

Libros y Monografías

En este número traemos a nuestra sección la recensión de una interesante obra sobre Control Avanzado y los resúmenes de tres tesis doctorales presentadas recientemente en España.

El libro (*“Advanced control unleashed: Plant performance management for optimum benefit”*) está dedicado al control avanzado de procesos y tiene un carácter eminentemente práctico, con el objetivo de presentar a ingenieros que trabajan en la industria, métodos de control ya probados en la práctica, así como los fundamentos que permiten estimar los beneficios que genera su aplicación. La recensión de este libro ha sido realizada por nuestro ya colaborador habitual el profesor Aldo Cipriano, de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

En cuanto a las tesis doctorales, la primera de ellas *“Control and design of PEM fuel cell-based systems”* ha sido defendida por Diego Feroldi en la Universidad Politécnica de Cataluña y dirigida por Jordi Riera y María Serra, versando sobre el control y diseño de sistemas de generación eléctrica basados en pilas de combustible. Las dos siguientes se han presentado en la Universidad de Huelva, dirigidas por José Manuel Andujar. De ellas, la primera *“Síntesis de sistemas de control borroso estables por diseño”* ha sido realizada por Antonio Javier Barragán y presenta una metodología de diseño de controladores borrosos que garantiza formalmente la estabilidad asintótica del sistema en lazo cerrado. La otra tesis, cuya autora es Francisca Segura, se denomina *“Prototipo Experimental de Sistema Híbrido Basado en Pila de Combustible: Diseño, Modelado, Implementación y Testeo”* y en ella se realiza el diseño, desarrollo, construcción y pruebas de un prototipo experimental de sistema híbrido basado en pila de combustible y banco de baterías. Los resúmenes de las tres tesis han sido enviados por sus autores.

Animamos de nuevo a los lectores a enviar resúmenes de novedades, tanto de libros como de tesis doctorales recientes, y a solicitar recensiones de libros que consideren de interés para el área a través de la dirección de correo electrónico que figura a continuación.

Carlos Bordóns Alba
Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática
Universidad de Sevilla
bordons@esi.us.es

RECENSIÓN

Advanced control unleashed: Plant performance management for optimum benefit

Terrence L. Blevins, Gregory K. McMillan, Willy K. Wojciszyn y Michael W. Brown
ISA – The Instrumentation, Systems, and Automation Society (2003)
ISBN 1-55617-818-8. 434 páginas.

El prólogo del libro, escrito por Karl J. Astrom, caracteriza en forma muy precisa el texto: es un intento, el primero según Astrom, por presentar a ingenieros que trabajan en la industria, métodos de control ya probados en la práctica, así como los fundamentos que permiten estimar los beneficios que genera su aplicación. Para ello los autores aprovechan su amplia experiencia en empresas proveedoras de sistemas de automatización y plataformas de control avanzado. En este contexto, y como se desprende del resumen siguiente, se entiende por control avanzado de procesos (APC, “Advanced Process Control”), un conjunto amplio de técnicas y métodos que va desde la sintonización de controladores hasta el control predictivo basado en modelo y la simulación dinámica de procesos, pasando por las técnicas estadísticas, los sistemas expertos, el control borroso, la estimación empleando modelos y las redes neuronales.

El libro consta de 10 capítulos, 4 anexos y un CD con una presentación power point de las principales figuras, ecuaciones, tablas y reglas incluida en el texto.

El capítulo 1 resume los contenidos del libro, y especifica que cada capítulo contendrá tres secciones: Práctica, Aplicación y Teoría. El capítulo 2 (*“Setting the Foundation”*) revisa los elementos esenciales de sensores y actuadores, propone cómo enfrentar problemas habituales en los lazos de control final, describe el control de los procesos de neutralización y destilación, y discute en detalle cómo mejorar la respuesta dinámica, reduciendo tiempos de retardo, sintonizando controladores y empleando control en cascada y pre-alimentado, todo ello con numerosos ejemplos. El capítulo presenta 16 reglas surgidas de la práctica, por ejemplo sobre cómo medir flujos, y revisa elementos básicos del control de procesos: constante de tiempo, ganancia, tiempo de retardo, ganancia crítica y periodo crítico.

El capítulo 3 (*“APC Pathways”*) tiene por objetivo ayudar a identificar oportunidades para el control avanzado de procesos, estimar beneficios, seleccionar la mejor técnica de control, mantener sustentable la solución en el tiempo, y hacer un

seguimiento de los beneficios. El capítulo 4 está destinado a la evaluación de desempeño de algoritmos y sistemas de control, para lo cual se introducen técnicas estadísticas como SPC (“Statistical Process Control”), PCA (“Principal Component Analysis”) y PLS (“Partial Least Squares” o “Project to Latent Structures”), indicadores de desempeño como el porcentaje de utilización del control, y herramientas de diagnóstico de lazos de control.

El capítulo 5 se centra en el análisis de herramientas para asistir al operador en la detección y gestión de situaciones anormales, principalmente basadas en sistemas expertos; también aquí se incluye un conjunto de reglas prácticas, 15 en este caso, así como una breve introducción a los sistemas expertos, su arquitectura y la representación del conocimiento en base a reglas. El capítulo 6 (“Automated tuning”) presenta la técnica, según los autores, más difundida, más rápida y de menor costo para reducir la variabilidad en un sistema de control de procesos, esto es, la sintonización de controladores PI/PID; se describen y comparan diversos métodos, estudiándose su robustez y mecanismos de adaptación, con y sin utilización de modelo.

El capítulo 7 presenta fundamentos y aplicaciones de control borroso, incluyendo sintonización de PID borrosos. A continuación, en el capítulo 8, se describen estimadores lineales y no lineales, estos últimos basados en redes neuronales; se introduce el concepto de “soft sensor” y se presentan aplicaciones en torres de destilación, digestores continuos y procesos de fermentación, finalizando el capítulo con el algoritmo de retro-programación de errores y la definición de criterios para determinar retardos en las variables de entrada, la dimensión de la red neuronal y la necesidad de introducir adaptaciones en los modelos de estimación.

El capítulo 9 está focalizado en el control predictivo basado en modelo (MPC, “Model Predictive Control”). Se introduce el concepto de horizonte deslizante, se analiza la incorporación de restricciones en variables manipuladas y controladas, se describe aplicaciones en torres de destilación, evaporadores, secadores y hornos, y se presenta un procedimiento general de 36 pasos para la puesta en marcha de un MPC, terminando con el planteamiento de diferentes modelos y algoritmos de optimización. El capítulo 10 y último describe con mucho detalle los requerimientos que debe satisfacer un simulador dinámico de procesos, destinado a facilitar la prueba de algoritmos y sistemas de control, así como el entrenamiento de operadores e ingenieros antes y después de la puesta en marcha de la planta real.

El anexo A formula preguntas y respuestas relacionadas con control avanzado: cómo obtener beneficios, cómo introducir mejoramientos, cómo reducir el consumo de energía y de otros insumos, etc. El anexo B enumera aspectos a considerar en la transición de un proceso “batch” a un proceso continuo, mientras el anexo C presenta definiciones relacionadas con control avanzado, y el anexo D describe un conjunto de 20 errores que generalmente se cometen, en relación a instrumentación y control.

Como era de esperar de su título, “Advanced control unleashed” no es un libro técnico tradicional, ni en contenidos ni en estructura. Para aprovecharlo el lector debe tener una motivación por los aspectos prácticos del control avanzado de procesos, y no debe esperar una explicación fundamentada para cada una de las innumerables recomendaciones y sugerencias, muchas de ellas basadas sólo en la vivencia personal de los autores. Con estas restricciones, el texto es un compendio muy valioso de información práctica que abarca un amplio espectro de técnicas. Los autores han sido también exitosos en no restringirse a las tecnologías propias de sus empresas, otorgándole un carácter más general a sus análisis y conclusiones. Sin embargo, para quienes nos interesamos por el desarrollo y la implantación industrial de métodos de control avanzado, el libro carece de un análisis más profundo de las sofisticaciones que están incorporando los productos comerciales que permiten aplicar algunas de las técnicas descritas, por ejemplo control predictivo multivariable.

Aldo Cipriano

Departamento de Ingeniería Eléctrica
Pontificia Universidad Católica de Chile
aciprian@ing.puc.cl

NOVEDADES

Tesis Doctoral: Control and design of PEM fuel cell-based systems (Control y Diseño de Sistemas Basados en Pilas de Combustible PEM)

Autor: Diego Feroldi

Directores: Jordi Riera y María Serra

Universidad Politécnica de Cataluña (España), mayo de 2009.

Las pilas de combustible son muy ventajosas debido a su alta eficiencia en la conversión de energía y nula contaminación. En esta tesis se realiza un extenso estudio sobre el control y diseño de sistemas de generación eléctrica basados en pilas de combustible. El núcleo principal de la misma son los sistemas híbridos con pilas de combustible y supercondensadores como elementos almacenadores de energía, orientado a aplicaciones automotrices. La determinación del Grado de Hibridización (i.e. la determinación del tamaño de la pila de combustible y del número de supercondensadores) se realiza mediante una

metodología propuesta con el objetivo de satisfacer requisitos de conductibilidad y consumiendo la menor cantidad de hidrógeno posible.

El proceso de diseño comienza con la determinación de la estructura eléctrica de generación del vehículo y utiliza un modelo detallado realizado en ADVISOR, una herramienta para modelado y estudio de vehículos híbridos. Se analiza el flujo de energía a través de los componentes del vehículo cuando el vehículo sigue diferentes ciclos de conducción estándares, mostrando las pérdidas en cada componente que degradan la eficiencia del sistema y limitan la recuperación de energía de frenado. Con respecto a la recuperación de energía, se ha definido y analizado un parámetro que cuantifica la cantidad de energía que realmente es reaprovechada: el ratio frenado/hidrógeno.

Para controlar el flujo de energía entre la pila de combustible, los almacenadores de energía y la carga eléctrica, se proponen tres Estrategias de Gestión de Energía (EMS) para Vehículos Híbridos con Pila de Combustible (FCHVs) basadas en el mapa de eficiencia de la pila y se validan mediante un montaje experimental desarrollado para emular el sistema híbrido. Los resultados de consumo de hidrógeno son comparados con dos referencias: el consumo correspondiente al caso del vehículo sin hibridación y el caso óptimo con el menor consumo para el vehículo propuesto. El consumo óptimo se calcula mediante una metodología propuesta que, a diferencia de otras, evita la discretización de las variables de decisión.

Para operar el sistema eficientemente, la pila de combustible es controlada mediante una metodología de control, basada en Control de Matriz Dinámica (DMC). Esta metodología de control utiliza como variables de control el voltaje de compresor y una nueva variable propuesta: la apertura de una válvula proporcional ubicada a la salida del cátodo. Los objetivos de control son controlar el exceso de oxígeno en el cátodo y el voltaje generado por la pila. Se analiza tanto en régimen estacionario como transitorio las ventajas de emplear esta nueva variable de control y se muestran resultados de funcionamiento por simulación del controlador ante perturbaciones en la corriente de carga.

Por otro lado, se aborda el diagnóstico y el control tolerante a fallos del sistema basado en pila de combustible proponiendo una metodología de diagnóstico basada en las sensibilidades relativas de los fallos y se muestra que la estructura de control con las dos variables propuestas tiene buena capacidad de rechazo a fallos en el compresor cuando se controla el exceso de oxígeno en el cátodo.

Tesis Doctoral: Síntesis de sistemas de control borroso estables por diseño.

Autor: Antonio Javier Barragán Piña.

Director: Dr. José Manuel Andújar Márquez

Universidad de Huelva (España), julio de 2009.

El objetivo fundamental de esta Tesis es establecer una metodología de diseño de controladores borrosos lo más general posible, de manera que se garantice formalmente la estabilidad asintótica del sistema de control en lazo cerrado en una región lo más amplia posible en torno al estado de equilibrio. De igual forma, se desea contribuir a la formalización de los sistemas borrosos con herramientas que permitan el análisis de estos sistemas según la teoría de control no lineal aceptada por la comunidad científica. Para ello el trabajo se ha organizado en siete capítulos, cuyo contenido se resume a continuación:

En el capítulo 1 se describe la estructura de la Tesis y los capítulos que la componen. También se recogen las innovaciones principales de la Tesis y se efectúa un análisis del rendimiento científico de ésta.

En el capítulo 2 se introduce la lógica borrosa y sus aplicaciones a través un recorrido histórico, realizando especial hincapié en las aplicaciones de control.

En el capítulo 3 se afronta la necesidad de obtener un modelo de la planta para poder así estudiar el sistema de manera formal desde el punto de vista de la lógica borrosa; este modelo se implementa de manera formal como modelo borroso de estado. A partir de aquí se propone una extensión del vector de estado para simplificar su representación matemática. A continuación, se realiza una implementación análoga tanto con el controlador como con el sistema de lazo cerrado, obteniéndose en ambos casos el modelo matemático equivalente. En todos los casos se proponen unos algoritmos para el cálculo de dichos modelos matemáticos. Posteriormente se estudia la identificación de un sistema a partir de datos de entrada/salida mediante la aplicación de modelos borrosos, donde se estudian cada una de las fases del proceso de modelado. En la fase de identificación de los parámetros se propone una nueva metodología basada en la hibridación de algoritmos de colonias de hormigas y la clásica metodología neuroborrosa.

En el capítulo 4 se resuelve la linealización del sistema borroso representado por su modelo de estado, sin simplificar ningún elemento del mismo. El modelo es completamente general, sin limitación en el número de reglas, ni en el tamaño de los vectores de estado y control, ni en el tipo de función de pertenencia; permitiendo incluso la mezcla de distintas funciones de pertenencia. A continuación se resuelve la matriz jacobiana de un sistema de control borroso en los términos de generalidad anteriores. Posteriormente se aborda la obtención de los estados de equilibrio mediante una metodología basada en métodos

numéricos, proponiéndose la utilización de la matriz jacobiana para acelerar la convergencia y mejorar la precisión de dichos algoritmos.

El capítulo 5 está enfocado al diseño de controladores borrosos desde dos enfoques: 1) heurístico, a partir del conocimiento de un operario experto, y 2) formal, mediante un estudio de estabilidad del sistema. En este capítulo se propone una metodología formal de diseño general basada en tres pasos: identificación de la planta y representación de la misma en forma de modelo borroso de estado, estudio de ésta a partir del modelo borroso obtenido, y diseño de un controlador borroso que garantice la estabilidad asintótica del sistema en lazo cerrado en una región lo más amplia posible en torno al estado de equilibrio. Para posibilitar la formalización del problema se propone un nuevo teorema de estabilidad basado en la teoría de Lyapunov e inspirado en el teorema de Krasovskii. Finalmente, se propone un algoritmo de diseño basado en dicho teorema.

En el capítulo 6 se diseña un controlador borroso para una grúa porta contenedores a partir del conocimiento de un operario experto. A continuación se muestra la metodología de diseño formal propuesta en el capítulo 5 mediante tres ejemplos, realizando todos los pasos necesarios: identificación de la planta, análisis de la extracción de sus estados de equilibrio y estudio de la estabilidad local de los mismos, y diseño de un controlador borroso que estabilice la planta.

Finalmente, el capítulo 7 incide en las conclusiones que se derivan de la Tesis y se esbozan los temas que dejan el camino abierto para ser resueltos en trabajos futuros.

Tesis Doctoral: Prototipo Experimental de Sistema Híbrido Basado en Pila de Combustible: Diseño, Modelado, Implementación y Testeo

Autora: Francisca Segura Manzano

Director: Dr. José Manuel Andújar Márquez

Universidad de Huelva (España), julio de 2009.

En este trabajo se realiza el diseño, desarrollo, construcción y pruebas de un prototipo experimental de sistema híbrido basado en pila de combustible y banco de baterías.

La topología en base a la que se ha diseñado y construido toda la electrónica de potencia y de instrumentación y control, corresponde al esquema de conexión de un sistema híbrido (sistema donde se integran diferentes fuentes de potencia en torno a una pila de combustible) para la alimentación de una carga aislada. Para esto, ha sido necesario realizar un análisis atendiendo a los tipos de pilas de combustible existentes y su disponibilidad comercial, así como sus diferentes aplicaciones, con objeto de conformar la solución más efectiva para generar potencia eléctrica.

En cuanto a los desarrollos teóricos y de simulación, se ha obtenido un modelo de estado apto para control de un sistema integrado por una pila de combustible y un convertidor DC/DC con topología elevadora. Una de las principales aportaciones del trabajo radica en que el sistema pila de combustible + convertidor DC/DC es considerado todo él como una planta a controlar cuya señal de entrada (señal de control) es el ciclo de trabajo del convertidor. Esta señal de control permite ubicar el punto de funcionamiento y adaptarlo a las demandas de la carga, manteniendo el sistema a su salida (terminales de conexión de la carga) una tensión regulada.

A la hora de interconectar físicamente la pila de combustible con otras fuentes de potencia, en este caso un banco de baterías, ha sido necesario configurar la topología adecuada y, además, dotarla de sendos controles de tensión y corriente. El primero es necesario para fijar los niveles en cada punto debido a que la pila de combustible no entrega potencia regulada. Los resultados experimentales de la Tesis muestran el funcionamiento del sistema cuando es sometido a una carga con un perfil típico de un sistema de telecomunicaciones. No obstante, el sistema es capaz de alimentar cargas con perfiles de demanda diferentes. Para esto se ha construido un banco de carga experimental capaz de ser controlado electrónicamente, mediante electrónica asociada y un instrumento virtual, que permite configurar bajo demanda diferentes perfiles de carga. Respecto del control en corriente, es necesario porque al existir más de una fuente en el sistema híbrido, se puede decidir la fracción de la potencia demandada por la carga que ha de suministrar la pila de combustible.

En la Tesis se estudian también las diferentes soluciones para realizar controladores de corriente para convertidores DC/DC, con aplicaciones para pilas de combustible, y se implementa experimentalmente la técnica de control en corriente media. Se demuestra que el sistema pila de combustible es capaz de seguir una referencia de corriente, que la tensión en el punto de interconexión del sistema pila de combustible y banco de baterías se mantiene a un valor fijo, y que el banco de baterías abastece la variación de potencia entre la demandada por la carga y la suministrada por la pila de combustible, que es fijada por el controlador. La principal ventaja del sistema construido (5 kW pico) es que puede ser paralelizado para abordar requisitos de mayor potencia.