

Control PID, sintonización. Nota técnica 13, rev a

Enero 2010

Este documento posee derechos de autor reservados, © ARIAN S.A. 2010
Las marcas comerciales referidas son propiedad de sus respectivos dueños.
Su contenido puede ser reproducido para fines educativos mientras no sea alterado.

Sintonización de un control PID.....	2
Consideraciones prácticas.....	3
Método de las oscilaciones de lazo cerrado.....	4
Método de la respuesta al escalón.....	7
Fórmulas de Astron y Hagglund	11

Sintonización de un control PID

Los valores de la banda proporcional P_b , constante de integración I , constante de derivación D y tiempo de ciclo t_c (si se operará con contactores), determinan el correcto funcionamiento del controlador.

Para cada sistema (máquina, horno, etc.) existe un conjunto de estos parámetros que optimiza el funcionamiento del sistema, redundando en mejora de la producción y economía de energía.

Por otra parte una selección no adecuada de parámetros podría provocar un control inestable, es decir una temperatura oscilante y susceptible a perturbaciones.

Los valores óptimos para estas constantes son aquellos en que el sistema exhiba un "amortiguamiento crítico". En esta condiciones, después de una perturbación la P_v sistema retorna lo mas rápido posible al S_p .

Encontrar analíticamente estos valores es difícil, pero existen dos métodos prácticos para encontrar una buena aproximación de estas constantes.

Ambos métodos están basados en la publicación de J.G.Ziegler y N.B. Nichols (Optimum settings for automatic controllers. Trans. ASME, 64, Pag. 759-768, 1942).

Consideraciones prácticas.

En la puesta en marcha de un sistema es común que la temperatura se pase de largo por arriba del Sp , esto se conoce como "over shot".

Es tentador arreglarlo aumentando la derivada, esto funciona, pero el valor de la derivada será más grande que lo requerido y provocará que el sistema durante su régimen de operación normal exhiba una respuesta a transientes deficiente, de tipo sobre-amortiguada con una lenta recuperación del Sp .

Para solucionar este problema de arranque recomendamos usar la opción de rampa del Sp disponible en los instrumentos ARIAN, con esta opción activada el control aumentará gradualmente el Sp desde la primera temperatura medida hasta llevarla al valor final deseado.

Hay sistemas que exhiben oscilaciones como consecuencia de un "tiempo muerto" L relativamente grande. Este es el tiempo de propagación desde que se emite la señal de control hasta que el sensor de variable proceso Pv percibe un cambio. (Por Ej. el tiempo desde que se activa el calefactor hasta que se observa el cambio de temperatura).

Esto es especialmente notorio en sistemas donde el "tiempo muerto" L es resultado de un "transporte de materia"

Por ejemplo: un calefactor en una tubería actúa sobre un fluido que se mueve lentamente. Unos metros más adelante en la misma tubería está colocado el sensor de temperatura. El fluido tarda 60 segundos en moverse desde el calefactor hasta la termocupla.

Estos sistemas por lo general se estabilizan usando valores relativamente grandes de la banda proporcional Pb .

Lo primero es eliminar las acciones derivativa e integral para luego restituir las moderadamente.

Si las oscilaciones persisten, la solución es aumentar la banda proporcional todo lo necesario hasta que se detengan, incluso usando valores de Pb superiores al 100%.

Midiendo el periodo de las oscilaciones antes de que desaparezcan es posible determinar el resto de los parámetros según el método de las oscilaciones de lazo cerrado.

Antes de proceder a sintonizar su lazo PID, convendrá siempre recordar aquella máxima de la teoría de sistemas dinámicos que dice así:

"Si una máquina o en general un sistema dinámico complejo, funciona,
! no lo toque !"

Método de las oscilaciones de lazo cerrado.

El primer procedimiento aquí descrito es práctico y simple, no requiere equipo adicional, pero es más fácil si dispone de un registro gráfico de la temperatura. Lo ideal es el sistema de comunicaciones RS485 para graficar en pantalla.

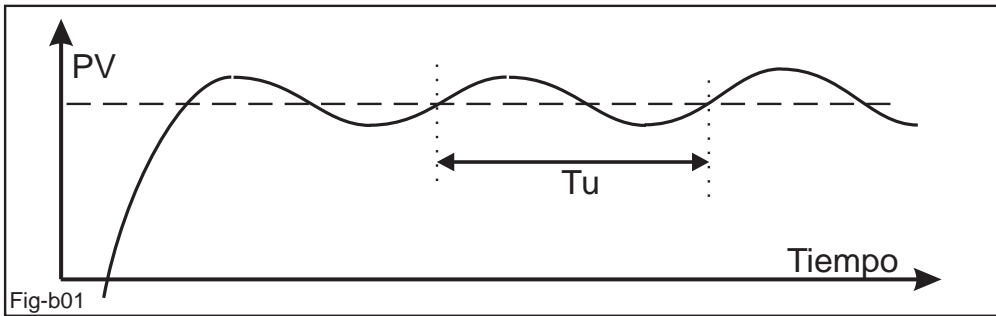
- 1) Un valor razonable del tiempo de ciclo $tc1$, con el que se puede empezar y luego modificar es: $tc1 = 4$ segundos.
Ajuste el valor del Sp a la temperatura de operación. Además coloque en su control los siguientes parámetros:

$Pb = \text{"Prop"} = 10\%$ para empezar.

$I = \text{"Intg"} = 0$

$D = \text{"dEri"} = 0$

- 2) Permita ahora que el sistema funcione por un rato suficiente como para que la temperatura llegue al Sp y exhiba un comportamiento regular, ya sea estable o si no oscilatorio alrededor de Sp . Esto puede tomar en algunos sistemas un largo tiempo.
- 3) Si en este momento la temperatura adquiere un comportamiento oscilatorio regular, aumente Pb al valor inmediatamente superior. Espere un tiempo prudente para ver si persisten las oscilaciones, si ocurren vuelva a aumentar Pb .
Si el sistema se estabilizó en una temperatura constante inferior al Sp , contenida dentro de la banda proporcional y sin oscilar (error estacionario), entonces disminuya de a poco la banda proporcional Pb hasta que empiecen a ocurrir las oscilaciones.
Cada vez que disminuya la banda proporcional, debe esperar un tiempo prudente como para observar si han empezado las oscilaciones.
Llame Pu al valor de la banda proporcional encontrado, en el que el sistema se torna oscilatorio.
- 4) Mida el período Tu de las oscilaciones en segundos que ocurren con este valor Pu .
Se entiende como período el tiempo entre dos máximos o dos mínimos de la temperatura.



- 5) Usando T_u en segundos, los valores sugeridos por Ziegler - Nichols para este sistema serán:

$$P_b = \text{"Prop"} = P_u / 0.6$$

$$I = \text{"Intg"} = 2 * 10000 / T_u$$

$$D = \text{"dEri"} = T_u / 8$$

$$t_c = \text{"tc1"} = T_u / 4$$

Los valores "Prop", "Intg", "dEri", "tc1" son los que deben ser introducidos en el instrumento.

El valor de la constante de integración introducida "Intg" varía de 1 a 800, pero en realidad como el instrumento divide internamente este valor entre 10000, equivale a un rango de 0.0001 ... 0.08 (1/segundos)

Ejemplo en el software VirtualPID:

Ejecute VirtualPID.exe y abra el archivo 10_ZNfrec.sim

En el formulario "Control" introduzca

$$S_p = 80$$

$$P_b = 30\%$$

$$I = 0$$

$$D = 0$$

Reduzca P_b gradualmente hasta que observe las oscilaciones, debiera obtener

$$P_b = P_u = 15\%$$

$$T_u = 16.$$

En el formulario "Tools" introduzca estos valores para calcular los valores óptimos. Le dará como resultado

$P_b = 25\%$
 $I = 1250$
 $D = 2$

Verifique manualmente este resultado

Luego coloque esos valores en el control y verifique el comportamiento ante transientes.

Método de la respuesta al escalón.

La otra forma del método de Ziegler - Nichols consiste en observar la respuesta del sistema a una señal de control Out% (potencia al sistema) en forma de escalón, elaborando un gráfico de la temperatura vs. tiempo.

No es necesario que el escalón en Out sea de 0% a 100%, puede ser en realidad una variación pequeña tal que se aprecie un cambio en Pv (temperatura)

Lo ideal es que el escalón se produzca cerca de la temperatura de operación del horno Sp.

- 1) Para realizar la calibración, debe poder poner su control en modo manual de forma de ajustar manualmente la salida Out.

Antes de hacerlo, hay que determinar la salida Out1 que será la base del escalón, para ello coloque su control en forma Proporcional, ajuste el Sp deseado y estos parámetros

Pb = "Prop" = 20 % para empezar.
I = "Intg" = 0
D = "dEri" = 0

Encuentre un valor cualquiera de Pb donde no oscile Pv y este próximo al Sp
Determine la salida Out del control en ese momento y llámela Out1

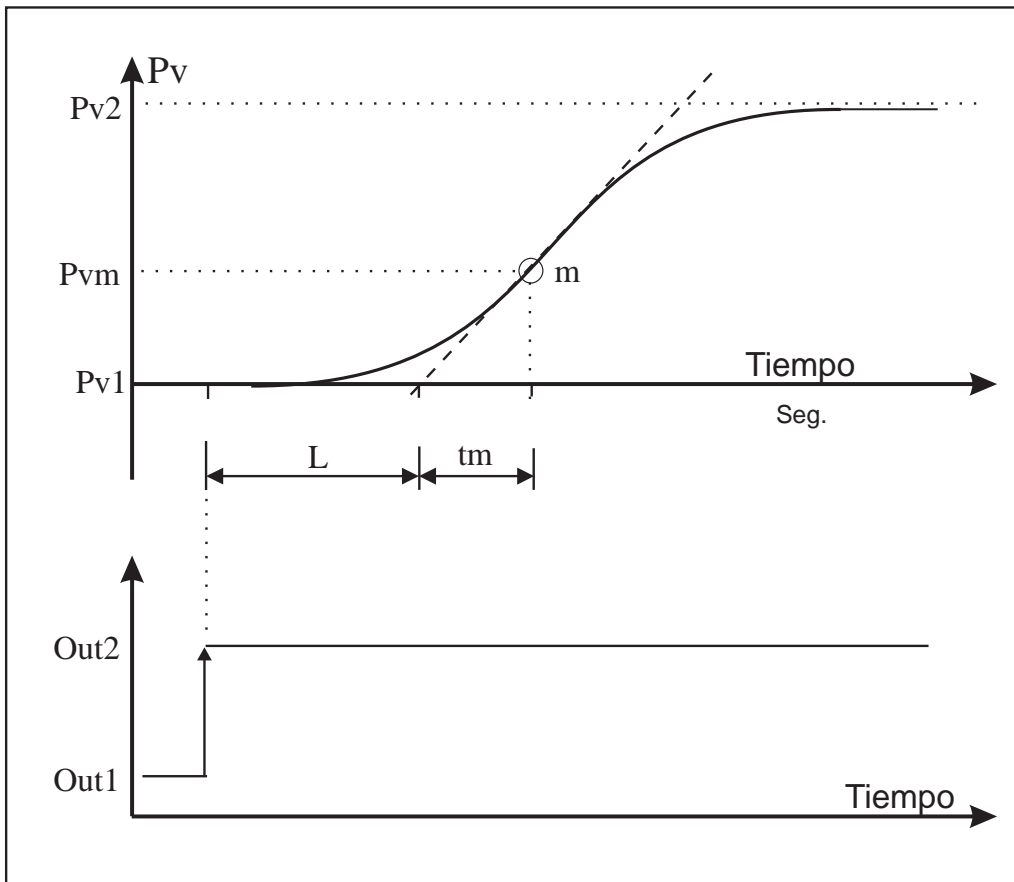
- 2) Ahora coloque el control en modo manual ajustado con la misma salida Out1 y espere hasta que se estabilice.
Estabilizado el sistema, tome nota de la temperatura y llámela Pv1.

- 3) Tome el tiempo y modifique la salida del control a un valor mayor Out2, el que debe ser algo mayor, suficiente para que cambie significativamente la temperatura, pero no demasiado para no salir del rango de operación.

Ahora elabore un gráfico de la temperatura Pv (°C) vs tiempo (seg.) hasta el momento que la temperatura ya no crece con el máximo de velocidad que pudo alcanzar (máxima pendiente m).

Mantenga la salida Out2 del control hasta saber la temperatura final a la que se estabiliza el sistema Pv2.

Se obtendrá de esta forma un gráfico similar al de la figura.



- 3) Determine el punto (m) del gráfico en que la curva obtuvo su mayor pendiente o velocidad de subida. Sean (t_m, P_{vm}) las coordenadas de ese punto.
 Trace ahora una recta tangente al punto (t_m, P_{vm}) y que corte el eje del tiempo en un tiempo L.

El valor L es un retardo característico del sistema llamado “tiempo muerto”.

Además calcule los siguientes parámetros:

$$K_p = \frac{(P_{v2} - P_{v1})}{(Out2 - Out1)} \cdot 100\%$$

$$m = \frac{(P_{vm} - P_{v1})}{t_m} \cdot \frac{100\%}{(Out2 - Out1)}$$

Donde Out2 y Out1 están en (%), P_{v2} y P_{v1} en (C) y t_m esta en segundos.

- 5) Los parámetros óptimos por Ziegler - Nichols en este método son los siguientes:

$$Pb = "ProP" = 1.2 * m * L * 100\% / Sp$$

$$D = "dEri" = L / 2$$

$$I = "Intg" = 0.5 * 10000 / L$$

$$tc = "tc1" = L / 2$$

Ejemplo en el software VirtualPID:

Ejecute VirtualPID.exe y abra el archivo 11_ZNstep.sim

En el formulario "Control" introduzca

$$Sp = 80$$

$$Pb = 30\%$$

$$I = 0$$

$$D = 0$$

Espere a que el sistema estabilice y anote los valores obtenidos:

$$Pv1 = 74.744C$$

$$Out1 = 21.897\%$$

Ahora detenga la simulación, coloque el control en modo manual y

$$Output\% = 30\%$$

Active la simulación un momento hasta observar la máxima pendiente de crecimiento y detenga la simulación

En el grafico cambie la escala a 2seg/div, y retroceda en el tiempo para encontrar :

$$L = 4$$

$$m = \frac{(Pvm - Pv1)}{tm} \cdot \frac{100\%}{(Out2 - Out1)} = \frac{(80.32 - 74.74)}{16} \cdot \frac{100\%}{(30\% - 21.897\%)} = 4.29$$

Active la simulación, pase a la escala 200seg/div y espere a que el sistema llegue a la temperatura final, la que será 95C y calcule:

$$K_p = \frac{(P_{v2} - P_{v1})}{(Out2 - Out1)} \cdot 100\% = \frac{(95 - 74.74)}{(30 - 21.897)} \cdot 100\% = 250$$

En el formulario "Tools" introduzca estos los valores

$$Sp = 80$$

$$L = 4$$

$$m = 4.29$$

$$K_p = 250$$

En el control, retire el modo manual, introduzca las distintas combinaciones de parámetros PID., en cada caso compare la respuesta ante transientes del sistema.

Finalmente podrá comprobar que en este caso el mejor conjunto de parámetros lo da las formulas de Ziegler-Nichols para el metodo de frecuencia.

Los parámetros obtenidos por el metodo del escalon tienden a ser mas inestables.

Fórmulas de Astron y Hagglund

Estas formulas son mas complejas y se presentan en la Nota técnica 11. Solo hemos encontrado que dan mejores resultados que las de Ziegler-Nichols en sistemas donde el tiempo muerto L es relativamente grande, comparado con T, el tiempo característico del sistema

$$T = K_p / m \quad (K_p, L, m \text{ obtenidos por método del Escalón})$$

Las formulas se presentan para los métodos del escalón y de frecuencia pero siempre habrá que realizar el experimento del escalón, pues las formulas del método de frecuencia requieren el parámetro K_p

En la Nota técnica 11, los resultados de las formulas entregan los valores óptimos K, T_i, T_d para la ecuación PID “de libro”

$$U(t) = K \cdot \left(E(t) + \frac{1}{T_i} \int E dt + T_d \frac{dE}{dt} \right)$$

Pero en los instrumentos Arian, se usa esta ecuación:

$$U(t) = 100\% \cdot \frac{1}{[Sp] \cdot \frac{[Pb]}{100\%}} \cdot \left(E(t) + \frac{[I]}{10^4} \int E dt + [D] \frac{dE}{dt} \right)$$

Por lo tanto deberá usar estas conversiones para obtener los valores finales

$$Pb = \frac{100\%}{[Sp] \cdot K}$$

$$I = \frac{10^4}{T_i}$$

$$D = T_d$$

Ejemplo en el software VirtualPID:

Ejecute VirtualPID.exe y abra el archivo 12_AH.sim

En este caso el sistema es el mismo de los ejemplos anteriores al que se le aumento el tiempo muerto a 40seg.

Realice los experimentos para los metodos de frecuencia y escalon de la misma forma que antes. Encontrara:

$$L = 40$$

$$m = 4.29$$

$$K_p = 250$$

$$P_u = 115\%$$

$$T_u = 105$$

Use estos valores para encontrar los parámetros PID para cada caso. Colóquelos en el control y compare respuesta ante transientes.

En este caso comprobará que el mejor conjunto de parámetros lo da las formulas de Astron-Hagglund (caso $M_s=2$)

Esto era de esperar, pues este es un sistema con tiempo muerto relativamente grande comparado con T

$$L = 40$$

$$T = K_p/m = 58$$

Referencias:

Ziegler J.G. and N.B. Nichols (1942). Optimum settings for automatic controllers. Trans. ASME, 64, Pag. 759-768

K.J. Astrom et al., Automatica, Vol 28, No 1, página 4, 1992.

PID Controllers by Karl J. Astrom and Tore Hagglund, Instrument Society of America 1995, ISBN 1-55617-516-7.

Notas técnicas:

Disponibles en <http://www.arian.cl/espanol/support.htm>

Cuando y en que aplicaciones usar termocuplas J, K ó PT100.

Que són y como funcionan las termocuplas.

Tablas de termocuplas J, K, T, R, S, B y PT100.

PT100, su operación y cuidados en su instalación.

El control PID, que es y como funciona.

Como sintonizar un control PID, teoría y práctica.

Guia rápida para sintonización de lazos PID.