

CONSIDERACIONES PRACTICAS EN EL DISEÑO DE REGULADORES PID

*S. Dormido**

*F. Morilla**

*M^a A. Canto**

*J. Aranda**

*J. L. Fdez. Marrón**

1. INTRODUCCION

El algoritmo PID clásico tiene la siguiente forma:

$$u(t) = K \left\{ e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right\} \quad (1)$$

donde:

$u(t)$ es la acción de control o variable manipulada en el instante t

$e(t)$ es el error o desviación entre el punto de consigna y la variable medida

K es la ganancia del regulador

T_i es el tiempo integral

T_d es el tiempo derivativo

Los actuadores y los dispositivos de medida prácticos tienen límites sobre el conjunto de valores permitidos y con frecuencia las variables correspondientes están escaladas en el rango 0-100 %. Por ejemplo una válvula que modula un caudal tiene un valor nominal del 0 % cuando está cerrada y del 100 % cuando está completamente abierta. Los límites generalmente corresponden a 3-15 p. sig. para los sistemas neumáticos ó 4-20 mA para los actuadores o transductores eléctricos, siendo estos valores standard en la industria. El escalado de las variables de esta forma presenta algunas ventajas: es más facil escoger un valor adecuado para la ganancia K , se puede diseñar el algoritmo PID de manera que tenga buenas pro-

* Dpto. de Informática y Automática. Facultad de Ciencias. UNED.

iedades numéricas y en general los instrumentistas encuentran mucho más comprensible las variables visualizadas.

Teniendo en cuenta estos límites, los ingenieros químicos a menudo utilizan el término «Banda Proporcional (BP)» para referirse a $1/K$, de manera que un 100 % de BP da lugar a un 100 % de acción de control cuando existe un error del 100 % y un 50 % de BP origina una acción del 100 % si el error es del 50 %, etc. El tiempo integral T_i algunas veces se llama el «tiempo de reset» y se corresponde con el tiempo en el que la componente integral de $u(t)$ alcanza el 100 % para un error constante del 100 %.

2. CUESTIONES A CONSIDERAR EN EL DISEÑO DE REGULADORES PID

Cuando se va a aplicar un regulador PID a un proceso industrial existen algunas cuestiones importantes que deben resolverse:

a) *Elección de una forma «incremental» o «posicional»*: Esto depende del tipo de actuador utilizado. La forma incremental se obtiene calculando las diferencias de las salidas del regulador $\Delta u(t)$ y sumando estos incrementos. En el caso de una versión de tipo analógico se determina la derivada de la salida y posteriormente la integración se efectúa externamente al regulador. Por ejemplo, una válvula que se posiciona mediante un motor paso a paso cambia su apertura de acuerdo con el número de pasos demandados. Para procesos no críticos esto aumenta su disponibilidad ya que si por cualquier causa el regulador falla significa que el vástago de la válvula mantiene su última posición y por lo tanto permite que la planta permanezca en operación. Esto es por supuesto dependiente del tipo de planta. En general un mal funcionamiento del regulador debería originar ó una apertura o un cierre total de la válvula de acuerdo con determinados requisitos de seguridad previamente fijados.

Una ventaja adicional con los reguladores digitales que utilizan algoritmos incrementales es que la mayor parte de los cálculos se pueden hacer usando solamente incrementos y de esta forma en el computador se puede trabajar con longitudes de palabra pequeñas. Únicamente en la etapa final al sumar los incrementos es cuando se necesita trabajar con mayor precisión (longitud de palabra más grande). En los algoritmos posicionales la salida $u(t)$ que da el regulador representa de forma absoluta el valor que se desea que tome el actuador.

b) *Capacidad de transferencia suave (bumpless) en la conmutación entre los modos manual y automático del regulador*. La ecuación (1) describe como funciona un regulador PID ideal durante su *modo automático* de operación. Sin embargo, en ciertas situaciones el operador de planta

puede desear inhibir el modo automático y ajustar la salida del regulador manualmente. Este *modo manual* de operación es muy útil durante el arranque o parada de la planta o en situaciones de emergencia.

Los reguladores convencionales tienen un conmutador manual/automático que se utiliza para transferir al regulador del modo automático al manual y viceversa. No obstante, la salida del regulador puede cambiar de forma abrupta durante dicha transferencia y provocar saltos no deseados en el valor de la variable controlada. Los reguladores actuales en su gran mayoría permiten que estas transferencias sean suaves (*bumpless*) no perturbando así a la salida del proceso. La forma de obtener estas transferencias suaves en los reguladores comerciales es el objeto del siguiente apartado.

Un regulador puede dejarse en manual durante largos períodos de tiempo (incluso indefinidamente) si el operador no está satisfecho con el funcionamiento del sistema de control. En consecuencia, si un porcentaje significativo de los reguladores en una sala de control están operando en modo manual, esto es una indicación de que el sistema de control automático no está funcionando bien o que los operadores de planta no tienen mucha confianza en su utilización.

c) *Acondicionamiento y filtrado de la variable medida.* Por ejemplo un transductor de caudal del tipo presión diferencial da una señal proporcional al (caudal)², al que se necesitaría extraer la raíz cuadrada para mantener la linealidad del lazo.

Análogamente el calentamiento eléctrico en el cual el calor generado depende de u^2 podría necesitar de linealización a su salida. Dentro de este contexto también habría que considerar el filtrado de la acción derivativa y del ruido que actúa sobre el sistema.

En principio la ganancia de la respuesta en frecuencia del término derivativo crece sin acotación cuando la frecuencia aumenta. Sin embargo fuera del ancho de banda normal de la planta, la componente principal de la salida es simplemente el ruido de medida o del proceso. Por lo tanto y de forma genérica se debería establecer alguna restricción sobre la ganancia derivativa (típicamente se suele utilizar un factor de 10). Esto se puede conseguir mediante un filtro derivativo de la forma:

$$d(s) = \frac{sT_d}{1 + \alpha sT_d} y(s); \quad \text{donde } \alpha = 0.1 \quad (2)$$

En el caso de los reguladores digitales para evitar que ruido de planta o de medida de frecuencia superior a la de Nyquist (w_n) sean enmascarados por el propio proceso de muestreo se debería utilizar antes del muestreador un filtro analógico externo (filtro anti-aliasing). Si este es un simple filtro RC de primer orden, la constante de tiempo apropiada es de $1/w_n = T/\pi$.

d) *Limitación sobre la señal de salida y su velocidad de cambio.* Los actuadores tienen límites de amplitud inherentes y para modelarlos se necesita un módulo que sature a una señal.

Algunas veces se requiere el poder asegurar que la señal de control no cambia demasiado rápidamente (por ejemplo en el arranque de un proceso por lotes). Esto se puede asegurar utilizando un módulo que limite la señal de salida y su velocidad de cambio tal como se observa en la figura 1. El módulo tiene una entrada y una salida y cuatro parámetros:

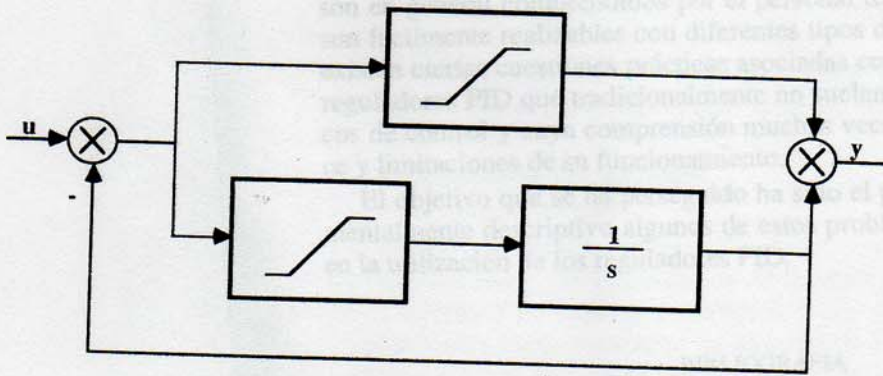


FIG. 1. Módulo para limitar la señal de salida y su velocidad de cambio.

e) *Utilización de puntos de consigna «locales» (internos) o «remotos».* Si por ejemplo el regulador es parte del bucle interno en una configuración en cascada su punto de consigna estará fijado por el bucle externo en lugar de por el operador.

f) *Supresión del salto brusco en la acción derivativa y proporcional.* Cuando se producen variaciones tipo salto de posición en el punto de consigna, la acción derivativa provoca cambios bruscos en la salida del regulador. Para evitar estas transiciones abruptas es conveniente que el término derivativo opere sólo sobre la variable controlada y no sobre la señal de error.

Análogamente y tal como sugiere Åstrom, presenta ciertas ventajas modificar el término proporcional a $P = K(b \cdot SP - VC)$ donde b es una constante menor que 1. Esta modificación se puede utilizar para reducir la sobreelongación a saltos de posición en el punto de consigna SP .

g) *Introducción de señales «feedforward» en el regulador.* Resulta particularmente conveniente que el regulador PID posea entradas adicionales

que le permitan efectuar adicionalmente estrategias de control anticipativo (feedforward), así como de la dinámica permitida en este tipo de compensación (p.ej. P+D).

h) *Eliminación de la saturación del término integral (windup)*. Si, típicamente durante el arranque, la señal de error es grande durante un largo período de tiempo, entonces su integral crece también de forma excesiva. Incluso cuando la variable controlada ha alcanzado el valor del punto de consigna, la acción de control puede permanecer saturada hasta que el término integral disminuye convenientemente su valor.

Este fenómeno que se conoce como windup tiene como efecto más significativo la producción de sobreelongaciones excesivas. Para reducir su importancia el regulador debe incorporar algún mecanismo de desaturación del término integral. En esencia las estrategias consisten en limitar de alguna forma el crecimiento del término integral.

3. CONCLUSION

El regulador PID sigue siendo en la actualidad uno de los elementos más utilizados en el Control de Procesos a pesar del tiempo transcurrido desde su introducción. Esta gran longevidad del regulador PID se debe fundamentalmente a que da resultados satisfactorios para una gran diversidad de procesos. También hay que considerar que sus principios básicos son en general comprendidos por el personal técnico de las plantas y que son fácilmente realizables con diferentes tipos de tecnología. Sin embargo existen ciertas cuestiones prácticas asociadas con el funcionamiento de los reguladores PID que tradicionalmente no suelen exponerse en cursos básicos de control y cuya comprensión muchas veces puede explicar el alcance y limitaciones de su funcionamiento.

El objetivo que se ha perseguido ha sido el presentar a un nivel fundamentalmente descriptivo algunos de estos problemas prácticos que surgen en la utilización de los reguladores PID.

BIBLIOGRAFIA

- Åstrom, K. J. y Wittenmark, B.: *Computer-Controlled Systems*, 2nd Edition. Prentice Hall 1990.
- Åstrom, K. J. y Hagglund, T.: *Automatic Tuning of PID Controllers*, Instrument Society of America 1988.
- Luyben, W. L.: *Process Modeling, Simulation and Control*, 2nd Edition McGraw-Hill 1989.
- Seborg, F. G., Edgar, T. y Mellichamp, D.: *Process Dynamics and Control*, John Wiley Sons 1989.
- Shinsky, F. G.: *Process Control Systems*, 3rd Edition McGraw-Hill 1988.