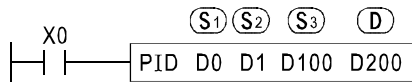


FNC 88 PID		PID運算	M	VB	VH
				○	

運算元	對 象 元 件															
	X	Y	M	S	KnX	KnY	KnM	KnS	T	C	D	SD	P	V,Z	K,H	VZ index
S1											○					
S2											○					
S3											○					
D											○					
• S3佔用25點																



S1：設定值(SV)

S2：量測值(PV)

S3：參數區塊之起頭號碼

D：輸出值(MV)

- 將 (S1) 設定值與 (S2) 量測值，依 (S3) 參數區塊所設定之參數值，進行PID運算，並將運算結果存放在 (D) 輸出值中。
- 當 X0 = ON時，指令執行。當 X0 = OFF時，指令停止執行，而 D200的內容值會保持在 X0 = OFF前的值。
- (S3) 參數區塊會佔用連續25個暫存器。
- 當 (S1) 設定值或 (S3) + 3 ~ (S3) + 6 控制參數變更時，若希望 (D) 輸出值能快速反應，可令PID指令重新執行。
- PID指令並無使用次數限制。
- 本指令提供自動調諧 (Auto-tuning) 機能，協助使用者決定PID三項參數。(參閱後續說明)
- 由於PID指令係利用PLC掃描周期累計其取樣時間，故規劃程式時須注意以下事項：
 - ① 雖然可以在副程式、中斷插入副程式、步進階梯圖及跳躍指令中使用PID指令。但在某PID指令執行過程中，須確保在一次掃描周期中執行該指令一次，執行超過一次或未執行該指令都將造成取樣時間錯誤之現象。
 - ② 當取樣時間 < 1個掃描時間時，會發生PID運算異常，且PLC會以“取樣時間 = 掃描時間”執行PID運算。
- 執行PID指令前，須先將所有參數設定妥當。

PID指令運算式

本指令係依照速度式之微分形演算式，執行PID運算，運算式如下所示。

動作方向	PID 運算方式
正向動作 PV _{nf} > SV	$\Delta MV = K_P \left\{ (EV_n - EV_{n-1}) + \frac{T_s}{T_I} EV_n + D_n \right\}$ $EV_n = PV_{nf} - SV$ $PV_{nf} = \alpha PV_{nf-1} + (1 - \alpha) PV_n$ $D_n = \frac{T_D}{T_s + K_D \cdot T_D} (-2PV_{nf-1} + PV_{nf} + PV_{nf-2}) + \frac{K_D \cdot T_D}{T_s + K_D \cdot T_D} \cdot D_{n-1}$ $MV_n = \Sigma \Delta MV$
逆向動作 SV > PV _{nf}	$\Delta MV = K_P \left\{ (EV_n - EV_{n-1}) + \frac{T_s}{T_I} EV_n + D_n \right\}$ $EV_n = SV - PV_{nf}$ $PV_{nf} = \alpha PV_{nf-1} + (1 - \alpha) PV_n$ $D_n = \frac{T_D}{T_s + K_D \cdot T_D} (2PV_{nf-1} - PV_{nf} - PV_{nf-2}) + \frac{K_D \cdot T_D}{T_s + K_D \cdot T_D} \cdot D_{n-1}$ $MV_n = \Sigma \Delta MV$

EV_n : 本次取樣時的偏差值

EV_{n-1} : 前一週期的偏差值

SV : 設定值 (S₁)

PV_n : 本次取樣時的量測值 (S₂)

PV_{nf} : 本次取樣經輸入濾波後的量測值

PV_{nf-1} : 前一週期經輸入濾波後的量測值

PV_{nf-2} : 前二週期經輸入濾波後的量測值

ΔMV : 輸出變動量

MV_n : 本次的輸出值 (D)

D_n : 本次的微分項

D_{n-1} : 前一週期的微分項

K_P : 比例增益

α : 輸入濾波常數

T_s : 取樣時間

T_I : 積分時間

T_D : 微分時間

K_D : 微分增益

• (S₃) 參數區塊說明

參數	參數名稱/功能	說 明		設定範圍
S ₃	取樣時間(Ts)	此值應大於PLC掃描時間及量測值量測周期		1~32767mS
S ₃ +1	動作方向及警報控制	b0	0：系統執行正向動作	—
			1：系統執行逆向動作	
		b1	0：無輸入變動量警報	
			1：啟動輸入變動量警報	
		b2	0：無輸出變動量警報	
			1：啟動輸出變動量警報	
		b3	保留	
		b4	0：不執行自動調諧	
1：執行自動調諧，調諧完成後會自動復歸				
b5	0：無輸出值範圍限制			
	1：啟動輸出值範圍限制			
b6~b15		保留		
S ₃ +2	輸入濾波常數(α)	輸入濾波常數有助於緩和量測值的變化		0~99%
S ₃ +3	比例增益(K _P)	PID回路的P項		1~32767%
S ₃ +4	積分時間(T _I)	PID回路的I項，若設定為0，則無積分效應		(0~32767) ×100mS
S ₃ +5	微分增益(K _D)	調整微分響應的係數		0~100%
S ₃ +6	微分時間(T _D)	PID回路的D項，若設定為0，則無微分效應		(0~32767) ×10mS
S ₃ +7 ~ S ₃ +19	工作區	執行PID指令運算時之工作區域		—
S ₃ +20	輸入變化增量警報設定值	參數S ₃ +1的b1=ON時，此設定值有效		0~32767 —
S ₃ +21	輸入變化減量警報設定值	參數S ₃ +1的b1=ON時，此設定值有效 此設定值會被作為負數值使用		
S ₃ +22	輸出變化增量警報設定值	參數S ₃ +1的b2=ON時，此設定值有效		0~32767
	輸出上限設定值	參數S ₃ +1的b5=ON時，此設定值有效		+32768~32767
S ₃ +23	輸出變化減量警報設定值	參數S ₃ +1的b2=ON時，此設定值有效 此設定值會被作為負數值使用		0~32767
	輸出下限設定值	參數S ₃ +1的b5=ON時，此設定值有效		-32768~32767
S ₃ +24	警報旗標	b0	輸入變化增量警報發生	—
		b1	輸入變化減量警報發生	
		b2	輸出變化增量警報發生	
		b3	輸出變化減量警報發生	

- (S₃)+1的b2及b5不可同時為ON。
- 當(S₃)+1的b1、b2或b5任一為ON時，此PID指令之(S₃)參數區塊會佔用(S₃)~(S₃)+24共25個暫存器。
- 當(S₃)+1的b1、b2及b5均為OFF時，此PID指令之(S₃)參數區塊會佔用(S₃)~(S₃)+19共20個暫存器。

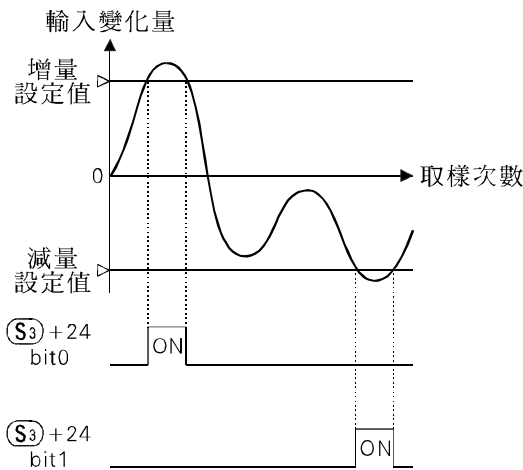
正向動作及逆向動作說明

- 令參數(S₃)+1的b0=OFF，則PID指令執行正向動作。b0=ON，則PID指令執行逆向動作。
- 相對於量測值(PV_{nf}) > 設定值(SV)時，產生正偏差，而增加操作量的動作稱之為正向動作。例如，空氣調節系統。在沒有進行空氣調節之前，室內溫度通常會高於設定值，PV_{nf} > SV，即為典型之正向動作控制。
- 相對於量測值(PV_{nf}) < 設定值(SV)時，產生負偏差，而增加操作量的動作稱之為逆向動作。例如，爐溫控制。在加熱器未動作前，爐內的溫度會低於設定值，PV_{nf} < SV，即為典型之逆向動作控制。

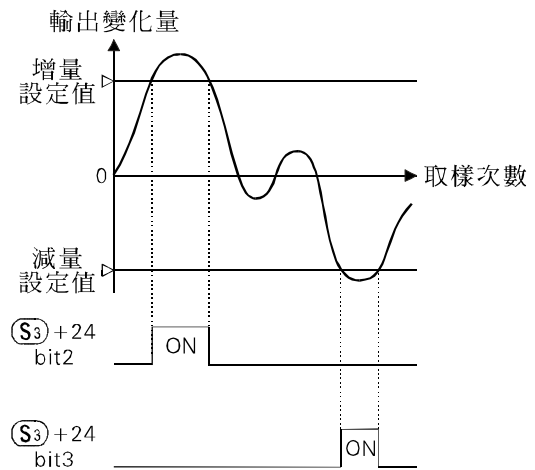
輸入變化量及輸出變化量警報功能說明

- 令參數(S3)+1的b1 = ON，則PID指令具備輸入變化量警報功能。警報檢測值由參數(S3)+20及(S3)+21設定，而檢測結果則表現在(S3)+24之b0及b1。(S3)+21的內容值會被作為負數值使用。
- 令參數(S3)+1的b2 = ON，則PID指令具備輸出變化量警報功能。警報檢測值由參數(S3)+22及(S3)+23設定，而檢測結果則表現在(S3)+24之b2及b3。(S3)+23的內容值會被作為負數值使用。
- 變化量的定義為：變化量 = (當次的值) - (前次的值)

輸入變化量檢測警報圖解



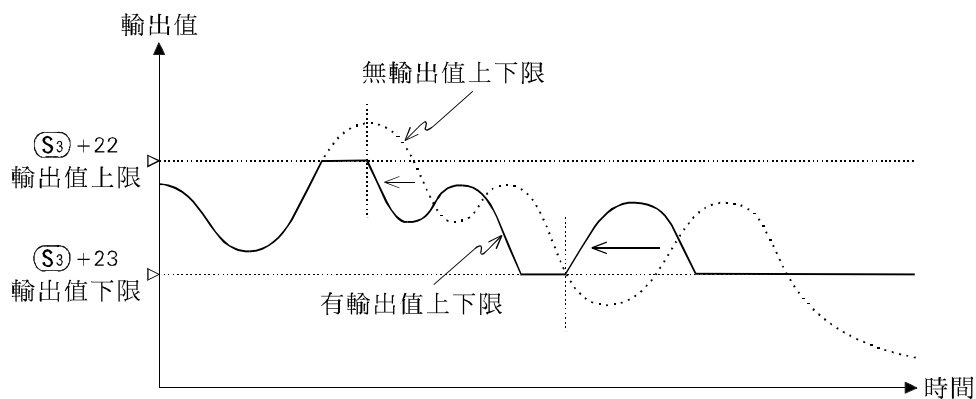
輸出變化量檢測警報圖解



輸出值範圍限定功能說明

- 令參數(S3)+1的b5 = ON，則PID指令具備輸出值範圍限定功能。上下限設定值由參數(S3)+22及(S3)+23設定。
- 由於本功能與輸出變化量警報功能佔用相同的參數位置(S3)+22及(S3)+23。所以，此兩項功能僅能擇一執行，參數(S3)+1之b2及b5僅能擇一為ON。
- 使用本功能有助於抑制PID控制積分項的增大。

輸出值範圍限定功能圖解



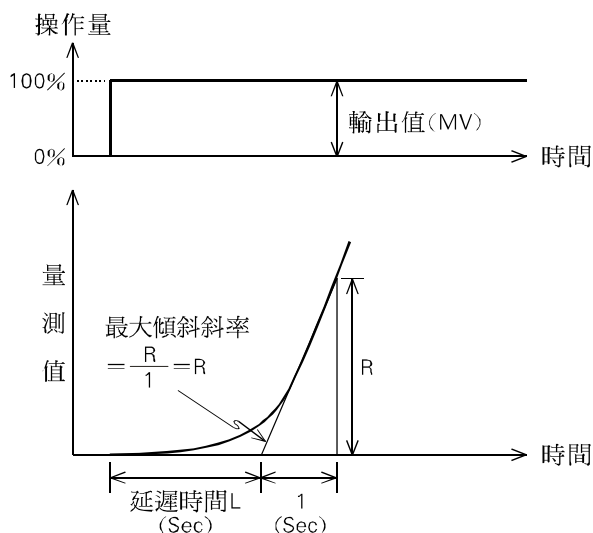
PID指令運算錯誤訊息

- 當控制參數內的設定值發生錯誤或PID指令運算過程中發生錯誤，特殊繼電器M9067會ON，且特殊暫存器D9067中會存放錯誤編號。

錯誤編號	錯誤內容	處理方式
6730	取樣時間 (Ts) 設定值不在範圍內 (Ts < 1)	PID指令 停止運算
6732	輸入脈波常數 (α) 設定值不在範圍內 (α < 0或α ≥ 100)	
6733	比例增益 (Kp) 設定值不在範圍內 (Kp < 1)	
6734	積分時間 (Ti) 設定值不在範圍內 (Ti < 0)	
6735	微分增益 (Kd) 設定值不在範圍內 (Kd < 0或Kd > 100)	
6736	微分時間 (Td) 設定值不在範圍內 (Td < 0)	
6740	取樣時間 ≤ PLC掃描時間	PID指令 繼續運算
6742	量測值變動太大 (ΔPV < -32768或ΔPV > 32767)	
6743	偏差值變動太大 (ΔEV < -32768或ΔEV > 32767)	
6744	積分計算值超出-32768~32767以外	
6745	比例增益 (Kp) 太大，致使比例運算值超過範圍	
6746	微分計算值超出-32768~32767以外	
6747	PID運算結果超出-32768~32767以外	

求取PID參數的方法

- 為了使PID控制得到良好的控制結果，我們必須求取適合該操作對象的PID參數。亦即求取比例增益（ K_P ）、積分時間（ T_I ）及微分時間（ T_D ）三項參數的最適值。
- 求取該三項參數的方法有很多種，其中的步進應答法經常被使用。所以，以下就步進應答法提出說明。
- 步進應答法的作法是藉由對控制系統作0~100%的步進輸出，然後觀察其量測值變化，再依其變化特性求取PID三項參數。



依上圖求取PID參數

控制方式	比例增益 K_P (%)	積分時間 T_I ($\times 100\text{ms}$)	微分時間 T_D ($\times 10\text{ms}$)
P	$\frac{1}{RL} \times \text{輸出值 MV}$	—	—
PI	$\frac{0.9}{RL} \times \text{輸出值 MV}$	33L	—
PTD	$\frac{1.2}{RL} \times \text{輸出值 MV}$	20L	50L

自動調諧(Auto-tuning)功能

- VB系列PLC所提供的自動調諧功能就是由使用者提供相關參數（諸如動作方向、取樣時間、輸入濾波常數、微分增益及設定值等）給PID指令，再由PID指令執行自動調諧運算，進而求取該控制系統之PID三項重要參數。
- 自動調諧功能可以有效協助使用者求取PID三參數，簡化PID指令的使用。
- 本指令係使用Relay ON/OFF法執行自動調諧運算，求取PID運算中比例增益（ K_P ）、積分時間（ T_I ）及微分時間（ T_D ）三項重要參數。
- 執行自動調諧的步驟：

- ① 將動作方向、取樣時間、輸入濾波常數、微分增益及設定值設定完成。
- ② 將參數(S3)+14及(S3)+15設定完成。

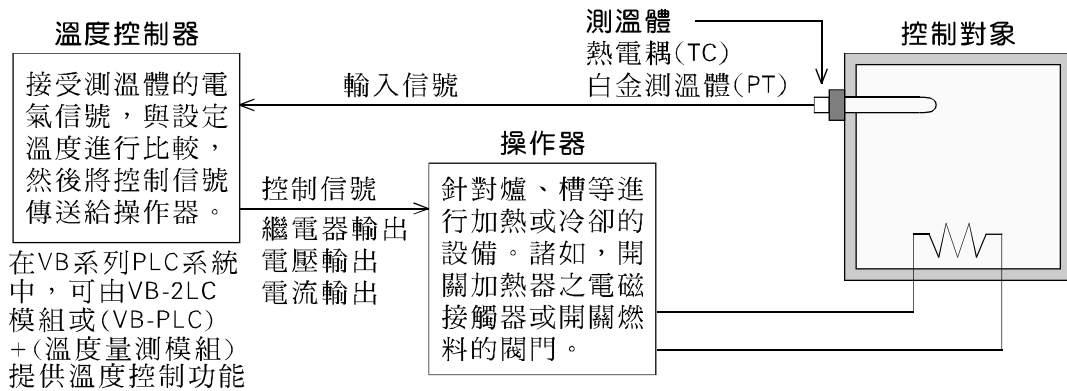
參數	參數名稱	說明
(S3)+14	最大輸出值	操作量為100%時的輸出值。
(S3)+15	最小輸出值	操作量為0%時的輸出值。

- ③ 將參數(S3)+1的b4設為ON，則開始執行自動調諧運算。
- ④ 當自動調諧運算完成時，參數(S3)+1的b4會自動復歸為OFF。

溫度控制的基本概念

由於在PLC控制系統中，PID指令經常用來進行溫度控制。所以，以下將針對溫度控制的基本概念提出說明。

• 溫度控制系統的構成



※ VB系列PLC提供多種溫度量測模組。

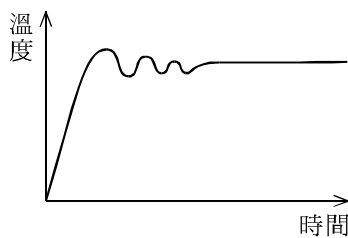
- VB-8T : 8點K或J Type Thermo Couple 輸入，溫度量測模組。
- VB-4T : 4點K或J Type Thermo Couple 輸入，溫度量測模組。
- VB-4PT : 4點3線式PT100-3850PPM/°C 輸入，溫度量測模組。
- VB-2PT : 2點3線式PT100-3850PPM/°C 輸入，溫度量測模組。

• 溫度控制淺釋

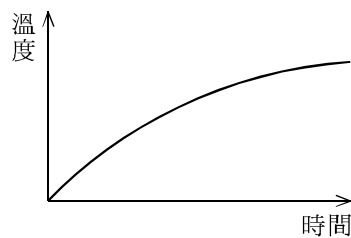
對溫度控制器設定設定值並使其動作。但可能因為控制對象的特性而無法使溫度立即達到安定的狀態。

一般而言，加快應答速度時，可能會發生溫度過高或震盪搜尋的現象，而想要消除這種現象，就必須延遲應答。

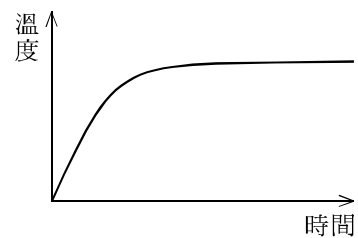
有些應用可能如圖(1)所示，要求儘快獲得安定的控制，而不在意是否會發生溫度過高的現象。有些應用可能如圖(2)所示，即使多花一些時間到達安定的溫度，也要抑制溫度過高的發生。圖(3)所示的波形，是折衷的控制波形，具有適度應答能力，最常被採用。



圖(1)震盪的應答



圖(2)緩慢的應答



圖(3)適度的應答

• 控制對象的特性

要獲得適當的溫度控制，在選用測溫體及決定控制參數時，必須先充分了解控制對象所具備的特性。

- 控制對象的特性
- 熱容量：加熱的容易程度，和爐的容積大小有關。
 - 靜特性：加熱的能力，由加熱器的容量大小決定。
 - 動特性：加熱初期的上升特性，和爐、電熱器容量大小有很複雜的關係。
 - 外 亂：改變溫度的因素。例如，恆溫槽槽門的開與關。

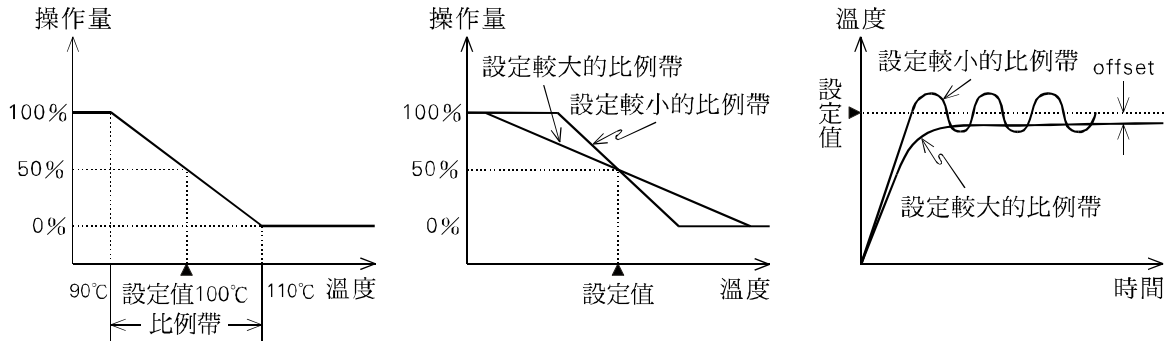
• PID參數說明

(1) P (比例) 動作

操作量和輸入成比例的控制動作。

對於設定值有一個比例帶，而使操作量和偏差成比例的動作，稱之為比例動作。

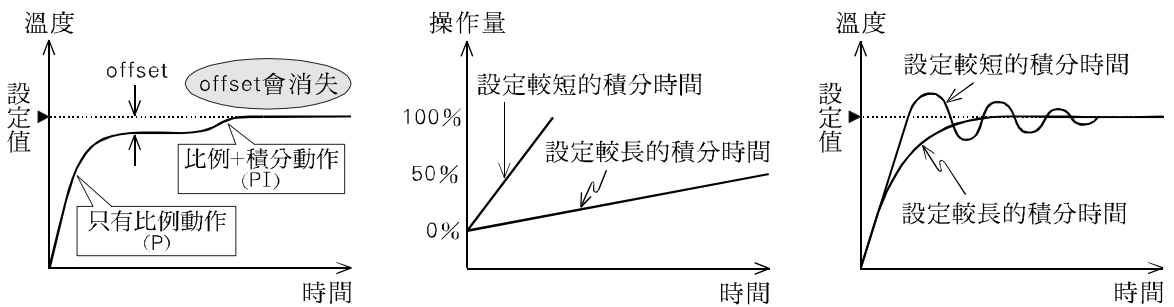
一般而言，比比例帶低時，操作量為100%。而進入比例帶時，操作量會和偏差成比例而逐漸降低。當現在溫度值和設定值一致時（無偏差），操作量變為50%。



(2) I (積分) 動作

操作量和輸入之時間積分值成比例的控制動作。

比例動作會發生offset (偏差)。若將積分動作與比例動作搭配使用，隨著時間經過，offset就會消失。控制溫度也會和設定值一致。

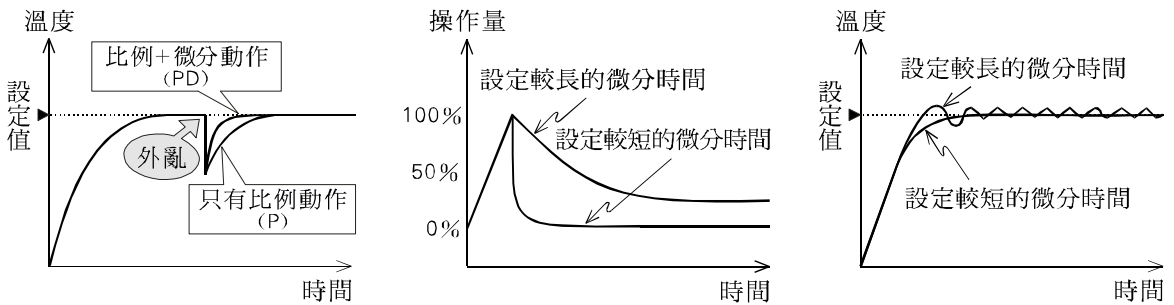


(3) D (微分) 動作

操作量和輸入之時間微分值成比例的控制動作。

因為比例動作或積分動作是針對控制結果執行修正動作，所以對於急劇之溫度變化的應答會較慢。微分動作就是追加和溫度變化斜度成比例之操作量，執行修正動作，所以可以彌補應答較慢的缺點。

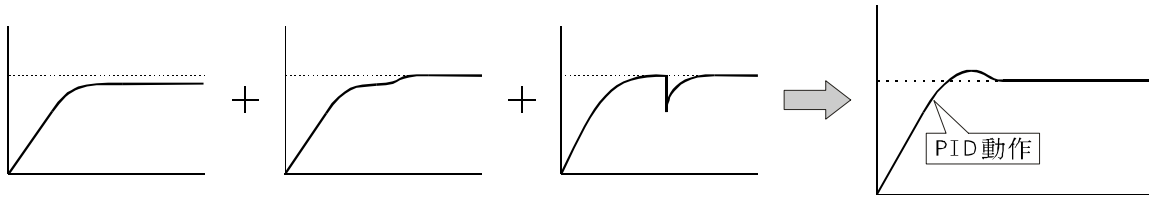
微分動作對於激烈的外亂可以提供較大的操作量，使其儘快回到原來的控制狀態。



(4) PID控制

PID控制就是組合比例動作、積分動作及微分動作的控制。

比例動作可以縮短溫升時間，積分動作則可以修正offset偏差值，而微分動作可以提高外亂的應答速度。

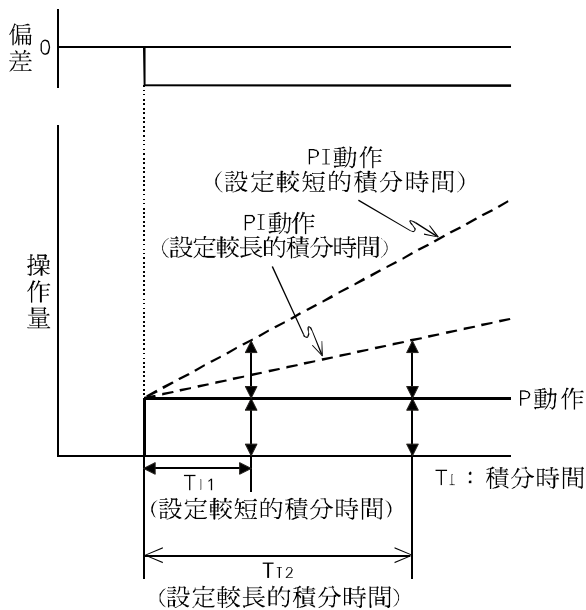


• 控制周期及時間比例式控制

當溫度控制使用繼電器、SSR來執行輸出量時，會依照預先設定的時間周期，執行一定時間的ON，其餘時間則執行OFF的動作。這種預先設定的時間周期就稱之為控制周期。而這種動作方法就稱為時間比例式控制。在以PLC為主體的溫度控制系統經常使用這種方法。

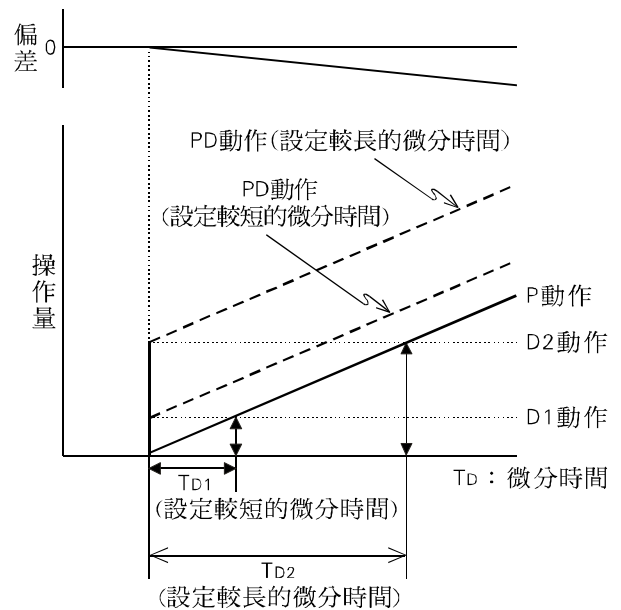
• 積分時間的定義

如下圖所示，針對步階（STEP）偏差，積分之操作量達到和比例動作相同之操作量為止的時間，就稱為積分時間。所以，積分時間愈短，積分動作愈強。然而，積分時間太短時，修正動作會太大，而產生震盪的現象。



• 微分時間的定義

如下圖所示，對於傾斜（RAMP）偏差，微分之操作量達到和比例動作相同之操作量的時間，就稱為微分時間。所以，微分時間愈長，就表示微分動作愈強。



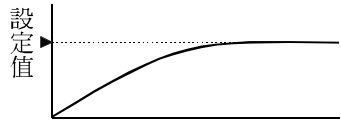
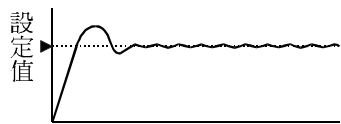
- 自動調諧 (Auto-tuning)

執行溫度控制的PID參數，會因為控制對象的特性不同而有不同的參數數值及組合。而自動計算適合控制對象之PID參數的機能就稱為自動調諧機能。

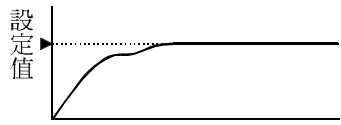
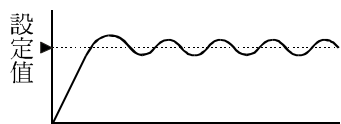
- 調整PID參數

由於以自動調諧機能計算出的PID參數，通常會比傳統手動設定的PID值，來得精確而且容易。所以，通常我們會使用自動調諧機能設定PID參數。然而，使用自動調諧機能所求得的PID參數有時可能無法完全精確。此時，可參考下表的建議進一步調整PID參數。

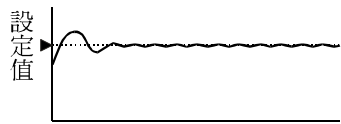
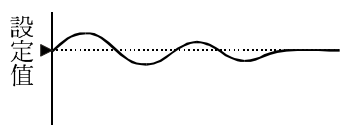
變更P(比例帶)時的應答

較大時		溫度會緩慢上升，達到設定值的時間較長，但不會有溫度超溫的現象。
較小時		會出現溫度過高的現象，也會發生震盪，但會比較快達到設定值。

變更I(積分時間)時的應答

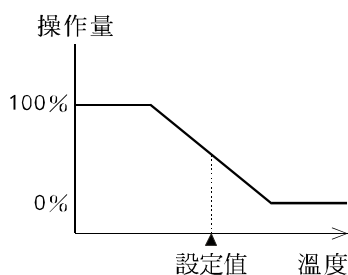
較大時		到達設定值的時間會較長。達到穩定時間較長，但震盪、溫度過高及溫度過低的現象都較小。
較小時		會出現震盪、溫度過高及溫度過低的現象。但比較快到達設定值。

變更D(微分時間)時的應答

較大時		溫度過高、溫度過低的調整時間較短。但本身會產生小幅度的震盪。
較小時		溫度過高、溫度過低的現象會變大，要花較長的時間才會到達設定值。

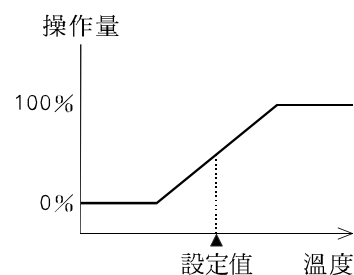
- 正向動作

相對於溫度比設定值高時(正偏差)，而增加操作量的動作。例如，冷凍空調系統控制。



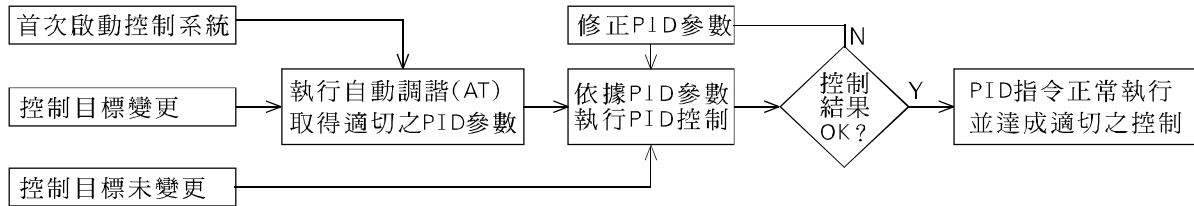
- 逆向動作

相對於溫度比設定值低(負偏差)，而增加操作量的動作。例如，烤箱、錫爐等控制。

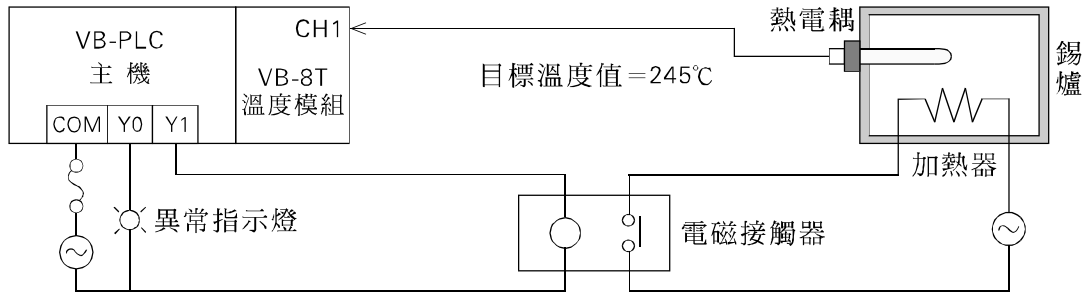


PID溫度控制範例

- 設計PID溫度控制程式時，建議以如下圖之流程執行PID指令。



- 溫度控制系統的構成



- 程式範例

X0 = ON時，會先執行自動調諧後再開始PID控制。X0 = OFF時，會直接執行PID控制。

本程式例係採用時間比例式控制，控制周期設定為5秒。

本程式例首次啟動時，應先令X0 = ON，以便透過自動調諧取得PID控制參數，否則PID指令將因參數未設定而造成異常。

