

EXPERIENCIA 4 CONTROL FRACCIONARIO

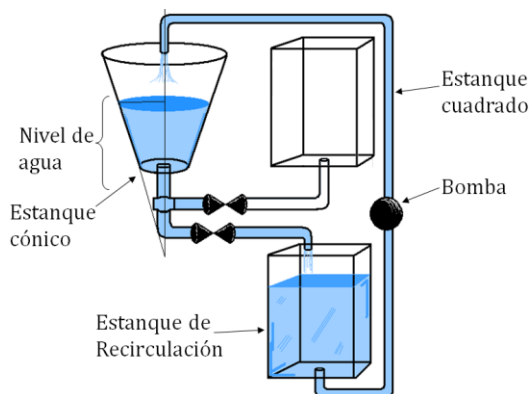
EL5205 Laboratorio de Control Avanzado

Profesores : Manuel Duarte
 : Marcos Orchard
 : Doris Sáez
Auxiliar : Esteban Jofré
Ayudantes : Felipe Guajardo
 Rodrigo Muñoz
 Pablo Saavedra

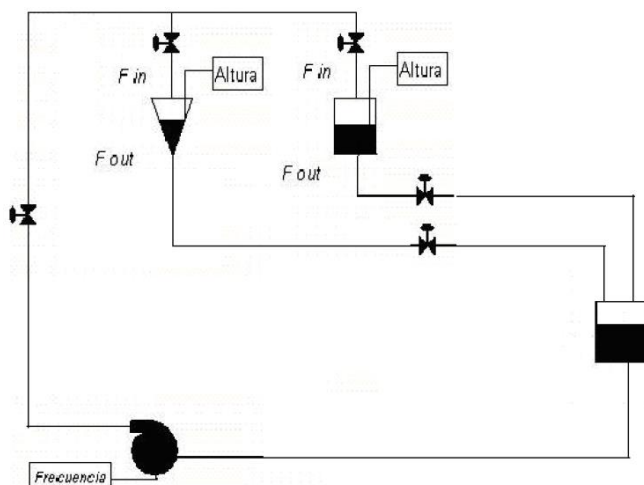
Fecha de entrega del enunciado : 16-11-2016
Fecha de presentaciones : 23-11-2016
Fecha de recepción de informe : 09-12-2016

I Introducción

Los estanques pueden encontrarse en diversas aplicaciones de la industria ya sea para almacenar líquidos, generar mezclas, entre otras. En esta experiencia se trabajará con el estanque cónico del laboratorio de automática. Este sistema hidráulico está compuesto por una bomba, un estanque de recirculación, un estanque cónico y uno cuadrado, tal como se observa en la siguiente ilustración



Por medio de un variador de frecuencia (0-100%) conectado a la bomba, se controla el flujo de entrada al estanque cónico. La llave de salida del estanque cónico se controla manualmente y, para estos efectos, se dejará en los 45°.



Para esta planta hidráulica, se desean encontrar modelos que puedan representar adecuadamente el sistema: estanque de recirculación – bomba - estanque cónico. Para ello, la experiencia contará con dos tipos de modelos: modelo fenomenológico y modelos empíricos lineales.

II Sintonización Empírica

Actividad 1:

A partir de pruebas experimentales se determina una nueva parametrización del volumen [cm^3] de agua en función de la altura:

$$V(h) = 0.21h^3 + 5.7h^2 + 17.1h + 290.7.$$

Con esta nueva función se determinan los valores:

$$c_1 = 5.43, \quad c_2 = -78.23, \quad \beta = 20.21.$$

Derive la nueva ecuación dinámica del nivel de agua e implemente en Simulink teniendo en consideración que:

- $f \in [0, 100]$.
- $F_{in} \geq 0$.

Actividad 2:

Linealice en torno a puntos de operación del sistema.

Actividad 3:

Determinar controladores PI/PID con métodos Z&N de orden entero

- Curva de Reacción
- Límite de Estabilidad

Actividad 4:

Determinar controladores PI/PID de orden fraccionario (PIOF/PIDOF) con métodos Z&N de orden fraccionario

- Curva de Reacción
- Límite de Estabilidad

Actividad 5:

Pruebe mediante simulaciones los controladores obtenidos utilizando una señal de referencia del tipo

$$r(t) = \begin{cases} 22.5 & 0 \leq t \leq 400 \\ 37.5 & 400 < t \leq 800 \\ 52.5 & 800 < t \leq 1200 \\ 37.5 & 1200 < t \leq 1600 \\ 22.5 & 1600 < t \leq 2000 \\ 15 & 2000 < t \leq 2400 \end{cases}$$

Analice los resultados contemplando el valor obtenido de los parámetros de los controladores.

III Sintonización en Frecuencia

Una de las principales dificultades que presenta la aplicación de esquemas de control fraccionario están asociadas a los métodos de sintonización; particularmente, la compleja definición de los operadores fraccionarios en el espacio del tiempo no permite operar matemáticamente de forma tradicional. Sin embargo, en el espacio de la frecuencia, las expresiones con órdenes fraccionarios tienen una representación que permite operar de manera usual.

En este sentido, se pueden utilizar herramientas asociadas a sintonización en el espacio de la frecuencia para definir los parámetros de controladores fraccionarios. Considerando un controlador $C(s)$ y una planta denotada por $G(s)$ un cierto comportamiento dinámico de un lazo cerrado de control se puede garantizar bajo el cumplimiento de las siguientes condiciones:

1. El lazo abierto del sistema tiene una cierta frecuencia de corte ω_{cg} si se cumple:

$$|C(\omega_{cg})G(\omega_{cg})| = 1$$

2. El margen de fase φ_m tiene un valor específico si:

$$\angle[C(\omega_{cg})G(\omega_{cg})] = -\pi + \varphi_m$$

3. El sistema es robusto frente al ruido de alta frecuencia si se cumple que, para una cierta alta frecuencia ω_h , la magnitud del lazo cerrado es menor a un cierto valor H :

$$\left| \frac{C(\omega_h)G(\omega_h)}{1 + C(\omega_h)G(\omega_h)} \right| < H$$

4. El sistema elimina perturbaciones a la salida si la función de sensibilidad tiene una magnitud menor que cierto valor N para una baja frecuencia ω_l :

$$\left| \frac{1}{1 + C(\omega_l)G(\omega_l)} \right| < N$$

5. Para que el sistema sea robusto a variaciones paramétricas, la fase del lazo abierto debe ser aproximadamente constante en una vecindad de la frecuencia de corte ω_{cg} :

$$\frac{d}{d\omega} \angle[C(\omega)G(\omega)] \Big|_{\omega=\omega_{cg}} = 0$$

Actividad 1:

Encuentre una expresión general para un controlador PID de orden fraccionario en el espacio de la frecuencia $C(j\omega)$. Además, plantee un problema de optimización general que incluya cada una de las condiciones planteadas, ya sea como función objetivo o restricción.

Actividad 2:

Realice una linealización del sistema en torno a un punto medio de operación. Escoja un set de especificaciones $\omega_{cg}, \varphi_m, \omega_h, H, \omega_l, N$ que garantice cierto comportamiento de control y justifique su respuesta.

Actividad 3:

Considerando el problema de optimización construido a partir de las condiciones, determine los parámetros de controladores PI/PID tanto de orden entero como fraccionario. Analice el cumplimiento de las restricciones y el valor de la función objetivo en cada caso.

NOTA: El problema de optimización se plantea ante la dificultad de encontrar una solución algebraica a un sistema de ecuaciones basado en las condiciones, por lo que considere convenientemente cuantas restricciones incluir según la cantidad de parámetros a sintonizar en cada caso de controlador.

HINT: *fmincon*.

Actividad 4:

Someta a prueba mediante simulaciones a los controladores sintonizados considerando la señal de referencia $r(t)$. Analice el comportamiento en cada caso: evalúe el cumplimiento de las condiciones en que se basa la sintonización, verifique el cumplimiento del set de especificaciones de control definido.

IV Sintonización PSO

Hasta el momento se han aplicado técnicas de sintonización de controladores que consideran ciertas aproximaciones sobre el sistema no lineal, ya sea a través de linealizaciones en torno a puntos de operación o aproximaciones de respuesta dinámica del sistema. En este caso se propone una estrategia de sintonización basado en un método de optimización meta-heurístico denominado Optimización por Enjambre de Partículas (PSO por su acrónimo en inglés de Particle Swarm Optimization); con esto, se busca determinar los parámetros de controladores de forma directa del modelo no lineal desarrollado, sin incurrir en aproximaciones. La idea de utilizar este método de optimización consiste en que cada uno de los controladores determinados sea capaz de minimizar un cierto índice de desempeño (o función objetivo) que sea representativo de un control de nivel en cualquier condición de operación; es decir, para cualquier rango de nivel con escalones tanto de subida como de bajada. En función de lo anterior, se propone que la función objetivo del algoritmo esté definida de la forma:

$$J = \text{IAE}(h)$$

con esto, se busca que el seguimiento de referencia sea lo más preciso posible según las características del sistema y las limitaciones dinámicas propias de cada esquema de control.

La metodología a emplear consiste en que cada partícula del enjambre represente una combinación de parámetros del controlador; dependiendo del caso la dimensionalidad de éstas varía: desde 2 en el caso del controlador PI hasta 5 en el caso del controlador PIDOF. Luego, cada una de las partículas se prueba mediante simulación en un lazo cerrado de control

Actividad 1:

Diseñe una señal de referencia que permita garantizar un resultado de control preciso para cualquier punto de operación del sistema no lineal. Considere escalones de subida y de bajada en todo el rango de operación de la planta.

Actividad 2:

Encuentre los controladores PI/PID de orden entero y fraccionario mediante la optimización por PSO de la función objetivo con respecto a la referencia diseñada,

considerando 30 partículas, 50 iteraciones y los rangos iniciales de los parámetros que mostrados en la siguiente tabla:

Kp	Ki	λ	Kd	μ
[50-100]	[0-5]	[0.75-1]	[0-5]	[0-0.25]

Actividad 3:

Pruebe mediante simulaciones los controladores obtenidos utilizando una señal de referencia $r(t)$. Discuta con respecto los valores de los parámetros obtenidos y a su desempeño.

IV Implementación

Actividad 1:

Probar controladores en planta utilizando como referencia $r_2(t)$. Establecer un índice de desempeño. Analizar comportamiento del sistema tanto en carga como descarga. Analizar comportamiento de variable manipulada. Discutir si es posible mejorar los resultados de control en función del criterio de desempeño establecido.

$$r_2(t) = \begin{cases} 22.5 & 0 \leq t \leq 300 \\ 45 & 300 < t \leq 600 \\ 37.5 & 600 < t \leq 900 \\ 52.5 & 900 < t \leq 1200 \end{cases}$$