



ELSEVIER



CrossMark

ScienceDirect

Disponible en www.sciencedirect.com



RIAI

Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial 13 (2016) 67–79

www.elsevier.es/RIAI

Control Tolerante a Fallas Activo en Sensores y Actuadores: Aplicación a una Columna de Destilación

G. Ortiz-Torres^a, R. F. Escobar^{b,*}, M. Adam-Medina^b, C.M. Astorga-Zaragoza^b, G. V. Guerrero-Ramírez^b

^a Posgrado en Ingeniería Electrónica del Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico - Tecnológico Nacional de México, Int. Internado Palmira S/N, Palmira C.P.62490, Cuernavaca, Morelos, México.

^b Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico - Tecnológico Nacional de México, Int. Internado Palmira S/N, Palmira C.P.62490, Cuernavaca, Morelos, México.

Resumen

En este trabajo se presentan los resultados en simulación de un sistema de control tolerante a fallas activo (CTFA) aplicado a una columna de destilación. El sistema de control tiene como objetivo mantener el proceso de destilación binaria (etanol-agua) en operación con y sin la presencia de fallas en sensores o actuadores. El CTFA se desarrolló a partir de un sistema de detección y diagnóstico de fallas empleando un observador de alta ganancia de orden completo para estimar las concentraciones no medidas de la columna de destilación, dicho observador estima todas las concentraciones de la columna de destilación a partir de una sola temperatura medida. Así mismo, se emplearon tres observadores adaptativos para estimar la presión de vapor y los parámetros de los actuadores; de tal forma que es posible determinar el tipo, instante de aparición y magnitud de la falla. El control tolerante a fallas en actuadores se basa en la compensación de la ley de control utilizando la información del sistema de detección y diagnóstico de fallas. El control tolerante a fallas en sensores se basa en la reconfiguración del elemento con falla. La principal contribución que se presenta en el artículo es el sistema CTFA, el cual es capaz de mantener al sistema de control operando aun con la presencia de fallas múltiples y simultáneas en sensores y por lo menos en un actuador. Las pruebas en simulación muestran que la ley de control permite que las concentraciones molares líquidas requeridas en los productos destilados sigan la referencia de manera adecuada aun en presencia de fallas.

Palabras Clave: Sensores e instrumentos virtuales, procesos químicos, simulación de sistemas.

1. Introducción

En la actualidad, la necesidad de mantener los procesos controlados y bajo estrictas normas de seguridad ha dado como resultado la implementación de sistemas de control como los sistemas de FDD (por su acrónimo en inglés, Fault Detection and Diagnosis) (Agudelo et al., 2013) y el control tolerante a fallas (Mahmoud and Khalid, 2013), que pueden mantener un sistema o proceso operando aun ante la presencia de fallas, ya sea en sensores o en actuadores. De acuerdo con (Puig et al., 2004), el control tolerante activo consiste en el diagnóstico en línea del elemento con falla, el cual considera el tipo de daño, su magnitud e instante de aparición y, a partir de la información proporcionada por el sistema de diagnóstico, activar un sistema de reconfiguración o acomodación para compensar la falla, o en casos extremos realizar el paro del sistema o la planta productiva. Por otro lado, existe el enfoque pasivo para tolerar cambios

en la dinámica de la planta; para ello se diseña un controlador fijo y el sistema controlado satisface sus objetivos bajo todas las condiciones de falla conocidas. La tolerancia a fallas es obtenida sin cambiar los parámetros del controlador. Sin embargo, presenta limitaciones en las capacidades de la tolerancia a fallas.

En la literatura han sido reportados esquemas de diagnóstico de fallas en procesos los cuales se basan en el modelo matemático del proceso. Por ejemplo en (Tian et al., 2013) se presentó un sistema de detección y diagnóstico de fallas aplicado en una columna de destilación; los resultados obtenidos de su investigación mostraron la efectividad del sistema de detección y diagnóstico de fallas basado en modelos no lineales. En (Escobar et al., 2011), se presentó un sistema para la detección y diagnóstico de fallas con la finalidad de diseñar un sistema tolerante a fallas para un intercambiador de calor utilizando observadores de alta ganancia; los resultados que obtuvieron fueron satisfactorios ya que el sistema es capaz de detectar y aislar la falla entre los periodos de muestreo de 5 s.

En (Téllez-Anguiano et al., 2010) se presenta un sistema de

* Autor en correspondencia

Correo electrónico: esjiri@cenidet.edu.mx (R. F. Escobar)

Tabla 1: Nomenclatura

Notación	Significado	Unidad
F	Flujo molar de alimentación	mol/min
z_f	Composición molar de alimentación	frac. molar
D	Flujo molar del producto destilado	mol/min
B	Flujo molar del producto de fondo	mol/min
Q_b	Potencia calefactora en el hervidor	watts
rv	Apertura de la válvula de reflujo	adim
bv	Apertura de la válvula de fondo	adim
x_1	Composición molar del producto destilado	frac. molar
x_{12}	Composición molar del producto de fondo	frac. molar
$L_{R,S}$	Flujo molar líquido en cada sección	mol/min
$V_{R,S}$	Flujo molar de vapor en cada sección	mol/min
N	Número total de etapas	adim
M_i	Retención molar en cada plato	moles
x_i	Composición del flujo molar líquido	frac. molar
y_i	Composición del flujo molar de vapor	frac. molar
P_i^{sat}	Presión de vapor para cada componente	mm - Hg
P_T	Presión total del proceso	mm - Hg
i	Coefficiente de actividad para cada componente	adim
T	Temperatura	$^{\circ}C$
q_F	Factor de calidad de la alimentación	adim
C_p	Calor específico	$kJ/mol^{\circ}C$
λ_i	Entalpía de vaporización de cada componente	kJ/mol
W_i	Peso molecular de cada componente	g
ρ_i	Densidad de cada componente	g/cm^3
R	Constante de gases	$gcal/gmolK$
λ_{ij}	Interacción de energía entre las moléculas	$gcal/gmol$
T_b	Temperatura de ebullición de cada componente	$^{\circ}C$
T_F	Temperatura de alimentación	$^{\circ}C$
A_i, B_i, C_i	Constantes de Antoine	adim

supervisión con diagnóstico de fallas aplicado en una columna de destilación con observadores de alta ganancia; el esquema propuesto se basa en el diseño de un banco de observadores de estados, es decir que implementa un observador por cada sensor existente en la columna de destilación. En (Laursen et al., 2008) se presenta un método que se basa en la combinación de varios modelos no lineales para el aislamiento de las fallas. Dada la complejidad en el modelado no lineal de diversos procesos, algunos autores sugieren realizar sistemas de detección y diagnóstico de fallas basados en modelos difusos (Rahman et al., 2013). En (Namdari and Jazayeri-Rad, 2014) se presenta un método clasificador SVM (por su acrónimo en inglés, Support Vector Machine) para el cual se diseñó una función de decisión para el diagnóstico de fallas incipientes; este método fue aplicado en una columna de destilación continua y a partir de los resultados que obtuvieron, los autores mencionan que el enfoque presentado es viable y que es mejor incluso que los métodos tradicionales.

Actualmente la investigación y la aplicación de los sistemas de control tolerante a fallas están orientadas a mantener los sistemas o procesos en condiciones continuas de operación con la finalidad de salvaguardar la integridad de los usuarios y de los equipos. En (Li-Ying and Guang-Hong, 2013) y (Hamayun et al., 2013) se presentan trabajos sobre control tolerante a fallas empleando métodos basados en modos deslizantes en donde la principal ventaja que aporta este enfoque es la robustez ante incertidumbre en el modelado. Por otro lado, en (Kargar et al., 2014) se presenta un enfoque de control tolerante a fallas en actuador para un reactor químico, basado en un modelo predictivo no lineal. Para el diseño del control tolerante a fallas se emplea un sistema de detección y diagnóstico de fallas el cual fue desarrollado a través de un banco de filtros de Kalman extendido para establecer las fallas en un actuador y el valor del paráme-

tro de posición del actuador. Los autores indican que el sistema detecta la falla en 16 s, sin embargo, esta propuesta está limitada debido a que se tienen que desarrollar múltiples modelos para la detección de fallas. Otras aplicaciones del control tolerante a fallas pueden encontrarse en los trabajos propuestos en (Chilin et al., 2013; MacGregor and Cinar, 2012).

Dada la importancia de la seguridad para los usuarios y equipos de procesos industriales nuestro objetivo es desarrollar un sistema de CTFA para una columna de destilación, donde la principal aportación y que lo hace diferente de otros trabajos propuestos (Flores, 2012; Aguilera, 2012; Téllez-Anguiano et al., 2010) es el esquema para detectar y diagnosticar fallas múltiples y s en sensores y actuadores, sin considerar un banco de observadores para detectar fallas en sensores. Además, el modelo de la columna de destilación que se empleó para el desarrollo de los observadores de alta ganancia y adaptativos considera el método denominado NRTL (por su acrónimo en inglés, Non Random Two Liquid) para el cálculo de la concentración. Cabe señalar que no se empleó el método de Van Laar como lo presentan los trabajos antes mencionados. La ventaja de emplear el método NRTL es la factibilidad de estimar la concentración a presiones diferentes a la ideal, por lo que se puede tener un cálculo preciso de la concentración de la mezcla a la presión atmosférica real.

2. Modelo Simplificado de una Columna de Destilación

En general, una columna de destilación fraccionada, consta de N etapas, de las cuales $N - 2$ son platos y las dos etapas restantes son el condensador y el hervidor. Los platos son numerados ascendentemente del condensador al hervidor de la siguiente forma:

- Condensador (plato $p = 1$)
- Plato de alimentación (plato $p = f$)
- Hervidor (plato $p = N$)

Las secciones en una columna de destilación son:

- Sección de enriquecimiento (platos: $p_1 = 2, \dots, f - 1$)
- Sección de empobrecimiento (platos: $p_2 = f + 1, \dots, N - 1$)

El esquema general de la columna de destilación es mostrado en la Figura 1. Para obtener el modelo de una columna de destilación es necesario un conjunto de ecuaciones diferenciales construidas a partir del balance de materia para cada componente en cada plato de la columna, así como ecuaciones algebraicas para describir las propiedades físicas y termodinámicas de los fluidos. La columna de destilación es modelada a partir de un balance de masa de la mezcla empleada y considerando un modelo termodinámico para el equilibrio líquido-vapor en donde es empleada la ley de Raoult, la ley de Dalton, la ecuación de Antoine y el cálculo del coeficiente de actividad, que es un factor de corrección altamente dependiente de la concentración.

Download English Version:

<https://daneshyari.com/en/article/1701773>

Download Persian Version:

<https://daneshyari.com/article/1701773>

[Daneshyari.com](https://daneshyari.com)