

工業用二維PID控制器

國立尾科技大學 飛機工程系

摘要

PID 控制器在工業控制應用中極為常見，但目前市售的 PID 控制器多為單維度設計，亦即只有一個回饋信號輸入及一個控制信號輸出，因此僅能處理一維控制系統，但現今的工業控制中，常需要多重輸入與多重輸出之控制系統，以反應爐溫度控制為例，常常會使用兩個加熱器去控制兩個固定點的溫度，本專題即針對系統中存在二個加熱器及二個溫度感測器之場合設計一個 PID 控制器，讓使用者能透過參數之設定達到穩定控制之目的。另一方面，此系統之輸出輸入介面採用 4~20mA 之工業標準，能輕易與現有控制元件相容。

關鍵字：二維 PID 控制器

1.前言

1.1 背景

PID 控制器在工業控制應用中極為常見，例如加熱與冷卻的溫度控制、液體位面控制或 pH 值調整控制等，PID 控制器的好處是具有高度的彈性，針對不同的控制應用，只要適當地調整 P、I 及 D 三個參數即可達成所要的控制目的。

由於工業控制市場的大量需求，因而促成了市面上為數眾多的 PID 控制器產品，這些產品售價低廉、效能良好，非常受到歡迎。然而目前的 PID 控制器多為單維度設計，亦即只有一個回饋信號輸入及一個控制信號輸出，因此只能做單維度的控制。

1.2 動機

雖然一維的 PID 控制器解決了大部分工業控制的問題，然而追求更精密的控制需求卻也從未停止，因此使用多個加熱器並利用多個感測器的溫度控制系統正不斷地被提出來，以工業加熱器為例，常於系統中存在二個加熱器及二個溫度感測器。因此二維的 PID 控制器必須能同時處理兩個溫度感測器的回饋信號並且必須考慮二個維度之間的交互作用，而適當地調整加熱功率以便使受控系統同時滿足二個溫度設定值的穩定性，如此一來將使得控制器本身之複雜度相對提高許多。

2.工作原理

2.1 工作原理及功能

(1)受控系統經加熱後，溫度上升，經測溫器量得

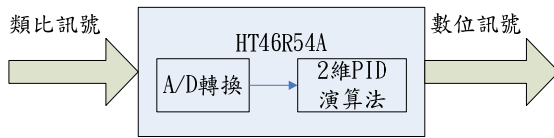
受控系統之溫度，並轉換成 4~20mA 工業用電流輸出介面。

- (2)電流回授訊號經電流對電壓轉換電路將回授訊號轉換成電壓輸出，送至 HT46R54A 之 AN0、AN1 接腳。
- (3)HT46R54A 從 AN0、AN1 接腳接收到電壓值，以進行 A/D 轉換成數位訊號後，並執行二維 PID 控制演算法則，調整完後之訊號再傳送 HT46R54A。
- (4)二維 PID 演算法之計算結果為數位訊號，透過數位轉類比之電路，轉換成類比電壓輸出。
- (5)類比電壓輸出最後轉換成 4~20mA 的工業電流輸出介面。
- (6)加熱器系統依此訊號之強弱，增加或減少加熱器之加熱功率，以達成二維設定溫度之目的。

2.2 HOLTEK MCU 之核心功能

本專題有輸出及輸入具有 4~20mA 之工業標準介面，因輸入訊號為類比訊號，為了讓 MCU 進行 PID 演算法處理，所以需 A/D 轉換，以利 MCU 將類比訊號轉換成數位訊號後，進行訊號處理。為達成此一成果，本次競賽所使用之 HT46R54A 正好符合本專題之需求，因而選擇此 IC 輔助本專題完成所需達成之成果。本專題應用 HT46R54A 此 IC 之功能如下圖 1：

- (1)A/D 轉換：將轉換電路所傳來之電壓值進行 A/D 轉換，以利 MCU 進行運算並做數位訊號處理。
- (2)進行 AD 轉換完後，並進行二維 PID 控制之演算法，其進行的系統方塊圖如圖一所示，調整完後之訊號再傳送 HT46R54A。

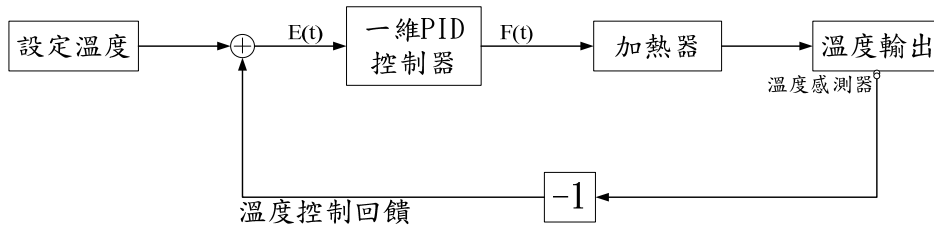


圖一、HT46R54A內部動作圖

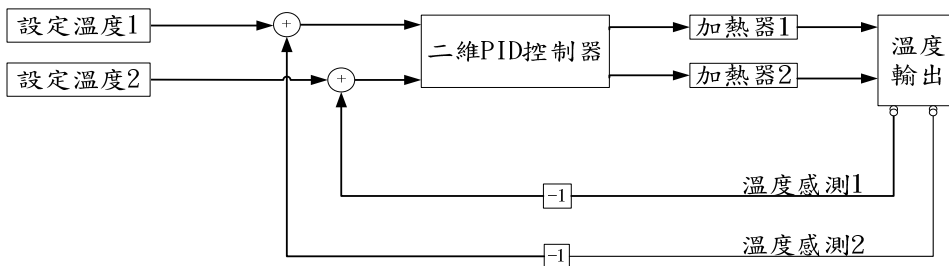
3. 作品架構

3.1 PID 控制理論

PID 控制器是藉由比例帶、積分時間及微分時間來控制系統以達到設定值。其動作原理是利用參考值與實際輸出的誤差大小來決定操作量，且操作量大小由誤差值的大小（比例 P 動作）、誤差值的累積（積分 I 動作）、以及誤差值的變化傾向（微分 D 動作）來決定，並依(1)式進行調整，其中 $F(t)$ 為控制器之輸出， $E(t)$ 為目前溫度與設定溫度間之誤差值， K_p 、 K_i 及 K_d 分別為比例、積分及微分項之參數，此架構為一維 PID 控制。



圖二、一維的 PID 溫度控制系統



圖三、二維的 PID 溫度控制系統

$$F(t) = K_p \times E(t) + K_i \times \int E(t)dt + K_d \times \frac{dE(t)}{dt} \dots(1)$$

所進行的一維 PID 控制如圖二所示，溫度輸出即為受熱物體之溫度，而透過溫度感測器將溫度值與設定溫度值進行比較，比較後之溫度差再提供 PID 控制器依(1)式進行加熱功率之調整。

本專題提出之工業用二維 PID 控制器如圖三所示，二維 PID 需要考慮二個加熱器彼此之影響，使要設定的 PID 參數大增。因此我們假設系統條件均為相同，如此要設定的 PID 參數即可設定為： K_{p1} 、 K_{i1} 、 K_{d1} 、 K_{p2} 、 K_{i2} 、及 K_{d2} 六個，其中 K_{p1} 、 K_{i1} 及 K_{d1} 為第一個 PID 控制器之參數， K_{p2} 、 K_{i2} 、及 K_{d2} 則為第二個 PID 控制器之參數。在此 K_p 要運算之矩陣為(2)式， K_i 要運算之矩陣為(3)式， K_d 要運算之矩陣為(4)式。

$$\begin{bmatrix} K_{p1} & Q \\ Q & K_{p2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_1(t) \\ E_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{p1}E_1(t) + QE_2(t) \\ QE_1(t) + K_{p2}E_2(t) \end{bmatrix} \dots(2)$$

$$\begin{bmatrix} K_{i1} & R \\ R & K_{i2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_1(t) \\ E_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{i1}E_1(t) + RE_2(t) \\ RE_1(t) + K_{i2}E_2(t) \end{bmatrix} \dots(3)$$

$$\begin{bmatrix} K_{d1} & S \\ S & K_{d2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_1(t) \\ E_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{d1}E_1(t) + SE_2(t) \\ SE_1(t) + K_{d2}E_2(t) \end{bmatrix} \dots(4)$$

所以系統的兩個誤差值 $E_1(t)$ 與 $E_2(t)$ 分別如(5)式與(6)式，其中 $r_1(t)$ 及 $r_2(t)$ 分別為設定溫度 1 及設定溫度 2，為 $y_1(t)$ 及 $y_2(t)$ 兩個感測器所量測之溫度值。

藉由調整這六個 PID 參數，並將(5)式與(6)式，

代入(7)式與(8)式中，經過計算之後，再相互做加減，以消除加熱器間的相互影響，產生新的系統輸入值之後，加熱器會依此新的輸入值增減功率，使受控系統溫度變化，再經感測器將量測值傳回，再次與溫度設定值做比較。

$$E_1(t) = r_1(t) - y_1(t) \dots\dots\dots(5)$$

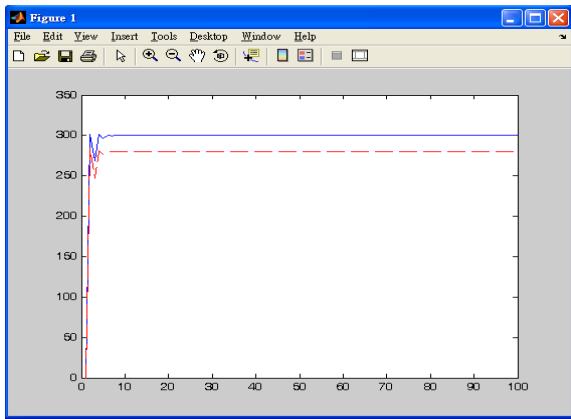
$$E_2(t) = r_2(t) - y_2(t) \dots\dots\dots(6)$$

$$y_1(t) = K_{p1}E_1(t) + QE_2(t) + K_{i1}E_1(t) + RE_2(t) + K_{d1}E_1(t) + SE_2(t) = E_1(t)(K_{p1} + K_{i1} + K_{d1}) + E_2(t)(Q + R + S) \dots\dots(7)$$

$$y_2(t) = K_2E_2(t) + QE_1(t) + K_{i2}E_2(t) + RE_1(t) + K_{d2}E_2(t) + SE_1(t) = E_2(t)(K_{p2} + K_{i2} + K_{d2}) + E_1(t)(Q + R + S) \dots\dots(8)$$

本專題以此基本理論做為二維PID控制器之控制法則，將兩個維度間的交互作用，所造成的影響亦納入PID控制法則之中，將圖三中二個經由二維PID控制器演算完後輸出的訊號送至加熱器1及加熱器2，感測器再將受控系統之溫度值回授給設定值做比較再取其誤差值，以進行控制，如此做法雖然複雜度相對提高許多，卻也因此可以適當地調整加熱功率使其調整到目標溫度值。

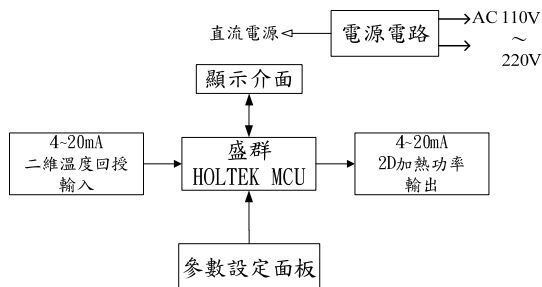
在 K_{p1} 、 K_{i1} 、 K_{d1} 、 K_{p2} 、 K_{i2} 、及 K_{d2} 等六個參數設定方面，本組採用MATLAB模擬以求得最佳之參數值。其模擬如圖四。



圖四、MATLAB 模擬圖

3.2 外部硬體系統

本系統為外部架構圖，在電源電路端已轉換成直流電源之情況下，以HOLTEK MCU (HT46R54A)為中心，將4~20mA的電流經電流轉換電路轉換而成的電壓值回授至HT46R54A，經HT46R54A做數位訊號處理及二維PID控制完後之信號，再經D/A轉換成電流以達到驅動4~20mA工業輸入介面的二維加熱器。可由參數設定介面調整設定值，再由顯示介面呈溫度值及預設溫度值如下圖五。



圖五、外部硬體系統圖

3.3 電流轉換電壓電路單元

本電路主要將感測器之工業用4~20mA利用歐姆定律串上電阻，以獲得電壓值，並利用差動放大

器之特性，於輸入端並接一可變電阻，藉由可變電阻可調整差動放大器輸入端之電壓差，由於本電路之電源為24V，為防止輸出電源超過5V，於差動放大器之輸出端接一個二極體及電容以確保本電路能穩壓於5V，再送至HT46R54A以利其進行A/D轉換。

3.3 數位轉換類比電路單元

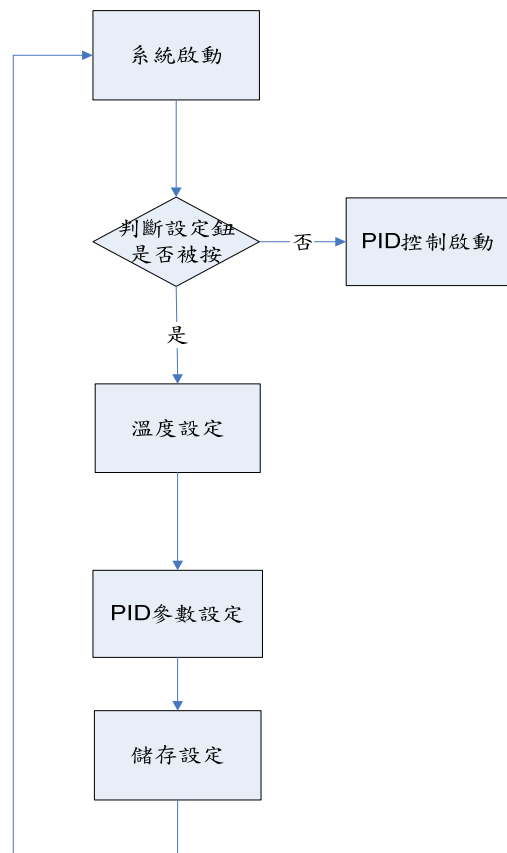
本電路在於將HT46R54A送出之數位訊號，經由數位轉類比IC，將數位訊號改為類比訊號，輸出4~20mA電流至加熱器，以進行功率之調整。

3.4 LCM 顯示單元

本單元原置於Holtek MCU單元中，但因LCM顯示過於耗費Holtek MCU之Program memory，因此多使用一顆HT46R54A以進行LCM顯示功能，讓主要HT46R54A能致力於進行二維PID演算法，於演算過後將與另一顆HT46R54A溝通傳值以顯示目前狀況。

3.5 二維控制器互動介面流程

本系統啟動後，先決定是否要進入溫度設定介面，若NO則直接進入PID控制啟動；當選擇YES，介面會自動變為溫度設定，設置PID參數之後系統便會儲存設定，如此便完成設定介面，如下圖六。



圖六、二維控制器互動介面流程

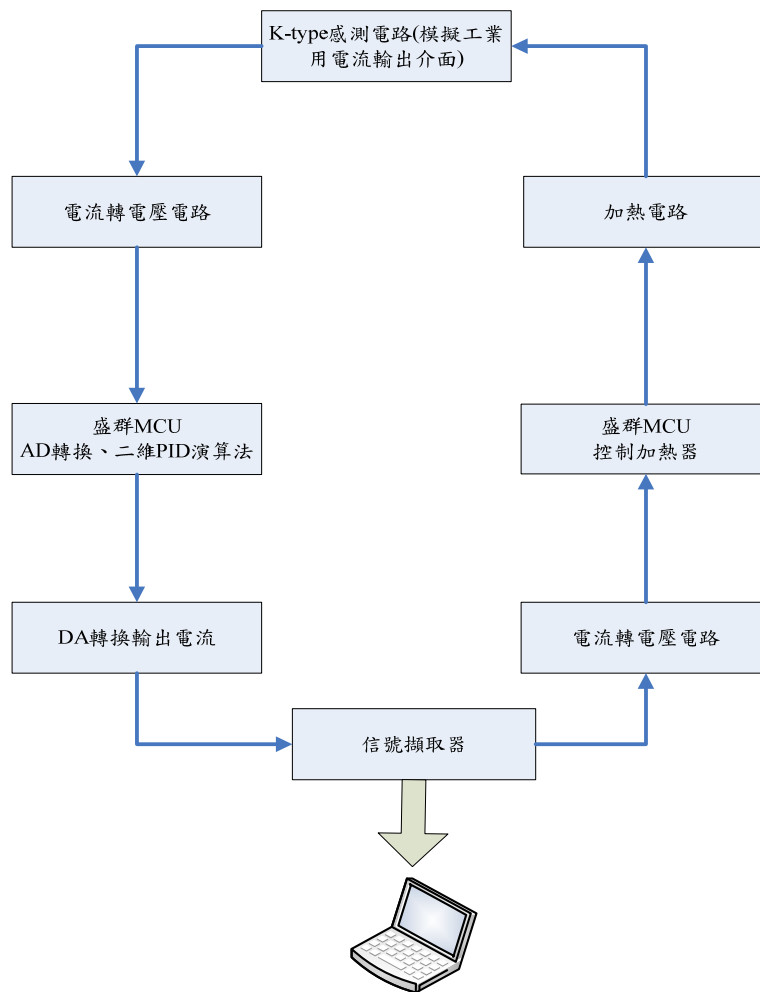
4.測試方法

4.1 測試流程

- (1)為測試本二維 PID 控制器是否完成，採用圖七之測試訊號流程，先由 K-type 感測電路取得溫度差所轉變的電壓差，電壓差經差動放大電路放大電壓差，送至電壓轉電流 IC，輸出電流，至此模擬工業用 4~20mA 電流輸入介面。
- (2)將電流輸入介面轉接至電流轉換電壓電路，將電壓差值送至 HT46R54A 進行 A/D 轉換及二維 PID 演算法，輸出至數位轉類比電路，以電

流輸出。

- (3)以信號擷取器擷取上述之電流輸出，經電腦記錄信號大小後，電流流入電流轉換電壓電路，經差動放大器放大電壓差後，輸入本專題為模擬加熱器應用 HT46R54A 設計的加熱系統，輸出 PWM 訊號以控制加熱電路。
- (4)加熱電路依 HT46R54A 加熱系統送出之訊號加熱受控體之溫度，。



圖七、測試訊號流程圖

4.2 測試結果

經上述之測試結果，本專題之工業用二維 PID 於設定溫度及 K_{p1} 、 K_{i1} 、 K_{d1} 、 K_{p2} 、 K_{i2} 、及 K_{d2} 六個參數後，溫度能正常達到設定之溫度，誤差約

為 7%，已能顯示不錯之效果，當感測器兩邊溫度差異大時，亦能有效、即時的反應，控制回到溫度設定值之，因此本專題之工業用二維 PID 控制器



符合本組之預期，能在二個控制器及二個加熱器的控制系統中達到穩定控制的目的。

五、參考文獻

[1]<http://www.me.hfu.edu.tw/news/LAB5.pdf> 實驗五：直流伺服馬達之位置、速度控制實驗

[2]<http://zh.wikipedia.org/w/index.php?title=PID%E6%8E%A7%E5%88%B6%E5%99%A8&variant=zh-tw> 維基百科

[3]Okko H.Bosgra and Huibert Kwakernaak “Design Methods for Control Systems”

[4]Antonio Visioli “Practical PID Control”

[5]Cheng-Ching Yu “Autotuning of PID Controllers”2nd Edition 2006

[6]Jim Ledin “Embedded Control Systems in C/C++ : An Introduction for Software Developers Using Matlab”

[7]先進 PID 控制 Matlab 仿真(第二版), 電子工業出版社