



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 359 921**

51 Int. Cl.:
G05B 19/19 (2006.01)
B25J 9/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **06743845 .7**
96 Fecha de presentación : **25.04.2006**
97 Número de publicación de la solicitud: **1894067**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **05.03.2008**

54 Título: **Dispositivo de regulación automática de los servocontroles de un simulador mecánico de movimientos y dispositivo asociado.**

30 Prioridad: **10.06.2005 FR 05 51576**

73 Titular/es: **SOCIÉTÉ NOUVELLE WUILFERT**
52 avenue de l'Europe
78160 Marly le Roi, FR
IXMOTION

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
30.05.2011

72 Inventor/es: **Vau, Bernard**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
30.05.2011

74 Agente: **Curell Aguilá, Marcelino**

ES 2 359 921 T3

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

Dispositivo de regulación automática de los servocontroles de un simulador mecánico de movimientos y dispositivo asociado.

5

La presente invención tiene por campo el del servocontrol del movimiento de un simulador de movimientos.

Un simulador de movimientos es un conjunto que comprende un dispositivo mecánico y unas unidades electrónicas y lógicas de control del dispositivo mecánico. Este último comprende un plato móvil destinado a recibir una carga. El plato es apto para ser desplazado en rotación alrededor de uno o varios ejes geométricos y/o en traslación a lo largo de uno o varios ejes geométricos. En un referencial cartesiano, por ejemplo terrestre, la posición del sólido que constituye el plato viene dada por la posición de su centro de gravedad y la orientación de un eje perpendicular al plano del plato.

Un simulador de movimientos puede ser un posicionador embarcado para posicionar una carga útil determinada.

Un simulador de movimientos puede ser asimismo un banco de prueba para ensayar una carga, tal como un sistema inercial a ensayar, durante una secuencia de movimientos mandados. El plato es entonces puesto en movimiento según una secuencia predeterminada que comprende una sucesión temporal de posiciones de consigna. En cada instante, los parámetros cinemáticos del plato que se derivan de la consigna en posición pueden ser comparados con los parámetros cinemáticos medidos por el sistema inercial a ensayar.

Con el fin de que el plato siga de manera precisa las consignas de posición, es indispensable recurrir a un bucle de servocontrol en posición del plato.

25

En la figura 1, se ha representado un esquema general de un bucle de servocontrol de un simulador de movimientos según un eje de rotación. La parte mecánica de este bucle de servocontrol comprende: el plato y su carga montados sobre un eje mecánico, teniendo el sistema mecánico 3 así formado un momento de inercia J con respecto a su eje de rotación; el motor 2; el amplificador de potencia 1; y, un sensor de posición 4. El amplificador de potencia 1, en respuesta a la señal de mando U , emite de salida una corriente I cuya amplitud y etapa permiten controlar el movimiento del motor 2. El motor 2 genera un par Γ que permite poner en rotación el sistema mecánico 3. El sensor 4 mide, en cada instante, la posición efectiva Y del plato 3 y emite, de salida, una señal de medición que proporciona una medida Y de la posición del plato 3.

De manera general, el control de una máquina giratoria consiste en crear una retroacción a partir de la medida Y de una magnitud y tal como la posición, la velocidad, etc. El objetivo de esta retroacción es permitir un seguimiento efectivo de la magnitud de consigna r . Un bloque de corrección o corrector 5 se define de manera genérica como un componente apto para emitir una señal de mando U en función de la consigna r y de la medida Y de manera que, para un valor dado de la consigna r , el valor medido Y converge hacia este valor de la consigna.

40

Según la técnica anterior, el corrector de control utilizado más frecuentemente es del tipo PID (proporcional, integral, derivado) cuyo principio se describe en la figura 2. En esta figura, en la etapa 100, se realiza en primer lugar la sustracción de la medida Y de la consigna r . Al final de la etapa 100, se obtiene una diferencia e . La diferencia e se multiplica por una constante K_P en la etapa 101, y el resultado obtenido es conducido a la entrada de un sumador 110. Paralelamente, en la etapa 102, la diferencia e se multiplica por una constante K_I , y después el resultado obtenido es integrado con respecto al tiempo en la etapa 103. Al final de la etapa 103, el resultado se aplica a la entrada del sumador 110. Paralelamente, en la etapa 104, la diferencia e se multiplica por la constante K_D , y después derivada con respecto al tiempo en el curso de la etapa 105. El resultado de la etapa 105 es emitido en dirección a la entrada del sumador 110. Por último, el sumador 110 efectúa la suma de las diferentes magnitudes que le llegan para producir de salida la señal de mando U que es por tanto de la forma:

50

$$U = K_P e + \int K_I e dt + d(K_D e)/dt ,$$

en la que los coeficientes K_P , K_I , y K_D se ajustan de manera que la diferencia e tienda lo más rápidamente posible hacia cero durante un cambio del valor de la consigna r .

55

Dos nociones principales permiten caracterizar el control de una máquina giratoria:

- La robustez: se trata de la insensibilidad del corrector a las incertidumbres de la modelización física de la máquina a mandar. En el caso específico de un simulador de movimientos, es preciso que el corrector sea robusto con respecto a la variación del momento de inercia del sistema mecánico 3 durante el cambio de la carga. En efecto, un simulador de movimientos que sirve para ensayar diferentes cargas, el momento de inercia J del sistema mecánico se modifica inevitablemente durante el cambio de la carga. Se dirá que un corrector es robusto cuando garantiza la estabilidad del bucle de servocontrol cerrado en caso de variación de uno o de varios parámetros físicos de la máquina a regular. En el caso de un simulador de movimientos, este parámetro es el momento de inercia. Como recordatorio, la estabilidad es la aptitud del sistema controlado para

65

comportarse de tal manera que la diferencia tienda hacia un valor finito cuando se modifica la consigna r . Pero, la convergencia de la variable e puede realizarse al cabo de un tiempo muy elevado. Es por lo que resulta necesario asimismo introducir la noción de rendimiento para caracterizar un mando.

- 5 - El rendimiento: se trata de la dinámica de seguimiento de la consigna r y de la dinámica de rechazo de las perturbaciones que pueden afectar a la máquina. En el caso de un simulador de movimientos, las perturbaciones que pueden afectar al sistema están, por ejemplo, constituidas por un par de frenado debido a unos rozamientos no tenidos en cuenta.

10 Desde un punto de vista teórico, se muestra que los objetivos de rendimiento y de robustez son antagonistas. Si se desean unos rendimientos elevados, es decir que el sistema rechace muy rápidamente las perturbaciones, esto se obtiene en detrimento de la robustez.

15 Para los simuladores de movimientos, la búsqueda de una banda pasante máxima conduce a privilegiar el rendimiento del sistema con respecto a la robustez. En general, la robustez es relativamente baja, lo cual necesita adaptar el corrector para cada carga.

20 Así, los parámetros del corrector utilizado, por ejemplo las ganancias K_P , K_I y K_D del corrector del tipo PID representado en la figura 2, deben ser regulados a cada cambio de la carga.

25 Según la técnica anterior, en el campo de los simuladores de movimientos, la regulación del corrector se realiza "manualmente" por la intervención de un técnico a cargo del simulador de movimientos cada vez que se modifica la carga. Esta regulación es costosa en tiempo y es empírica. En efecto, necesita numerosos tests del tipo ensayo-error para encontrar el valor de las ganancias adaptadas puesto que los parámetros de regulación del PID dependen unos de otros. Además, es difícil de garantizar que la regulación obtenida corresponda a la regulación óptima del sistema. Si el bucle de servocontrol funciona con un corrector mal parametrado, el riesgo de que el bucle cerrado no sea estable no es nulo.

30 Unos procedimientos para regular automáticamente un corrector son conocidos en otros campos técnicos que el de los simuladores de movimientos.

35 Una técnica consiste en realizar una regulación automática en tiempo real de los parámetros del corrector destinado a controlar una máquina giratoria en el curso de la utilización de esta última. Esta técnica, conocida con el nombre de mando autoadaptativo ("self control"), no se puede extrapolar al caso de los simuladores de movimientos puesto que es de una gran complejidad en particular porque se trata de respetar la obligación de regulación en "tiempo real" del corrector. Además, no se puede conocer de manera precisa el movimiento puesto que los parámetros del corrector se modifican a cada instante. Esto es particularmente cierto durante el inicio de una secuencia de movimientos, cuando se acaba de cambiar la carga y la aplicación del procedimiento de regulación modifica sin cesar las ganancias.

40 Otra técnica utilizada en el campo de las máquinas giratorias consiste en realizar una etapa inicial de prueba en el curso de la cual se regula el corrector. La regulación automática del corrector se realiza respetando el proceso siguiente:

- 45 - Excitación del sistema con un estímulo (cambio de la corriente aplicada al motor);
- Adquisición de la respuesta de este sistema a la excitación aplicada;
- 50 - Utilización de los datos obtenidos para constituir un modelo matemático del sistema (en forma de función de transferencia o de modelo de estado; y
- Utilización del modelo obtenido para sintetizar el corrector.

55 Pero, la mayor parte del tiempo la excitación se efectúa en bucle abierto, es decir sin retroacción. El usuario no sabe por tanto, *a priori*, cuál será la aceleración, la velocidad o el desplazamiento (variación en posición del eje).

60 En el caso de un simulador de movimientos, dicha prueba no es posible en particular puesto que, durante la etapa de excitación del sistema, unas obligaciones tales como los valores máximos de la aceleración, de la velocidad y de la posición no deben ser sobrepasados so pena de deteriorar el aparato. Es indispensable por tanto que esta prueba se realice de forma controlada, es decir con una retroacción que permita evitar la violación de las obligaciones.

65 Jouve *et al.* [Autotuning of axis control systems for robots and machine tools IEEE 1991] han propuesto un procedimiento que permite efectuar una etapa inicial de prueba en bucle cerrado en el caso de una máquina giratoria que es una máquina herramienta equipada con un sensor de velocidad. Se trata por tanto de un bucle de servocontrol en velocidad.

Esta solución no es aplicable al caso de los simuladores de movimientos que están equipados con sensores de posición, extremadamente precisos, y raramente con sensores de velocidad, o bien costosos, o bien ruidosos y poco precisos.

5 La utilización de un bucle de servocontrol en velocidad, utilizando un sensor de velocidad, no permitiría respetar las obligaciones sobre la posición del movimiento durante la etapa de prueba. En efecto, la posición sólo se conocería entonces teniendo en cuenta una constante de integración. Esta incertidumbre sobre el valor de la constante implica que no se sabe dónde se iniciará el movimiento y/o se acabará, lo cual puede provocar el franqueo de topes y dañar el simulador de movimientos.

10 Por otra parte, el artículo de Jouve *et al.* da a conocer un procedimiento que es de hecho específico para las máquinas herramientas. En efecto, estas últimas funcionan a unas velocidades elevadas, de más de 5.000 rpm, que deben compararse con las velocidades máximas de aproximadamente 500 rpm, de funcionamiento de los simuladores de movimientos. Ahora bien, la metodología descrita no se puede utilizar a baja velocidad, es decir por debajo de un umbral de velocidad, sin que la etapa de identificación se desvíe por unos fenómenos no lineales.

15 Por último, el artículo de Jouve *et al.* da a conocer implícitamente la utilización de un corrector PI de baja ganancia para la etapa inicial de prueba. Ahora bien, en el caso de un simulador de movimientos, unas ganancias demasiado bajas de un corrector PID (no estando el PI adaptado a un bucle de posición) pueden tener como consecuencia que se obtenga un bucle cerrado inestable.

20 Li *et al.* [Modeling, simulation and control of a hydraulic Stewart platform, IEEE 1997, XP010235479] han propuesto un procedimiento de mando de una plataforma Stewart destinada a ser utilizada como simulador de movimientos. Las ecuaciones dinámicas de la plataforma se derivan del principio de trabajo virtual, se propone un controlador robusto y eficaz pero la identificación en línea de los parámetros de dicho controlador robusto no está prevista.

25 Existe por tanto la necesidad de un procedimiento de regulación automática de un bucle de servocontrol en posición para el caso de un simulador de movimientos. Existe asimismo la necesidad de que este procedimiento de regulación automática permita obtener rápidamente el compromiso eficacia/robustez deseado en función de una carga dada.

30 Para ello, la invención tiene por objeto un procedimiento de regulación utilizado en un simulador de movimiento que pueda soportar una carga, comprendiendo el simulador un dispositivo mecánico y una unidad de control, comprendiendo el dispositivo mecánico unos medios de arrastre para poner en movimiento un plato apto para soportar la carga; un amplificador de corriente apto para accionar los medios de arrastre en respuesta a una señal de mando; un sensor apto para medir una posición y comprendiendo la unidad de control un corrector apto para emitir la señal de mando en función de una señal de consigna y de la magnitud medida.

35 El procedimiento según la invención se caracteriza porque permite ajustar automáticamente el corrector para servocontrolar según la posición del movimiento del dispositivo mecánico que soporta una carga dada, comprendiendo el procedimiento:

- 40 - una etapa inicial de síntesis de un corrector robusto, estando la síntesis basada en una primera modelización física del dispositivo mecánico que comprende por lo menos un parámetro de inercia, permitiendo el corrector robusto obtenido el servocontrol del dispositivo mecánico en una gama de valor del parámetro de inercia que se extiende entre un parámetro de inercia mínimo y un parámetro de inercia máximo; y, después de haber posicionado la carga dada sobre el plato,
- 45 - una etapa de test en el curso de la cual el dispositivo mecánico, servocontrolado por medio del corrector robusto determinado durante la etapa inicial, es accionado según un perfil de consigna de posición previamente definido respetando unas obligaciones en la aceleración, la velocidad y la posición del movimiento, siendo la señal de mando y la posición medida memorizadas a cada instante como datos de la etapa de test;
- 50 - una etapa de identificación que, a partir de los datos de la etapa de test, permite determinar el valor de una pluralidad de parámetros físicos de una segunda modelización del dispositivo mecánico que soporta la carga dada, comprendiendo la pluralidad de parámetros físicos por lo menos el parámetro de inercia; y
- 55 - una etapa final de síntesis de un corrector óptimo adaptado a la carga dada, en la que el parámetro de inercia adopta el valor del parámetro de inercia determinado durante la etapa de identificación.

60 Preferentemente, el dispositivo mecánico es apto para poner el plato que soporta una carga por lo menos en traslación a lo largo de un eje, siendo el parámetro de inercia entonces una masa de inercia.

65 Preferentemente, el dispositivo mecánico es apto para poner el plato que soporta una carga por lo menos en rotación alrededor de un eje, siendo el parámetro de inercia entonces un momento de inercia.

Preferentemente, durante la etapa inicial, el corrector está en un bucle de servocontrol cerrado sobre una simulación

digital del dispositivo mecánico que soporta una carga que tiene un parámetro de inercia nominal dentro de la gama.

Preferentemente, el conjunto de las etapas de test, de identificación y final se ejecutan de nuevo por lo menos a cada cambio de carga.

5 Preferentemente, la primera modelización es una modelización lineal del comportamiento dinámico del dispositivo mecánico.

10 Preferentemente, los correctores robusto y óptimo son sintetizados con una metodología del tipo LQG-H2 (optimización del corrector según un criterio cuadrático), comprenden un filtro de Kalman basado en la primera modelización, adoptando el filtro de Kalman, de entrada, la señal de mando, la magnitud medida y la consigna para generar, de salida, un estado estimado del dispositivo mecánico, siendo el estado estimado aplicado como señal de mando después de haber sido multiplicado por un vector denominado vector de retorno de estado.

15 Preferentemente, el filtro de Kalman permite estimar las perturbaciones que afectan al dispositivo mecánico modelizándolas por una señal que pasa a sumarse a la señal de mando en la entrada del dispositivo mecánico a servocontrolar.

20 Preferentemente, la síntesis de los correctores robusto y óptimo se realiza por medio de una metodología denominada de control de estado estándar.

Preferentemente, los correctores robusto u óptimo comprenden cuatro parámetros de regulación escalares de alto nivel.

25 Preferentemente, la etapa inicial comprende en primer lugar, haciendo variar un primer parámetro escalar entre los parámetros escalares, la búsqueda de un corrector que tenga un margen de módulo superior a un margen de módulo umbral para todos los valores de momento de inercia de la gama de momento de inercia, y después, haciendo variar otro parámetro escalar, denominado segundo parámetro, entre los parámetros escalares, la búsqueda de un corrector que tenga un margen de retardo superior a un margen de retardo umbral para todos los valores de momento de inercia de la gama de momento de inercia.

30 Preferentemente, habiendo sido identificado el valor del momento de inercia, la etapa final comprende en primer lugar, haciendo variar el segundo parámetro, la búsqueda de un corrector que tenga un margen de retardo superior al margen de retardo umbral, y después, haciendo variar también otro parámetro escalar, denominado tercer parámetro, entre los cuatro parámetros escalares, la búsqueda de un corrector óptimo que tenga un margen de módulo superior al margen de módulo umbral.

35 Preferentemente, durante la etapa de identificación, la segunda modelización es una modelización lineal del comportamiento del dispositivo.

40 Preferentemente, durante la etapa de identificación, la segunda modelización tiene en cuenta de forma explícita unas fuerzas que conducen a un comportamiento no lineal del dispositivo.

45 Preferentemente, el procedimiento comprende, al final de la etapa de test, una etapa de pretratamiento para rechazar los datos para los cuales el valor correspondiente de la velocidad del plato es inferior a una velocidad umbral.

50 Con el fin de realizar un test de excitación en bucle cerrado de posición, es necesario concebir previamente a esta prueba una ley de mando o corrector que permita asegurar la estabilidad del simulador de movimientos cualquiera que sea la inercia de la carga colocada sobre el plato de la máquina, caracterizándose la estabilidad por una respuesta finita del sistema a una variación de la consigna (ausencia de oscilaciones o de divergencia de la posición del eje con respecto a la consigna).

55 El hecho de utilizar un servocontrol en posición que funciona con un sensor de posición permite respetar de forma cierta las obligaciones de desplazamiento del plato y no correr el riesgo del deterioro del simulador de movimientos. Desde este punto de vista, la invención presenta la ventaja de ser segura.

60 Además, la invención presentada en la presente memoria utiliza una modelización del eje a servocontrolar. Ahora bien, algunas fuerzas perturbadoras que actúan sobre el eje, dependen explícitamente de la posición (desequilibrio), lo cual necesita el conocimiento absoluto de esta posición para elaborar el modelo del eje.

La estructura del corrector utilizado según la invención así como la metodología para sintetizarlo, dependen de la aplicación particular en el caso de los simuladores de movimientos.

65 Además, a partir del momento en que se utiliza un servocontrol de posición, la síntesis del corrector robusto utilizado es más compleja. Por ejemplo, la síntesis de un corrector PI de ganancia baja, como el descrito implícitamente en el

artículo de Jouve *et al*, no es suficiente. Ventajosamente el corrector robusto de tipo LQG-H2 es sintetizado por una metodología denominada de control de estado estándar.

5 Por último, el procedimiento según la invención es particularmente simple de utilizar. Presenta la ventaja de poder ser utilizado por el usuario final del simulador de movimientos que ya no debe por tanto ser forzosamente un automatista especialista de la regulación del bucle de servocontrol. El usuario final tiene simplemente que especificar por ejemplo los márgenes de retardo y de módulo a alcanzar y lanzar el procedimiento automático de síntesis del corrector óptimo.

10 La invención tiene asimismo por objeto un simulador de movimientos apto para soportar una carga, comprendiendo el simulador de movimientos un dispositivo mecánico y una unidad de control, comprendiendo el simulador un plato móvil apto para soportar la carga; unos medios de arrastre aptos para poner en movimiento el plato según por lo menos un eje; un amplificador de corriente apto para accionar los medios de arrastre en respuesta a una señal de mando; un sensor apto para medir una posición del plato; comprendiendo la unidad de control un corrector apto para emitir la señal de mando en función de una señal de consigna y de la posición medida, caracterizado porque la
15 unidad de control está configurada para realizar uno de los procedimientos de regulación anteriores para obtener un corrector óptimo estando dada una carga.

20 En un primer modo de realización, el simulador de movimientos es un posicionador embarcado, siendo la carga dada una carga útil.

En un segundo modo de realización, el simulador de movimientos es un banco de pruebas, siendo la carga dada una carga a ensayar.

25 La invención y otros objetivos, detalles, características y ventajas de la misma se pondrán más claramente de manifiesto a partir de la descripción de un modo de realización particular de la invención dado únicamente a título ilustrativo y no limitativo haciendo referencia a los planos adjuntos. En estos planos:

30 La figura 1 es un esquema general de un bucle de servocontrol de un simulador de movimientos;

la figura 2 es un esquema general de un corrector según la técnica anterior del tipo PID para una utilización en el bucle de servocontrol de la figura 1;

35 la figura 3 es un esquema de bloques que representa el principio de la metodología denominada de control de estado estándar por medio de un corrector que integra un filtro de Kalman y un retorno sobre un estado estimado del dispositivo mecánico, utilizado en el procedimiento según la invención,

40 la figura 4 es un diagrama que representa, en forma de un algoritmo, la etapa inicial del procedimiento según la invención que permite obtener un corrector robusto con respecto a los parámetros del sistema a controlar;

la figura 5 representa de forma esquemática el bucle de servocontrol en la etapa de test del procedimiento según la invención;

45 la figura 6 es un gráfico que representa la posición que corresponde a la consigna aplicada a la entrada del corrector de la figura 5 en el curso de la etapa de test;

la figura 7 es un diagrama que representa, en forma de un algoritmo, la etapa del procedimiento según la invención que permite la determinación de un corrector óptimo adaptado a la carga.

50 El procedimiento según la invención permite la regulación automática de un bucle de servocontrol de un simulador de movimientos adaptado a una nueva carga. Más particularmente, el procedimiento según la invención permite obtener rápidamente, del orden del minuto, el corrector óptimo para la nueva carga que presenta el compromiso prestaciones/robustez deseado. Por regulación automática debe entenderse una regulación que no necesita la intervención de un técnico, y que puede realizarse, por ejemplo, por medio de un calculador apto para realizar las
55 diferentes etapas del procedimiento según la invención ejecutando las instrucciones de un programa memorizado en unos medios de memorización adecuados.

60 De manera esquemática, el procedimiento según la invención permite la síntesis de correctores adecuados al problema. Estos correctores son regulables por medio de un cierto número de parámetros. En el curso de las diferentes etapas del procedimiento según la invención, los valores de estos parámetros se ajustan de manera que determinen un corrector particular que responda al compromiso buscado durante esta etapa.

65 La etapa inicial del procedimiento según la invención tiene por objetivo conducir a la determinación de un corrector robusto para el sistema mecánico a mandar. Para ello, es necesario utilizar una primera modelización física del comportamiento del dispositivo mecánico.

Esta primera modelización es una modelización lineal de un sistema que corresponde a la parte mecánica del dispositivo mecánico que interviene en el bucle de servocontrol. El eje del simulador de movimientos es mandado por un motor de tipo de corriente continua o síncrono autopilotado ("brushless"). Este motor es a su vez mandado por corriente. Despreciando la dinámica eléctrica de los bobinados del motor, el par Γ (medido en N.m) generado por el motor es proporcional a la intensidad I (en A) de la corriente aplicada: $\Gamma = K_t \cdot I$.

El factor de proporcionalidad se denomina constante de par K_t .

El sistema considerado obedece a la ley fundamental de la dinámica:

$$\frac{d\Omega}{dt} = -\frac{f}{J} \cdot \Omega + \frac{K_t}{J} \cdot I$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \Omega$$

Expresión en la que J (en $\text{Kg.m}^2/\text{rad}$) es el momento de inercia del sistema (y por tanto de la carga soportada por el plato del simulador de movimientos); f (expresado en N.m/rad) es un coeficiente de rozamiento viscoso; Ω (en rad/s) es la velocidad de rotación del plato; y θ (en rad) es la posición instantánea del plato. Es habitual intentar expresar esta modelización según los estados en los que se puede encontrar el sistema a servocontrolar. Poniendo x el estado instantáneo del sistema; $U \equiv I$ la señal de mando aplicada a la entrada del sistema mecánico a controlar; e $y \equiv \theta$ la magnitud a controlar, las ecuaciones anteriores pueden ser escritas en forma de un sistema de ecuaciones denominadas ecuaciones de estado:

$$\dot{x} = \frac{dx}{dt} = A \cdot x + B \cdot U$$

$$y = C \cdot x$$

$$x = \begin{pmatrix} \Omega \\ \theta \end{pmatrix} \quad y = \begin{pmatrix} -f & 0 \\ J & 0 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} K_t \\ J \\ 0 \end{pmatrix},$$

siendo

$$y \quad C = \begin{pmatrix} 0 & 1 \end{pmatrix}$$

El corrector según la invención se basa en un corrector por ejemplo del tipo LQG-H2 denominado LQG. La síntesis de dicho corrector se efectúa por ejemplo con la ayuda de la metodología del control de estado estándar. Esta metodología se describe, por ejemplo, en la obra de M. Philippe de Larminat titulada "contrôle d'état standard" publicado en 2000 en ediciones HERMES. Como variante a la metodología del control de estado estándar, se podría utilizar la metodología de colocación de polos robustos por ejemplo. Esta metodología se describe en la obra de Philippe de Larminat titulada "Automatique: commande des systèmes linéaires" de ediciones HERMES. El corrector tendría entonces una forma polinómica y sería de estructura RST que es la forma más general de los correctores que mandan unos sistemas que poseen una variable de mando y una variable medida. También es posible implantar el corrector LQG en forma RST.

Como se ha representado esquemáticamente en la figura 3, esta metodología recurre a un bucle de servocontrol en el que el corrector 12 comprende a su vez un filtro de Kalman 10. El filtro de Kalman 10 recibe de entrada la señal de mando U y el vector y_t que contiene la posición medida Y y la consigna r . El vector \hat{x}^f , que corresponde al estado estimado del sistema por el filtro 10, sirve de señal de mando U después de haber sido multiplicada por un vector línea K_c , denominado vector de retorno de estado (bloque 11 en la figura 3). El filtro de Kalman 10 permite, en cierto modo, estimar el estado del sistema teniendo en cuenta la modelización del sistema y las magnitudes de entrada (U) y de salida (Y) efectivamente aplicadas al dispositivo mecánico.

Ventajosamente, el conjunto filtro de Kalman 10 y vector de retorno de estado permite rechazar las perturbaciones que pueden modificar el comportamiento del sistema.

Durante la etapa inicial, el bucle de servocontrol está cerrado sobre una simulación digital del sistema real. Esta simulación digital se basa también en las ecuaciones de la dinámica mencionadas más arriba. Habiendo sido el sistema simulado por unas ecuaciones lineales, los pares perturbadores son simulados introduciendo una perturbación F aplicada a la entrada del sistema. Entonces, el vector \hat{x}^f , del estado estimado del sistema, posee una componente que es una estimación de la perturbación F .

Las matrices K_c y K_f del filtro de Kalman 10 se calculan de manera que el bucle de servocontrol lleva el sistema hacia un estado estable.

Los parámetros que permiten regular el corrector obtenido según la metodología del control de estado estándar son la matriz K_f y el vector línea K_c , cuya síntesis se realiza por minimización de un criterio cuadrático.

5 Ventajosamente, el corrector está expresado no por medio de los parámetros K_f y K_c , denominados de bajo nivel, sino por medio de los cuatro parámetros escalares siguientes, denominados de alto nivel:

- Un primer parámetro T_o es un parámetro esencial, que permite controlar un compromiso entre la elección de una dinámica de rechazo de las perturbaciones de alta frecuencia y un gran margen de retardo;
- 10 - Un segundo parámetro T_c permite arbitrar un compromiso entre el margen de módulo y la excitación del mando;
- Un tercer parámetro T_r permite regular la dinámica de seguimiento de la consigna,
- 15 - Un cuarto parámetro K_o es un factor de forma que permite reforzar la robustez del bucle de servocontrol (en detrimento de la dinámica de rechazo de las perturbaciones).

20 Un corrector de este tipo permite arbitrar fácilmente los compromisos que intervienen inevitablemente en cualquier técnica de síntesis de un conector particular. Un corrector PID no ofrece dicha posibilidad puesto que cada una de las acciones de regulación de una de las constantes K_I , K_D o K_P está acoplada con las otras dos.

Una etapa inicial del procedimiento según la invención se realiza en la fábrica durante la fabricación del simulador de movimientos. Esta etapa inicial permite determinar los parámetros de un corrector que es robusto a las variaciones del momento de inercia del eje a mandar. Más precisamente, la etapa inicial conduce a un corrector que garantiza la estabilidad del eje para toda una gama de momentos de inercia posibles entre un momento de inercia mínimo J_{min} que corresponde al momento de inercia del eje en vacío y un momento de inercia máximo J_{max} que corresponde al momento de inercia del eje para una carga máxima. La relación entre los momentos de inercia máximo J_{max} y mínimo J_{min} puede, por ejemplo, alcanzar un factor 10. Los momentos de inercia máximo J_{max} y mínimo J_{min} pueden ser evaluados durante la concepción del simulador de movimientos, por ejemplo por medio de las herramientas de CAO utilizadas habitualmente.

30 El momento de inercia nominal J_{nom} considerado para la síntesis de un corrector robusto por medio de la metodología del control de estado estándar es tal que se obtenga:

$$J_{nom} = \sqrt{J_{min} \cdot J_{max}}$$

35 Los rozamientos viscosos f que aparecen en la modelización física no pueden ser conocidos fácilmente por el cálculo. Es la razón por la cual el valor nulo es asignado al valor del coeficiente de rozamiento viscoso f . Se debe subrayar que este caso corresponde al caso más desfavorable puesto que los fenómenos disipativos tienen globalmente un efecto estabilizante.

40 La modelización, denominada nominal, utilizada para la síntesis del corrector robusto se reduce por tanto a las ecuaciones de estado:

$$\frac{d\Omega}{dt} = \frac{K}{J} \cdot U$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \Omega$$

50 Esta ecuación de estado puede ser enriquecida con la dinámica del bucle de corriente (que contiene entre otros el amplificador de corriente) para mejorar la modelización y el rendimiento del corrector.

En estas expresiones, K es un coeficiente global de amplificación. K puede ser conocido por el cálculo sabiendo que la constante de par del motor y la ganancia del amplificador son conocidas por concepción. Durante la etapa inicial, el objetivo de la síntesis es encontrar un corrector robusto que garantice un nivel de margen estático y un nivel de margen dinámico correctos, y esto cualquiera que sea la carga sobre el eje. El algoritmo 200 de la figura 4 representa la sucesión de etapas elementales que conducen a la determinación de un corrector robusto.

Al inicio del algoritmo 200, el valor del parámetro T_o es tomado arbitrariamente bajo. En la etapa 201, el valor del parámetro T_c es tomado como igual al valor de T_o dividido por un factor que vale por ejemplo 10. En la etapa 202, el valor del parámetro T_r es tomado como igual al de T_o . En la etapa 203, el valor unidad es asignado al parámetro K_o . De manera general, el simulador posee una unidad electrónica que comprende unos medios de memorización y unos medios de cálculo. Las instrucciones de un programa apto para realizar la totalidad o parte del procedimiento según la invención se almacenan en los medios de memorización. Los valores instantáneos de las variables utilizadas se almacenan en un espacio memoria cuya dirección está previamente definida, y se leen a partir de este

espacio cuando los medios de cálculo ejecutan una instrucción efectuando una operación que utiliza esta variable.

Después, el algoritmo 200 continúa según la dirección indicada por la línea 21. Teniendo en cuenta el valor de cada uno de los parámetros T_o , T_c , T_r y K_o , se calcula un corrector C en la etapa 205 por medio de la metodología denominada de control de estado estándar.

La ejecución del programa continúa por el bucle 210. El bucle 210 constituye una primera parte del algoritmo 200 en el curso de la cual se busca un corrector C que asegure un margen de módulo MM superior a un valor umbral de margen de módulo MM_c para todas las configuraciones del sistema, es decir para todos los valores del momento de inercia J entre J_{min} y J_{max} . El valor de margen de módulo umbral MM_c tiene un valor previamente definido, que vale por ejemplo 0,5.

El bucle 210 se desarrolla de forma iterativa de la manera siguiente: en la etapa 211, el valor del momento de inercia J es tomado como que vale el valor mínimo J_{min} . En la etapa 212, el margen de módulo MM del corrector C determinado en la etapa 205 se calcula teniendo en cuenta este valor del momento de inercia J . A la salida de la etapa 212, en la etapa 213, el valor del margen de módulo MM es comparado con el margen de módulo umbral MM_c .

Si el margen de módulo MM del corrector C es inferior a MM_c , el programa 200 es orientado en A, hacia la etapa 220 como se describirá a continuación. En contrapartida, si para el valor del momento de inercia J , el margen de módulo MM es superior al margen de módulo umbral MM_c , entonces el valor del momento de inercia es aumentado en un valor previamente definido Δ_j , en la etapa 214. En la etapa 215, el nuevo valor del momento de inercia J es comparado con el valor máximo J_{max} . Si J es inferior a J_{max} , se calcula de nuevo el margen de módulo MM del corrector C , teniendo en cuenta el nuevo valor del momento de inercia J ejecutando de nuevo la etapa 212. El bucle 210 tiene lugar en tanto J es inferior al valor superior de la gama de momento de inercia considerado como pertinente. En cuanto J es igual a J_{max} , se sale en B del bucle 210.

Si, en la etapa 213, el margen de módulo MM es inferior al margen de módulo umbral MM_c , es preciso construir un nuevo corrector C . Para ello, en la etapa 220, el valor actual del parámetro K_o es multiplicado por un factor superior a la unidad, por ejemplo 1,1. Después, se determina un nuevo corrector C en la etapa 205. La ejecución del programa entra de nuevo en el bucle 210 para verificar si este nuevo corrector C satisface la condición 213 para todos los valores del momento de inercia J entre J_{min} y J_{max} . En cuanto dicho corrector C ha sido encontrado, el programa 200 pasa a una segunda parte del algoritmo 200 (punto B).

En una segunda parte de la etapa inicial, se busca un corrector que asegure un margen de retardo MR superior a un valor umbral de margen de retardo MR_c para todas las configuraciones del sistema, es decir para todos los valores del momento de inercia J entre J_{min} y J_{max} . El valor del margen de retardo umbral MR_c está previamente definido.

Según esta segunda parte del algoritmo 200, en la etapa 230, el valor actual del parámetro T_o es multiplicado por una constante superior a la unidad, por ejemplo 1,1. Teniendo en cuenta este nuevo valor del parámetro T_o , las etapas 201, 202 y 203 se ejecutan de nuevo para determinar el valor de los diferentes parámetros que servirán en la etapa 205 para determinar un nuevo corrector C ; el valor K_o conserva su valor precedente, y no es asignado de nuevo en esta etapa. De forma esquemática, el algoritmo 200 sigue la línea indicada por la cifra de referencia 24. Al final de la etapa 205, el algoritmo 200 entra en un bucle 240. El bucle 240 es similar al bucle 210 salvo que permite calcular el margen de retardo MR y compararlo con el valor del margen de retardo umbral MR_c y esto para todos los valores del momento de inercia J entre el valor mínimo J_{min} y el máximo J_{max} . En la etapa 241, el valor mínimo J_{min} es asociado al valor actual del momento de inercia J . En la etapa 242, teniendo en cuenta el corrector C calculado en la etapa 205 precedente, se calcula el margen de retardo MR . En la etapa 243, este valor es comparado con el valor umbral MR_c . Si el margen de retardo MR es inferior al valor de umbral MR_c , el programa 200 es orientado en B hacia la etapa 230. Se calcula un nuevo valor del parámetro T_o y los otros parámetros del corrector son actualizados y se determina un nuevo corrector C antes de que el algoritmo vuelva al bucle 240.

Si, en la etapa 243, el margen de retardo MR es efectivamente superior a MR_c , el valor actual del momento de inercia J es aumentado en un valor Δ_j previamente definido en la etapa 244. Después, en la etapa 245, el nuevo valor del momento de inercia J es comparado con el valor máximo J_{max} . Si J es diferente de J_{max} , se ejecuta de nuevo la etapa 242 de nuevo para calcular el nuevo valor del margen de retardo MR . Este bucle se ejecuta en tanto que, en la etapa 245, el momento de inercia J es inferior al momento de inercia máximo J_{max} . Pero en cuanto J es igual a J_{max} , el algoritmo 200 se termina, siendo el corrector C así calculado un corrector robusto para la gama de momentos de inercia.

Incidentalmente, se muestra que la segunda parte del algoritmo 200 no modifica significativamente los márgenes de módulo MM obtenidos en la primera parte de este mismo algoritmo.

Después, *in situ*, en el curso de la utilización del simulador de movimientos y cada vez que una nueva carga acaba de ser montada sobre el plato, el procedimiento según la invención continúa por la utilización de los parámetros del corrector robusto para definir un corrector óptimo para la nueva carga. Este procedimiento se puede descomponer

en tres etapas sucesivas: una etapa de test, una etapa de identificación, y después una etapa final que conduce a la síntesis de un corrector óptimo.

5 En el curso de la etapa de test, se está en la configuración de la figura 5. En el curso de este test que es en bucle cerrado, se realiza un movimiento del eje servocontrolado por el corrector robusto obtenido al final de la etapa inicial con el fin de caracterizar la carga desconocida soportada por el eje. Este test consiste en realizar un movimiento del eje según un perfil de consigna de posición previamente definido tal como el representado esquemáticamente en la figura 6. Este perfil de consigna de posición está concebido en función de las obligaciones de aceleración, velocidad y posición que no se pueden sobrepasar para no deteriorar la máquina. Otros perfiles de consigna son posibles, pero sin embargo es indispensable que la velocidad a la cual se desarrolla el test alcance un nivel suficientemente significativo de manera que no intervengan los fenómenos no lineales a baja velocidad.

15 Con el fin de que la señal de mando sea rica y posea un espectro tan amplio como sea posible, una secuencia binaria pseudoaleatoria (SBPA), indicada en trazos en la figura 5, puede, como variante, ser añadida a la señal que corresponde al perfil de consigna. La amplitud de la secuencia binaria pseudoaleatoria es calibrada de tal manera que esta señal no ponga en cuestión el sentido de rotación del simulador de movimientos y no provoque una violación de las obligaciones sobre la aceleración, la velocidad y la posición del eje.

20 En el curso de esta etapa de test, los datos que corresponden a las variables de entrada (valores del mando U) y de salida (en el ejemplo la medición de la posición Y) son memorizados en función del tiempo.

25 Los datos memorizados sufren un tratamiento previo con el fin de hacerlos utilizables en la etapa siguiente de identificación. Para un instante dado t, este tratamiento previo consiste en derivar la señal de posición medida Y con el fin de extraer una medida de velocidad instantánea del eje del simulador. Después, si la velocidad medida es inferior a un valor de umbral de velocidad, el tratamiento previo consiste entonces en eliminar los datos de mando U y de posición medida Y asociados a este instante t. Así, algunos fenómenos no lineales que se producen a baja velocidad, denominados también efecto Stribeck, no son tenidos en cuenta.

30 El procedimiento comprende a continuación una etapa de identificación del sistema para una carga específica. Más precisamente, esta etapa de identificación permite determinar el valor de los parámetros de una segunda modelización física del sistema considerado (inercia, rozamientos, etc) explotando unos datos registrados durante la etapa de test.

35 La segunda modelización física del sistema a servocontrolar debe tener en cuenta unas no linealidades que afectan al sistema a servocontrolar. Los rozamientos secos y/o el desequilibrio pueden ser modelizados. El desequilibrio es según unos ejes que no son verticales el desequilibrio, de una pieza mecánica que es debido al hecho de que su centro de gravedad no está sobre el eje de rotación. Así, una modelización no lineal del eje puede escribirse:

$$40 \quad J \frac{d\Omega}{dt} = -f \cdot \Omega + \Gamma - F_s \cdot \text{sign}(\Omega) - d \cdot \text{sen}(\theta + \varphi)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \Omega$$

45 En este sistema de ecuaciones, J es el momento de inercia del conjunto del sistema, f un coeficiente de rozamiento viscoso; Fs el módulo de Coulomb de los rozamientos secos; d un par de desequilibrio (d es nulo en el caso de un eje vertical) φ el ángulo de la recta que une el centro de gravedad de la carga con el eje con respecto a la vertical.

En un sistema multieje, otras fuerzas pueden intervenir de forma no lineal como, por ejemplo las fuerzas de Coriolis.

50 El término $F_s \cdot \text{sign}(\Omega)$ que modeliza los rozamientos secos posee la propiedad de no ser derivable alrededor de cero. Con el fin de evitar los problemas aferentes a esta no derivabilidad en la etapa de identificación, la consigna durante la etapa de prueba se elige de tal manera que $\text{sign}(\Omega)$ sea constante (por ejemplo positivo). En estas condiciones, el modelo descrito anteriormente resulta:

$$55 \quad J \frac{d\Omega}{dt} = -f \cdot \Omega + \Gamma - F_s - d \cdot \text{sen}(\theta + \varphi)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \Omega$$

Los parámetros J y f de esta segunda modelización se determinan por identificación utilizando un algoritmo de programación no lineal tal como el algoritmo de Levenberg-Marquardt por ejemplo.

60 Por último, el procedimiento se termina por una etapa de síntesis de un corrector óptimo para la carga efectivamente

soportada. Este corrector es el más rentable posible en el sentido de que posee un tiempo de respuesta en regulación bajo (conservando al mismo tiempo unos márgenes de robustez estática-margen de módulo- y/o dinámico-margen de retardo suficientes).

5 Como en la etapa inicial, durante la etapa final, la síntesis del corrector óptimo se realiza según la metodología denominada del control de estado estándar ejecutando el algoritmo 300 de la figura 7. Se determina entonces el corrector óptimo que satisface el margen de retardo diana MRc, el margen de módulo diana MMc y el parámetro de regulación Tr. Para esta etapa final, se utiliza el momento de inercia obtenido por identificación durante la etapa de identificación anterior.

10 El algoritmo 300 se inicia por la etapa 301 en el curso de la cual un múltiplo bastante elevado del valor actual del parámetro MRc, por ejemplo $30 \times MRc$, es asignado al valor del parámetro To. El algoritmo continúa por la etapa 302 en el curso de la cual el valor de To es dividido por cinco y el resultado es asignado al parámetro Tc. Después, teniendo en cuenta los parámetros To, Tr y Tc actuales, la etapa 305 permite determinar el corrector correspondiente, por medio de la metodología del control de estado estándar. Se debe observar que la etapa 305 es idéntica a la etapa 205 del algoritmo 200 (figura 4) estando Ko fijado al valor unitario. Al final de la etapa 305, se ejecuta la etapa 306. La misma permite calcular el margen de retardo MR del corrector obtenido. En la etapa 307, el valor calculado del margen de retardo MR es comparado con el margen de retardo umbral MRc. Si el margen de retardo MR es efectivamente superior a MRc, el algoritmo 300 vuelve a la etapa 308 según el camino A. En la etapa 20 308, se calcula un nuevo valor del parámetro To. El nuevo valor de To es inferior al valor anterior, y se obtiene multiplicando el valor anterior de To por un parámetro inferior a la unidad, en el ejemplo 0,95 por ejemplo. Después la etapa 302 se ejecuta de nuevo una vez más. Teniendo en cuenta el valor de los nuevos parámetros, se calcula un nuevo corrector C en la etapa 305. El bucle se ejecuta en tanto la condición 307 es verificada.

25 Cuando MR es efectivamente inferior al valor umbral MRc, el algoritmo 300 sale y ejecuta la etapa 310 que consiste simplemente en asignar el valor anterior al valor del parámetro To utilizado en la última repetición del bucle. Así, el valor actual de To es dividido por 0,95 por ejemplo y el resultado es asignado como nuevo valor de To.

30 Después, el algoritmo 300, en B, es conducido a la etapa 311. La segunda parte del algoritmo 300 permite terminar el corrector que tendrá el margen de módulo MM mejor adaptado. En la etapa 311, la variable Krob, que es igual a la relación entre el parámetro To y el parámetro Tc, adopta el valor 5 por ejemplo. Después, el algoritmo 300 continúa hacia la etapa 320 en la que los valores del parámetro To y del parámetro Krob son leídos y el valor de Tc se calcula dividiendo To por Krob. Después, la etapa 305 se ejecuta de nuevo, teniendo en cuenta el valor actual de los diferentes parámetros. Se determina un corrector C. En la etapa 321, se calcula el módulo de margen MM de este nuevo corrector C. En la etapa 322, el valor del margen de módulo MM obtenido es comparado con el margen de módulo umbral MMc. Cuando el margen de módulo MM es inferior a MMc, el algoritmo 300 es dirigido hacia la etapa 330 por la conexión C. En la etapa 330 se calcula un nuevo valor para la variable Krob, por ejemplo aumentando Krob en un valor predeterminado de 0,1 por ejemplo. Después, las etapas 320, 305, 321 se ejecutan de nuevo, teniendo en cuenta los nuevos valores de los diferentes parámetros. Después, la condición 322 es ensayada 40 otra vez sobre el valor del margen de módulo MM del nuevo corrector C. El bucle C tiene lugar en tanto el margen de módulo MM permanece inferior al margen de módulo umbral MMc. En cuanto ya no se verifica la condición 322, el algoritmo 300 se termina. En este instante, el algoritmo 300 acaba.

45 Un corrector óptimo para la carga dispuesta actualmente sobre el plato del simulador de movimientos se ha obtenido de manera automática. El procedimiento de obtención de dicho corrector óptimo es reproducible y permite obtener un resultado que sea fiable y que sea el mejor posible teniendo en cuenta los valores dados a los parámetros de regulaciones durante la etapa inicial. Unas pruebas de realización del procedimiento según la invención muestran que es posible definir los parámetros del corrector rápidamente.

50 Aunque la invención haya sido descrita haciendo referencia a un modo de realización particular, la misma no está en modo alguno limitada a este modo de realización. La misma comprende todos los equivalentes técnicos de los medios descritos así como sus combinaciones que entran en el marco de la invención.

55 Más particularmente, el procedimiento según la invención se aplica al caso de dispositivos mecánicos que permiten el movimiento del plato en rotación según uno o varios ejes, en traslación según uno o varios ejes o la combinación de movimientos de rotación y de traslación. En un caso particular dado, la modelización de la parte mecánica a servocontrolar y la o las posiciones medidas para formar el bucle de servocontrol serán elegidas en función de este caso. En particular en el caso de un movimiento en traslación, la masa de la carga será el parámetro de inercia a considerar, y no ya el momento de inercia, parámetro de inercia específico de una rotación.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de regulación utilizado en un simulador de movimiento que puede soportar una carga, comprendiendo dicho simulador un dispositivo mecánico y una unidad de control, comprendiendo dicho dispositivo mecánico unos medios de arrastre para poner en movimiento un plato apto para soportar dicha carga; un amplificador de corriente apto para accionar dichos medios de arrastre en respuesta a una señal de mando; un sensor apto para medir una posición de dicho plato; y dicha unidad de control que comprende un corrector apto para emitir dicha señal de mando en función de una señal de consigna de posición y de dicha posición medida,
- 5
- 10 caracterizado porque permite regular automáticamente dicho corrector para servocontrolar en posición el movimiento de dicho plato que soporta una carga dada, comprendiendo dicho procedimiento:
- una etapa inicial de síntesis de un corrector robusto, estando dicha síntesis fundada en una primera modelización física del dispositivo mecánico que comprende por lo menos un parámetro de inercia, permitiendo dicho corrector robusto obtenido el servocontrol de dicho dispositivo mecánico sobre una gama de valor de dicho parámetro de inercia que se extiende entre un parámetro de inercia mínimo y un parámetro de inercia máximo; y, después de haber posicionado dicha carga dada sobre dicho plato,
 - 15
 - una etapa de test en el curso de la cual dicho dispositivo mecánico, servocontrolado por medio de dicho corrector robusto determinado durante la etapa inicial, es accionado según un perfil de consigna de posición previamente definido que respeta unas obligaciones sobre la aceleración, la velocidad y la posición del movimiento, siendo dicha señal de mando y dicha posición medida memorizadas en cada instante como datos de la etapa de test;
 - 20
 - una etapa de identificación que, a partir de dichos datos de la etapa de test, permite determinar el valor de una pluralidad de parámetros físicos de una segunda modelización de dicho dispositivo mecánico que soporta dicha carga dada, comprendiendo dicha pluralidad de parámetros físicos por lo menos dicho parámetro de inercia; y
 - 25
 - una etapa final de síntesis de un corrector óptimo adaptado a dicha carga dada, en la que el parámetro de inercia adopta el valor del parámetro de inercia determinado durante la etapa de identificación.
 - 30
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque dicho dispositivo mecánico es apto para poner dicho plato que soporta una carga por lo menos en traslación a lo largo de un eje, siendo dicho parámetro de inercia entonces una masa de inercia.
- 35
3. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque dicho dispositivo mecánico es apto para poner dicho plato que soporta una carga por lo menos en rotación alrededor de un eje, siendo dicho parámetro de inercia entonces un momento de inercia.
- 40
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque, durante dicha etapa inicial, el corrector está en un bucle de servocontrol cerrado en posición sobre una simulación digital del dispositivo mecánico que soporta una carga que tiene un parámetro de inercia nominal en dicha gama.
- 45
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque las etapas de test, de identificación y final son ejecutadas de nuevo por lo menos a cada cambio de carga.
- 50
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque dicha primera modelización es una modelización lineal del comportamiento dinámico de dicho dispositivo mecánico.
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque dichos correctores robusto y óptimo comprenden un filtro de Kalman basado en dicha primera modelización, adoptando dicho filtro de Kalman, de entrada, la señal de mando, dicha posición medida y dicha consigna de posición para generar, de salida, un estado estimado de dicho dispositivo mecánico, siendo dicho estado estimado aplicado como señal de mando después de haber sido multiplicado por un vector.
- 55
8. Procedimiento según la reivindicación 7, caracterizado porque dicho filtro de Kalman permite estimar las perturbaciones que afectan a dicho dispositivo mecánico modelizándolas por una señal que pasa a sumarse a la señal de mando en la entrada de dicho dispositivo mecánico a servocontrolar.
- 60
9. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque dicha síntesis de dichos correctores robusto y óptimo se realiza por medio de una metodología denominada de control de estado estándar.
10. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque dichos correctores robusto u óptimo comprenden cuatro parámetros de regulación escalares de alto nivel.
- 65
11. Procedimiento según la reivindicación 10, caracterizado porque dicha etapa inicial comprende en primer lugar, haciendo variar un primer parámetro escalar entre dichos parámetros escalares, la búsqueda de un corrector que

tiene un margen de módulo inferior a un margen de módulo umbral para todos los valores de momento de inercia de dicha gama de momento de inercia, y después, haciendo variar otro parámetro escalar, denominado segundo parámetro, entre dichos parámetros escalares, la búsqueda de un corrector que tiene un margen de retado inferior a un margen de retardo umbral para todos los valores de momento de inercia de dicha gama de momento de inercia.

5 12. Procedimiento según la reivindicación 10 u 11, caracterizado porque, habiendo sido identificado el valor del momento de inercia, dicha etapa final comprende en primer lugar, haciendo variar dicho segundo parámetro, la búsqueda de un corrector que tiene un margen de retardo superior a dicho margen de retardo umbral, y después,
10 haciendo variar también otro parámetro escalar, denominado tercer parámetro, entre dichos parámetros escalares, la búsqueda de un corrector óptimo que tiene un margen de módulo superior a dicho margen de módulo umbral.

13. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque, durante dicha etapa de identificación, dicha segunda modelización es una modelización lineal del comportamiento de dicho dispositivo.

15 14. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 12, caracterizado porque, durante dicha etapa de identificación, dicha segunda modelización tiene en cuenta de forma explícita unas fuerzas que conducen a un comportamiento no lineal de dicho dispositivo.

20 15. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque comprende, al final de dicha etapa de test, una etapa de tratamiento previo para rechazar los datos para los cuales el valor correspondiente de la velocidad de dicho plato es inferior a una velocidad umbral.

25 16. Simulador de movimientos apto para soportar una carga, comprendiendo dicho simulador de movimientos un dispositivo mecánico y una unidad de control, comprendiendo dicho simulador un plato móvil apto para soportar dicha carga; unos medios de arrastre aptos para poner en movimiento dicho plato según por lo menos un eje; un amplificador de corriente apto para accionar los medios de arrastre en respuesta a una señal de mando; un sensor apto para medir una posición de dicho plato; comprendiendo la unidad de control un corrector apto para emitir dicha señal de mando en función de una señal de consigna de posición y de dicha posición medida, caracterizado porque
30 dicha unidad de control está configurada para realizar el procedimiento de regulación según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 15 para obtener un corrector óptimo teniendo en cuenta una carga.

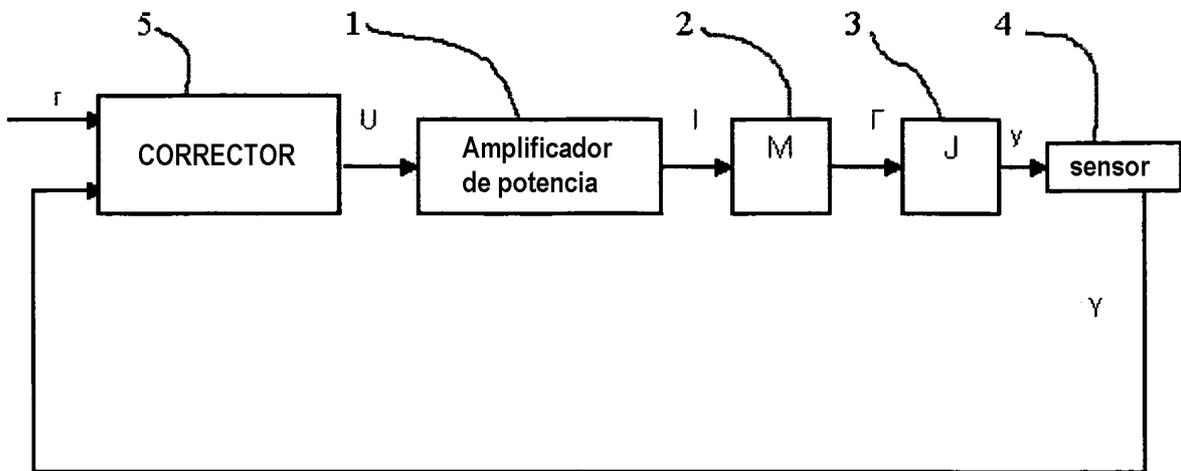


Fig. 1

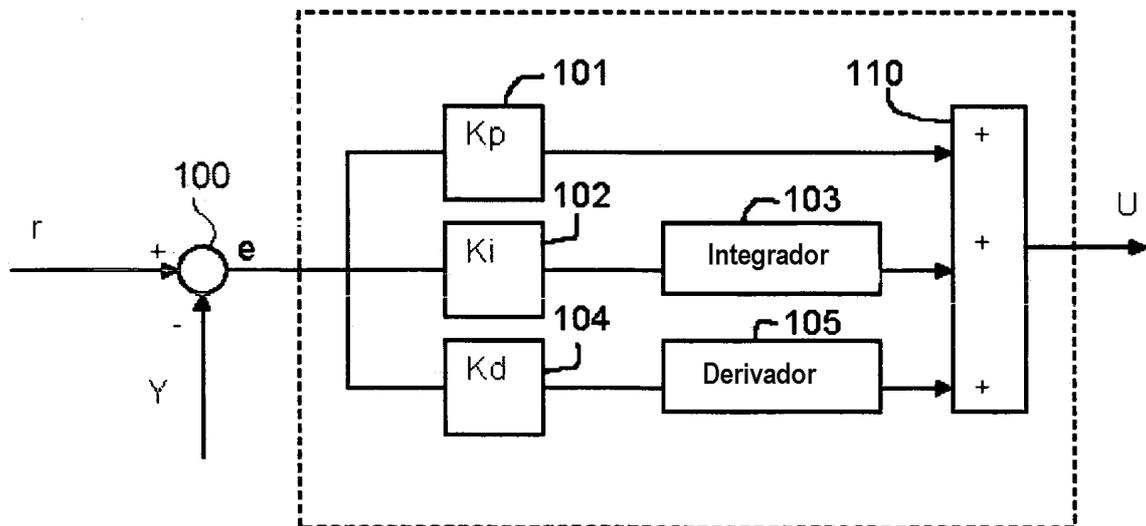


Fig. 2
TÉCNICA ANTERIOR

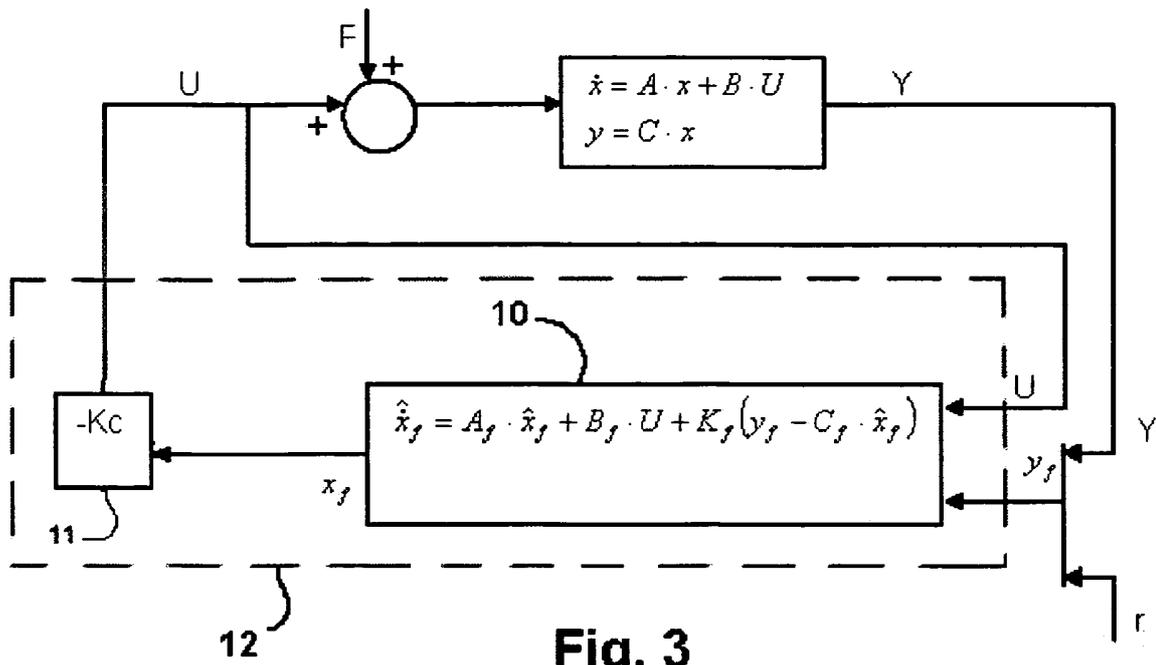


Fig. 3

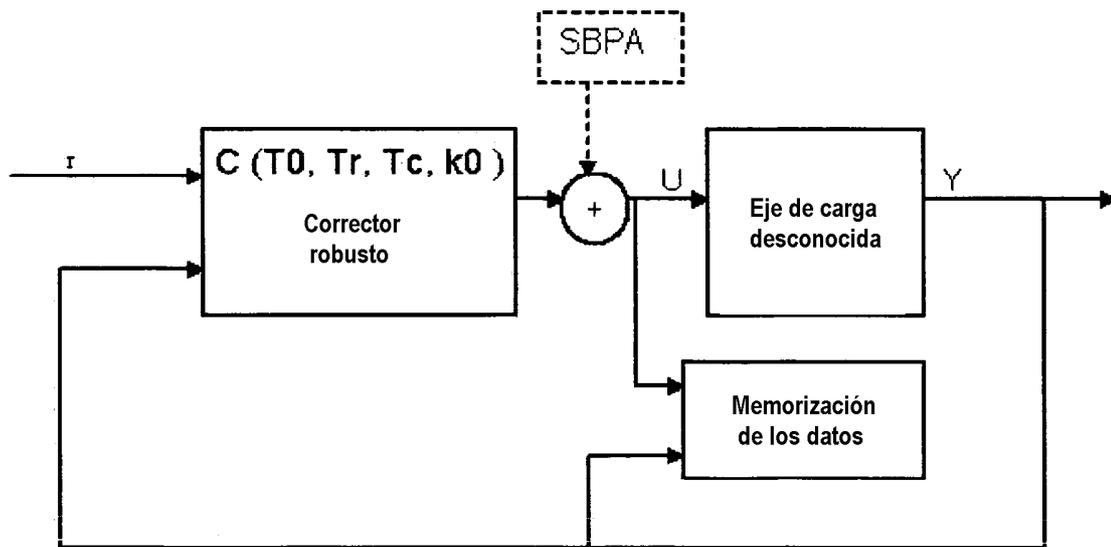


Fig. 5

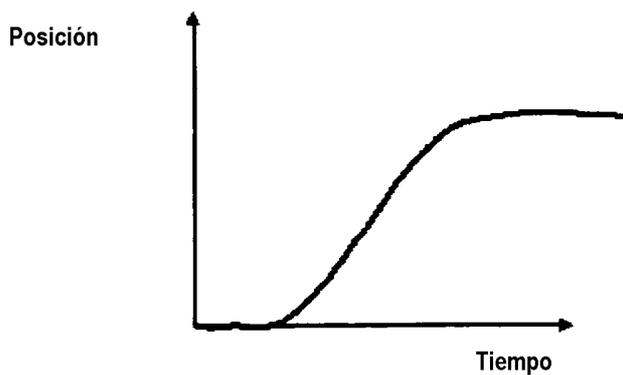


Fig. 6

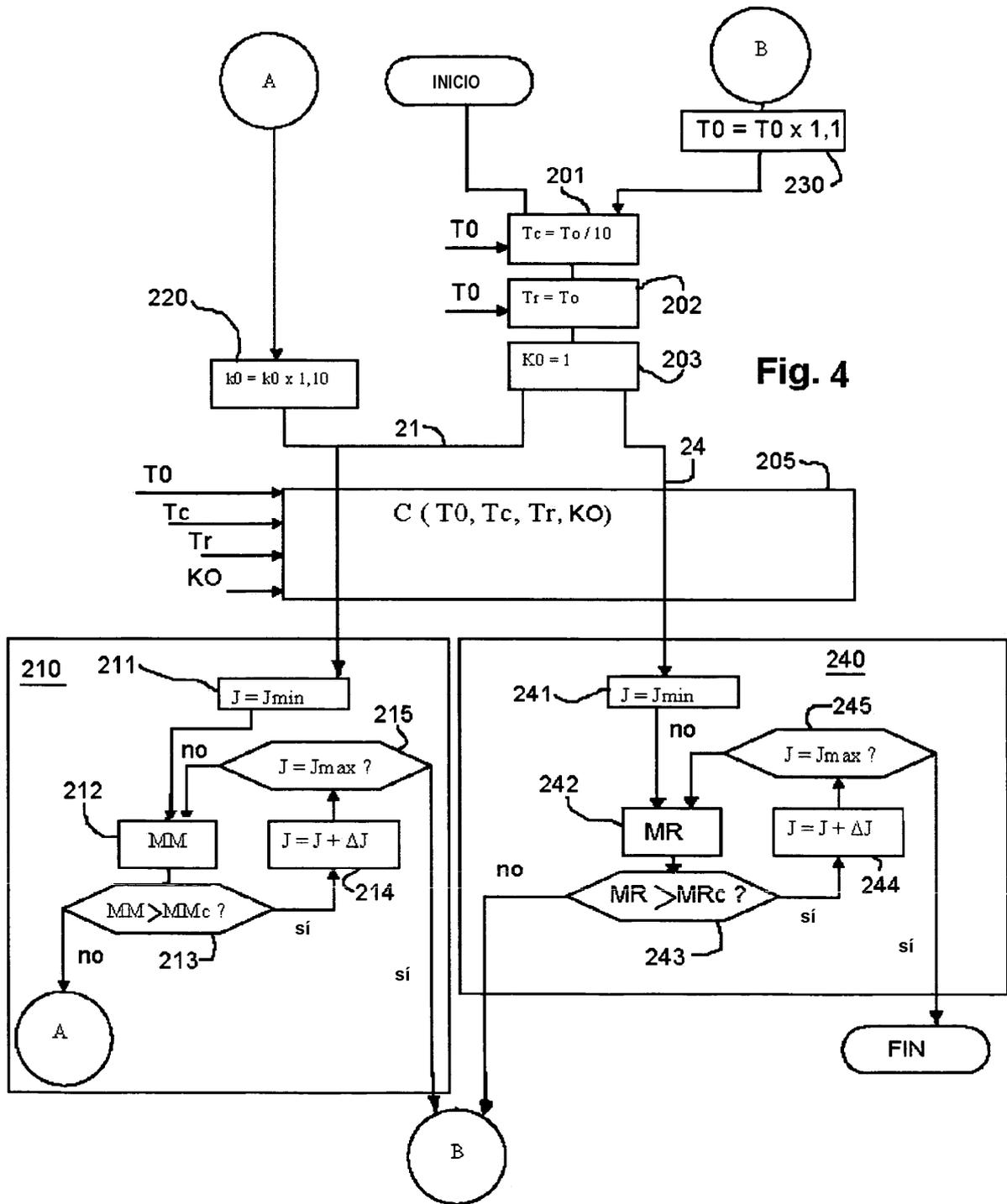


Fig. 4

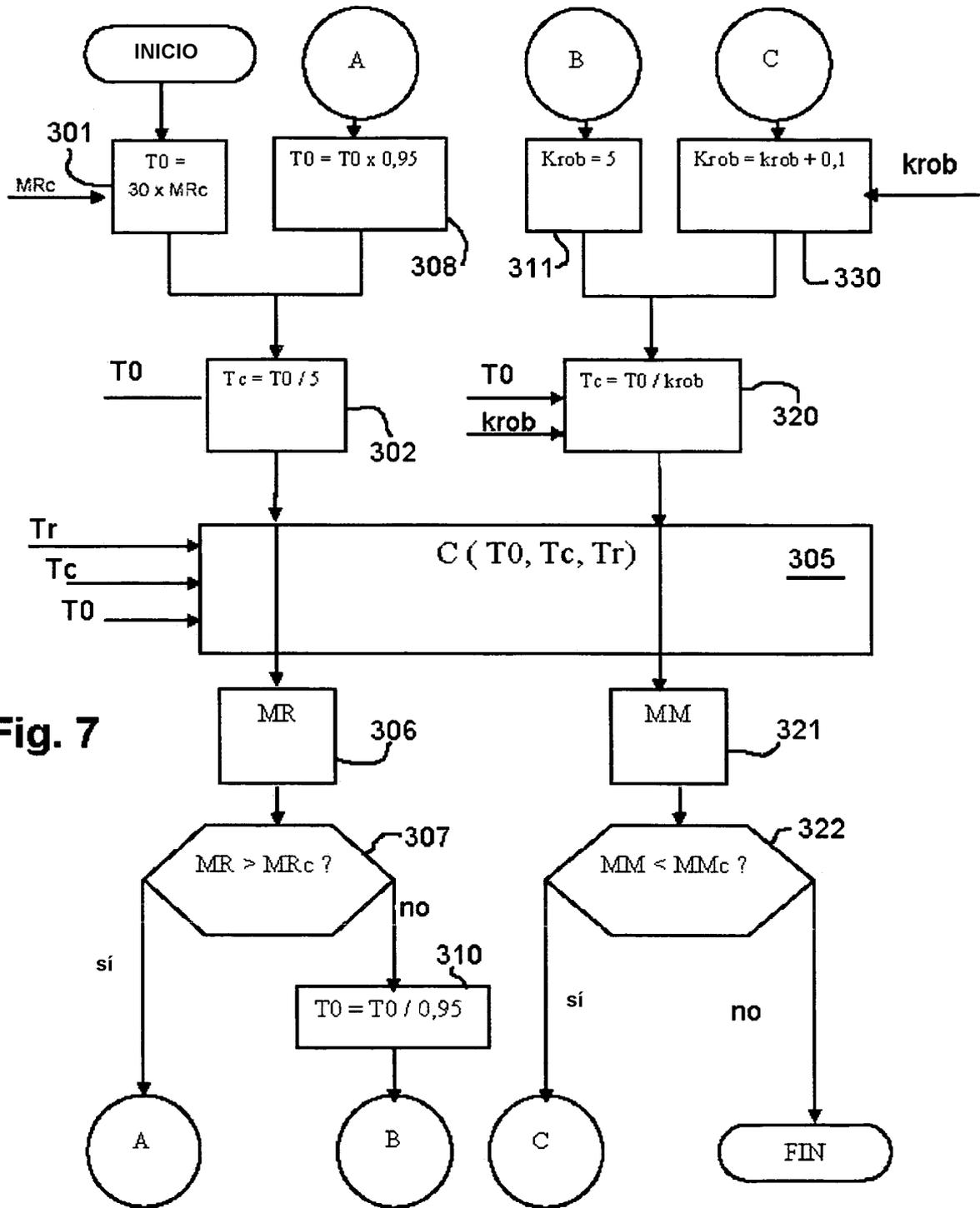


Fig. 7