
Comparación entre diferentes procedimientos de ajuste de controladores PID. II. Márgenes de ganancia y de fase y comportamiento como regulador

**Eduard Barberà, IQS School of Engineering, Universitat Ramon Llull
Via Augusta 390, 08017-Barcelona, Spain**

*Comparison between different tuning methods of PID controllers. II.
Gain and phase margins and behavior as regulator*

*Comparació entre diferents procediments d'ajust de controladors PID.
II. Marges de guany i fase i comportament com a regulador*

Recibido: 30 de abril de 2013; revisado: 17 de octubre de 2013; aceptado: 22 de octubre de 2013

RESUMEN

La doble normalización (ganancia y tiempo) de los procesos de primer orden con tiempo muerto (First Order Plus Dead Time, FOPDT) permite el análisis sistemático de la respuesta dinámica de los sistemas controlados, por lo que se presenta un ejercicio de comparación entre diferentes métodos de ajuste de controladores.

En este artículo la comparación se basa en el análisis de los márgenes de ganancia y de fase y en su comportamiento como regulador.

Palabras Clave: PI, PID, ajuste, margen de fase, margen de ganancia, regulador

SUMMARY

The double normalization (gain and time) of the processes of first order with dead time (First Order Plus Dead Time, FOPDT) allows the systematic analysis of the dynamic answer of the controlled systems, this is the reason to present an exercise of comparison between different methods of controller tuning.

On this article the comparison is based on the analysis of the gain and phase margins and its behavior like regulator.

Key words: PI, PID, tuning rule, phase margin, gain margin, regulator

RESUM

La doble normalització (guany i temps) dels processos de primer ordre amb temps morts (First Order Plus Time Delay, FOPDT) permet l'anàlisi sistemàtica de la resposta dinàmica dels sistemes de control, així que es presenta un exercici de comparació entre diferents mètodes d'ajust dels controladors.

En aquest article, la comparació es basa en l'anàlisi dels marges de guany i de fase i en el seu comportament com a regulador.

Paraules clau: PI, PID, ajustament, marge de guany, marge de fase, regulador

1. - INTRODUCCIÓN

En este trabajo, se han escogido como parámetros de comparación entre diferentes métodos de ajuste de controladores, los márgenes de ganancia y de fase que informan de la estabilidad del sistema siempre que éste sea de fase mínima.

Por otra parte, un controlador correctamente diseñado para cambios de punto de consigna, es decir, para funcionar como servomecanismo, no tiene por qué dar buenos resultados frente a las perturbaciones que pueda sufrir el proceso, es decir, comportándose como regulador. En consecuencia, se pretende contrastar los resultados como reguladores de los procedimientos de ajuste tratados.

Se ha elegido trabajar con un modelo de primer orden con tiempo muerto (FOPDT) porque además de ser un proceso muy común, constituye una aproximación suficientemente correcta para finalidades de control en un elevado número de casos.

2. - COMPARACIÓN ENTRE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE AJUSTE: MÁRGENES DE GANANCIA Y DE FASE

En sistemas de fase mínima, aquéllos que no tienen ni ceros ni polos de lazo abierto con parte real positiva, los valores de los márgenes de ganancia y de fase se consideran una medida de la estabilidad y de la bondad del diseño del sistema.

Se han evaluado ambos márgenes para los sistemas de control resultantes de la optimización del CEAIT, se comprueba que los sistemas optimizados tienen márgenes de fase próximos a $60^\circ - 70^\circ$ y márgenes de ganancia entre 6 y 10 dB.

Los valores de los procesos optimizados se han comparado con los obtenidos con algunos de los procedimientos habituales de ajuste de controladores (1 - 7), pero únicamente se presentan los resultados obtenidos con el segundo procedimiento de Chien (2) y con el del autor (6, 7), puesto que el resto de procedimientos conducen a resultados que se separan mucho de los valores correspondientes a los sistemas con controladores PI o PID optimizados según el criterio CEAIT (6, 7).

- Chien et al. Sobreimpulso del 20%

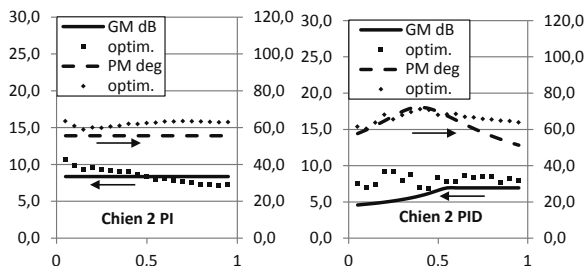


Figura 1.- Márgenes de ganancia (eje izquierdo) y de fase (eje derecho) en función del tiempo muerto normalizado para los controladores PI y PID ajustados por el método de un sobreimpulso del 20% de Chien et al.

- Barberà

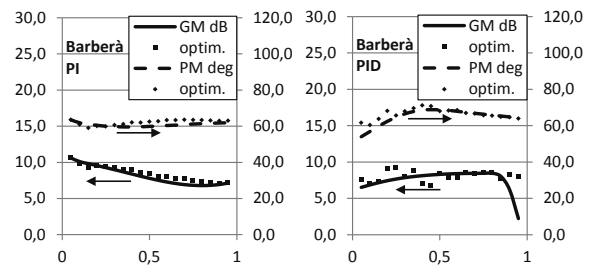


Figura 2.- Márgenes de ganancia (eje izquierdo) y de fase (eje derecho) en función del tiempo muerto normalizado para los controladores PI y PID ajustados por el método del autor

Se comprueba que efectivamente, los dos procedimientos escogidos proporcionan valores de los márgenes de fase y de ganancia cercanos a los correspondientes a los sistemas optimizados, aunque el segundo procedimiento es el que alcanza una mejor aproximación, excepto para el controlador PID cuando el tiempo muerto normalizado se aproxima a la unidad.

3. - COMPARACIÓN ENTRE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE AJUSTE: COMPORTAMIENTO COMO REGULADOR

Dado que un controlador optimizado como servomecanismo no tiene por qué estar optimizado al mismo tiempo como regulador, parece oportuno estudiar el comportamiento como regulador de los controladores ajustados con los procedimientos tratados.

Para poder realizar una comparación ajustada primero se ha procedido a evaluar los parámetros de los controladores PI y PID que optimizan el comportamiento como regulador y el valor del criterio de comportamiento CEAIT alcanzado, utilizando éste último dato como término de comparación.

- Ziegler - Nichols

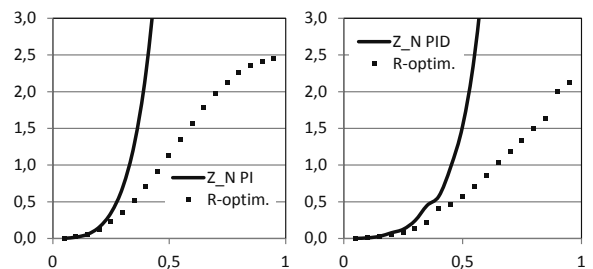


Figura 3.- Valores de CEAIT en función del tiempo muerto normalizado, obtenidos con los controladores PI y PID ajustados por el método de Ziegler y Nichols comparados con los valores optimizados como regulador.

Únicamente para valores muy pequeños de tiempo muerto el comportamiento como regulador es muy aceptable, al aumentar éste el valor del criterio de error se hace extraordinariamente grande, este efecto es mayor en el controlador PI que en el PID.

- Chien et al.

Sin máximo sobreimpulso

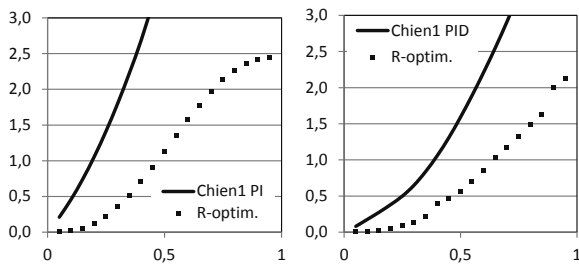


Figura 4.- Valores de CEAIT en función del tiempo muerto normalizado, obtenidos con los controladores PI y PID ajustados por el método de Chien et al. sin sobreimpulso comparados con los valores optimizados como regulador.

Sobreimpulso del 20%

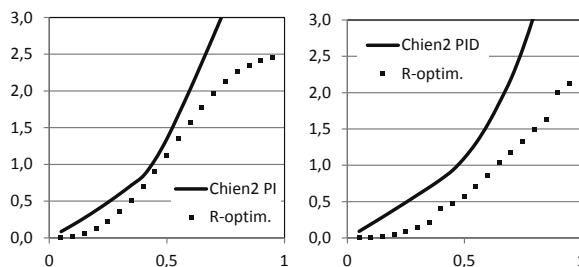


Figura 5.- Valores de CEAIT en función del tiempo muerto normalizado, obtenidos con los controladores PI y PID ajustados por el método de Chien et al. con sobreimpulso del 20% comparados con los valores optimizados como regulador.

Se comprueba un peor funcionamiento como regulador respecto de los controladores ajustados por el procedimiento de Ziegler y Nichols para valores bajos de tiempo normalizado aunque de forma global el comportamiento sea más aceptable.

- Cohen - Coon

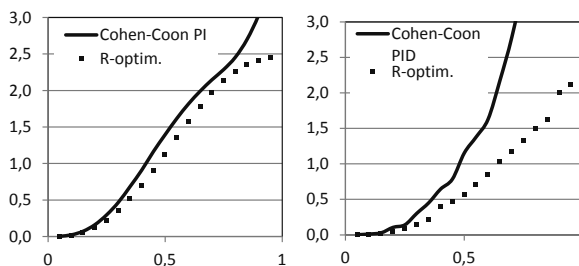


Figura 6.- Valores de CEAIT en función del tiempo muerto normalizado, obtenidos con los controladores PI y PID ajustados por el método de Cohen y Coon comparados con los valores optimizados como regulador.

Un controlador PI ajustado por este método se acerca a los resultados óptimos, aunque en el caso del controlador PID los resultados no son tan satisfactorios.

- Lopez et al.

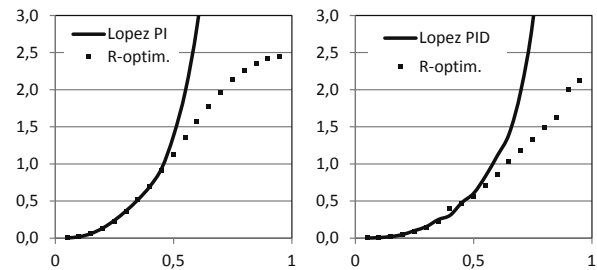


Figura 7.- Valores de CEAIT obtenidos en función del tiempo muerto normalizado, con los controladores PI y PID ajustados por el método de Lopez et al. comparados con los valores optimizados como regulador.

Se puede comprobar fácilmente que el comportamiento de los controladores PI y PID ajustados mediante este procedimiento se ajusta muy bien al óptimo para entradas de perturbación, aunque a partir de un tiempo muerto normalizado de 0.5 se aparta, llegando a valores excesivamente grandes para valores cercanos a la unidad.

- Padma Sree et al.

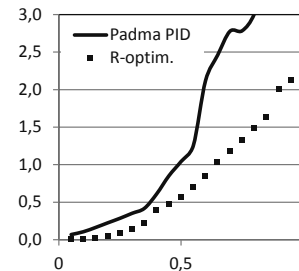


Figura 8.- Valores de CEAIT en función del tiempo muerto normalizado, obtenidos con los controladores PID ajustados por el método de Padma Sree et al. comparados con los valores optimizados como regulador.

- Barberà

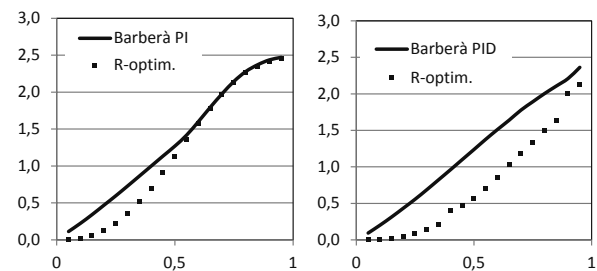


Figura 9.- Valores de CEAIT en función del tiempo muerto normalizado, obtenidos con los controladores PI y PID ajustados por el método del autor comparados con los valores optimizados como regulador.

Aunque este procedimiento es el que conduce a los mejores resultados de CEAIT cuando el controlador se utiliza como servomecanismo (cambios de punto de consigna), su comportamiento, aunque razonable, no se acerca al óptimo al hacer frente a las perturbaciones. Únicamente en el caso del controlador PI y para valores altos de tiempo muerto se aproxima al comportamiento óptimo.

4. – CONCLUSIONES

Con el método de doble normalización se puede explorar de forma muy exhaustiva las cualidades de cualquier procedimiento de ajuste de controladores para procesos de tipo 0, más concretamente, este trabajo se ha limitado a procesos de primer orden con tiempo muerto.

Se han comparado diversos procedimientos, analizando los valores obtenidos de márgenes de ganancia y de fase. Se puede concluir que el procedimiento del autor es el que proporciona los mejores resultados aproximándose a los valores de los márgenes correspondientes a los controladores optimizados para cambios de punto de consigna. Se comprueba que, en general, un controlador optimizado para cambios de punto de consigna no responde de forma óptima frente a entradas de perturbación. No obstante, existen procedimientos de ajuste que se aproximan más en ciertas regiones de los valores de tiempo muerto. Especialmente, los controladores ajustados por el procedimiento de Lopez et al. se aproximan mucho al comportamiento óptimo para valores de tiempo muerto normalizado menores de 0.5.

REFERENCIAS

1. J.G. Ziegler; N.B. Nichols, Optimum settlings for automatic controllers, *ASME Transactions*, **64**, 759-768 (1942)
2. K.L. Chien; J.A. Hrones; J.B. Reswick, On the automatic control of generalized passive systems, *ASME Transactions*, **74**, 175-185 (1952)
3. G.H. Cohen; G.A Coon, Theoretical considerations of retarded control, *ASME Transactions*, **75**, 827-834 (1953)
4. A.M. Lopez; J.A. Miller; C.L. Smith; P.W. Murrill, Tuning controllers with error-integral criteria, *Instrumentation Technology*, 57-62 (1967)
5. R. Padma Sree; M.N. Srinivas; M. Chidambaram, A simple method of tuning PID controllers for stable and unstable FOPTD systems, *Computers and Chemical Engineering*, **28**, 2201-2218 (2004)
6. E. Barberà, First order plus dead-time (FOPDT) processes: A new procedure for tuning PI and PID controllers, 10 Mediterranean Congress of Chemical Engineering, Barcelona, november 15-18 (2005)
7. E. Barberà, Procesos de primer orden con tiempo muerto (FOPDT): Un nuevo procedimiento para el ajuste de controladores PI y PID, *Laboratorios y proyecciones*, (150), 53, marzo-abril (2006)