(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 384 781**

(51) Int. Cl.:
G05B 17/02 (2006.01)
G05B 23/02 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Número de solicitud europea: **10290017 .2**
(96) Fecha de presentación: **14.01.2010**
(97) Número de publicación de la solicitud: **2239639**
(97) Fecha de publicación de la solicitud: **13.10.2010**

(54) Título: **Nuevo procedimiento de control y regulación de una unidad industrial que recurre a una fase de identificación en bucle cerrado de los parámetros de funcionamiento de dicha unidad**

(30) Prioridad:
06.02.2009 FR 0900531

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
12.07.2012

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
12.07.2012

(73) Titular/es:
IFP ENERGIES NOUVELLES
1 & 4 AVENUE DE BOIS-PRÉAU
92852 RUEIL MALMAISON CEDEX, FR

(72) Inventor/es:
Couenne, Nicolas;
Bader, Jean-Marc y
Creff, Yann

(74) Agente/Representante:
Ungría López, Javier

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

ES 2 384 781 T3

DESCRIPCIÓN

Nuevo procedimiento de control y regulación de una unidad industrial que recurre a una fase de identificación en bucle cerrado de los parámetros de funcionamiento de dicha unidad

Campo de la invención

El campo de la invención es el de los procedimientos avanzados de control y regulación de unidades industriales. En un procedimiento de control avanzado de acuerdo con el vocabulario del experto en la materia, la unidad industrial a regular está representada por un modelo que permite anticipar las acciones a implementar alcanzando un nivel de finura en las acciones correctoras que no permite la regulación por medio de simples PIDF.

El modelo que representa la unidad es generalmente un modelo dinámico y lineal en el sentido de que las magnitudes de salida están ligadas a las magnitudes de entrada por un sistema de ecuaciones lineales. La representación del modelo se realiza por lo tanto naturalmente por medio de una matriz y el objetivo de la operación denominada identificación es encontrar el mejor juego de coeficientes de la matriz representativa del modelo. Para asegurar la fase de identificación se utiliza en la presente invención un controlador lineal predictivo multivariable.

Más precisamente, la adquisición de los datos necesarios para la identificación se realiza en bucle cerrado, es decir mientras el controlador está regulando la unidad industrial, lo que permite reducir el tiempo de producción de la unidad eventualmente fuera de especificación.

En el contexto de la presente invención, se denomina modelo de una unidad industrial a una representación del comportamiento de la unidad por medio de un conjunto de ecuaciones que ligan las variables de entrada (MV), las variables de estado (X) y las variables de salida (CV) de la unidad.

La fase de identificación descrita se aplica a los modelos que tienen una forma lineal. Se entiende por forma lineal el hecho de que las variaciones de las variables de entrada (MV), las variables de estado (X) y las variaciones de las variables de salida (CV) está ligadas entre sí por las ecuaciones generales del modelo dinámico lineal estacionario (abreviadamente MDL):

$$dX/dt = A\,X + B(MV)$$

$$(CV) = C\,X + D(MV)$$

El modelo MDL caracteriza por lo tanto la evolución de la derivada temporal de X como una aplicación lineal con relación a X y con relación a las MV. De manera similar, la evolución de las CV se describe por una aplicación lineal con relación a X y con relación a las MV.

Las MV son por ejemplo los caudales de carga, la producción de utilidad, la temperatura de la carga, etc.

Las CV son por ejemplo la conversión, la proporción de ciertos constituyentes.

Las variables de estado están representadas por X y se pueden definir como toda magnitud que permita describir la unidad en cada instante (temperatura, presión, composición de los fluidos que circulan en la unidad,…).

El controlador lineal predictivo multivariable (denominado MVAC de aquí en adelante en el texto) trabaja en bucle cerrado, es decir que a partir de la medida de todas o parte de las CV y de su comparación con relación a los objetivos fijados (valores de consigna, límites altos y bajos), calcula y aplica sobre la unidad industrial los valores de las MV requeridos para alcanzar o mantener los objetivos para las CV.

Para efectuar sus cálculos, el controlador MVAC utiliza una descripción aproximada del comportamiento del procedimiento bajo la forma de un modelo MDL denominado M(n) de aquí en adelante en el texto. El índice (n) indica que el modelo se alcanza al cabo un cierto número de iteraciones a partir de un modelo inicial M0 que podría estar relativamente alejado del comportamiento de la unidad industrial.

El modelo MDL se caracteriza completamente por las 4 matrices A, B, C y D.

Del lado de las escrituras de esas ecuaciones, la toma en consideración de las relaciones entre las variables de entrada, de salida y de estado es intrínseca. Así una MV puede actuar sobre uno o varios componentes de estado X y por lo mismo actuar sobre varias CV a la vez. Alternativamente, una MV puede actuar directamente sobre varias CV a la vez (matriz D). La operación denominada “identificación”, o fase de identificación, consiste en calcular el valor de los coeficientes de las 4 matrices A, B, C y D utilizadas en el modelo.

Esta operación se realiza automáticamente por un programa de identificación denominado ISIAC a partir de un conjunto de datos caracterizado por las medidas de las MV y de las CV. La expresión “conjunto de datos” designa

uno o varios registros en el tiempo de las variables de entrada MV(t) y de las variables de salida CV(t). Un registro así se denomina recopilación. Una recopilación se debe realizar como mínimo durante un intervalo de tiempo superior a la respuesta dinámica de la CV más lenta.

En efecto, es deseable que después de un periodo transitorio, que corresponde a la variación de CV consecutivas haya una o varias variaciones de las MV, la recopilación se prosigue hasta la estabilización de las CV medidas. Por otro lado, para poder ser utilizable por el programa de identificación ISIAC, una recopilación debe contener suficiente frecuencia de la información, es decir disponer de variaciones medidas de las CV, más importantes que las debidas a ruidos asociados a los captadores que aseguran la medición de las variables.

Examen de la técnica anterior

La técnica anterior en el dominio de las operaciones de identificación del procedimiento en bucle cerrado está representada esencialmente por el documento de patente US 6.819.964, que describe un método basado en la utilización de variables ocultas (denominadas “shadow system controlled variables” en la patente citada). Para ser aplicado, este método necesita una modificación de la estructura del modelo utilizado por el controlador.

El método utilizado en la presente solicitud es un método de identificación del procedimiento en bucle cerrado, caracterizado por el hecho de que no recurre a ninguna variable oculta, lo que le diferencia significativamente del método descrito en la patente US 6.819.964. Éste descansa en la utilización particular de una funcionalidad disponible en el controlador MVAC, funcionalidad denominada objetivo externo para las MV (traducción de “cibles externes”).

Esta funcionalidad del controlador MVAC, utilizable sin ninguna modificación de la estructura del modelo MDL, permite, cuando esto es posible, orientar simplemente las MV hacia unos objetivos especificados, mientras se continúan satisfaciendo prioritariamente los objetivos de las CV. Por otro lado, el MVAC permite alcanzar tan rápidamente como es deseado los objetivos definidos en las MV.

Finalmente, a diferencia del método descrito en la patente US 6.819.964, no es necesario de acuerdo con la invención verificar el estado de las CV con relación a su objetivo antes de lanzar el procedimiento de modificación de las MV.

Breve descripción de las figuras

La figura 1 representa un esquema funcional del procedimiento utilizado en el ejemplo 1 que comprende dos magnitudes de entrada (MV1) y (MV2) y una magnitud de salida (CV).

La figura 2 representa un esquema del procedimiento en curso de identificación con el controlador MVAC conectado al procedimiento en bucle cerrado y alimentado por dos magnitudes denominadas “cibles externes” (ET1) y (ET2).

La figura 3 representa tres gráficos destinados a ilustrar el funcionamiento de la identificación: el gráfico superior corresponde a la variación de la (CV) con el tiempo, el gráfico intermedio corresponde a la variación de la (MV1) y el gráfico inferior corresponde a la variación de la (MV2). La leyenda de estos 3 gráficos viene dada en el ejemplo en sí.

Breve descripción de la invención

La presente invención se puede definir como un procedimiento de control y regulación avanzado aplicable a toda unidad industrial que presente unas magnitudes de entrada y unas magnitudes de salida ligadas entre sí de manera lineal. Es decir una unidad susceptible de ser representada por un modelo lineal que liga las magnitudes de entrada y de salida, tal como se ha definido en el párrafo precedente.

El procedimiento de control o regulación recurre a una fase (u operación) de identificación de los parámetros del modelo dinámico lineal que representa la unidad industrial. El presente procedimiento de control y regulación está particularmente adaptado a unas unidades industriales que deben asegurar una producción regular en el tiempo y respetar diversos requisitos sobre los productos obtenidos. Entre estos requisitos se puede citar el nivel de pureza, por ejemplo la proporción de azufre en un procedimiento de hidrodesulfuración, o el valor de una característica como por ejemplo el índice de octano de una gasolina en una unidad de reformado catalítico de las gasolinas o incluso la temperatura de craqueado en una unidad de craqueado catalítico destinada a la producción de unas bases para gasolina o un modo de funcionamiento particular del propileno.

La dificultad en la operación de identificación aplicada a unas unidades industriales es obtener rápidamente los valores óptimos de los parámetros del modelo de la unidad perturbando lo menos posible la producción.

El controlador MVAC utilizado en el funcionamiento de la identificación de acuerdo con la presente invención ofrece

una funcionalidad denominada “cible externe” que permite aplicar unas variaciones de las variables de entrada MV integrando uno o varios criterios de respeto a los requisitos sobre las variables de salida CV, permaneciendo siempre estos criterios prioritarios. De esta manera, los requisitos de producción se respetan siempre. Por otro lado, la presente operación de identificación incluye un criterio de integración relativamente fino que permite remprender la integración cuando esto es necesario en una etapa determinada del desarrollo de dicha operación.

Más precisamente, la presente invención se puede definir como un procedimiento de control avanzado de una unidad industrial que recurre a una operación de identificación de los parámetros del modelo dinámico lineal de dicha unidad, efectuándose dicha operación de identificación en bucle cerrado y que recurre a un controlador (MVAC) y a un programa de identificación (ISIAC), y consistiendo dicha operación de identificación en la sucesión de etapas siguiente:

1 etapa de inicialización, en la que a partir de los datos recopilados a través de modificaciones manuales por parte del operador, el programa ISIAC genera un primer modelo (M0) del procedimiento, modelo utilizado a continuación por el controlador MVAC para regular la unidad industrial,

2 etapa de generación de las variaciones de las MV, en la que, fuera de línea, es decir sin conexión con el funcionamiento actual de la unidad industrial, el ISIAC genera unas variaciones para cada MV, estando constituidas estas variaciones para cada MV por una serie de incrementos y de disminuciones, separadas de manera regular o no y de amplitudes tales que inducen unas variaciones medibles en todas o parte de las CV,

3 etapa de validación de las variaciones de las MV y de regulación del control MVAC, en la que, fuera de línea, se realizan unas simulaciones del comportamiento de la unidad regulada por el controlador MVAC ligando el controlador MVAC a un simulador dinámico, que reproduce aproximadamente el funcionamiento de la unidad utilizando el modelo M(n) disponible en esta etapa, siendo implementadas las variaciones definidas en la etapa 2 en la simulación a través de la funcionalidad “cible externe” del MVAC, siendo ajustadas las amplitudes de las variaciones sobre las MV definidas en la etapa 2, estando relajados los objetivos sobre las CV y siendo afinado el reglaje del controlador mediante la intervención de un operador,

4 etapa de generación de respuestas de la unidad industrial, en la que el controlador MVAC tal como se regula a la salida de la etapa 3, se conecta a la unidad industrial en bucle cerrado y aplica automáticamente sobre la unidad industrial las variaciones definidas sobre las MV en la etapa 3, a través de la funcionalidad “cible externe”,

5 etapa de generación de los parámetros por ISIAC, en la que fuera de línea, el programa de identificación ISIAC calcula los parámetros del modelo a partir de los datos generados en la etapa 4.

6 etapa de evaluación de la precisión del modelo, en la que el programa de identificación ISIAC efectúa un cálculo de la precisión de los parámetros obtenidos a la salida de la etapa 5 a partir de un criterio que permite decidir a) la detención de las iteraciones si la precisión es satisfactoria; b) la iteración a partir de la etapa 2 si la precisión es insuficiente en uno o varios parámetros; c) la iteración a partir de la etapa 4 en el caso de que la imprecisión provenga de perturbaciones en el funcionamiento de la unidad durante la aplicación de las variaciones sobre las MV.

El procedimiento de control y regulación de acuerdo con la invención se puede aplicar a una unidad de hidrodesulfuración de una carga de hidrocarburos del tipo gasolina o gasóleo, en el que las magnitudes de entrada son el caudal de alimentación (MV1) de la unidad y la temperatura a la entrada de la unidad de hidrodesulfuración (MV2) y la magnitud de salida (CV) es la proporción de azufre en la gasolina o el gasóleo tratado.

El procedimiento de control y regulación de acuerdo con la invención puede aplicarse igualmente a una unidad de hidrogenado de gasolinas olefínicas resultantes de un procedimiento de craqueado catalítico en el que las magnitudes de entrada son el caudal de hidrógeno (MV1) y el caudal de fluido frío destinado a bloquear las reacciones (MV2) y las magnitudes de salida son la proporción de estireno en la salida de la unidad (CV1) y la diferencia de temperatura entre la salida y la entrada de la unidad (CV2).

El presente procedimiento se puede aplicar a toda unidad que presente unas variables de entrada (MV) y unas variables de salida (CV) y cuyo comportamiento se pueda representar por un modelo lineal.

Entre las unidades de refinado se puede citar a modo de ejemplo, sin que éste sea limitativo,

- una unidad de hidrodesulfuración de una carga de hidrocarburo del tipo gasolina o gasóleo, en el que las magnitudes de entrada son el caudal de alimentación (MV1) de la unidad y la temperatura a la entrada de la unidad de hidrodesulfuración (MV2) y la magnitud de salida (CV) es la proporción de azufre en la gasolina o el gasóleo tratado.

- una unidad de hidrogenado de gasolinas olefínicas resultantes de un procedimiento de craqueado catalítico en el que las magnitudes de entrada son el caudal de hidrógeno (MV1) y el caudal de fluido frío destinado a bloquear las reacciones (MV2) y las magnitudes de salida son el contenido en estireno en la salida de la unidad (CV1) y la diferencia de temperatura entre la salida y la entrada de la unidad (CV2).

Descripción detallada de la invención

De forma más precisa, el procedimiento de control y regulación avanzado de la presente invención recurre a una fase de identificación de los parámetros de un modelo lineal que representa el comportamiento de la unidad industrial que debe ser regulada.

La fase de identificación de los parámetros del modelo de la unidad recurre a un controlador predictivo multivariable lineal (MVAC) que resuelve periódicamente con un periodo T (típicamente del orden de 1 minuto) un problema de forma cuadrática, es decir una forma que contiene un criterio cuadrático con respecto a las variables de optimización. Se entiende por forma cuadrática una expresión matemática que recurre al cuadrado de las variables de optimización.

Por otro lado las magnitudes de entrada MV deben respetar cierto número de limitaciones.

Las variables de optimización son un conjunto de valores futuros que deberían tomar las MV para que las limitaciones sean respetadas al máximo y que dicho criterio cuadrático se minimice. Para cada MV, indicada como MVi, se encuentra en este conjunto el valor a aplicar en la unidad industrial en el momento que sigue inmediatamente al cálculo efectuado, MVi(0), así como valores a aplicar más tarde, a diferentes múltiplos del periodo T, MVi(xT), perteneciendo x a una sucesión creciente de números enteros.

De este conjunto de valores calculados, solamente los MVi(0) se aplican realmente en el procedimiento. **[0035]** Un nuevo problema de optimización se resuelve en el periodo siguiente.

Las limitaciones lineales del problema de optimización pueden permitir garantizar al máximo que :

- las MV permanecen entre límites mínimos y máximos especificados;
- las variaciones de las MV de una iteración a otra permanecen entre límites mínimos y máximos especificados;
- las CV permanecen entre límites mínimos y máximos especificados.

El criterio cuadrático del problema de optimización puede comprender la adición de varios términos:

- términos que penalizan la distancia entre las CV y las trayectorias deseadas que les son asignadas;
- términos que penalizan la variación de las MV de una iteración a otra (términos utilizados conjuntamente o no con las limitaciones de variación de las MV);
- términos que penalizan la distancia entre las MV y las trayectorias deseadas que les son asignadas. En el controlador MVAC, estas trayectorias deseadas para las MV existen efectivamente y se muestran mediante las magnitudes denominadas “dianas externas”.

En lo sucesivo en el texto, utilizaremos las denominaciones siguientes:

MDL designa el modelo dinámico lineal que representa el comportamiento de la unidad a regular.

MVAC designa el controlador lineal predictivo multivariable totalmente compatible con la fase de identificación en bucle cerrado.

ISIAC designa el programa de identificación, es decir de cálculo de los parámetros del modelo MDL. El programa ISIAC también se utiliza para generar los valores de las variables de entrada a aplicar al procedimiento durante la fase de recogida de los datos. Estos valores proceden, por ejemplo, de secuencias binarias pseudo-aleatorias (SBPA) y se determinan para mostrar todo el espectro de frecuencia del procedimiento y para hacer aparecer todos los acoplamientos que pueden existir entre las variables.

Una SPBA es una sucesión de impulsos rectangulares de longitud aleatoria y de media nula, que permite aproximar un ruido blanco discreto. Ésta es por lo tanto una señal rica en frecuencias, particularmente bien adaptada para revelar el espectro de frecuencia de un procedimiento.

La fase de identificación de los parámetros del modelo MDL de la unidad, que forma parte de la presente invención se basa en 6 etapas :

1. Inicialización del modelo: A partir de datos recogidos mediante modificaciones manuales realizadas por el operador en valores de consigna de las MV, el programa ISIAC genera un primer modelo (MO) de la unidad a regular. Este modelo es utilizado a continuación por el controlador MVAC para controlar la unidad. Durante esta fase de inicialización, el controlador MVAC no se utiliza en la unidad industrial.

2. Generación de las variaciones de las MV: Fuera de línea, es decir sin vínculo con el funcionamiento del procedimiento real, ISIAC genera variaciones para cada MV. Estas variaciones se calculan para demostrar el espectro de frecuencia de la unidad, y para hacer aparecer los acoplamientos entre las variables. Éstas son por ejemplo secuencias de tipo SBPA superpuestas a los valores corrientes de las MV. De forma más general, estas variaciones para cada MV son una sucesión de incrementos y de decrementos, separados de manera regular o no, y de amplitudes tales que inducen variaciones medibles de todo o parte de las CV. Se entiende por medible el hecho de que las variaciones de las mediciones de las CV, consecutivas a las variaciones de las MV, son más importantes que las variaciones vinculadas al ruido de medición (vinculado a su vez a la tecnología del sensor empleado).

3. Validación de las variaciones generadas y ajuste del controlador MVAC:
Fuera de línea, se realizan simulaciones del comportamiento de la unidad controlada por el controlador MVAC. Para ello, el controlador MVAC se conecta a un simulador dinámico, que reproduce aproximadamente el funcionamiento de la unidad utilizando el modelo MDL disponible en la etapa considerada, es decir M(n). Las variaciones definidas en la etapa 2 se emplean en simulación mediante la funcionalidad “dianas externas” de MVAC. Sus efectos sobre las CV son visualizados y analizados por un ingeniero de control de procedimientos. Las amplitudes de las variaciones en las MV definidas en la etapa 2, pueden ajustarse, y el ajuste del controlador MVAC puede afinarse. Estos ajustes y reglajes contienen particularmente une fase de relajación de los objetivos para las CV. Se entiende por relajación el hecho de transformar consignas en límites bajos y altos, aumentar el valor de los límites máximos y reducir el valor de los límites mínimos. Todas estas operaciones se realizan de manera que los nuevos valores de los límites siguen siendo compatibles con un funcionamiento seguro de la unidad, las especificaciones sobre los productos siguen estando, por otro lado, garantizadas. Esta relajación de los objetivos tiene por objeto permitir variaciones más importantes de las MV, que conducen a variaciones de CV a su vez suficientemente importantes para que la información contenida en los datos recogidos presente una relación señal con respecto a ruido suficiente. Se trata, en este caso, de un aspecto relativamente convencional en tratamiento de información que no se desarrollará adicionalmente.

4. Aplicación de las variaciones de las MV al procedimiento real y recogida de los datos: En esta etapa, el controlador MVAC está conectado a la unidad. El MVAC, también se ajusta al concluir la etapa 3, aplica automáticamente a la unidad las variaciones definidas y afinadas en las MV en la etapa 3, mediante la funcionalidad "dianas externas". Como MVAC está en bucle en la unidad, la consecución de los objetivos en las CV (es decir el respeto de las diversas limitaciones) sigue siendo prioritario. Esto es lo que permite conservar durante toda esta etapa una producción con las especificaciones requeridas.

5. Generación de los parámetros del procedimiento: Fuera de línea, el ISIAC calcula los parámetros del modelo MDL de la unidad, a partir de los datos generados en la etapa 4.

6. Evaluación de la precisión del modelo: Fuera de línea, el ISIAC proporciona indicaciones sobre la precisión del modelo obtenido al concluir la etapa 4. Estas indicaciones se construyen de la siguiente manera:

Sea yj(t) un sub-conjunto de los valores tomados por la medición de la CVj, durante la fase de recogida en la etapa 4, sub-conjunto que comprende los valores utilizados para la identificación mediante ISIAC en la etapa 5. Sea moy(yj(t)) la media de los valores de yj(t).

Sea ypj(t) el valor predicho para estos valores yj (t), a partir del modelo elaborado por ISIAC en la etapa 5.

La indicación sobre la precisión del modelo para la CVj se calcula como la diferencia entre 1 y el cociente entre la norma euclidiana de la distancia entre yj(t) y ypj(t) y la norma euclidiana de la distancia entre yj(t) y moy(yj(t))-

Si el modelo es perfecto, la distancia entre medición y predicción es nula y el indicador vale 1.

Cuando la predicción no aporta más información que el valor medio moy(yj(t)), dicho de otro modo, que es de muy mala calidad, el indicador vale 0. Esta funcionalidad permite decidir sobre la necesidad de continuar con los ensayos.

Si ISIAC indica que uno o más parámetros del modelo son imprecisos, se recomienda las etapas 2 a 4, o simplemente la etapa 4 en el caso en el que la imprecisión proviene de perturbaciones del funcionamiento del procedimiento durante la aplicación de las variaciones en las MV. Este último caso se ve mediante examen, en los datos recogidos, de la relación entre, por un lado, el tiempo pasado por las MV en los objetivos definidos en las etapas 2 y 3 y, por otro lado, el tiempo total de recogida. Para la iteración de las etapas, se utiliza el modelo M(n) que contiene los últimos parámetros fiables obtenidos al concluir la etapa 5.

Ejemplos de acuerdo con la invención

Ejemplo 1

El primer ejemplo presentado se refiere al procedimiento de control y regulación avanzado de una unidad de hidrodesulfuración de gasolina.

El modelo de esta unidad comprende una magnitud de salida CV, el contenido de azufre a la salida de la unidad. Su medición es poco frecuente y ruidosa.

El modelo comprende dos magnitudes de entrada MV1, el caudal de alimentación de la unidad y MV2, la temperatura en la entrada del reactor de hidrodesulfuración.

Por supuesto, el hecho de que el modelo del presente ejemplo solamente comprenda dos variables de entrada y una variable de salida no es en absoluto limitante, y el presente procedimiento de control y regulación se aplica de la misma manera a sistemas que comprenden un número cualquiera de variables de entrada y de variables de salida. El esquema funcional de la unidad de hidrodesulfuración es tal como se presenta en la figura 1.

Las dos variables de entrada, MV1 y MV2, actúan sobre la CV, por lo tanto hay un acoplamiento. Se supone que el modelo inicial utilizado en MVAC (M(0)) está muy alejado del procedimiento.

La figura 3 muestra el interés del establecimiento de un bucle del controlador MVAC para las fases de identificación. Se calcularon las variaciones con ISIAC (etapas 2 y 3) y se aplican a cada una de las MV con el controlador en bucle (etapa 4).

Los objetivos en la CV se redujeron a una limitación máxima que no debe superarse (CV inferior a la CV máxima).

En el presente caso con dos MV, y teniendo en cuenta los tiempos de respuesta del procedimiento, un ensayo del orden del día permite obtener las informaciones necesarias para el cálculo de un nuevo modelo MDL.

En la figura 3 se presentan tres gráficos:

- El gráfico superior representa la evolución en el tiempo de la medición de la CV en función del tiempo. El tiempo (T) está en abscisas y tiene por unidad el minuto. La CV es el contenido de azufre medido en ppm.
  El línea continua se ha representado la medición real que comprende el ruido y eventuales perturbaciones. La limitación máxima que no debe superarse se representa en línea discontinua (14,3 ppm). **[0057]** El gráfico del medio representa la evolución en función del tiempo de la MV1.

El tiempo (T) está en abscisas y tiene por unidad el minuto. La MV1 es el caudal de carga medido en toneladas/ hora (t/h).

En línea discontinua, se ha representado el valor de la variación calculado en las etapas 2 y 3 para la funcionalidad "diana externa".

El línea continua, se ha representado el valor aplicado realmente a la unidad de hidrodesulfuración. Estos dos valores difieren cuando el controlador MVAC debe modificar las MV para cumplir los objetivos prioritarios de las CV.

El gráfico inferior representa la evolución en función del tiempo de la MV2.

El tiempo (T) está en abscisas y tiene por unidad el minuto. La MV2 es la temperatura de entrada en el reactor en ºC.

En línea discontinua, se ha representado el valor de la variación calculado en las etapas 2 y 3.

En trazo continuo se ha representado el valor realmente aplicado sobre la unidad. Esos dos valores difieren cuando el controlador MVAC debe modificar las MV para satisfacer los objetivos prioritarios de las CV.

El caso expuesto corresponde al funcionamiento según la figura 2 (el acrónimo ET sirve para designar la funcionalidad diana externa):

Los valores a alcanzar por las MV (variaciones calculadas en las etapas 2 y 3) se asignan a las entradas del MVAC según la funcionalidad “diana externa”. El controlador MVAC calcula después los valores de las MV a aplicar a la unidad garantizando al mismo tiempo que las CV cumplen los objetivos.

En el presente ejemplo, se dan condiciones difíciles:

- la medida de las CV es poco frecuencia y ruidosa;
- el modelo inicial utilizado en el MVAC está alejado del modelo del procedimiento.

La menor frecuencia de medida se caracteriza por escalones que muestran la ausencia de nuevas informaciones durante un determinado tiempo. Este puede ser, por ejemplo, el tiempo de análisis de un sulfurímetro (equipo específico para la medición de azufre) o de un cromatógrafo.

Las variaciones sobre las MV se aplican en el circuito / bucle cerrado según la invención (etapa 4), es decir, que el objetivo sobre las CV continúa siendo prioritario durante la fase de identificación. Se observa que el valor medido de las CV se aleja poco de su tensión máxima y que las MV alcanzan rápidamente valores deseados y definidos

durante las etapas 2 y 3.

En presencia de medidas poco frecuentes y ruidosas, la aplicación del procedimiento de control y regulación según la invención conduce a resultados que constituyen un progreso con respecto a la técnica anterior:

1. La producción de especificación permanece débil.
2. El valor de las MV se reajusta automáticamente pero la rigidez de los frentes se conserva, por lo que la señal guarda buenas características para la identificación. Cuando sea posible, los controles regresan muy rápido a los valores definidos durante las etapas 2 y 3.

Ejemplo 2

El segundo ejemplo es cualitativo para no multiplicar las figuras que son del mismo tipo que las relativas al ejemplo 1.

Este ejemplo lleva sobre el control simplificado una unidad de hidrogenación de esencias. En esta unidad, la carga tiene una cantidad de compuestos insaturados relativamente considerable y se pone en contacto con un catalizador en presencia de hidrógeno. En las condiciones de hidrogenación usuales (temperatura comprendida entre 250ºC y 350ºC, presión entre 20 y 50 bares con catalizador basado en Co/Mo o Ni/Mo sobre soporte de aluminio), los compuestos insaturados de la carga están hidrogenados. Esta reacción de hidrogenación es exotérmica, y es conveniente bloquear las reacciones por un fluido de refrigeración, para evitar las reacciones parásitas de craqueo u otras.

El caudal de carga, así como la temperatura en la entrada del reactor de hidrogenación son constantes.

El controlador actúa sobre el caudal de hidrógeno que constituye la primera variable de entrada (MV1) y sobre el caudal de fluido frío destinado a bloquear las reacciones, que constituye la segunda variable MV2.

El sistema de control comprende dos tamaños de salida CV.

La primera CV denominada CV1 es la cantidad de estireno que sale del reactor. Es una variable que constituye una buena imagen de la cantidad de compuestos insaturados que le quedan después de la reacción de hidrogenación. Esta CV1 debe permanecer alrededor de un valor de referencia fijado, pero, durante las fases de identificación, puede cambiar entre los extremos fijados.

La segunda CV, denominada CV2, es la diferencia de temperatura entre la salida y la entrada del reactor. Esta variable debe permanecer por debajo de un máximo fijado, con objeto de proteger al catalizador y de garantizar un funcionamiento estable del reactor.

Un incremento de la MV1, el caudal de hidrógeno, tiende a favorecer la reacción por aumento de la presión parcial de hidrógeno. En este caso, la cantidad de estireno disminuye y la diferencia de temperatura entre la salida y entrada del reactor aumenta.

Un incremento de la MV2, el caudal de fluido frío, tiene tendencia a disminuir la diferencia de temperatura a expensas de la reacción: la cantidad de estireno aumenta. El esquema funcional de ese procedimiento de dos MV y dos CV es análogo al presentado en la figura 1, con una MV complementaria, es decir MV2.

Las dos variables de entrada, MV1 y MV2, actúan sobre las dos variables de salida CV1 y CV2. Se supone que el modelo utilizado en MVAC (M(0)) están muy alejado del procedimiento.

Los problemas que sobrevienen cuando la invención no se aplica, es decir, cuando el controlador MVAC no está en bucle, son problemas de superación de valores límites o valores diana.

Las variaciones para las MV pueden inducir una vulneración de los objetivos prioritarios para las CV. Los extremos para la CV pueden vulnerarse. Incluso, el máximo para la CV puede sobrepasarse. Esta situación viene acompañada por una producción fuera de la especificación que es evidentemente perjudicial sobre el plan económico.

El interés del cierre del circuito del controlador MVAC durante las fases de identificación reside en el respeto de todas las obligaciones que permite por tanto una producción de acuerdo con las especificaciones.

Las variaciones se han calculado con ISIAC (etapas 2 y 3) y se aplican sobre cada una de las MV con el controlador en bucle (etapa 4).

Los objetivos sobre la CV1 se han transformado en no superar restricciones mínima y máxima (CV inferior a CV máx y superior a CV min, etapa 3).

En el segundo caso del presente ejemplo de dos MV, para un procedimiento con tiempos de respuesta del orden de algunas decenas de minutos, un ensayo del orden de ocho horas permite obtener las informaciones necesarias para el cálculo de un nuevo modelo MDL y éste con una producción que respeta las especificaciones sobre cualquier duración de identificación.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento avanzado de control y regulación de una unidad industrial representada mediante un modelo dinámico lineal MDL, que presenta magnitudes de entrada denominadas MV, y magnitudes de salida denominadas CV, dicho procedimiento funcionando en bucle cerrado y recurriendo a una fase de identificación de los parámetros del modelo MDL que se realiza mediante un controlador (MVAC) y un programa de identificación (ISIAC) y que consiste en la siguiente sucesión de etapas:

- una etapa 1 de inicialización en la que a partir de los datos recopilados a través de modificaciones manuales del operador, el programa ISIAC genera un primer modelo (MO) de la unidad industrial, modelo que a continuación utiliza el controlador MVAC para dirigir dicha unidad.
- una etapa 2 de generación de las variaciones de las MV en la que, fuera de línea, es decir sin ningún vínculo con el funcionamiento de la unidad, ISIAC genera variaciones para cada MV, constituyéndose estas variaciones para cada MV de una serie de incrementos y decrementos, de amplitudes tales que inducen variaciones mesurables de todo o parte de los CV **caracterizado por que**
- una etapa 3 de validación de las variaciones de las MV y del ajuste del controlador MVAC en la que, fuera de línea, las simulaciones del comportamiento de la unidad que dirige el controlador MVAC, se realizan conectando el controlador MVAC a un simulador dinámico, que reproduce aproximadamente el funcionamiento de dicha unidad, y utilizando el modelo M(n) disponible en dicha etapa, aplicándose las variaciones definidas en la etapa 2 en simulación mediante la función “objetivo externo” del MVAC, ajustando las amplitudes de las variaciones de las MV definidas en la etapa 2, relajando los objetivos para las CV, y afinándose el ajuste del controlador con la intervención de un operador.
- una etapa 4 de generación de respuestas de la unidad en la que el controlador MVAC, tal y como se ajustó al finalizar la etapa 3, se conecta a dicha unidad en bucle cerrado y aplica automáticamente sobre la unidad las variaciones definidas en las MV durante la etapa 3, mediante la función “objetivo externo”.
-una etapa 5 de generación de parámetros por parte de ISIAC en la que, fuera de línea, el programa de identificación ISIAC calcula los parámetros del modelo de la unidad a partir de los datos que se generaron en la etapa 4.
-una etapa 6 de evaluación de la precisión del modelo en el que el programa de identificación ISIAC efectúa un cálculo de la precisión de los parámetros obtenidos al finalizar la etapa 5 a partir de un criterio que permite decidir a) detener las iteraciones si la precisión es satisfactoria; b) la iteración a partir de la etapa 2 si la precisión es insuficiente en uno o variaos parámetros; c) la iteración a partir de la etapa 4 en el caso de que la imprecisión proceda de perturbaciones en el funcionamiento de la unidad durante la aplicación de las variaciones en las MV.

2. Procedimiento avanzado de control y regulación de una unidad industrial de acuerdo con la reivindicación 1, que recurre a una fase de identificación de los parámetros de un modelo MDL de dicha unidad en la que las señales que genera ISIAC durante la etapa 2 son señales de tipo secuencia binaria pseudo-aleatoria (SBPA) que se aplican directamente a nivel del controlador MVAC.

3. Procedimiento avanzado de control y regulación de una unidad industrial de acuerdo con la reivindicación 1 que recurre a una fase de identificación de los parámetros de un modelo MDL de dicha unidad, en la que el criterio de iteración que se utiliza en la etapa 6 que desencadena la vuelta a la etapa 4, se define por la relación entre: por una parte, el tiempo transcurrido por las MV en los objetivos definidos en las etapas 2 y 3, y por otra parte el tiempo total de recopilación, efectuándose dicha iteración a partir del modelo MDL(n) que contiene los últimos parámetros fiables obtenidos al finalizar la etapa 5.

4. Aplicación del procedimiento de control y regulación de acuerdo con la reivindicación 1 en una unidad de hidrodesulfuración de una carga hidrocarbonada de tipo gasolina o gasóleo, en la que las magnitudes de entrada son el caudal de alimentación (MV1) de la unidad y la temperatura en la entrada de la unidad de hidrodesulfuración (MV2) y la magnitud de salida (CV) es el contenido en azufre de la gasolina o gasóleo tratado.

5. Aplicación del procedimiento de control y regulación de acuerdo con la reivindicación 1 en una unidad de hidrogenación de gasolinas olefínicas obtenidas a partir de un procedimiento de craqueo catalítico en el que las magnitudes de entrada son el caudal de hidrógeno (MV1) y el caudal de fluido frío que tiene por objeto bloquear las reacciones (MV2) y las magnitudes de salida son el contenido en estireno a la salida de la unidad (CV1) y la diferencia de temperatura entre la salida y la entrada de la unidad (CV2).

Figura 1

Figura 2

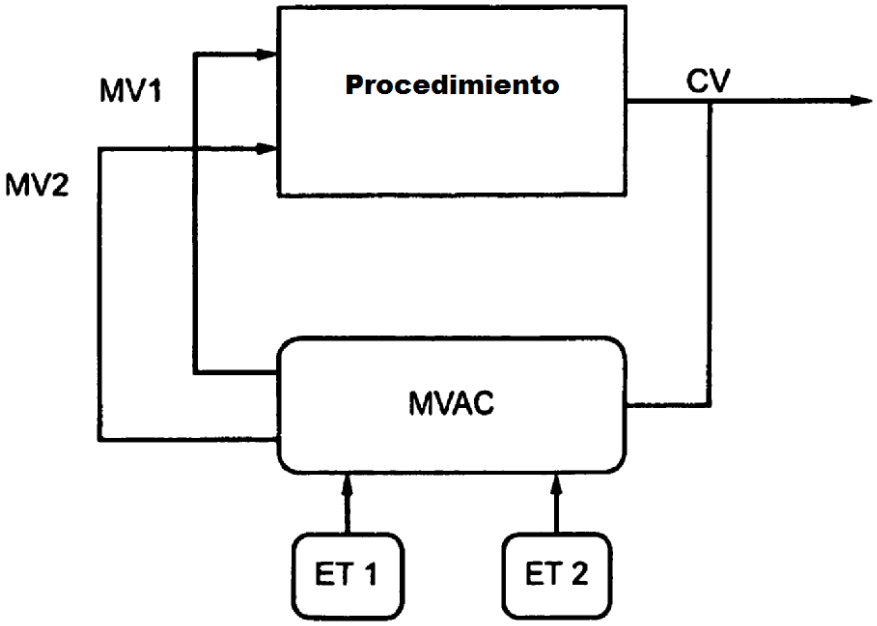
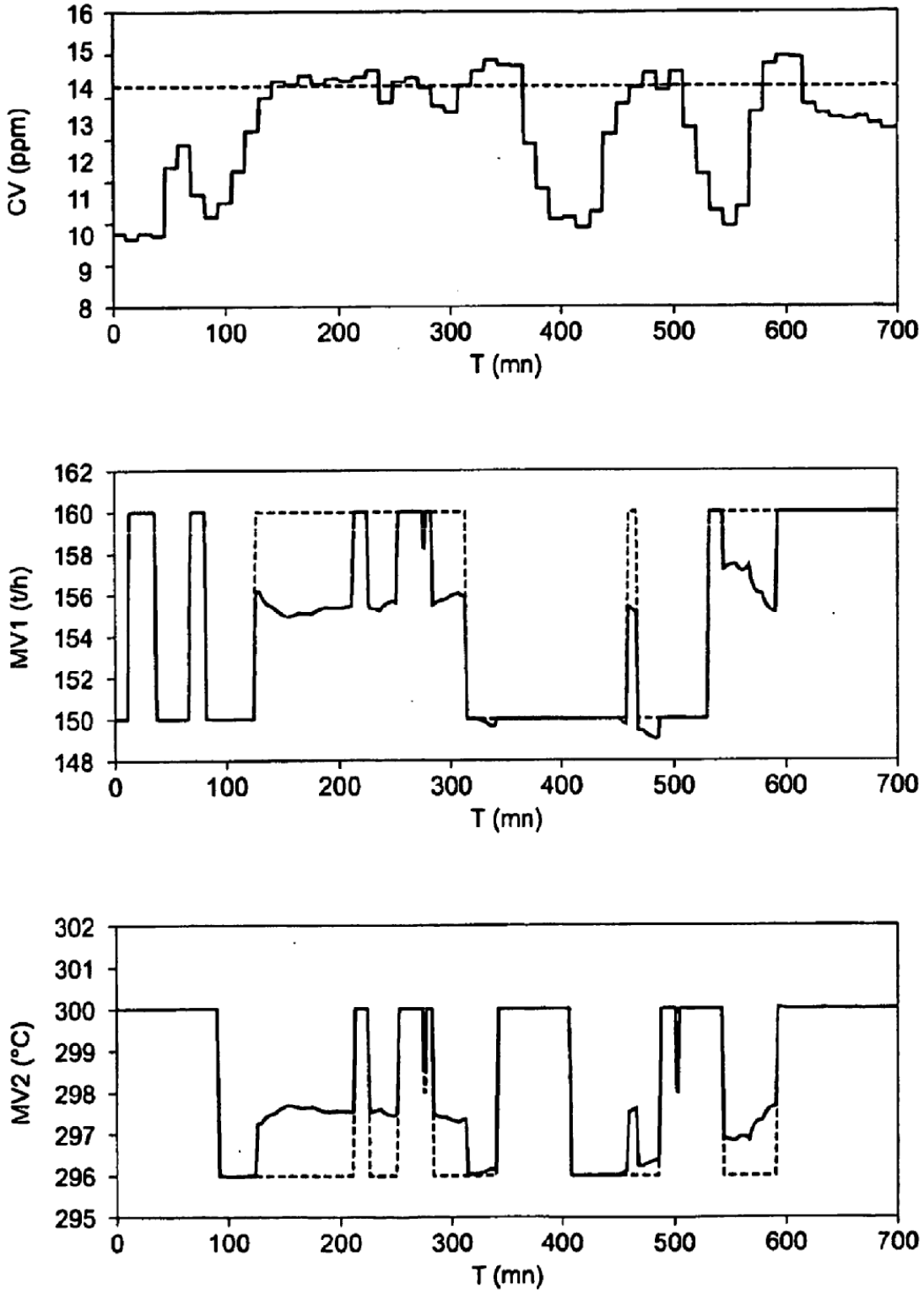


Figura 3


CV (ppm)
16
15
14
13
12
11
10
9
8
0
100
200
300
400
500
600
700
T (mn)
MV1 (t/h)
162
160
158
156
154
152
150
148
0
100
200
300
400
500
600
700
T (mn)
MV2 (°C)
302
301
300
299
298
297
296
295
0
100
200
300
400
500
600
700
T (mn)