Gabriela  Pasquini, Laboratorio 4

**Lazes de control PID**

**Lazo de control:**

En gran parte de procesos industriales, técnicos y científicos se usan lazos para controlar una determinada variable de un sistema. Esta variable puede ser la posición de un actuador (por ejemplo un piezoeléctrico), la temperatura, la presión, etc. En general son procesos en los que esa variable no se puede controlar en forma directa, sino a través de una señal de control. Los lazos de control se basan en general en algún algoritmo realimentado, que permite sintonizar adecuadamente una *variable de  entrada* o *señal de control* para que la *señal de salida* coincida con un valor deseado de *referencia*, llamado genéricamente en inglés *setpoint*.  Por ejemplo, en que deseemos controlar la posición de una punta en escalas submicrométrica mediante actuadores piezoeléctricos, la variable de control puedes ser la tensión aplicada. En el caso del control térmico, la variable de control puede ser  la potencia suministrada al sistema, o una válvula de entrada de gas a una determinada temperatura.

Estos algoritmos se basan en muchos casos en medir el *error = setpoint- variable de salida*, y corregir la *señal de entrada o de control* de forma de minimizar el *error* en función del tiempo, llevándolo a un valor *cercano a cero*. En cada proceso, el programador tiene que usar un criterio propio para definir que error es aceptado como *cercano a cero*, si el proceso admite sobrepasar el valor deseado (overshooting), la velocidad en la que es necesario converger, etc.

**Lazos de control PID:**

Dentro de los distintos mecanismos de control, los más sencillos de implementar y por lo tanto ampliamente utilizados, son los lazos PID (Proporcional Integral Derivativo).

Un esquema de un sistema general de lazo de control se muestra en la Figura 1:

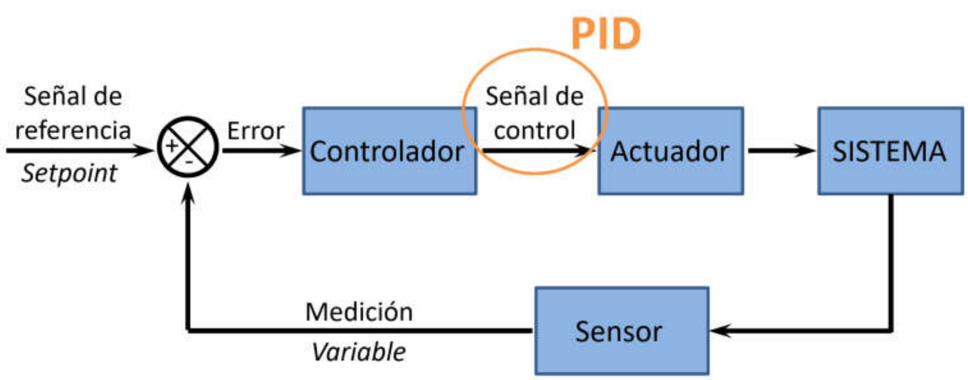


Figura 1: Esquema de un proceso de control de la variable mediante un lazo de realimentación (obtenida de Ref. [4]).

La *variable* es una propiedad del sistema que queremos controlar. No podemos ajustar la variable en forma directa, pero sí podemos conocer su valor tiempo a tiempo, mediante un *sensor*. Por ejemplo, podemos registrar la temperatura mediante un termómetro.  Para fijar ideas, en lo que sigue usaremos ese ejemplo, pero recuerden que este tipo de control es extensible a una amplia gama de procesos de control.

La referencia o *setpoint* es el valor al que queremos llevar esa variable. Puede ser independiente de t (en nuestro ejemplo, una temperatura a la cual se quiere estabilizar el sistema) o puede depender del tiempo (en el ejemplo, una rampa controlada en temperatura con la que se desea enfriar o calentar un sistema).

El Error *e(t) = setpoint (t)- variable (t).*

La *señal de control u(t)* ajusta una propiedad que SI podemos controlar en forma directa y que hace de *actuador*, ya que puede modificar la *variable*. La definición de la *señal de control* no es univoca. En nuestro caso testigo, el actuador podría ser la potencia entregada por un calefactor en contacto con el termómetro. La señal *u(t*) podría ser proporcional a esa potencia al tiempo t. También podríamos elegir definirla como proporcional a la variación de la potencia entre (t-$\Delta$t) y t.

El *controlador* PID define la señal *u(t)* aplicando un algoritmo a *e(t).*

El algoritmo PID consta de 3 términos:

1. Termino proporcional: $u(t) = K_P.e(t)$

Incrementa la *variable de control* proporcionalmente al error.

Dependiendo de la elección de esa variable, el control tomara un valor nulo o distinto de cero en el estacionario. En el ejemplo anterior, si *u(t)* fuera proporcional a la potencia del calefactor, no puede tomar un valor nulo en el estacionario.

Un valor alto de $K_p$ mejora la velocidad de respuesta del sistema, pero provoca oscilaciones.

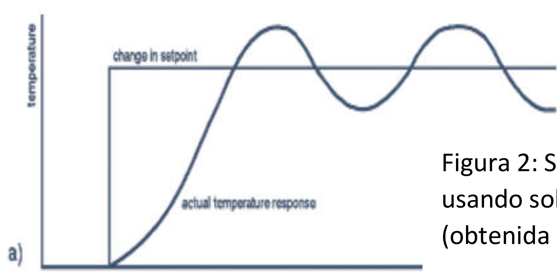


Figura 2: Señal en función del tiempo obtenida usando solo un proporcional con $K_P$ muy alto (obtenida de Ref. [3]).

Un valor bajo de $K_p$ disminuye la velocidad de respuesta del sistema, y da un estacionario sin oscilaciones pero muy alejado del valor deseado.


Figura 3: Señal en función del tiempo obtenida usando solo un proporcional con $K_P$ muy bajo (obtenida de Ref. [3]).

En el estacionario el valor $u_{est} = K_p\ e_{est}$ es el necesario para que el sistema estabilice a una temperatura $T$, tal que $e_{est} = T_{set}\text{-}T$

Si en cambio elegimos *u(t)* como proporcional a la variación de potencia, y usamos solo el termino proporcional, en principio podríamos llegar a un estacionario con $u_{est} = 0$, y $e_{est} = 0$. Dependiendo de los tiempos de respuesta característicos del sistema, esta puede ser una solución sencilla, o puede causar un control inestable, con fuertes oscilaciones de la variable alrededor del setpoint.

2. Termino Integral :

Una manera de mejorar la performance del algoritmo, permitiendo acercarse al valor deseado de referencia y disminuir las oscilaciones, es a través de un término que tenga en cuenta la historia del proceso.

$$u(t) = K_P.e(t) + K_I.\int_0^t e(\tau)d\tau \cdot$$

Este término permite que haya una *u(t)* no nula cuando el error *e(t)=0*. De esta manera el sistema se puede acercar mejor al valor de referencia deseado.

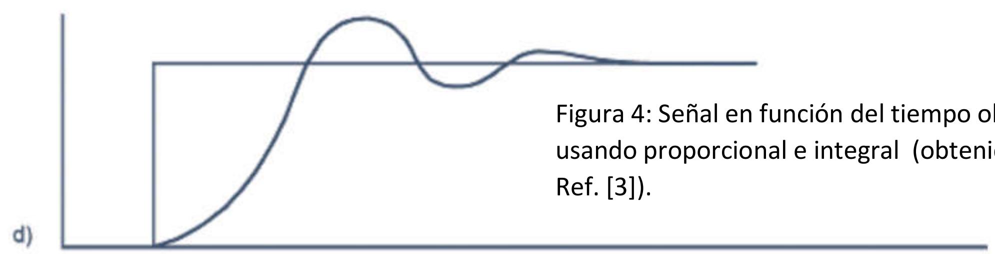


Figura 4: Señal en función del tiempo obtenida usando proporcional e integral (obtenida de Ref. [3]).

3- Termino Derivativo:

Si bien el término integral permite en principio llegar al valor de referencia, el camino puede ser indeseado. En muchos procesos, es importante evitar sobrepasar el valor de referencia. Por ejemplo, si uno desea estudiar qué sucede al enfriar un material, quiere evitar que en algún momento a lo largo del procedimiento el material se caliente. En procesos mecánicos esto puede ser también muy crítico (uno quiere evitar aplastar algo, por ejemplo). El término derivativo tiene en cuenta la derivada instantánea del error, y proporciona una compensación para evitar sobrepasar el valor deseado (o minimizar el sobrepaso).

$$u(t) = K_P.e(t) + K_I.\int_0^t e(\tau)d\tau + K_D.\frac{de(t)}{dt}$$

Sin embargo, un valor demasiado grande de $K_D$ puede provocar el efecto inverso al deseado, volviendo inestable al sistema.

Una característica muy interesante de estos algoritmos es que, por su sencillez, pueden ser implementados con cualquier idioma básico de programación mientras se tenga una interfaz que permita comunicarse con los instrumentos de medición y control. También hay equipos electrónicos que funcionan con algoritmos internos PID llamados *controladores*. Esos equipos suelen tener además algoritmos para optimizar las constantes $K_P$, $K_I$ y $K_D$.

Cómo definir el valor adecuado de las constantes $K_P$, $K_I$ y $K_D$? En la práctica esa es la principal dificultad. Esas constantes dependen de los tiempos de respuesta del sistema. Hay desarrollos teóricos que permiten estimarlas a partir de características del sistema. En nuestro ejemplo térmico, se pueden vincular las ctes con las capacidades caloríficas y las resistencias térmicas. Esto siempre conlleva un modelo simplificado, y esas características no siempre se conocen a priori. En la práctica, las constantes se determinan usando protocolos que permiten optimizarlas a partir de la propia respuesta del sistema.

Algunas referencias sobre el tema:


[1] https://www.mathworks.com/videos/understanding-pid-control-part-1-what-is-pid-control--1527089264373.html

[2] http://www.ni.com/es-cr/innovations/white-papers/06/pid-theory-explained.html

[3] https://www.lakeshore.com/Documents/LSTC_appendixF_l.pdf

[4] http://materias.df.uba.ar/l5a2018c1/files/2018/05/PID_2018.pdf