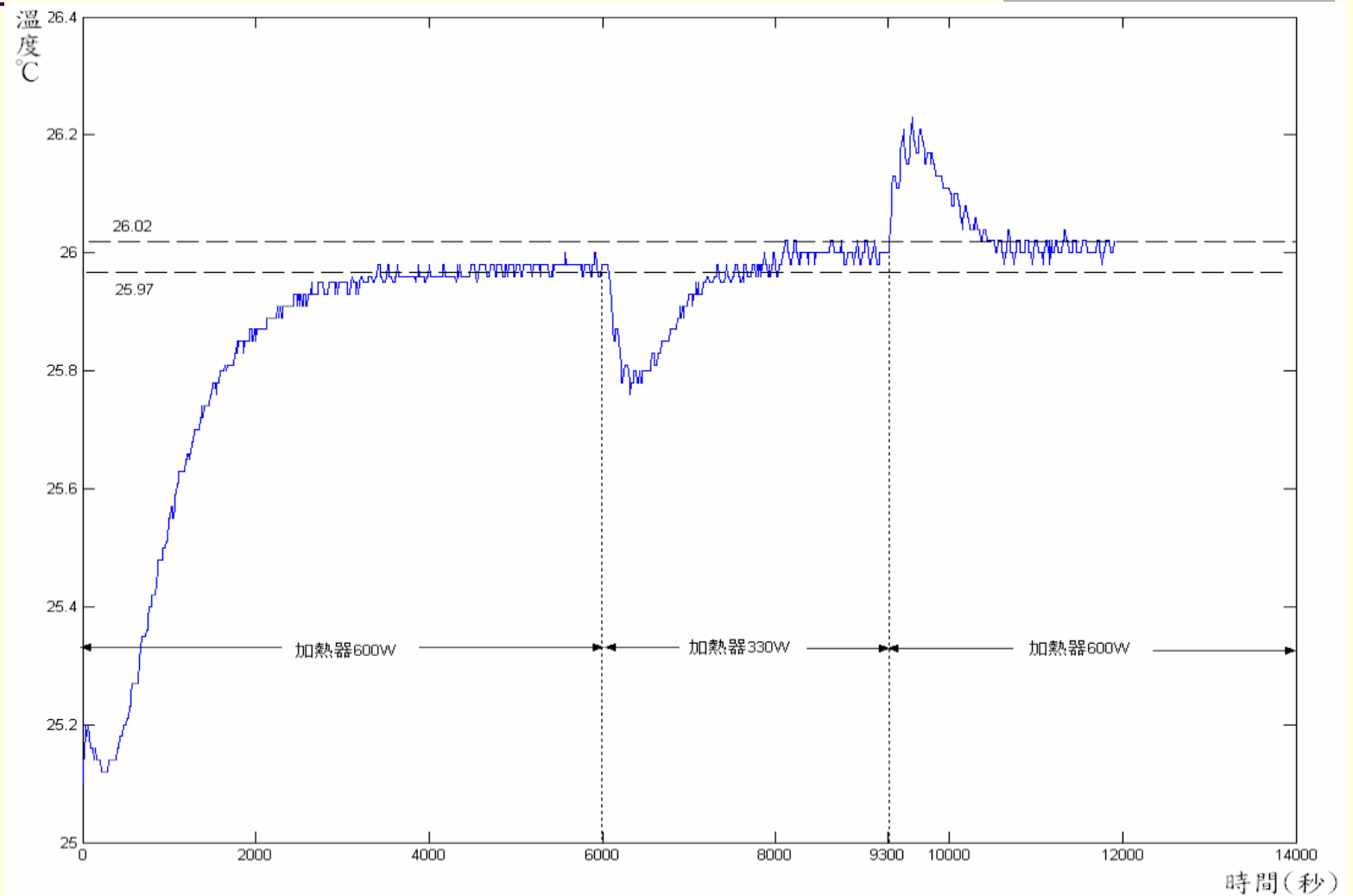


$P=0.9/a=1.5$   
 $I=2 \times L=380$   
 $D=L/2=95$   
PID值修正調整結果：  
 $P=1.5$   
 $I=400$   
 $D=120$

# 油冷卻器變頻控制實體接線圖

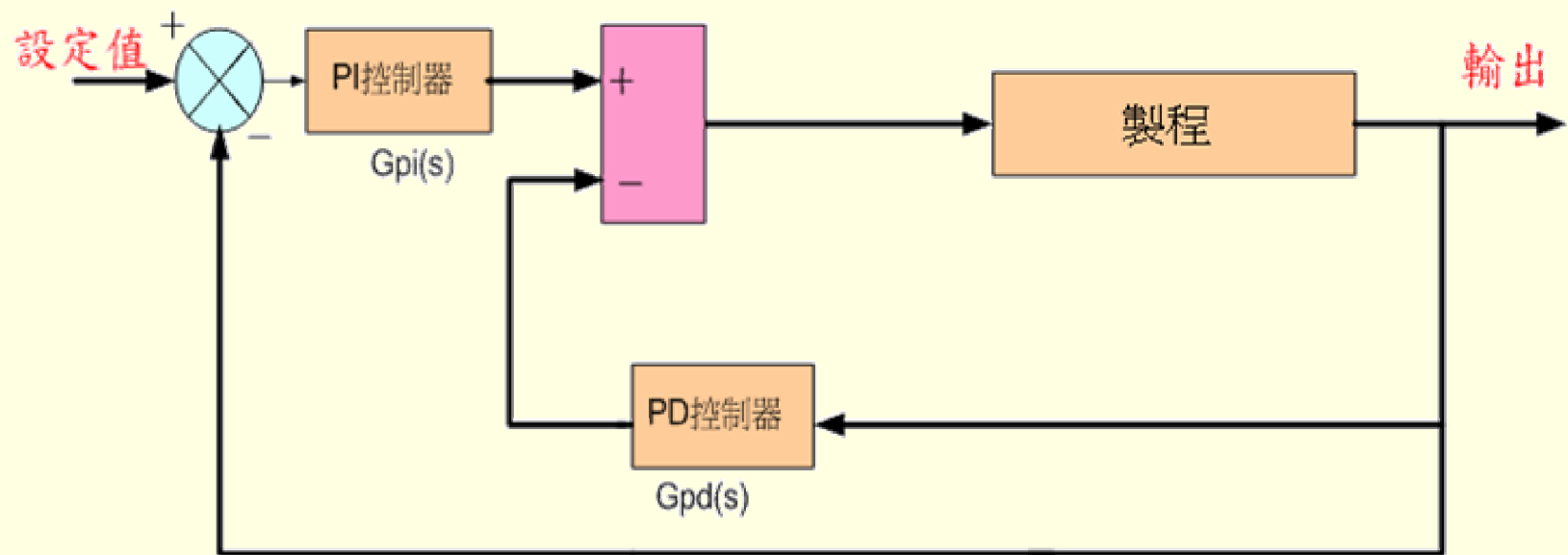


# 油冷卻器系統加干擾特性圖



# 五.現場調整銳利武器---雙PID控制

雙PID控制回授方塊圖：



# 雙PID參數值求法

$$G_{pi}(s) = K_c \left( 1 + \frac{1}{T_i s} \right)$$

$$K_c = \frac{\beta K_c^*}{1 + \beta}$$

$$T_i = \frac{\beta T_i^*}{1 + \beta}$$

$$\blacksquare G_{pd}(s) = K_f (1 + T_d s)$$

$$K_f = \frac{K_c^*}{1 + \beta}$$

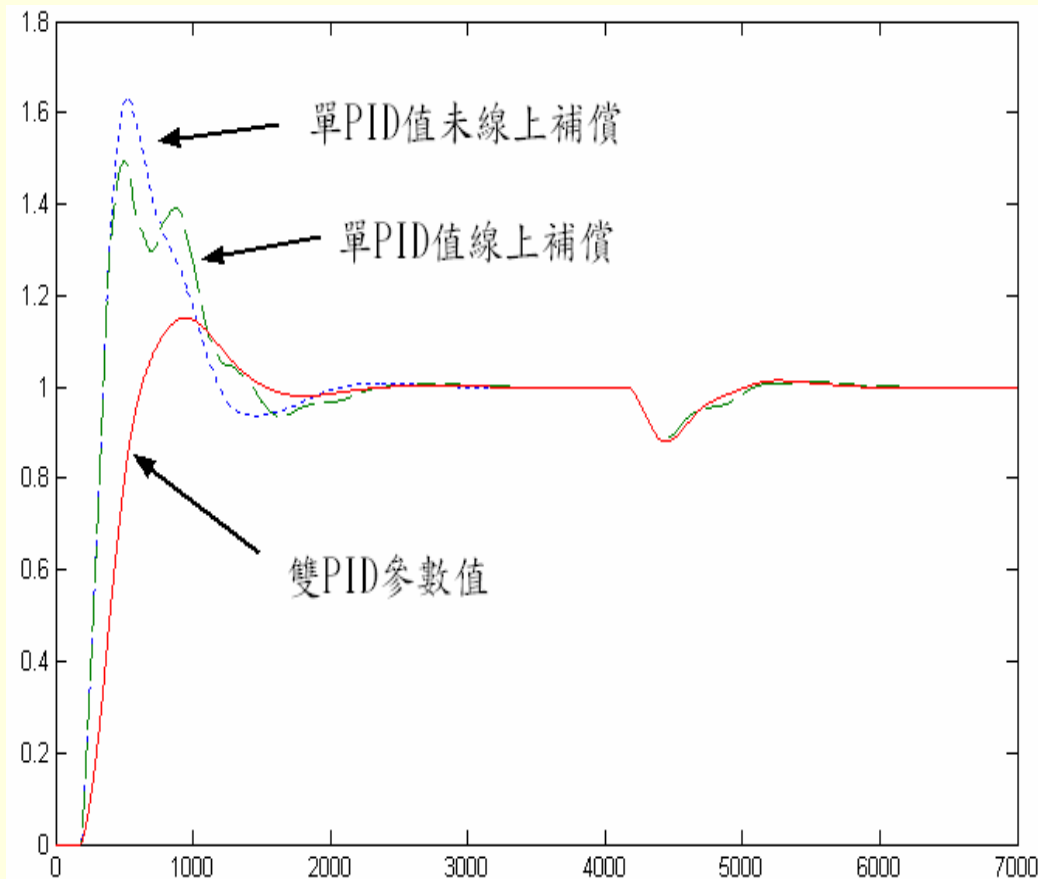
$$T_d = (1 + \beta) T_d^*$$

※ $K_c^*$ 、 $T_i^*$ 、 $T_d^*$ 為利用PID參數調整法（Relay feedback、系統鑑別、根軌跡或波德圖）求得

※本實驗  $\beta$  值取 0.25

- 1.  $K_c^*$ 、 $T_i^*$ 、 $T_d^*$ 為利用PID參數調整方法（如Ziegler-Nichol經驗法則）求得。 $K_p$ 、 $T_i$ 、 $T_d$ 這3個參數是一般PID控制器的調整數值，所以在實務上調整PI-PD控制時把 $T_d$ 值設為零即為PI控制器，將 $T_i$ 值設至最大就變成PD控制器。
- 2. 在空調系統中  $\beta$  值取0.25能得到最佳之性能控制，且系統時間常數愈大  $\beta$  值應再增加。
- 3. 欲實現現場PI-PD實務控制本文採用兩個普通市售泛用PID控制器形成雙PID結構。

# 單PID控制與雙PID控制結果比較

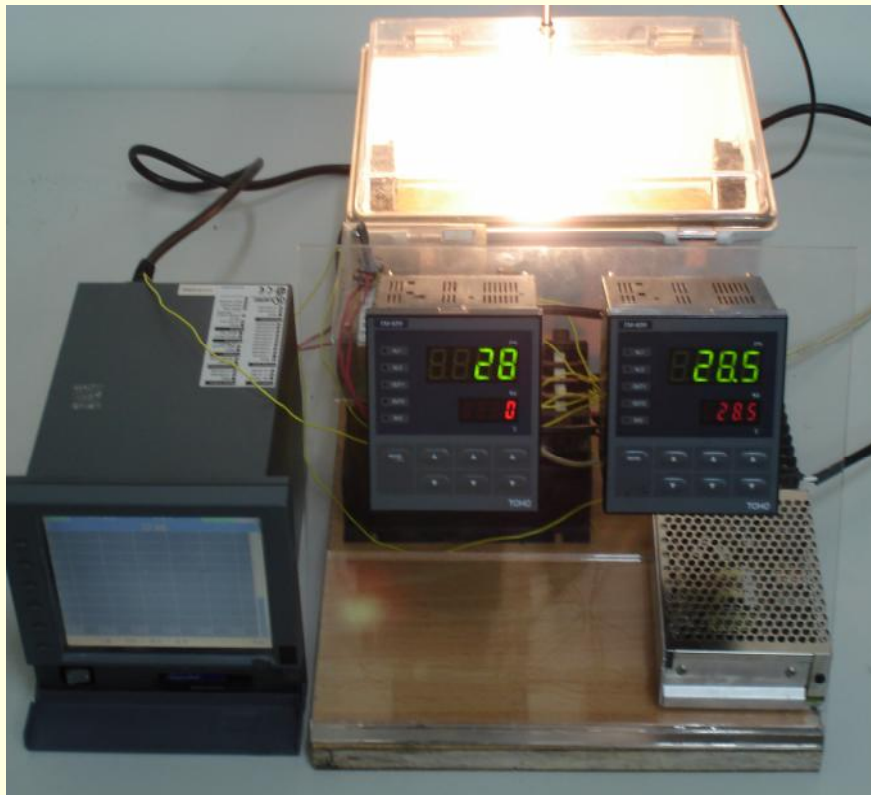


■ 本專題油冷卻機之  
轉移函數為：

$$G(s) = \frac{9.1e^{-190s}}{2510s + 1}$$

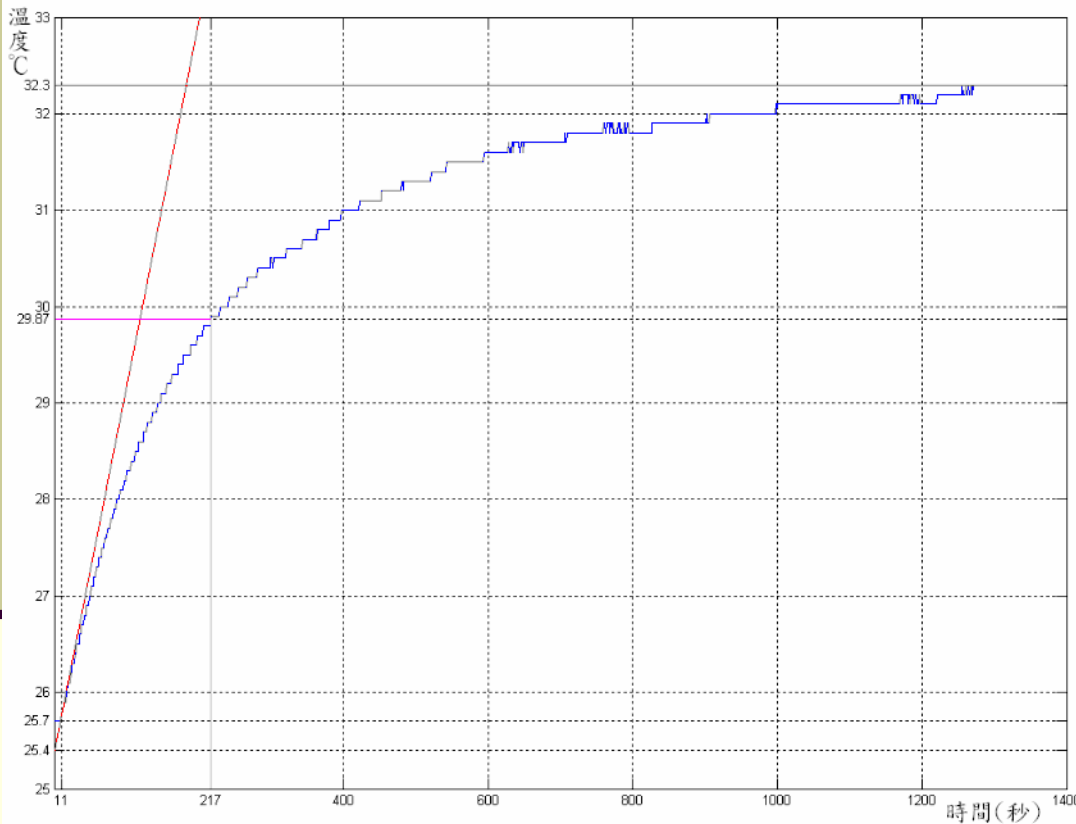
# 六.雙PID控制實務

雙PID實務控制作品：





# 系統辨識結果 & PID參數值求法



系統辨識求法：

$$K=32.3-25.7=6.6$$

$$L=11$$

$$T=217-11=206$$

$$G(s) = \frac{6.6e^{-11s}}{206s + 1}$$

PID參數值求法：

$$P = \frac{0.9}{a} = \frac{0.9}{0.3} = 3$$

$$I = 2 \times 11 = 22$$

$$D = \frac{L}{2} = \frac{11}{2} = 5.5$$

# 雙PID參數值求法與電腦模擬

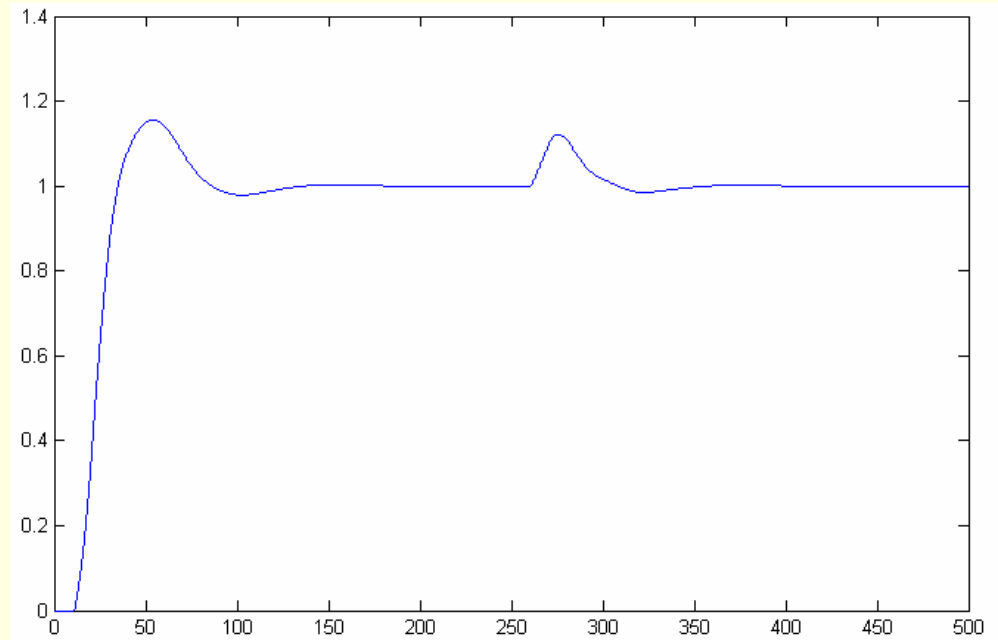
$$K_c = \frac{\beta K_c^*}{1 + \beta} = \frac{0.25 \times 3}{1 + 0.25} = 0.6$$

$$T_i = \frac{\beta T_i^*}{1 + \beta} = \frac{0.25 \times 22}{1 + 0.25} = 4.4$$

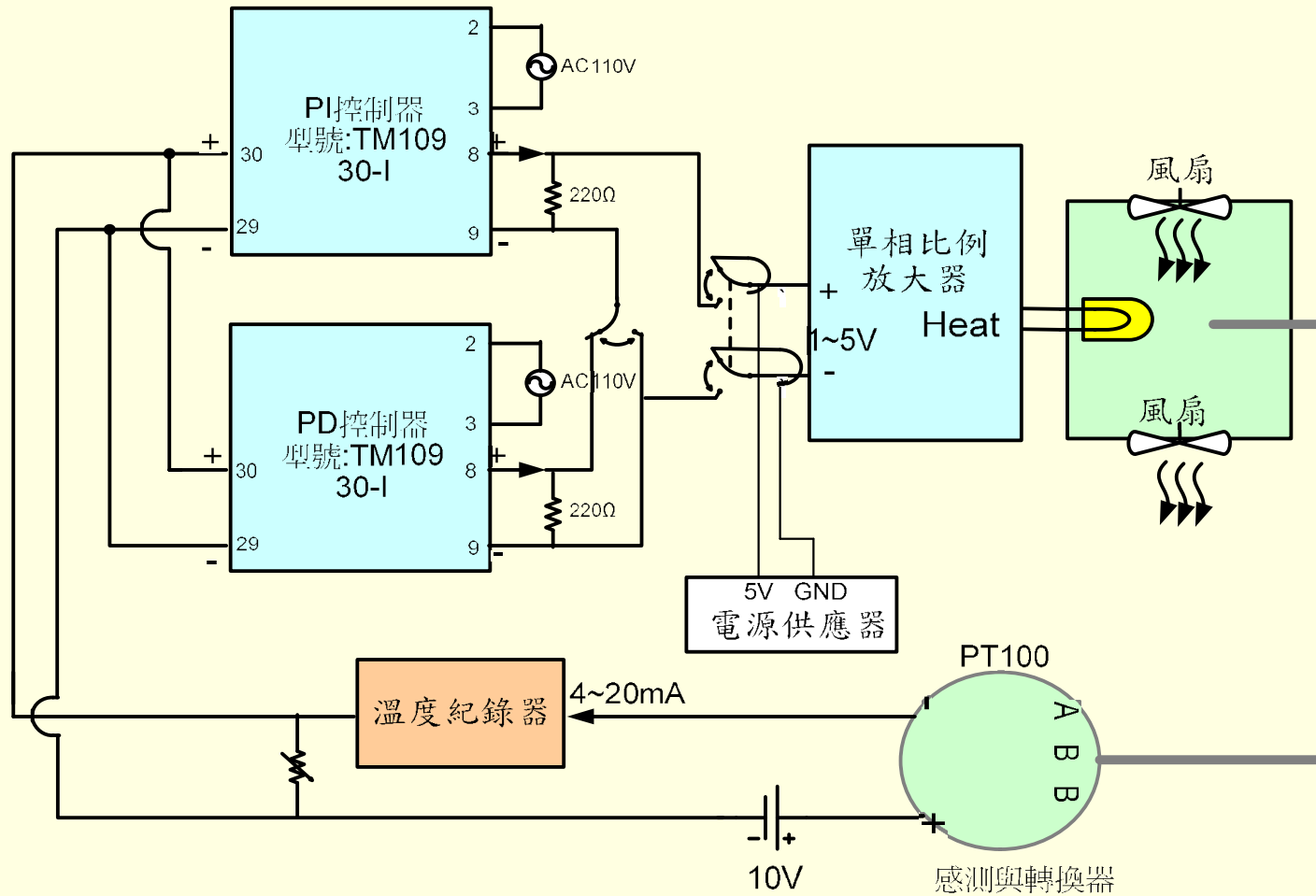
$$K_f = \frac{K_c^*}{1 + \beta} = \frac{3}{1 + 0.25} = 2.4$$

$$\begin{aligned} T_d &= (1 + \beta) T_d^* \\ &= (1 + 0.25) \times 5.5 \\ &= 6.875 \end{aligned}$$

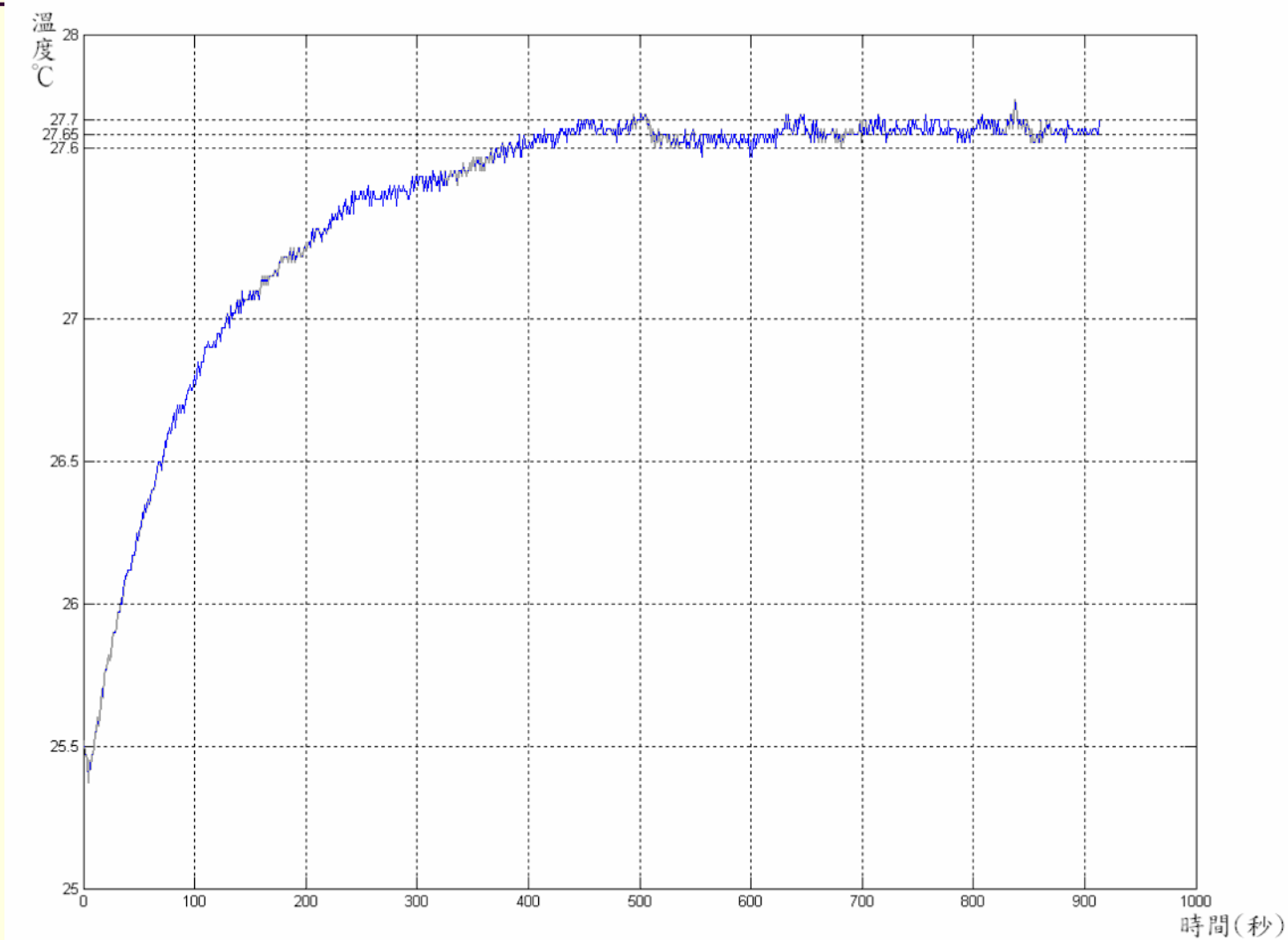
電腦模擬結果：



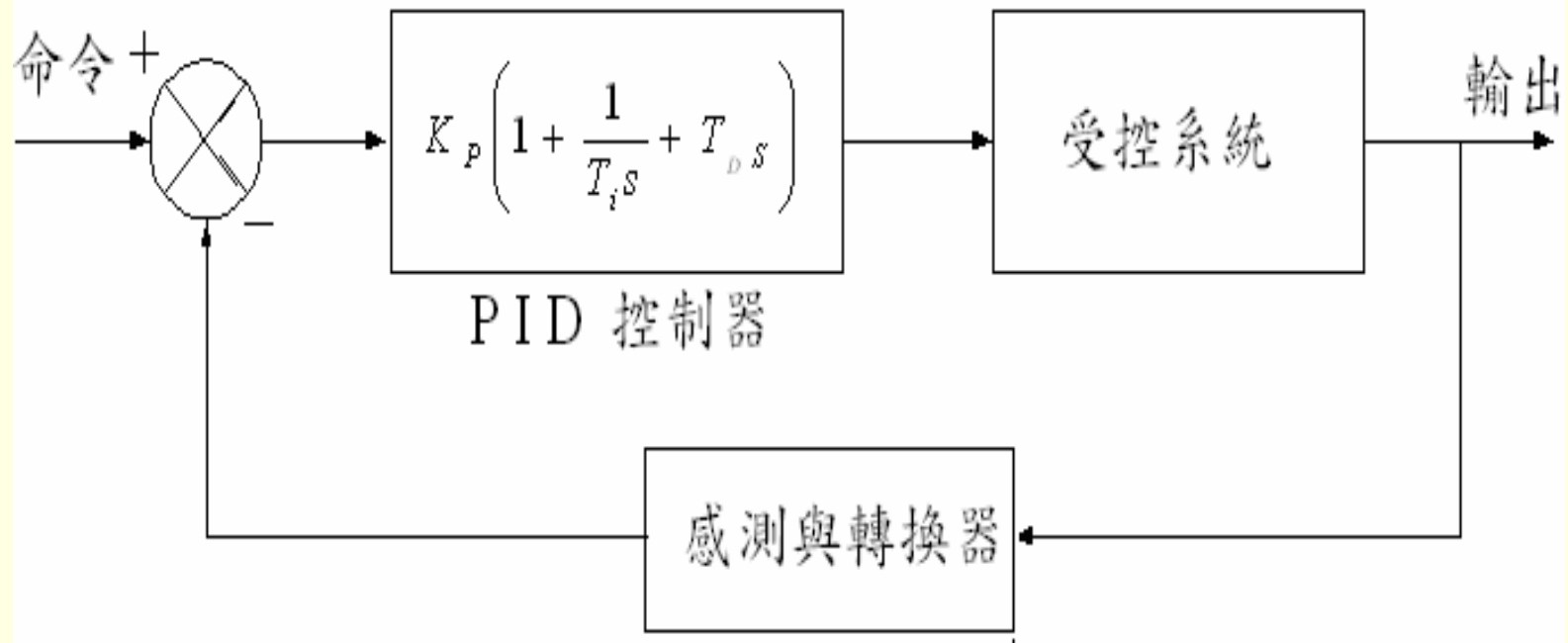
# 雙PID實體配線圖



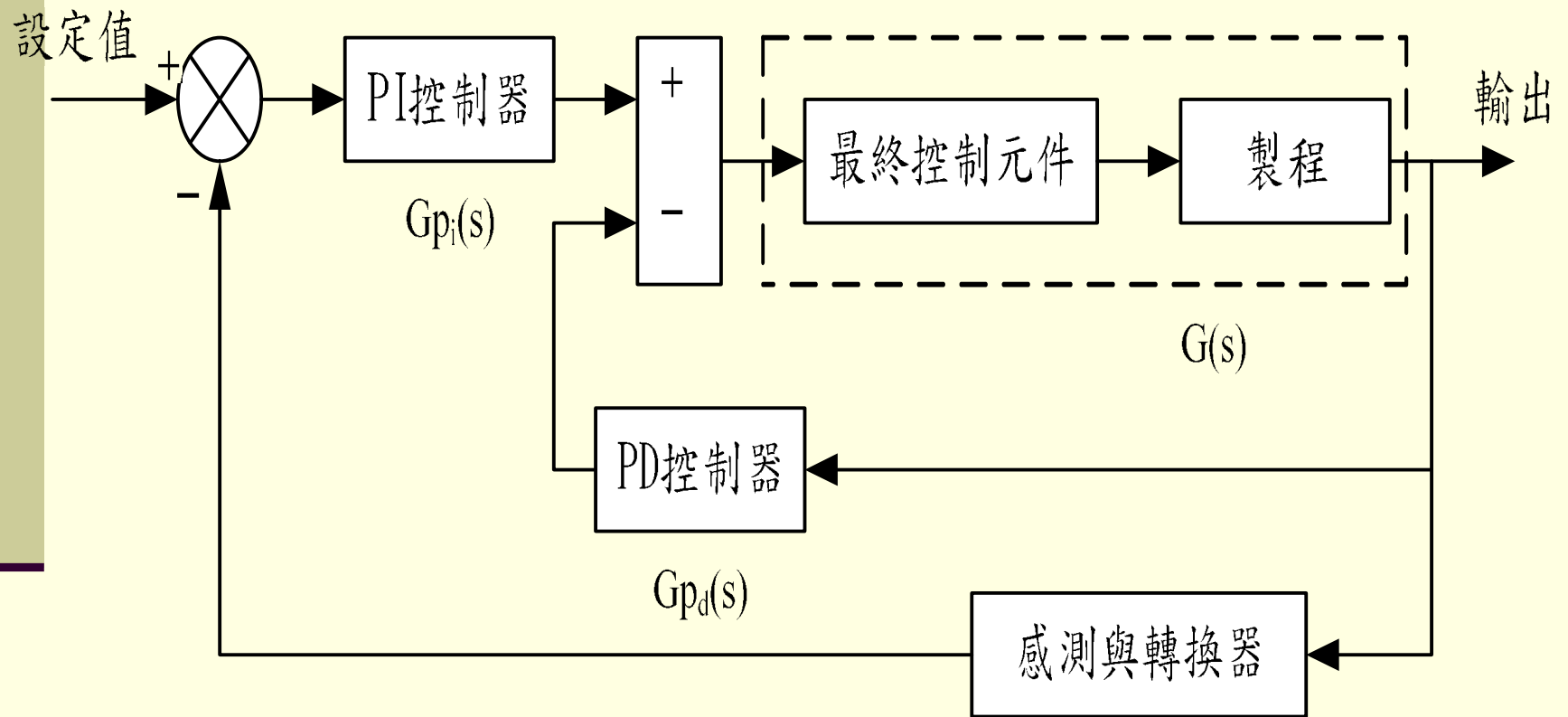
# 雙PID參數值控制結果



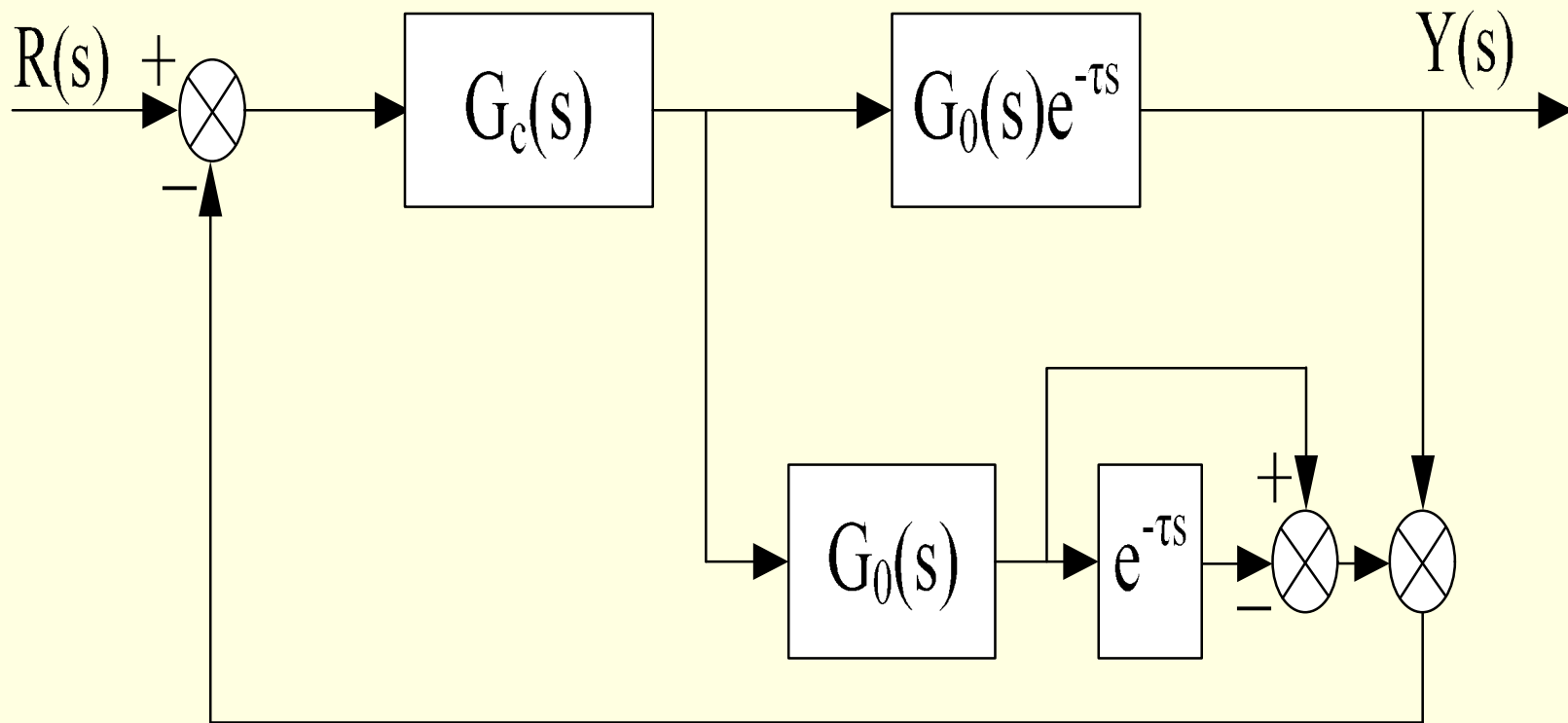
# 冷凍空調現場調整銳利武器 --- Smith 預估控制和雙PID控制



# 雙PID控制



# Smith 預估控制器



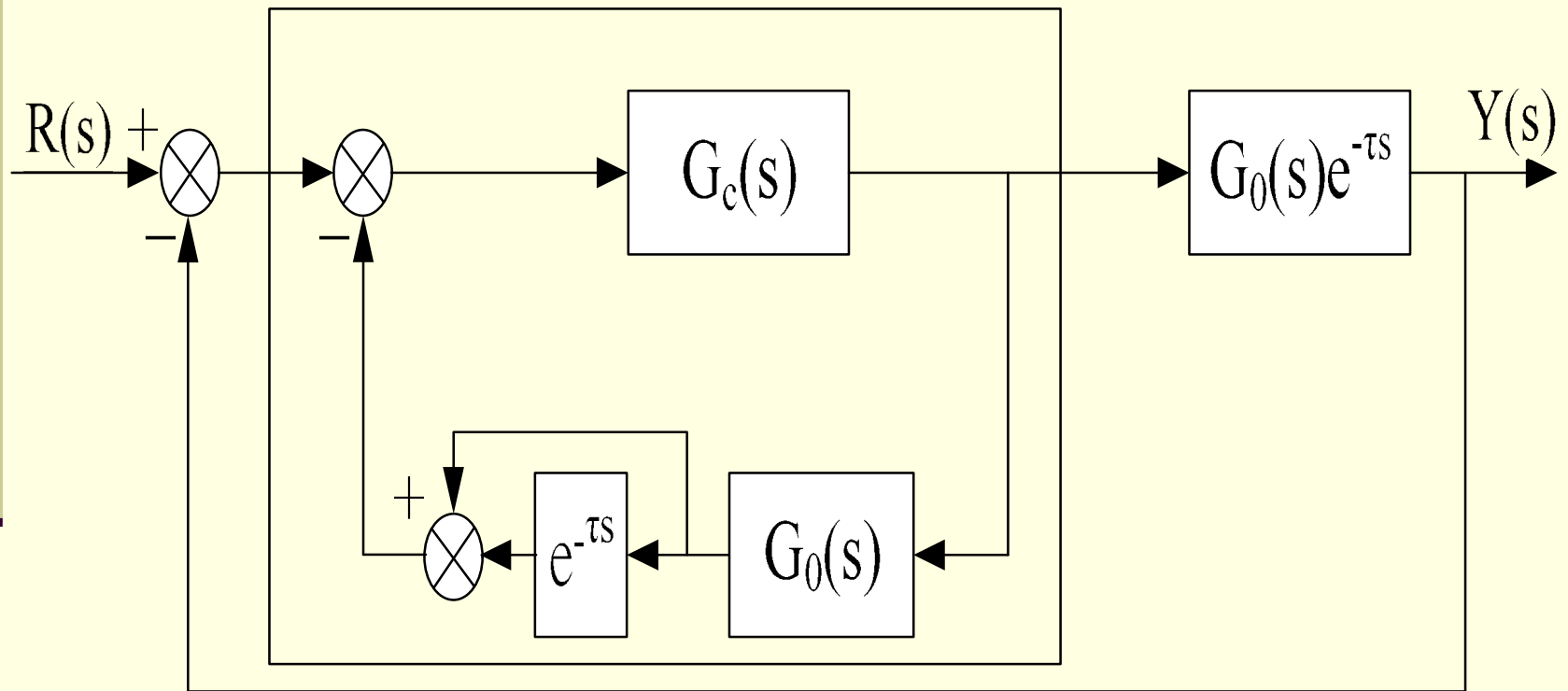
- 工業程序中如空調系統之恆溫恆溼環境是屬於大延遲滯後系統，當系統延遲時間  $\tau$  與其動態時間常數  $T$  之比值  $\tau / T$  增大時，系統之相位滯後亦隨之增加，使得被控量不能及時反應系統所遭受之干擾，即使檢測出干擾信號也需要經過  $\tau$  時間之延遲才能改變控制量，在系統運轉控制時將產生明顯的超調現象，影響整體系統控制效能。
- 本文利用一環境溫度控制為例子針對大延遲滯後之系統以一般傳統PID控制、PI-PD策略控制與Smith預估器控制進行模擬分析比較，並推導研究出易於執行、簡單化之PID調整及控制實現方法。



在過程控制中，當過程的延遲時間  $\tau$  與其動態時間常數  $T$  滿足  $\tau / T \geq 0.3$  時，則為大滯後系統。傳統的PID控制，一般不能解決此種問題，因此具有大延遲的工業過程的自動控制是很棘手的問題。空調系統中恆溫恆濕環境控制即屬大滯後延遲系統。

對於具有時變特性和非線性的大延遲滯後、大慣性閉迴路的控制問題，常採用Smith預估器予以控制，史密斯（Smith）預估器控制的特點是預先估計出過程在基本擾動下的動態特性，再由預估器進行補償的控制技術。它的基本思想是依過程特性設計出一種模型加入到反饋控制系統中，以補償過程的動態特性，然後由預估器進行補償，使延遲滯後的被控量超前反應到控制器，讓控制器提前動作，從而減少超越量，加速調節過程。特別是對於被控對象具有不同程度的延遲滯後，而被控對象又不能及時反應系統所承受的擾動的控制系統。

# Smith 預估控制器



# Smith 預估控制器之實現

$$\begin{aligned}G_c(s) &= \frac{T}{T + K} \left( 1 + \frac{1}{TS} \right) \\&= \frac{106}{10 \times 7.95} \left( 1 + \frac{1}{106 S} \right) \\&= 1.33 \left( 1 + \frac{1}{106 S} \right)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}G_{PID}(s) &= \frac{G_c(s)}{1 + G_c(s)G_o(s)\tau S} \\&= \frac{1.33 \left( 1 + \frac{1}{106 S} \right)}{1 + 1.33 \left( 1 + \frac{1}{106 S} \right) \left( \frac{7.95}{106 S + 1} \right) \times 4 S} \\&= 0.95 \left( 1 + \frac{1}{106S} \right)\end{aligned}$$

# Smith 預估控制之實現

$$G_o(s) = \frac{K}{TS + 1}$$

$$G_c(s) = \frac{T}{T'K} \left( 1 + \frac{1}{TS} \right)$$

$$G_{\text{PID}}(s) = \frac{G_c(s)}{1 + G_c(s)G_o(s)[1 - e^{-\tau s}]}$$

$$= \frac{G_c(s)}{1 + G_c(s)G_o(s)\tau S}$$

$$= \frac{\frac{T}{T'K} \left( 1 + \frac{1}{TS} \right)}{1 + \frac{T}{T'K} \left( 1 + \frac{1}{TS} \right) \left( \frac{K}{TS + 1} \right) \tau S}$$

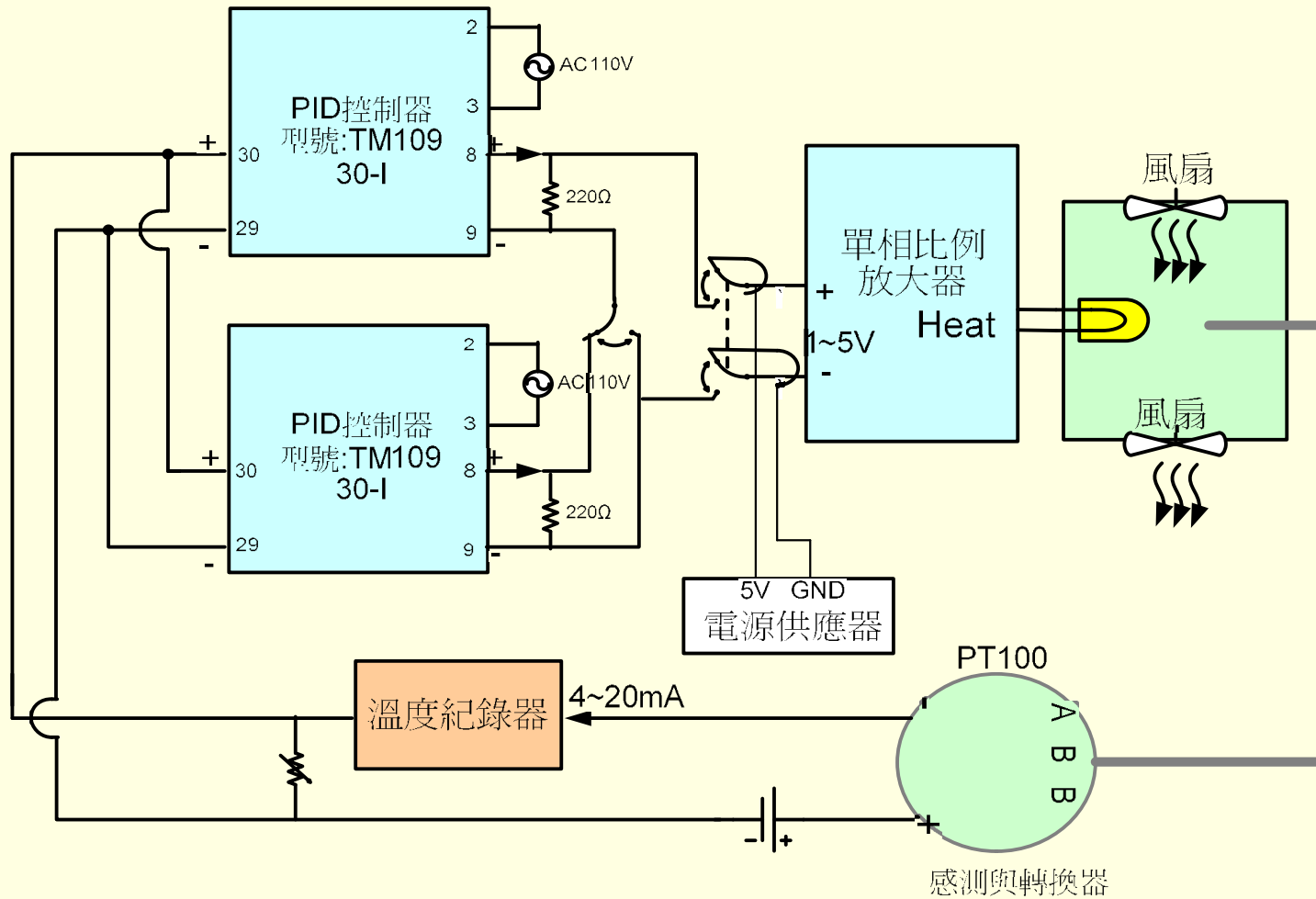
$$= \frac{\frac{T}{T'K} \left( 1 + \frac{1}{TS} \right)}{1 + \frac{T}{T'} \tau S \left( 1 + \frac{1}{TS} \right) \left( \frac{1}{TS + 1} \right)}$$

$$= \frac{\frac{T}{T'K} \left( 1 + \frac{1}{TS} \right)}{1 + \frac{T}{T'} \tau S \left[ \frac{1}{TS + 1} + \frac{1}{(TS + 1)(TS)} \right]}$$

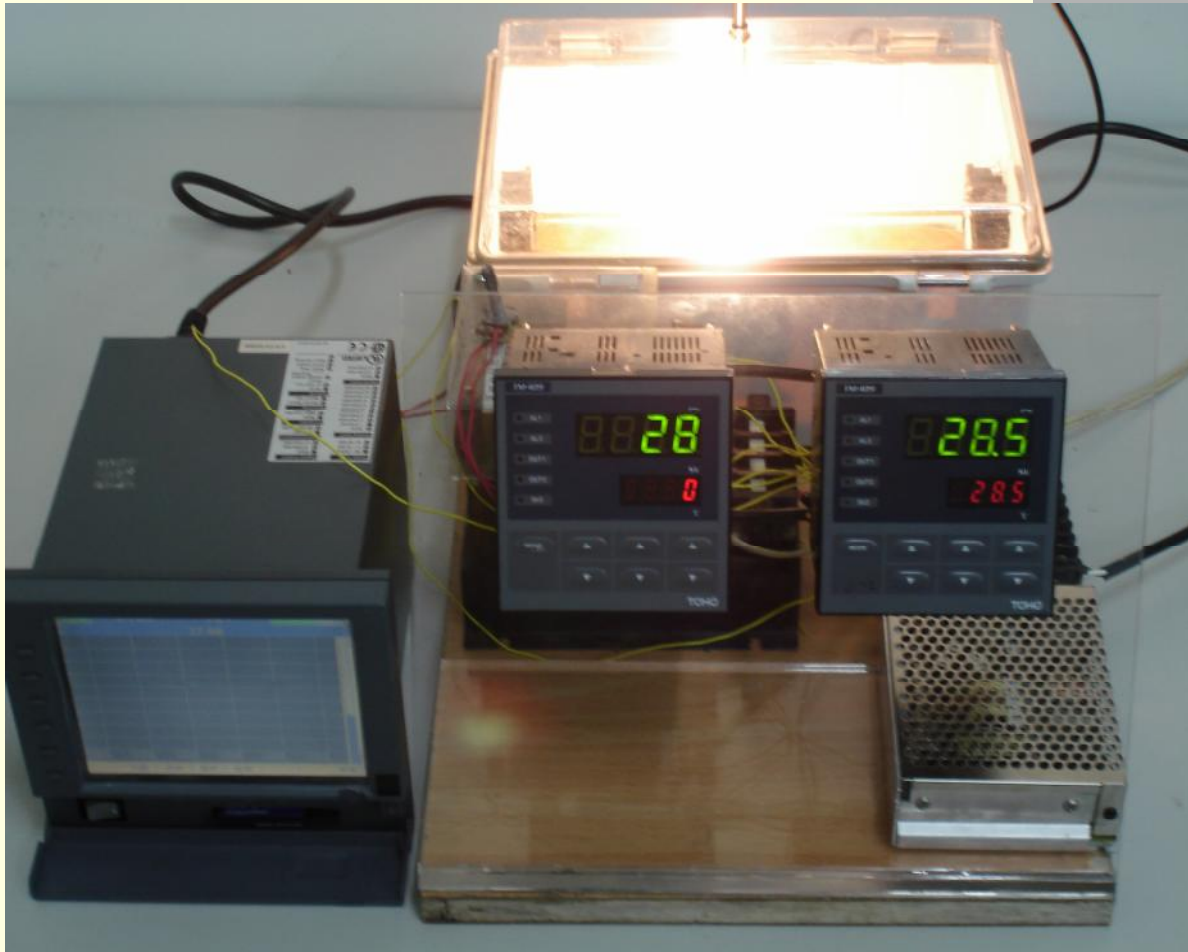
$$= \frac{\frac{T}{T'K} \left( 1 + \frac{1}{TS} \right)}{1 + \frac{T}{T'} \tau S \left[ \frac{TS + 1}{(TS + 1)(TS)} \right]}$$

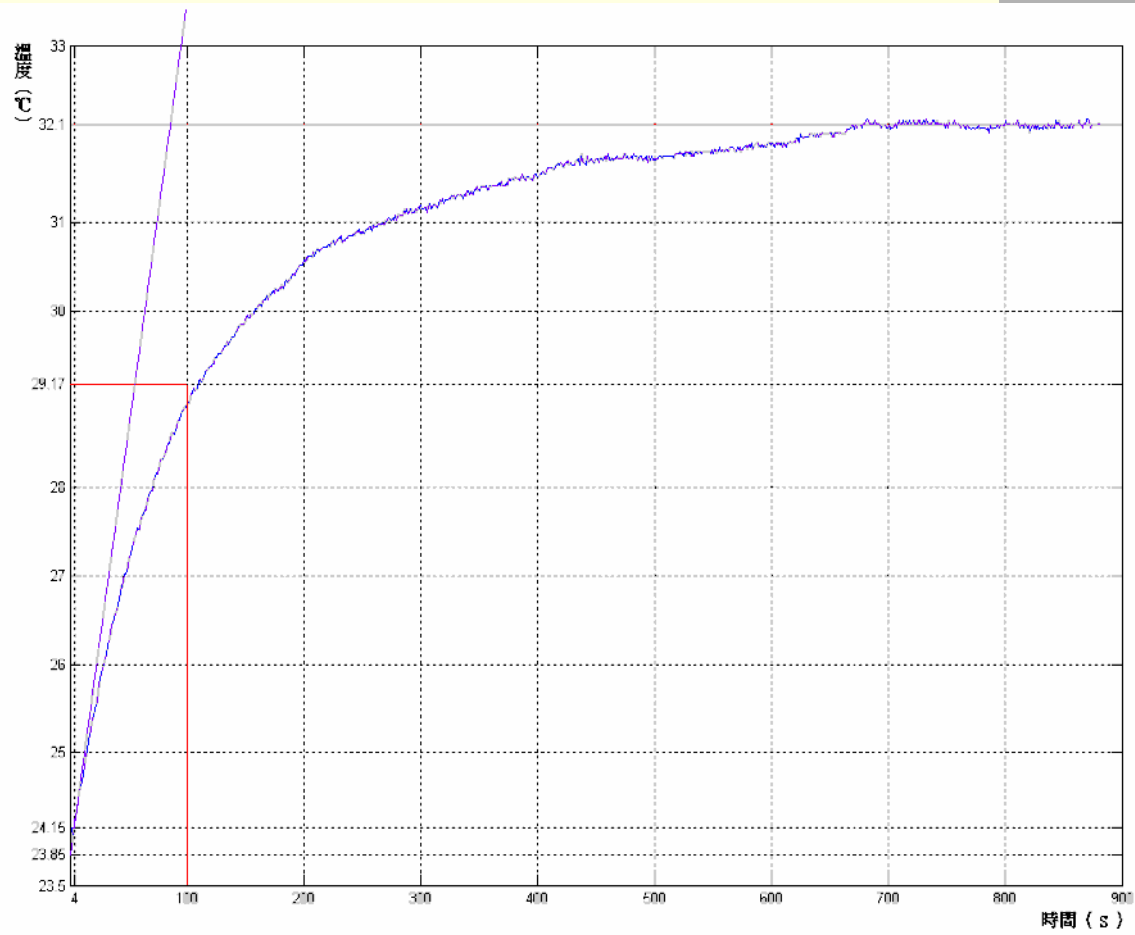
$$= \frac{\frac{T}{T'K}}{1 + \frac{\tau}{T'}} \left( 1 + \frac{1}{TS} \right)$$

# 市售泛用雙PID控制器之實現



# Smith 預估控制器





- 本文之被控對象經系統辨識後轉移函數為：

$$G_o(s) = \frac{7.95}{106 S + 1} e^{-4s}$$

- 傳統PID控制參數取

$$K_p = 2, T_i = 15, T_d = 2$$

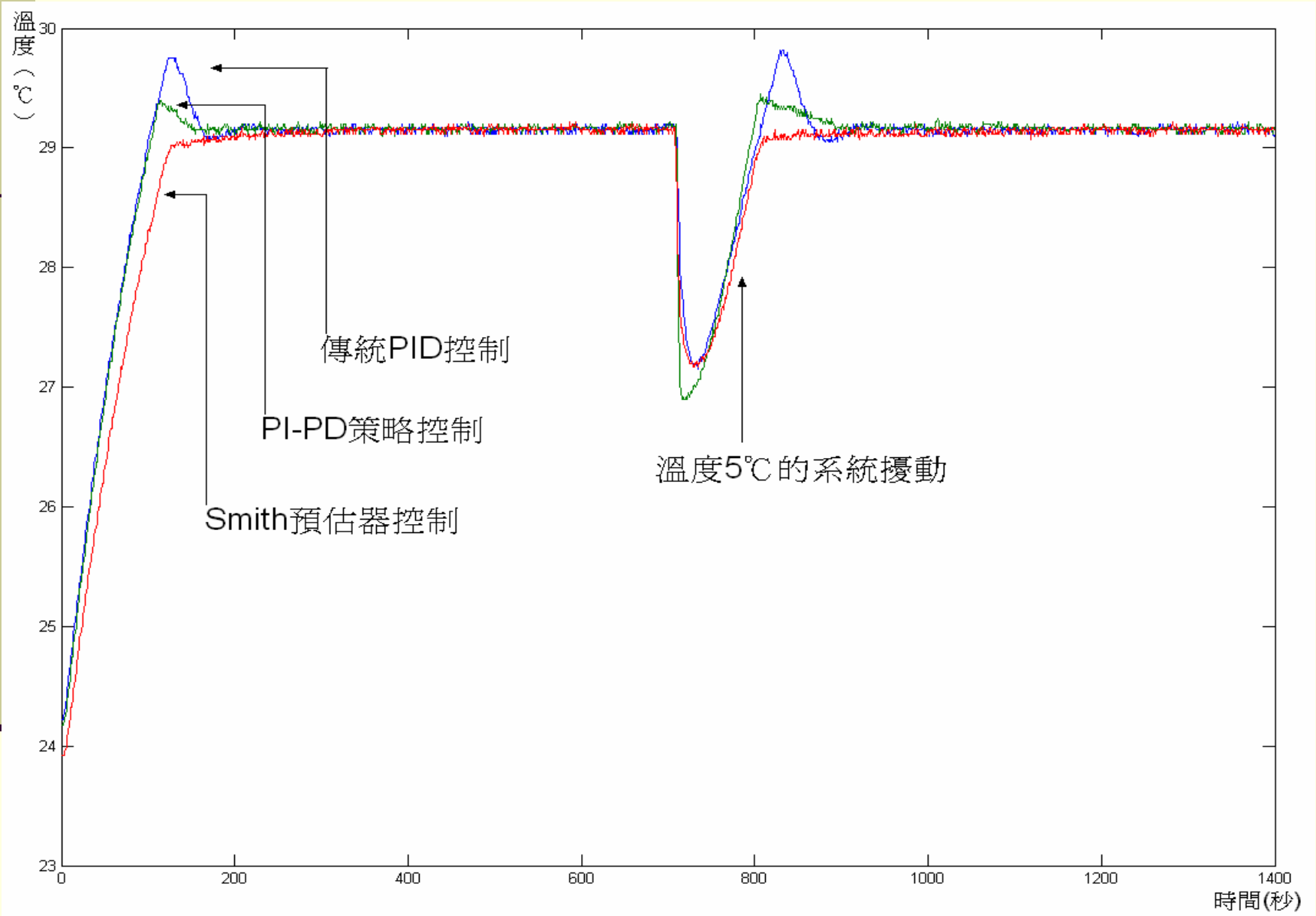
- PI-PD策略控制參數取

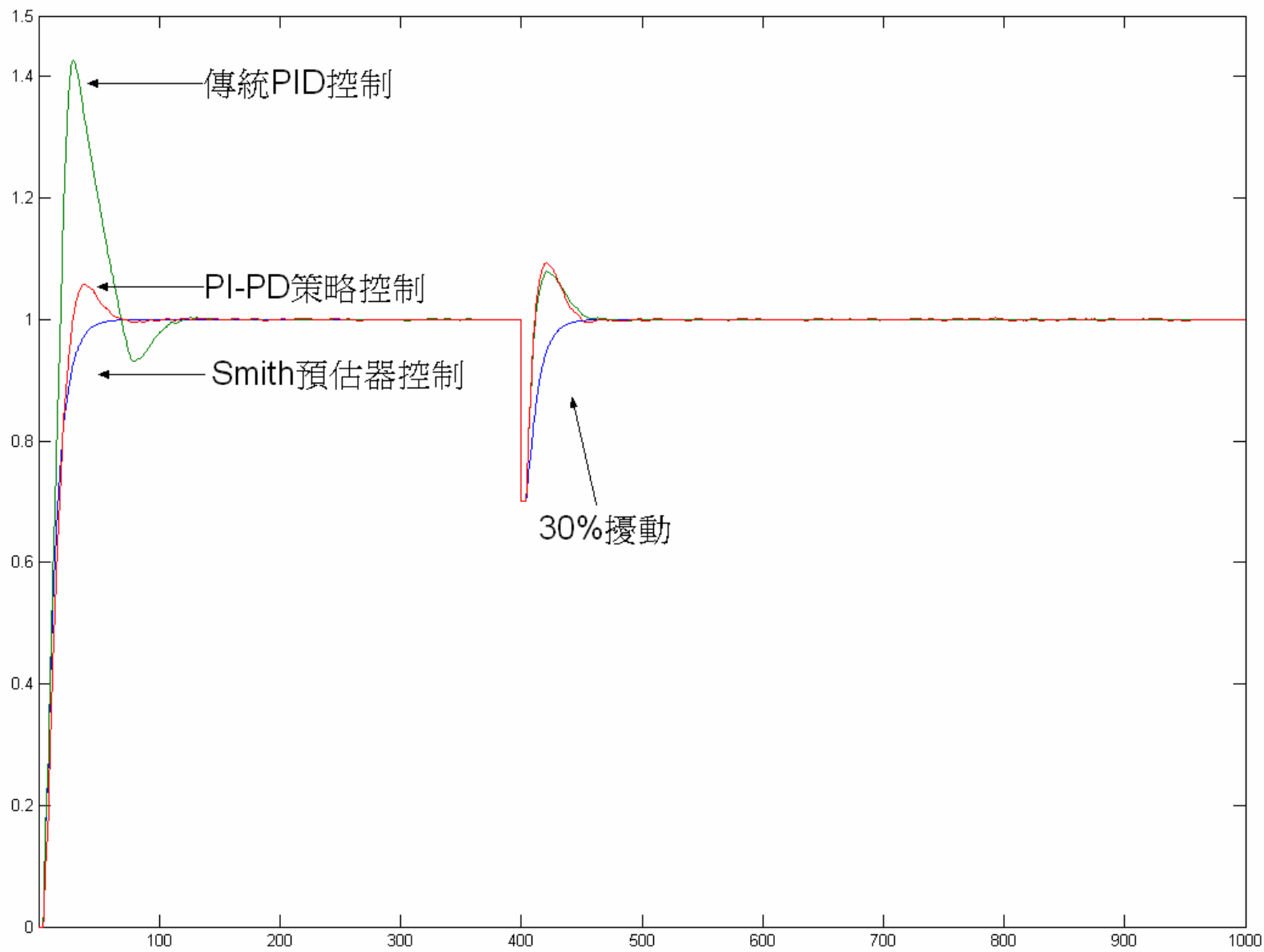
$$K_c = 0.4, T_i = 3, K_f = 16, T_d = 25$$

- Smith預估器控制參數取

$$K_p = 0.95, T_i = 106$$







傳統PID控制

PI-PD策略控制

Smith預估器控制

30%擾動

# 結論

- 在PID調整實務中發現使用雙PID控制比單PID控制較佳，一般單PID控制參數值求出之後須經過線上補償程序而雙PID可以不需要補償過程。

調 $K_p$ ：加快系統的響應速度，提高系統的調節精度。

調 $K_i$ (積分係數)：消除系統的穩態誤差。

調 $K_d$ (微分係數)：改善系統的動態特性。