

COMPARACIÓN DE TÉCNICAS DE SINTONIZACIÓN DE CONTROLADORES MULTILAZO APLICADO A UN GENERADOR DE VAPOR

Yapur Sergio^A

^A *Facultad de Ingeniería y Cs. Hídricas UNL*

Área: Ingeniería

Sub-Área: Otras ingenierías y tecnologías

Grupo: Y

Palabras clave: Secuencial, BLT, H-infinito

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad conviven numerosas técnicas de síntesis de controladores industriales. Este trabajo se avoca a comparar métodos de diseño de controladores en principio disímiles, con el objetivo de identificar virtudes e inconvenientes de cada método y ejemplificar la mejor elección para la planta bajo estudio.

Debido a la hegemonía de los controladores industriales de tipo Proporcional-Integral (PI) en la industria, se tomaron estas estructuras de controladores para todos los métodos de sintonización seleccionados.

II. SISTEMA BAJO ESTUDIO

En este trabajo, se seleccionó el modelo de GV presentado por Tan [10] perteneciente a una estación de co-generación de potencia de la refinería Syncrude Canada Limited (SCL) ubicada en Alberta, Canadá. Este modelo muestra las características típicas de un GV. Entre ellas se destacan su naturaleza multivariable y la presencia de integradores. La característica de ser multivariable afecta sensiblemente el diseño, ya que los acoplamientos entre entradas y salidas requieren, en principio, consideraciones de diseño especiales. Por otro lado, la presencia de integradores dificulta la evaluación de la respuesta dinámica en estado estacionario.

El modelo es representado por una matriz de funciones de transferencia de 3x3. Las variables de entrada son: 1. Caudal de agua de alimentación; 2. Caudal de combustible y 3. Caudal de entrada del atemperador. Las variables de salida son: 1. Nivel del domo; 2. Presión del domo y 3. Temperatura de vapor. En la figura 1 se puede ver un esquema de la interrelación entre estas variables de proceso.

I. ANALISIS PRELIMINAR

Los siguientes apartados resumen la caracterización preliminar de la planta bajo estudio.

Estabilidad: En la planta bajo estudio se encontró que la misma presenta integradores y autovalores imaginarios entre sus elementos.

Fase Mínima: Se detectó que el sistema es de fase no mínima mediante la evaluación de ceros de transmisión a partir de la forma Smith-McMillan con parte real positiva. Esto trae aparejado respuestas dinámicas inversas, que en algunos casos pueden deteriorar fuertemente el desempeño del sistema de control.

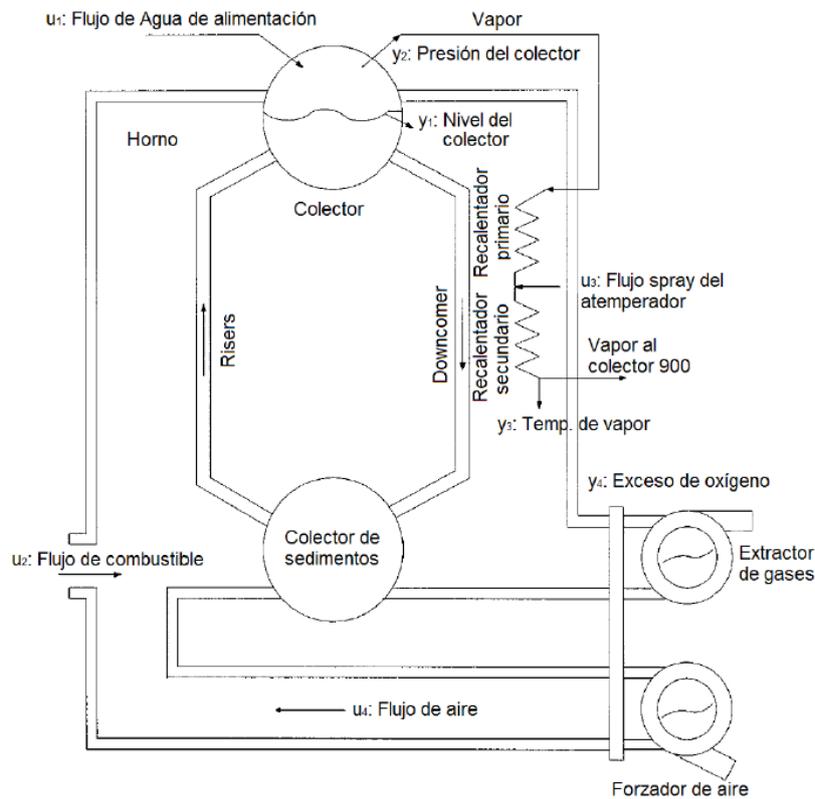


Figura 1: Esquema del GV bajo estudio

Acoplamientos: Resulta de crítica importancia identificar acoplamientos entre entradas y salidas, a fin de seleccionar los canales de control efectivos. Una de las técnicas para ello la constituye el Arreglo de Ganancias Relativas (RGA) propuesto originalmente por Bristol [3]. Sin embargo, la presencia de modos integrales hace impracticable la implementación original. Esto lleva a aplicar una variante algorítmica del método, sugerida por Hu [4]. El método antes enunciado da la siguiente matriz RGA

$$RGA = \begin{bmatrix} 1.2423 & -0.2423 & 0 \\ -0.2987 & 1.2184 & 0.0803 \\ 0.0564 & 0.0239 & 0.9197 \end{bmatrix} \quad (1)$$

A partir de este resultado se determina el apareamiento entre entradas y salidas. Además, no se observan interacciones severas.

Sensibilidad Direccional: La gran diferencia de órdenes de magnitud entre los valores singulares máximos y mínimos en todo el rango de frecuencias de interés, permite concluir que el sistema es fuertemente sensible a la dirección del vector de entradas.

Mal Condicionamiento: Por la sensibilidad direccional antes dicha, se verifica un fuerte mal condicionamiento en todo el rango de frecuencias de interés. Por ello se tomaron las medidas necesarias para mitigar este obstáculo, como usar algoritmos de análisis bien condicionados, validar resultados con otros métodos, preconditionar el sistema, etc.

II. METODOS DE SINTONIZACION

Los siguientes apartados presentan brevemente el marco teórico de los métodos

seleccionados de ajuste.

Ajuste Independiente: este es, tal vez, la aproximación más sencilla al diseño. Según este enfoque, se selecciona una variable de entrada para controlar una variable salida. Luego se cierra el lazo de control para ese par entrada-salida, ajustando el mismo (por lo general de manera heurística) PI hasta obtener la respuesta deseada. Se procede con los otros pares de entrada-salida hasta agotar todas las variables a controlar en el sistema.

Tiene como desventaja que no asegura un buen desempeño del sistema de control, particularmente cuando los acoplamientos entre entradas y salidas son importantes.

Método BLT (Biggest Log Modulus): Constituye una de las técnicas más aceptadas en industria (Adam [1]). Se basa en un ajuste de lazos independiente, posteriormente desajustado según un criterio de estabilidad semiempírico, basado en el logaritmo de la sensibilidad complementaria de una función $W(s)$ especialmente definida [5].

Este método agrega robustez al ajuste inicial, sin embargo, no hay garantía de estabilidad, ya que es un criterio semiempírico. Otra dificultad es que puede dar una respuesta dinámica demasiado lenta.

Ajuste Secuencial: Un primer paso hacia el reconocimiento de la interacción entre lazos lo da el ajuste secuencial. En el mismo, se selecciona un primer par de entrada-salida y se ajusta el lazo cerrado correspondiente a ese par. Luego se selecciona un segundo par de entrada-salida, y se ajusta el lazo de ese par incluyendo el lazo cerrado anteriormente. Se continúa esta lógica de anidamiento de lazos hasta que se recorren todas las variables a controlar.

Control H_∞ Estructurado: Esta teoría fue propuesta por Apkarian [2] como una variante del método general H_∞ . Fue la primera orientada directamente al ajuste de controladores con estructura determinada, como los PID. El algoritmo para resolver este ajuste es más complejo que los anteriores, ya que se busca minimizar un funcional objetivo no suave, no convexo y con discontinuidades. Esta complejidad se transmite al algoritmo de aplicación, por lo que se requiere cierta capacidad computacional, siendo esta tal vez la principal desventaja. Entre las ventajas, se puede decir que los controladores PID son optimizados en lugar de ajustados, un cambio radical con respecto a las técnicas clásicas. Además, el funcional objetivo garantiza que el controlador resultante estabiliza internamente el sistema¹.

III. COMPARACION DE METODOS DE AJUSTE

En la tabla 1 se presenta una comparación de los diseños obtenidos en las secciones anteriores. Para la misma se seleccionaron los índices de desempeño integrales más comunes, el ISE (derivado de su designación en inglés, Integral Square Error) y el ITAE (derivado de su designación en inglés, Integral Time Absolute Error).

Diseño	ISE	ITAE
Independiente	1.378×10^6	6.099×10^7
BLT	2.369×10^{10}	4.385×10^{11}
Secuencial	5.644×10^5	9.263×10^7
H_∞ Estructurado	1.476×10^5	9.034×10^7

Tabla 1: Índices integrales de desempeño

De la tabla se deduce que con respecto al índice ISE, el desempeño del ajuste H_∞ es el más conveniente, seguido por el método secuencial, el independiente y por último el

¹ Ver definición de estabilidad interna en Zhou [12].

ajuste BLT. Por otra parte, el índice ITAE revela un mejor desempeño con el ajuste independiente, en segundo lugar se posiciona el H_∞ , luego el secuencial y finalmente el método BLT. Ambos índices coinciden en que el peor desempeño lo ofrece el método BLT, debido a que se trata de un procedimiento semiempírico exageradamente conservador. Recordando que el ITAE penaliza en el tiempo los errores, la diferencia con respecto a la mejor estrategia de ajuste se debe a que el método independiente sería algo más rápido en llegar a sus valores finales. Por otro lado, teniendo en cuenta que el índice ISE penaliza los errores mayores, se puede deducir que el ajuste H_∞ estructurado se mantiene más cerca en promedio que el resto de los ajustes planteados. Adicionalmente, comparando las magnitudes de cada índice se encuentra que el método H_∞ y secuencial difieren en al menos un orden de magnitud contra el resto de los parámetros ISE. Este distanciamiento no se aprecia con el ITAE, donde los tres primeros métodos tienen el mismo orden de magnitud. En resumen, una evaluación cuidadosa de los índices favorecen ligeramente al ajuste H_∞ , que además alcanza estabilidad con performance garantizada. En la tabla 2 se listan los parámetros de los modos proporcionales e integrales de los controladores PI sintonizados por las diferentes técnicas aquí estudiadas. Se redondearon los valores al primer decimal.

Caso	K_{11}	T_{11}	K_{22}	T_{22}	K_{33}	T_{33}
Indep.	1902.1	62.8	57.7	8.1	-0.5	493.0
BLT	260.5	458.8	7.9	58.8	-0.1	3599.0
Sec.	172.9	0.9	0.1	25.2	-0.1	-1342.6
H_∞	9.1	46.3	-0.1	158.7	0.0	32051.0

Tabla 2: Parámetros de los modos proporcional e integral de los controladores

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

- [1] Adam E. J., Valsecchi C. J. 2006. Multiloop Control Applied to Integrator MIMO Processes. XXII Interamerican Confederation of Chemical Engineering.
- [2] Apkarian P., Noll D. 2006. Nonsmooth H_∞ -synthesis. IEEE Transactions of Automatic Control, 51, 229-244.
- [3] Bristol E. 1966. On a new measure of interaction for multivariable process control. IEEE Transactions on Automatic Control, 11, 133-134.
- [4] Hu W., Cai W., Xiao G. Relative gain array for MIMO processes containing integrators and/or differentiators. 11th International Conference on Control Automation Robotics and Vision, 1, 6.
- [5] Luyben W. L.. 1986. Simple method for tuning siso controllers in multivariable systems. Industrial and Engineering Chemistry Process Design, 25, 654-660.
- [6] Maciejowski J. M. 1989. Multivariable Feedback Design. Addison-Wesley.
- [7] Mayne D. Q. 1973. The design of linear multivariable systems. Automatica, 9, 201-207.
- [8] Skogestad S. 2003. Control structure design for complete chemical plants. Computers and Chemical Engineering, 28, 219-234.
- [9] Skogestad S., Postlethwaite I. 1996. Multivariable Feedback Control - Analysis and Design. Wiley.
- [10] Tan W., Marquez H. J. 2002. Stabilizer Design for Industrial Co-generation Systems. Control Engineering Practice, 10, 615-624.
- [11] Zames G. 1981. Feedback and optimal sensitivity: Model reference transformations, multiplicative seminorms, and approximate inverses. IEEE Transactions on Automatic Control, 26, 301-320.
- [12] Zhou K., Doyle J. C. 1999. Essentials of Robust Control. Prentice Hall.