



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 302 295**

51 Int. Cl.:
G05B 13/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **06113247 .8**

86 Fecha de presentación : **27.04.2006**

87 Número de publicación de la solicitud: **1720081**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **08.11.2006**

54 Título: **Aparato de regulación autoadaptativo para controlar la posición de los accionadores en un sistema de accionamiento mediante la técnica en modo de deslizamiento y el método de operación correspondiente.**

30 Prioridad: **29.04.2005 IT TO05A0290**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.07.2008

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.07.2008

73 Titular/es: **ANSALDO ENERGIA S.p.A.**
Via Nicola Lorenzi 8
16152 Genova, IT

72 Inventor/es: **Lombardi, Filippo y**
Cacciacarne, Stefano

74 Agente: **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).

DESCRIPCIÓN

Aparato de regulación autoadaptativo para controlar la posición de los accionadores en un sistema de accionamiento mediante la técnica en modo de deslizamiento y el método de operación correspondiente.

La presente invención se refiere a un aparato de regulación autoadaptativo para controlar la posición de uno o más accionadores en un sistema de accionamiento mediante una técnica en modo de deslizamiento y al método de operación correspondiente.

En particular, la presente invención se refiere a un aparato de regulación que puede configurar de una manera completamente automática los parámetros de regulación usados para controlar la posición de uno o más accionadores diseñados para dirigir una válvula para regular el fluido que se desprende en una turbina de gas o vapor o agua (turbo-máquina) a la que se refiere la siguiente descripción puramente a modo de ejemplo.

Como se sabe actualmente, en el campo de la regulación de fluido (sea gas, vapor o agua) suministrado a turbinas, se usan sistemas electrohidráulicos que están constituidos básicamente por un sistema de actuación que comprende un cilindro hidráulico denominado habitualmente "servomotor" que puede accionar la válvula que regula el fluido suministrado a la turbina y mediante un convertidor electrohidráulico diseñado para modular el flujo de fluido hidráulico que desplaza el pistón en un cilindro hidráulico del servomotor.

Los sistemas electrohidráulicos mencionados anteriormente comprenden adicionalmente un sistema de regulación electrónico denominado en lo sucesivo en este documento "aparato de regulación", que puede implementar un conjunto de controles de bucle cerrado, es decir, controles de retroalimentación que prevén la comparación de la cantidad o cantidades físicas medidas que tienen que controlarse (típicamente, la posición del convertidor electrohidráulico y/o la posición del servomotor) con los valores de referencia deseados respectivos, y procesar dicha cantidad o cantidades de acuerdo con un procedimiento de control preestablecido, como una función a partir de la que se genera una señal de control eléctrica que acciona el convertidor electrohidráulico para modular el suministro de fluido a la turbina.

Se sabe además que los sistemas electrohidráulicos para el movimiento de válvulas de regulación de turbinas pueden clasificarse básicamente en tres tipos diferentes, cada uno de los cuales se caracteriza por la presión del fluido hidráulico disponible para su operación.

En particular, una primera clase de sistemas electrohidráulicos está constituida por sistemas suministrados por un fluido hidráulico a una baja presión (entre 6 y 15 bar), que generalmente comprende cuatro bucles de control en cascada entre sí; una segunda clase, en lugar de ello está constituida por sistemas que están suministrados por un fluido hidráulico a una presión media entre (entre 30 y 60 bar) y tienen una configuración de circuito con tres bucles de control en cascada entre sí; finalmente la tercera clase estará presentada por sistemas que están suministrados por un fluido hidráulico a una alta presión (entre 90 y 200 bar) y generalmente comprenden un solo bucle de control.

De acuerdo con la clase a la que pertenezca el sistema hidráulico, el convertidor hidráulico puede comprender una válvula proporcional o una servo válvula, cuyo control representa para el sistema de regulación electrónico descrito anteriormente uno de los puntos más críticos en lo que respecta a su acondicionamiento mediante un número considerable de incertidumbres paramétricas del sistema electrohidráulico.

En otras palabras, el sistema electrohidráulico está condicionado notablemente por la válvula proporcional y/o la servo válvula, cuyo comportamiento se ve afectado por una pluralidad de variables tales como por ejemplo diversos tipos de fricción, reacciones hidrodinámicas, histéresis magnética, viscosidad del fluido, etc.

La presencia de dichas incertidumbres hace que la operación de calibrado inicial de los parámetros de control usados por el sistema electrohidráulico sea extremadamente laboriosa y compleja. De hecho, dichas operaciones de calibrado normalmente las realiza un operario basándose en la clase a la que pertenece el sistema.

Además, los sistemas electrohidráulicos descritos anteriormente presentan el problema principal de graves límites en términos de rendimiento estático-dinámico con respecto a precisión, rapidez de respuesta y coeficiente de amortiguación del sistema.

De hecho, como las turbinas son máquinas que son muy sensibles a las variaciones de caudal, se hace necesario para los propósitos de regulación estable de la velocidad y de la carga tener disponible accionadores muy precisos y rápidos. Obtener dicho rendimiento implica el uso de convertidores electrohidráulicos muy sofisticados que conducen sin embargo a un aumento evidente en la complejidad de la regulación de la posición en el sistema electrohidráulico. En el caso en cuestión, ocurre frecuentemente que para mejorar el rendimiento del sistema electrohidráulico, se realizan calibrados de los parámetros de control hasta el límite de estabilidad determinando que conducen, sin embargo, a una pérdida en la "robustez" de la regulación (insensibilidad a incertidumbres en los parámetros del sistema regulado). En este caso, simplemente una ligera variación de unos pocos parámetros puede poner en peligro la estabilidad de todo el bucle de regulación, con el resultado de tener que detener la máquina durante un nuevo calibrado de los parámetros.

Adicionalmente, controladores en modo de deslizamiento se conocen de los documentos US 5988848, US 6574544 y EP 0446362.

ES 2 302 295 T3

El objetivo de la presente invención es por lo tanto proporcionar un aparato de regulación autoadaptativo para controlar la posición de los accionadores en el sistema de accionamiento mediante la técnica en modo de deslizamiento, pudiendo dicho aparato superar los inconvenientes descritos anteriormente.

- 5 De acuerdo con la presente invención, se proporciona un aparato de regulación autoadaptativo para controlar la posición de uno o más accionadores de un sistema de accionamiento mediante la técnica en modo de deslizamiento, como se indica en la reivindicación 1 y preferiblemente en una cualquiera de las reivindicaciones posteriores que dependen directamente o indirectamente de la reivindicación 1.
- 10 De acuerdo con la presente invención, se proporciona un método de operación de un aparato de regulación autoadaptativo para controlar la posición de uno o más accionadores de un sistema de accionamiento mediante la técnica en modo de deslizamiento como se indica en la reivindicación 12 y preferiblemente en una cualquiera de las reivindicaciones posteriores dependientes directa o indirectamente de la reivindicación 12.
- 15 La presente invención se describirá ahora con referencia al conjunto de dibujos adjunto que ilustran un ejemplo no limitante de realización de la misma y en el que:
- La Figura 1 muestra un diagrama de bloques de un aparato de regulación autoadaptativo para controlar la posición de los accionadores en un sistema de accionamiento mediante la técnica en modo de deslizamiento, proporcionado de
- 20 acuerdo con los contenidos de la presente invención; y
- La Figura 2 ilustra un diagrama de flujo que indica las operaciones realizadas por el aparato de regulación autoadaptativo durante el procedimiento de configuración automática.
- 25 La presente invención se basa esencialmente en el principio de identificar una pluralidad de parámetros que caracteriza un sistema de accionamiento a controlar para determinar, en base a los parámetros identificados, un modelo de control basado en la denominada teoría de modo de deslizamiento y de adaptar un aparato de regulación del sistema de accionamiento en base al modelo de control determinado.
- 30 En particular, la presente invención se basa esencialmente en la idea de configurar de un modo automático en base a los parámetros identificados, una “superficie de conmutación” que, como quedará como se describirá claramente posteriormente en este documento, está diseñada para usarla en el aparato de regulación durante el control del sistema de accionamiento.
- 35 Debe señalarse que la prerrogativa de la técnica en modo de deslizamiento se basa en el hecho de que una vez que se han definido los límites de intensidad de la señal de control eléctrico del sistema de accionamiento como una función del rendimiento requerido, la síntesis de una superficie de conmutación en el espacio de los estados conduce a la definición de un aparato de regulación que no es sensible a las variaciones de los parámetros y a las incertidumbres que surgen en el sistema de accionamiento controlado.
- 40 En el caso en cuestión, partiendo de cualquier estado inicial, una vez que la superficie de conmutación se haya identificado, el aparato de regulación puede alcanzar un estado determinado por la condición de que la superficie de conmutación o la combinación de un número de superficies de conmutación preestablecido sea cero en un tiempo finito.
- 45 Con referencia a la Figura 1, el número 1 designa en su conjunto un aparato de regulación que tiene la función de regular la posición de uno o más accionadores presentes en el sistema de accionamiento de acuerdo con la técnica en modo de deslizamiento.
- 50 El aparato de regulación 1 comprende básicamente un módulo de potencia 2 que tiene una entrada conectada a un módulo de suministro 3 desde el que recibe una señal de suministro eléctrico y puede generar una señal de control de salida $U(t)$ diseñada para dirigir el sistema de accionamiento 4 de la válvula de suministro (no ilustrada) del fluido en una turbina (no ilustrada).
- 55 Debe señalarse que el sistema de accionamiento 4 puede comprender un servo mecanismo que a su vez comprende uno o más accionadores electrohidráulicos o electromecánicos diseñados para realizar como un conjunto la acción de regulación sobre la válvula de suministro (no ilustrada). En particular, los accionadores comprendidos en el sistema de accionamiento 4 pueden presentar cualquier configuración. Por ejemplo los accionadores pueden configurarse de acuerdo con la clase de sistemas de actuación suministrados “a baja presión” o a la clase de sistemas de accionamiento
- 60 suministrados “a media presión” en el que se prevé el uso respectivamente de un servomotor y de un convertidor electrohidráulico que está constituido por una válvula proporcional que dirige un servo cilindro intermedio y una válvula proporcional para caudales mayores o también de acuerdo con la clase de sistemas de actuación suministradas “a alta presión” en el que se prevé el uso de un servomotor y una servo válvula.
- 65 El aparato de regulación 1 comprende adicionalmente un módulo de identificación 5 que recibe en la entrada una serie de señales de medida $X_i(t)$ correlacionadas con las posiciones del accionador o accionadores comprendidos en el sistema de accionamiento 4 y la señal de control $U(t)$ generada por el módulo de potencia 2.

ES 2 302 295 T3

En el caso en cuestión, las señales de medida $X_i(t)$ se suministran en la entrada al módulo de identificación 5 mediante detectores de medida de posición respectivos (no ilustrados), que de acuerdo con la configuración del sistema de accionamiento 4, son capaces de suministrar una señal de medida $X_1(t)$ correspondiente a la posición X_1 del servomotor (no ilustrado), y/o una señal de medida $X_2(t)$ correspondiente a la posición X_2 del cilindro del convertidor electrohidráulico (no ilustrado) y/o una señal de medida $X_3(t)$ correspondiente a la posición X_3 de la válvula del convertidor electrohidráulico (no ilustrado), etc.

El módulo de identificación 5 puede realizar un muestreo sincronizado de las señales de medida $X_i(t)$ y de la señal de control $U(t)$ a intervalos de muestreo preestablecidos T_C para determinar los valores muestreados X_K y U_K , y procesar apropiadamente estos últimos de manera que se realiza una identificación paramétrica y estructural del sistema de accionamiento 4. En el caso en cuestión, como se describirá con detalle a continuación en este documento, el módulo de identificación 5 puede procesar los valores muestreados U_K de la señal de control $U(t)$ y los parámetros medidos X_K de las posiciones correspondientes a las posiciones de los accionadores presentes en el sistema de accionamiento 4, implementando un algoritmo para identificación paramétrica y estructural, que está diseñado para determinar la función de transferencia $G(z)$ del sistema de accionamiento 4.

Con mayor detalle, implementando el algoritmo de identificación paramétrica estructural, el módulo de identificación 5 puede suministrar en la salida los parámetros b_i y a_i (variando i de 1 a n), que caracteriza los polinomios en el numerador y en el denominador respectivamente de la función de transferencia $G(z)$ del sistema de accionamiento 4.

El algoritmo de identificación estructural y paramétrica implementado por el módulo de identificación 5 puede corresponder por ejemplo al método de mínimos cuadrados o al método de mínimos cuadrados recursivos con o sin factor de olvido o al método de gradiente de predicción-error o cualquier otro método similar que permita realizar una identificación paramétrica y estructural del sistema de accionamiento 4.

Por ejemplo, en el caso de que se implemente el método de mínimos cuadrados, si los valores muestreados U_K de la señal de control $U(t)$ y los valores X_K de las señales medidas se demuestran a intervalos de tiempo constantes T_C y la señal de control $U(t)$ es variable de manera que excita la respuesta del sistema de accionamiento 4, es decir, provoca el movimiento de los accionadores, entonces es posible determinar un modelo matemático estructural que identifica el sistema de accionamiento 4 mediante la siguiente relación:

$$X_K = \sum_{i=1}^{i=n} a_i \cdot X_{K-i} + \sum_{j=1}^{j=n} b_j \cdot U_{K-j}$$

donde: U_K y X_K corresponden respectivamente al valor de la señal de control, es decir, la señal de entrada del sistema de accionamiento 4 y al valor de la señal de medida, es decir, la señal de salida muestreada en el instante $k \cdot T_C$; n es el orden del sistema de accionamiento; y finalmente a_i y b_j son los coeficientes de la función de transferencia $G(z)$ correlacionada con el sistema de accionamiento 4 a identificar.

Suponiendo que se han realizado N medidas de las entradas (valores U_K) y de las salidas (valores X_K), se definen los siguientes dos vectores:

$$Y(N) = \begin{bmatrix} Y_n \\ \vdots \\ Y_{n+N} \end{bmatrix} \quad \hat{\theta} = \begin{bmatrix} a_1 \\ \vdots \\ a_n \\ b_1 \\ \vdots \\ b_n \end{bmatrix}$$

a partir de los que se obtiene la siguiente matriz de regresión:

$$\Psi(N) = \begin{bmatrix} Y_{n-1} & \cdots & Y_0 & U_n & \cdots & U \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Y_{n+N} & \cdots & Y_{N-n} & U_N & \cdots & U_{N-n} \end{bmatrix}$$

que produce la siguiente ecuación lineal:

$$Y(N) = \Psi(N) \cdot \hat{\theta}$$

donde $\hat{\theta}$ es el vector de los coeficientes reales a_i, b_j .

Deseando minimizar la desviación cuadrática entre las medidas $Y(N)$ y una estimación $\hat{\theta}$ de los coeficientes reales a_i, b_j , es decir, en el caso de que se minimice la siguiente funcional:

$$J = (Y - \Psi \cdot \hat{\theta})^T \cdot (Y - \Psi \cdot \hat{\theta})$$

entonces

$$\hat{\theta} = (\Psi^T \cdot \Psi)^{-1} \cdot \Psi^T \cdot Y.$$

En este punto, si $(\Psi^T \cdot \Psi)^{-1}$ puede invertirse, entonces el sistema de accionamiento 4 es identificable y los coeficientes reales a_i, b_j del vector definen una manera óptima de la función de transferencia $G(z)$ del sistema de accionamiento 4. En este caso, es posible derivar la función de transferencia $G(z)$ del sistema de accionamiento de la siguiente manera:

$$G(z) = \frac{x(z)}{u(z)} = \frac{b_0 + \dots + b_{n-1} \cdot z^{-(n-1)}}{1 + a_1 \cdot z^{-1} + \dots + a_n \cdot z^{-n}}$$

El sistema 1 comprende adicionalmente un módulo generador de superficie 6 que recibe en la entrada los parámetros a_i y b_j que caracterizan la función de transferencia $G(z)$ del sistema de accionamiento 4 y suministra en la salida los ceros estables β_k derivados de la función $G(z)$ y el orden n del modelo estructural asociado con el sistema de accionamiento 4.

En particular, el módulo generador de superficie 6 identifica el número de polos α_k presente en el denominador y el número de ceros en el numerador de la función de transferencia $G(z)$, realiza una discriminación de los ceros estables β_k de los ceros identificados y en base al número de polos α_k de la función de transferencia $G(z)$ determina el orden del sistema de accionamiento 4.

El módulo generador de superficie 6 además está diseñado para recibir en la entrada un conjunto de información H_i correlacionado con la potencia eléctrica disponible en el módulo de potencia 2 para controlar la posición de la válvula de regulación (no ilustrada) por el sistema de accionamiento 4, un conjunto de información H_i relacionado con la precisión de posicionamiento requerida y un conjunto de información H_i relacionado con la dinámica de la respuesta requerida del sistema de accionamiento 4.

El módulo generador de superficie 6 está diseñado para procesar la información H_i y para determinar un parámetro de ajuste λ de la "superficie de conmutación".

Con referencia a la Figura 1, el sistema comprende adicionalmente un módulo adicionador 7 que recibe en una primera entrada una señal $X_d(t)$ que indica la posición deseada, es decir, la posición que el accionador comprendido en el sistema de accionamiento 4 debe asumir, y en una segunda entrada las señales $X_i(t)$ que indican las posiciones medidas en el sistema de accionamiento 4 y están diseñadas para suministrar en la salida una señal de error $e(t)$ que corresponde a la diferencia entre la posición deseada en el instante (t) codificado en la señal $X_d(t)$ y las posiciones medidas en el sistema de accionamiento 4 una vez de nuevo en el mismo instante (t) y codificado en las señales $X_i(t)$.

Debe indicarse que el módulo adicionador 7 determina la señal de error $e(t)$ tanto como una función de la configuración del sistema de accionamiento 4, es decir, del orden n del módulo estructural asociado con el sistema de accionamiento 4 como en base a las medidas de posición $X_i(t)$ disponibles.

La señal de error (t) puede calcularse de las siguientes maneras:

- $e(t) = X_1(t) - X_d(t)$ en el caso de que solo esté disponible la posición X_1 del servo motor (una condición que ocurre en sistemas suministrados a baja, media, o alta presión);

- $e(t) = X_1(t) + X_2(t) - X_d(t)$ en el caso de que solo estén disponibles la posición X_1 del servo motor y la posición X_2 del cilindro del convertidor electrohidráulico (una condición que ocurre en los sistemas suministrados a baja y media presión) o también

ES 2 302 295 T3

- $e(t) = X_1(t) + X_2(t) + X_3(t) - X_d(t)$ en el caso de que solo la posición X_3 de la válvula del servo motor esté disponible (una condición que ocurre sólo en sistemas suministrados a baja presión).

Con referencia a la Figura 1, el sistema 1 comprende adicionalmente un módulo de filtro 8 que recibe en la entrada la señal de error $e(t)$ y los ceros estables β_k y suministra en la salida la propia señal de error $e(t)$ filtrada. En el caso en cuestión, el módulo de filtro 7 está disponible en base a los ceros estables β_k a configurar de un modo automático para definir un filtro (de paso bajo) diseñado para filtrar desde la señal de error $e(t)$ cualquier posible ruido o alteración introducida en las señales de posición $X_i(t)$ durante la etapa de medida y la etapa de muestreo.

El sistema 1 comprende adicionalmente un módulo de síntesis 9 que recibe en la entrada del parámetro de ajuste λ , el orden n del sistema y la señal error $e(t)$ y suministra en la salida la superficie de conmutación $\sigma(e)$ que puede determinarse implementando un algoritmo de cálculo basado en una técnica en modo de deslizamiento de primer orden o de segundo orden.

En el caso en cuestión, el módulo de síntesis 9 tiene la función de sintetizar, es decir, de definir la superficie de conmutación $\sigma(e)$ aplicando la siguiente relación:

$$\sigma(e) = \left(\frac{\delta}{\delta t} + \lambda \right)^{n-1} \cdot e(t),$$

en el caso de que se implemente un modo de deslizamiento de primer orden, o la siguiente relación:

$$\sigma(e) = \left(\frac{\delta}{\delta t} + \lambda \right)^{n-2} \cdot e(t),$$

en el caso de que se implemente un modo de deslizamiento de segundo orden.

En la descripción anterior debe señalarse que el módulo de síntesis 9 puede definir el orden a asignar a la superficie de conmutación o de deslizamiento $\sigma(e)$ en base al número de polos de la función de transferencia y del número y tipo de medidas de posición X_k disponibles. Por ejemplo, en un sistema de accionamiento de quinto orden, en el que solo la medida X_k de la posición del servo motor está presente, el módulo de síntesis 9 genera una superficie de cuarto orden (para los modos de deslizamiento de primer orden) o una superficie de tercer orden (para los modos de deslizamiento de segundo orden). Si en lugar de ello las medidas de posición disponibles comprenden la posición del servo motor y la posición del convertidor electrohidráulico, es posible asignar una superficie de deslizamiento de tercer orden o de segundo orden. En otras palabras, una vez que se ha determinado el orden n , el módulo de síntesis 9 puede identificar la superficie de deslizamiento también en base al número de parámetros de medida X_k . Finalmente, el sistema 1 comprende un módulo generador 10 que recibe en la entrada la superficie de conmutación de primer orden o de segundo orden $\sigma(e)$ y, como una función de esta última, suministra en la salida la señal de control $U(t) = f(\sigma(e))$:

En particular, en el caso de implementar el modo de deslizamiento de primer orden, el módulo generador 10 genera la señal de control $U(t)$ mediante la siguiente relación

$$U(t) = -H^2 \text{sign}[\sigma(e)];$$

mientras que en el caso de que se implemente el modo de deslizamiento de segundo orden, el módulo generador 10 genera la señal $U(t)$ de acuerdo con la siguiente relación:

$$U(t) = -\alpha(t) \cdot H^2 \cdot \text{sign}[\sigma(x, t) - \gamma \cdot \sigma_{\max}(x, t)]$$

$$\alpha(t) = \begin{cases} \alpha_0, & [\sigma(x, t) - \gamma \cdot \sigma_{\max}(x, t)] \cdot \sigma_{\max}(x, t) < 0 \\ 1, & [\sigma(x, t) - \gamma \cdot \sigma_{\max}(x, t)] \cdot \sigma_{\max}(x, t) \geq 0 \end{cases}$$

donde: H es una ganancia pre-establecida prevista en el control; γ y α_0 son cantidades pre-establecidas, mientras que $\sigma_{\max}$ corresponde a un valor de pico de la superficie de deslizamiento en el instante t .

Con referencia a la Figura 2, el método de operación del aparato de regulación 1 se describirá posteriormente en este documento.

Inicialmente, el aparato de regulación 1 realiza una inicialización y calibrado automático de los parámetros de medida X_k respecto a las posiciones de los accionadores del sistema de accionamiento 4. En esta etapa, el aparato de

regulación 1 es capaz de mover todos los accionadores del sistema de accionamiento 4 de una manera automática y/o por una orden de un operario, para una abertura o cierre completo. Durante dicho movimiento inicial, el aparato de regulación 1 verifica automáticamente cuáles y cuántas medidas de la posición $X_i(t)$ están activas, es decir, disponibles para controlar y configurar el intervalo de escala de las mismas normalizando de esta manera las señales $X_i(t)$ identificadas (bloque 100). De esta manera, el aparato de regulación 1 identifica el número y tipo de parámetros de medida X_K disponibles y utilizables para la configuración de control.

Después de un calibrado automático de las medidas, es decir, después de la identificación y normalización de las señales medidas de posición $X_i(t)$ disponibles, el aparato de regulación 1 realiza el procedimiento de autoajuste, es decir, de autoadaptación de los parámetros de control del sistema de accionamiento 4.

El aparato de regulación 1 ajusta la señal de control $U(t)$, que en esta etapa realiza la función de señal de excitación del sistema de accionamiento 4 (bloque 110). En particular, la señal de control $U(t)$ puede determinarse como función de la señal de error $e(t)$ indicada anteriormente que en la etapa inicial puede corresponder a la diferencia entre la señal deseada $X_d(t)$ que puede fijarse, por ejemplo, en un valor inicial correspondiente a $X_i(t)/2$, y la señal medida $X_i(t)$ de la posición del servo motor correspondiente a un parámetro medido de posición X_K . Como alternativa, la señal deseada $X_d(t)$ puede corresponder a una combinación lineal de un número de parámetros de medida X_K .

En la etapa de excitación del sistema de accionamiento 4 mediante el módulo de potencia 2, la señal de control $U(t)$ puede generarse preferiblemente de acuerdo con una técnica PWM (modulación de anchura de pulso), que prevé la variación de la anchura de los pulsos de la señal de control $U(t)$ como una función de la señal de error $e(t)$ de manera que mueve el servomotor del sistema de accionamiento 4 en consecuencia.

Después de la generación de la señal de control $U(t)$, es decir, después de la excitación descrita anteriormente, los accionadores del sistema de accionamiento 4 empiezan a moverse, y al mismo tiempo el módulo de identificación 5 realiza la adquisición de la señal de control $U(t)$ y de las señales de medida $X_i(t)$ disponibles, indicando los parámetros X_K medidos en el sistema de accionamiento 4 (bloque 120).

En el caso en cuestión, en esta etapa el módulo de identificación 5 realiza el muestreo de la señal de control $U(t)$ y de señales de medida $X_i(t)$ a intervalos pre-establecidos T_c de una manera preferiblemente sincrónica. Debe indicarse que el muestreo de las señales $X_i(t)$ y $U(t)$ puede empezar preferiblemente cuando el sistema de accionamiento 4 ha alcanzado un estado estacionario dado.

Una vez completada la adquisición de datos, el módulo de identificación 5 implementa el algoritmo de identificación paramétrica sobre los datos muestreados X_K y U_K para estimar los parámetros a_i y b_j de la función de transferencia $G(z)$ que caracteriza el modulo matemático estructural del sistema de accionamiento 4 (bloque 130).

Como se ha anticipado anteriormente, el algoritmo de identificación paramétrica implementado por el módulo de identificación 5 puede corresponder al método de mínimos cuadrados descrito anteriormente. En este caso, el módulo de identificación 5 verifica si la identificación de parámetros a_i y b_j satisface una relación pre-establecida dada de convergencia (bloque 140). Debe indicarse que, en el caso de que se implemente el método de mínimos cuadrados, dicha relación de convergencia puede satisfacerse cuando $(\Psi^T \cdot \Psi)^{-1}$ se encuentra que puede invertirse y el error estimado $e(t)$ satisface un estado pre-establecido. Dicho estado pre-establecido puede satisfacerse, por ejemplo, si el error $e(t)$ es menor que un umbral dado ajustado por ejemplo a 10^{-6} .

Si no lo es (salida NO del bloque 140), es decir, si la identificación de los parámetros a_i y b_j no es convergente, entonces el aparato de regulación 1 vuelve al estado inicial (bloque 110) en el que el módulo de potencia 2 genera una nueva señal de control $U(t)$ de manera que empieza una nueva excitación y un movimiento consecuente de los accionadores del sistema de accionamiento 4. En este caso, el método prevé la reiteración de las funciones de adquisición de datos, identificación paramétrica y comparación implementada en los bloques 110, 120, 130 y 140.

Por otro lado (la salida SI del bloque 140), es decir, si la identificación de los parámetros a_i y b_j es convergente, entonces el módulo generador de superficie 6 implementa la síntesis de control (bloque 150).

En detalle, en esta etapa, el módulo generador de superficie 6 identifica el número de polos α_k y el número de ceros β_k presentes, respectivamente en el denominador y en el numerador de la función de transferencia $G(z)$ y hace una discriminación de los ceros estables β_k de los ceros identificados. En este punto, el módulo generador de superficie 6 determina en base al número de polos α_k de la función de transferencia $G(z)$, el orden n del modelo matemático que caracteriza el sistema de accionamiento 4.

En la descripción anterior debe indicarse que para evitar la generación convenientemente de fenómenos de inestabilidad debido a estado de saturación del control, el módulo generador de superficies 6 determina el ajuste de parámetro λ de manera que se satisfacen preferiblemente las siguientes condiciones:

$$\lambda < \frac{1}{5T_{\max}}; \quad \lambda < \frac{1}{10} F_c; \quad \lambda < 2 \cdot \alpha_m$$

donde: T_{MAX} es una constante temporal determinada en base al ancho de banda de filtro de las señales (descrito posteriormente en este documento); F_c es la frecuencia de muestreo del módulo de identificación 5, si se obtuviera con una tecnología digital, y α_m es el polo dominante del módulo matemático del sistema de accionamiento 4 identificado.

5 En este punto, el módulo de filtrado 8 se configura de una manera automática en base a los ceros estables β_k y suministra en la salida la señal de error filtrada $e(t)$ (bloque 160). Después de la autoconfiguración del módulo de filtrado 8, el módulo de síntesis 9 define una superficie de conmutación o deslizamiento de primer orden o de segundo orden $\sigma(e)$ (bloque 170).

10 Una vez que la superficie de conmutación o de deslizamiento $\sigma(e)$ se ha identificado, el aparato de regulación 1 termina la etapa de configuración automática. En particular, después de la definición de la superficie de conmutación o deslizamiento $\sigma(e)$, el módulo generador 10 genera la señal de control $U(t)$ para dirigir la posición del accionador o accionadores del sistema de accionamiento 4 como una función de la superficie de conmutación de deslizamiento $\sigma(e)$ configurada (bloque 180).

15 En la descripción anterior, debe indicarse que, como el orden máximo del sistema de accionamiento 4 a identificar no supera el sexto o séptimo orden, usando el método de mínimos cuadrados e imponiendo un orden de estimulación inicial igual al máximo al orden posible, es posible demostrar que si dicho orden se sobreestimara, el método podría converger y el vector de parámetros identificados $\hat{\theta}$ conduciría en cualquier caso a una estimación correcta. En particular dicha estimación suministra los coeficientes de los polinomios en el numerador y en el denominador de la función de transferencia $G(z)$ que pueden ser de un tipo discreto (transformada z , que por otro lado puede convertirse automáticamente en una transformada continua en el dominio de Laplace). Los dos polinomios, a su vez pueden transformarse en una representación de cero polos factoriales. Con una elección apropiada de la tolerancia, es posible cancelar los polos y los ceros que están muy próximos entre sí y en consecuencia reducir el orden absoluto del modelo correspondiente al sistema de accionamiento 4. De esta manera, la estimación por mínimos cuadrados en presencia de un orden sobreestimado permitirá de hecho la identificación ventajosa del módulo correspondiente al sistema de accionamiento de forma correcta por cancelación, como se ha mencionado anteriormente para obtener una identificación mínima.

20 El aparato de regulación 1 descrito anteriormente presenta la ventaja principal de simplificar las operaciones de calibrado de sus propios parámetros y en particular de la superficie de conmutación o deslizamiento $\sigma(e)$ que puede usarse para controlar la posición del accionador o accionadores del sistema de accionamiento 4, independientemente de la configuración, es decir, del tipo del propio sistema de accionamiento, al mismo tiempo que garantiza gracias a las características de las técnica de control en modo de deslizamiento, la alta robustez de la regulación.

25 Finalmente, queda claro que pueden realizarse modificaciones y variaciones al aparato de regulación 1 descrito e ilustrado en este documento, sin alejarse del alcance de la presente invención, como se define en las reivindicaciones adjuntas.

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Un aparato de regulación autoadaptativo para controlar la posición de al menos un accionador en un sistema de accionamiento (4) para dirigir una válvula para regular el fluido que se desprende en una turbina de gas o vapor o agua, en base a una superficie de conmutación ($\sigma(e)$) de acuerdo con la técnica de control en modo de deslizamiento, **caracterizado** porque comprende:

- un medio generador de señal (2, 10) que genera una señal de control ($U(t)$) de dicho sistema de accionamiento (4) de manera que mueve dicho al menos un accionador de dicho sistema de accionamiento (4) a una serie de posiciones de manera que se dirige dicha válvula del fluido en dicha turbina;

- un medio de procesamiento (5, 6) diseñado para adquirir un conjunto de parámetros de medida (X_K) correspondiendo cada uno a la posición medida en un instante dado (t) en dicho al menos un accionador de dicho sistema de accionamiento (4) y un conjunto de valores de dicha señal de control $U(t)$ durante dicho movimiento de dicho al menos un accionador en dichas posiciones; dicho medio de procesamiento (5, 6) está diseñado para implementar un algoritmo para identificación de un modelo estructural del sistema de accionamiento (4) de manera que determina, en base a dichos parámetros de posición medidos (X_K) y valores (U_K) de dicha señal de control ($U(t)$), un primer parámetro (n) que indica el orden del modelo estructural correspondiente al sistema de accionamiento (4); comprendiendo dicho medio de procesamiento (5, 6) un medio de identificación (5) que procesa dichos parámetros de medida de posición (X_K) y los valores (U_K) de dicha señal de control ($U(t)$) implementando dicho algoritmo para identificación de modelo estructural del sistema de accionamiento (4); implementando dicho algoritmo el método de mínimos cuadrados o el método de mínimos cuadrados recursivo o el método de gradiente de predicción-error;

- un medio de síntesis (9) que recibe en la entrada una señal de error ($e(t)$) que indica la diferencia entre una posición deseada (X_d) y al menos una posición (X_K) medida en dicho al menos un accionador del sistema de accionamiento (4) y un segundo parámetro (λ) asociado con el establecimiento de dicha superficie de conmutación ($\sigma(e)$);

- dicho medio de síntesis (9) configura dicha superficie de conmutación ($\sigma(e)$) que se usa para controlar la posición de dicho al menos un accionador del sistema de accionamiento (4), como una función de dicha señal de error ($e(t)$) y en base al primer parámetro (n) y a dicho segundo parámetro (λ) implementando un algoritmo de cálculo basado en una técnica en modo de deslizamiento.

2. El aparato de regulación de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque dichos medios de síntesis (9) están diseñados para configurar la superficie de conmutación ($\sigma(e)$) como una función del primer parámetro (n) y del número de dichos parámetros de medida de posición (X_K) disponibles.

3. El aparato de regulación de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizado** porque dichos medios de síntesis (9) están diseñados para configurar una superficie de conmutación ($\sigma(e)$) e implementar un algoritmo de cálculo basado en la técnica en modo de deslizamiento de primer orden de acuerdo con la siguiente relación:

$$\sigma(e) = \left(\frac{d}{dt} + \lambda\right)^{n-1} \cdot e(t)$$

donde: n es el orden del modelo estructural identificado correspondiente al sistema de accionamiento (4); $e(t)$ es la señal de error, y λ es el segundo parámetro de ajuste.

4. El aparato de regulación de acuerdo con la reivindicación 3, **caracterizado** porque dichos medios generadores (2, 10) están diseñados para determinar la señal de control ($U(t)$) para controlar dicho sistema de accionamiento (4) de acuerdo con la siguiente relación:

$$U(t) = -H^2 \text{sign}[\sigma(e)];$$

donde H es una constante pre-establecida.

5. El aparato de regulación de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizado** porque dichos medios de síntesis (9) están diseñados para configurar una superficie de conmutación ($\sigma(e)$) implementando un algoritmo de cálculo basado en la técnica en modo de deslizamiento de segundo orden de acuerdo con la siguiente relación:

$$\sigma(e) = \left(\frac{d}{dt} + \lambda\right)^{n-2} \cdot e(t)$$

donde: n es el orden del modelo estructural identificado correspondiente al sistema de accionamiento (4); $e(t)$ es la señal de error, y λ es el segundo parámetro de ajuste.

6. El aparato de regulación de acuerdo con la reivindicación 5, **caracterizado** porque dichos medios generadores (2, 10) están diseñados para determinar la señal de control (U(t)) para controlar dicho sistema de accionamiento (4) de acuerdo con la siguiente relación:

$$U(t) = -\alpha(t) \cdot H^2 \cdot \text{sign}[\sigma(x, t) - \gamma \cdot \sigma_{\max}(x, t)]$$

$$\alpha(t) = \begin{cases} \alpha_0, & [\sigma(x, t) - \gamma \cdot \sigma_{\max}(x, t)] \cdot \sigma_{\max}(x, t) < 0 \\ 1, & [\sigma(x, t) - \gamma \cdot \sigma_{\max}(x, t)] \cdot \sigma_{\max}(x, t) \geq 0 \end{cases}$$

donde: H es una ganancia pre-establecida prevista en el control; γ y α_0 son cantidades pre-establecidas, mientras que $\sigma_{\max}$ corresponde a un valor de pico de la superficie de deslizamiento en el instante t.

7. El aparato de regulación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 6, **caracterizado** porque dichos medios de identificación (5) están diseñados para implementar el método de mínimos cuadrados en los parámetros de medida de posición (X_K) y en los valores (U_K) de la señal de control U(t) para estimar un conjunto de terceros parámetros (a_i , b_j) respecto a la función de transferencia (G(z)) que **caracteriza** el modelo estructural del sistema de accionamiento (4).

8. El aparato de regulación de acuerdo con la reivindicación 7, **caracterizado** porque dicho medio de identificación 5 comprende medios de comparación (140) diseñados para verificar si dichos terceros parámetros (a_i , b_j) identificados satisfacen una relación pre-establecida de convergencia.

9. El aparato de regulación de acuerdo con la reivindicación 7 o la reivindicación 8, **caracterizado** porque dichos medios de procesado (5, 6) comprenden medios generadores de superficie (6), que están diseñados para identificar el número de polos (α_K) de dicha función de transferencia (G(z)) identificada y determinar el orden (n) del módulo estructural de dicho sistema de accionamiento (4) como una función de dicho número de polos (α_K).

10. El aparato de regulación de acuerdo con la reivindicación 9, **caracterizado** porque dichos medios generadores de superficie (6) están diseñados para recibir en la entrada un conjunto de información (H_i) respecto a la potencia eléctrica disponible para controlar dicho sistema de accionamiento (4), y/o la precisión de posicionamiento requerida, y/o la dinámica de la respuesta requerida del sistema de accionamiento (4); estando diseñados dichos medios generadores de superficie (6) para generar dicho segundo parámetro (λ) como una función de dicha información (H_i).

11. Un método de operación de un aparato de regulación autoadaptativo para controlar la posición de al menos un accionador en un sistema de accionamiento (4) diseñado para dirigir una válvula para regulación de un fluido que se desprende en una turbina de gas o vapor o agua, en base a una superficie de conmutación ($\sigma(e)$) de acuerdo con la técnica de control en modo de deslizamiento; estando **caracterizado** dicho medio de control porque comprende las siguientes etapas:

- generar (110) una señal de control (U(t)) de dicho sistema de accionamiento (4) de manera que se mueva dicho al menos un accionador de dicho sistema de accionamiento (4) a una serie de posiciones de manera que se dirija dicha válvula de suministro del fluido en dicha turbina;

- adquirir (120) un conjunto de parámetros de medida (X_K) correspondiendo cada uno a la posición medida en un instante dado (t) en dicho al menos un accionador de dicho sistema de accionamiento (4), y los valores correspondientes (U_K) de dicha señal de control (U(t)) durante el movimiento de dicho al menos un accionador en dichas posiciones;

- procesar (130, 140, 150, 170) dichos parámetros de medida de posición (X_K) y los valores (U_K) de la señal de control (U(t)) implementando un algoritmo para identificación de un modelo estructural de sistema de accionamiento (4) de manera que se determina un primer parámetro (n) que indica del orden del modelo estructural correspondiente al sistema de accionamiento (4); dicha etapa de procesamiento (130, 140, 150, 170), dichos parámetros de medida (X_K) y los valores (U_K) de dicha señal de control U(t) comprenden la etapa de implementar un algoritmo correspondiente al método de mínimos cuadrados o al método de mínimos cuadrados recursivo o al método de gradiente de predicción-error.

- determinar una señal de error (e(t)) como una función de una posición deseada (X_d) y al menos un parámetro de medida de posición (X_K); recibiendo un segundo parámetro (λ) asociado con el ajuste de dicha superficie de conmutación ($\sigma(e)$).

- configurar (180) de dicha superficie de conmutación ($\sigma(e)$) que se usa para controlar la posición de dicho al menos un accionador del sistema de accionamiento (4) como una función de dicha señal de error (e(t)) y en base al primer parámetro (n) y al segundo parámetro (λ) implementando un algoritmo de cálculo basado en una técnica en modo de deslizamiento.

ES 2 302 295 T3

12. El método de acuerdo con la reivindicación 11, **caracterizado** porque la configuración de dicha superficie de conmutación ($\sigma(e)$) se implementa con una función del número de dichos parámetros de medida (X_k) correspondiente a las posiciones medidas disponibles en dicho al menos un accionador de dicho sistema de accionamiento (4).

13. El método de acuerdo con la reivindicación 12, **caracterizado** porque dicha etapa de configuración (180) de dicha superficie de conmutación ($\sigma(e)$) comprende la etapa de implementar un algoritmo de cálculo basándose en la técnica en modo de deslizamiento de primer orden de acuerdo con la segunda relación siguiente:

$$\sigma(e) = \left(\frac{d}{dt} + \lambda\right)^{n-1} \cdot e(t)$$

donde: n es el orden del modelo estructural identificado correspondiente al sistema de accionamiento (4); e(t) es la señal de error, y λ es el segundo parámetro de ajuste.

14. El método de acuerdo con la reivindicación 13, **caracterizado** porque dicha etapa de configuración (180) de dicha superficie de conmutación ($\sigma(e)$) comprende la etapa de implementar un algoritmo de cálculo basándose en la técnica en modo de deslizamiento de segundo orden de acuerdo con la segunda relación siguiente:

$$\sigma(e) = \left(\frac{d}{dt} + \lambda\right)^{n-2} \cdot e(t)$$

donde: n es el orden del modelo estructural identificado correspondiente al sistema de accionamiento (4); e(t) es la señal de error, y λ es el segundo parámetro de ajuste.

15. El método de acuerdo con la reivindicación 14, **caracterizado** porque dicha etapa de procesamiento (130, 140, 150, 170), dichos parámetros de medida (X_k) y los valores (U_k) de dicha señal de control U(t) comprenden la etapa de implementar el método de mínimos cuadrados para estimar los terceros parámetros (a_i , b_j) relacionados con una función de transferencia ($G(z)$) que **caracteriza** el modelo estructural del sistema de accionamiento (4).

16. El método de acuerdo con la reivindicación 15, **caracterizado** porque después de la estimación de los terceros parámetros (a_i , b_j) respecto a dicha función de transferencia ($G(z)$) identificada, se verifica (140) si dichos terceros parámetros (a_i , b_j) identificados satisfacen una relación pre-establecida de convergencia.

17. El método de acuerdo con la reivindicación 16, **caracterizado** porque comprende la etapa de identificar el número de polos (α_k) de dicha función de transferencia ($G(z)$) identificados para determinar el orden (n) del modelo estructural de dicho sistema de accionamiento (4) como una función de dicho número de polos (α_k).

18. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 17, **caracterizado** porque comprende la etapa de determinar dicho segundo parámetro (λ) como una función de la potencia eléctrica disponible para controlar dicho sistema de accionamiento y/o la precisión de posicionamiento requerida y/o la dinámica de la respuesta requerida del sistema de accionamiento (4).

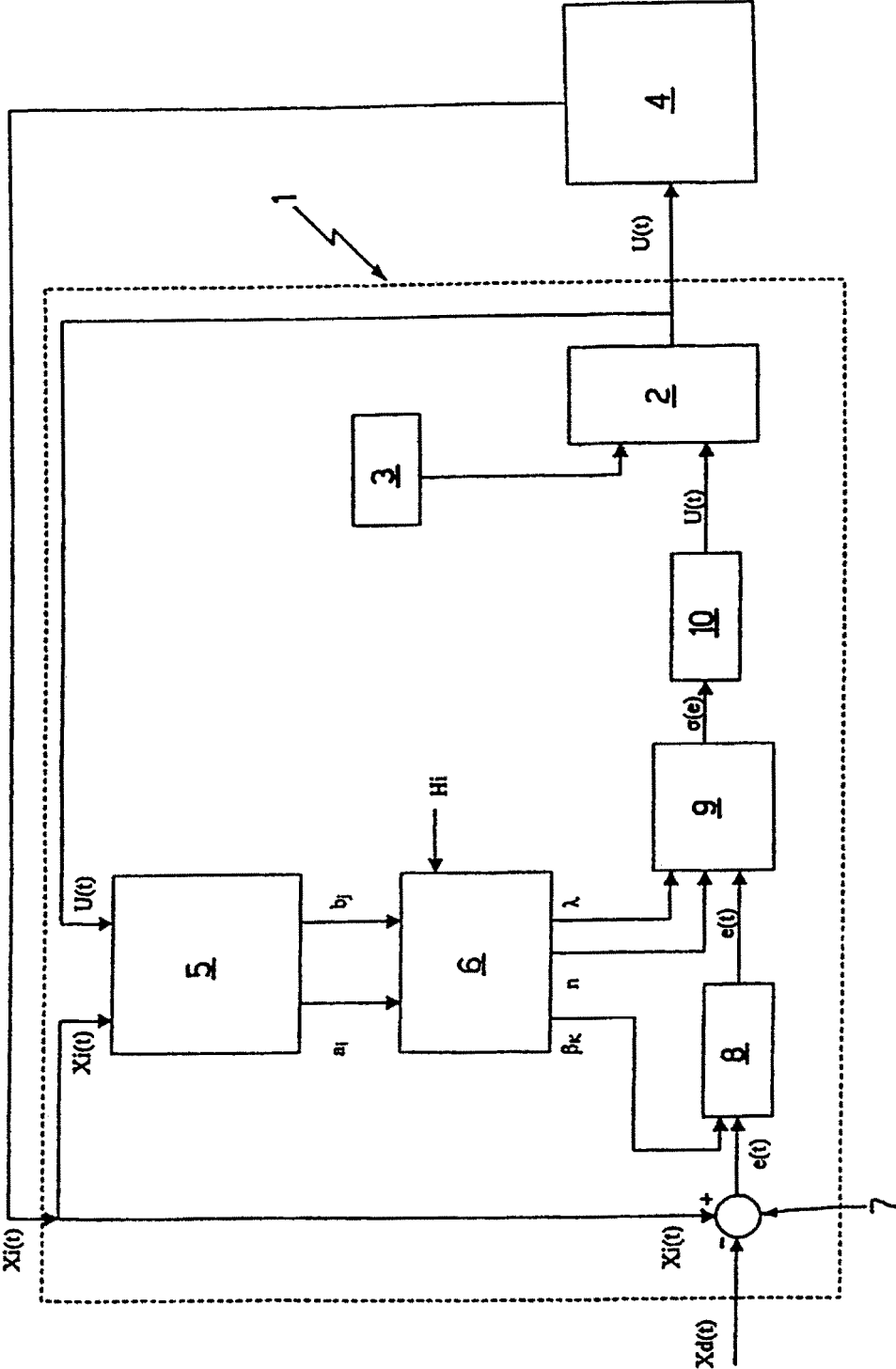


Fig.1

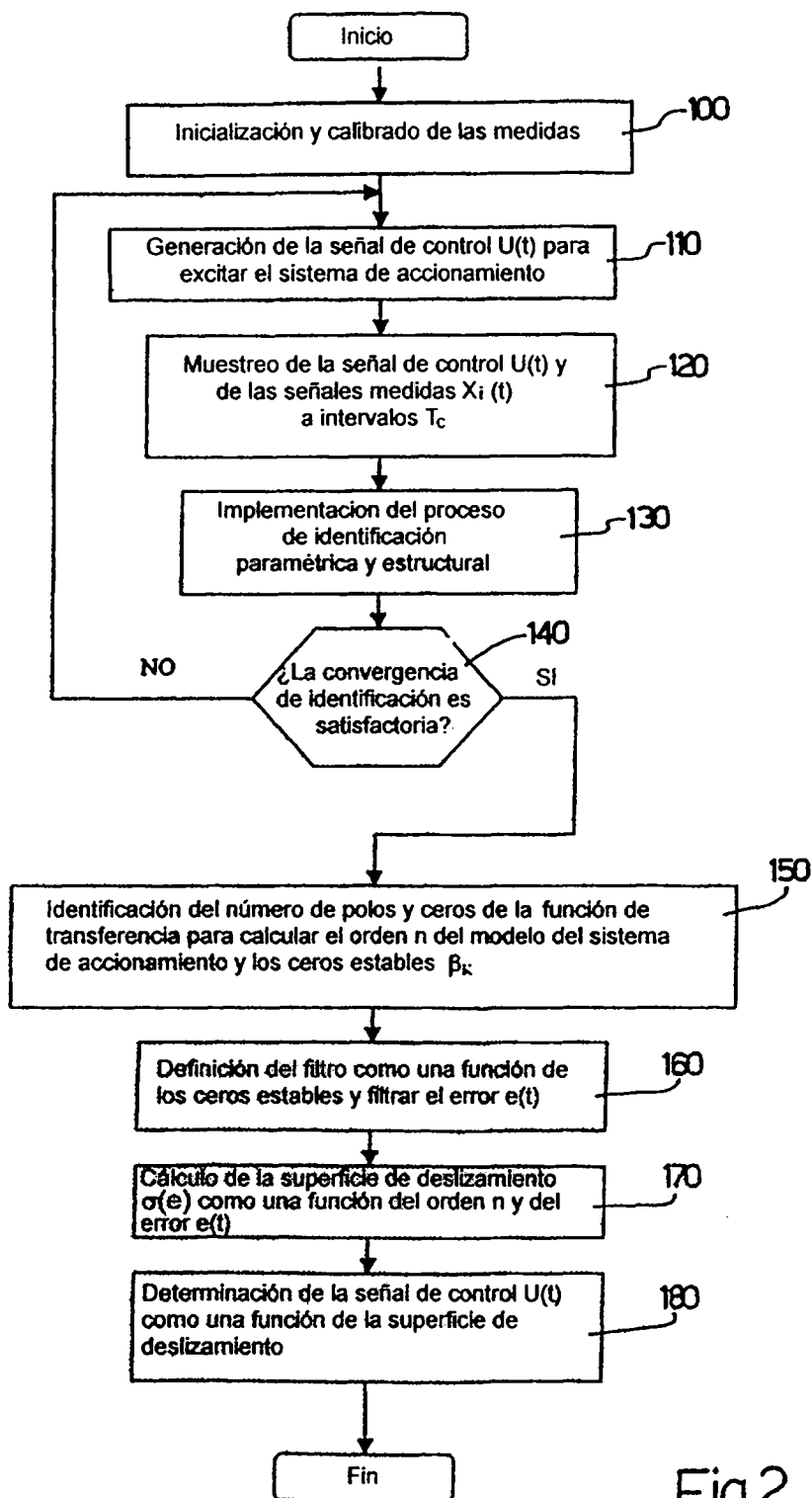


Fig.2