



①9



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

①1 Número de publicación: **2 338 644**

⑤1 Int. Cl.:
G05D 1/08 (2006.01)

⑫

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

⑨6 Número de solicitud europea: **03292442 .5**

⑨6 Fecha de presentación : **03.10.2003**

⑨7 Número de publicación de la solicitud: **1413940**

⑨7 Fecha de publicación de la solicitud: **28.04.2004**

⑤4 Título: **Dispositivo de control de actitud de un satélite geoestacionario.**

③0 Prioridad: **21.10.2002 FR 02 13052**

④5 Fecha de publicación de la mención BOPI:
11.05.2010

④5 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
11.05.2010

⑦3 Titular/es: **Thales**
45, rue de Villiers
92200 Neuilly-sur-Seine, FR

⑦2 Inventor/es: **Montfort, Eric;**
Salenc, Cedric;
Roser, Xavier y
Gaudic, Loic

⑦4 Agente: **Carpintero López, Mario**

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 control de actitud de un satélite geoestacionario.

5 La invención se refiere a un dispositivo de control de la actitud de un satélite geoestacionario.

La actitud de los satélites debe controlarse de manera constante de modo que, especialmente las antenas mantengan siempre una dirección determinada, apuntando esta dirección, por lo general, hacia la tierra.

10 Así, en un satélite, están previstos sensores que detectan la actitud del satélite. La señal de salida de los sensores se compara con una actitud de referencia para proporcionar una señal de control de los accionadores para corregir la actitud del satélite, para que corresponda a la referencia.

15 Para estos accionadores, habitualmente están previstas ruedas de reacción. Una rueda de reacción es un rotor de giroscopio que rueda a una alta velocidad, por ejemplo del orden de 3000 vueltas por minuto, y con una fuerte inercia. Cuando se acelera el rotor de giroscopio, es decir se aumenta su velocidad de rotación, se ejerce un par de reacción sobre el cuerpo del satélite. Para un control según cualquier dirección, es necesario prever tres ruedas que giran según ejes que forman una base libre, por ejemplo, según ejes que constituyen una referencia ortonormal.

20 La invención es resultado de la constatación de que la actitud de los satélites geoestacionarios dotados de apéndices de gran inercia resulta, a partir de un determinado tamaño, difícil de controlar con ruedas de reacción.

En efecto, una estructura de gran dimensión y fijada al cuerpo del satélite de manera necesariamente flexible perturbará la actitud del satélite.

25 El cuerpo del satélite experimenta pares, o fuerzas de perturbación tales como las provocadas por la activación de las toberas, que repercuten sobre el apéndice provocando movimientos a bajas frecuencias. Éste es el caso de generadores solares que oscilan libremente con amplitudes reducidas. Cuando las frecuencias propias de los apéndices son particularmente bajas, entonces sus oscilaciones deben controlarse. Las ruedas de reacción no pueden oponerse a estos pares importantes, en tanto que deben oponerse también al balanceo del carburante del sistema de propulsión. 30 Para conseguir controlar la actitud de este tipo de satélite, se ha propuesto combinar las ruedas de reacción con toberas de un sistema de propulsión químico. Sin embargo, la utilización de los propulsores crea perturbaciones sobre la órbita y la precisión de puntería obtenida no es suficiente.

35 La invención soluciona este inconveniente. Para ello, el dispositivo de control de actitud de un satélite geoestacionario según la invención está caracterizado porque comprende un conjunto de accionadores giroscópicos.

Los accionadores giroscópicos se proponen generalmente para la corrección de actitud de los satélites de órbita baja porque permiten generar un par de valor importante en un tiempo reducido, requiriendo las misiones exigidas a 40 estos satélites poder efectuar cambios de puntería rápidos.

Se recuerda en este punto que un accionador giroscópico comprende asimismo un rotor de giroscopio giratorio a velocidad constante, pero es la variación de la dirección del eje de rotación del rotor de giroscopio la que provoca un par sobre el satélite. 45

Se prevén varios accionadores giroscópicos para poder crear un par en una dirección determinada. Para ello, puede recurrirse a cuatro accionadores giroscópicos equipados con cardanes monoaxiales dispuestos según una configuración 50 piramidal tal como se describe en la patente francesa 2 796 172.

Los accionadores giroscópicos pueden utilizarse para mantener la puntería fina del satélite hacia la tierra durante las fases de corrección de órbita este/oeste y/o norte/sur, pero también para otros modos tales como la fase de empuje de apogeo durante el posicionamiento. También mejoran el control del balanceo debido a los carburantes tales como los ergoles.

55 En una realización de sistema de control de actitud con accionadores giroscópicos, el lazo de regulación recurre a un corrector cuya estructura y cuyos ajustes se basan en la definición de un ancho de banda del lazo de regulación que contiene las frecuencias más bajas y más enérgicas de los modos flexibles de los apéndices. Así, este corrector permite estabilizar el sistema permitiendo a los accionadores giroscópicos oponerse a los pares de oscilación de las alas de los generadores solares o de las antenas. 60

Así, la invención se refiere a un dispositivo de control de actitud de un satélite de tipo geoestacionario según la reivindicación 1 y siguientes.

65 La invención se refiere también a un satélite que comprende un dispositivo de control de actitud de este tipo.

En un modo particular de realización del dispositivo de la invención, se prevé un lazo de regulación de la actitud con un corrector tal que el ancho de banda de este lazo contiene las frecuencias más bajas y más enérgicas de los

modos flexibles de los apéndices. Este lazo puede comprender un corrector de tipo Proporcional, Integral, Derivada (PID) asociado a un filtro de atenuación o un corrector sintetizado por los métodos avanzados de control de sistemas tales como los métodos H_∞ y LMI (*Linear Matrix Inequality*).

5 Un método se describe, por ejemplo, en los documentos siguientes:

- J.C. Doyle, K. Glover, P.K. Khargonekar, B.A. Francis, "State-space solutions to standard H_2 and H-infinity control problems", *IEEE Trans. Autom. Control*, AC34, n.º 8, págs. 831-846, 1989,
- 10 - P. Gahinet, P. Apkarian, "A Linear Matrix Inequality approach to H-infinity control", *Int. Journal of Robust and nonlinear Control*, vol. 4, págs. 421-448, 1994.

15 Un método LMI se describe, por ejemplo, en los documentos siguientes:

- S. Boyd, L. El Ghaoui, E. Feron, V. Balakrishnan, "Linear Matrix Inequalities in System and Control Theory", *Studies in Appl. Math. SIAM*, Vol. 15, 1994,
- 20 - S. Boyd, L. El Ghaoui, E. Feron, V. Balakrishnan, "Control System Analysis and Synthesis via LMIs", *American Control Conference*, págs. 2147-2154, 1993.

25 El documento EP 0394897A1 a nombre del solicitante o una de sus filiales, describe un procedimiento de posicionamiento de un satélite geoestacionario utilizando una rueda de inercia y un girómetro. Este documento no se refiere al control sobre la órbita de un satélite, y no enseña la utilización de accionadores giroscópicos.

Otras características y ventajas de la invención se evidenciarán con la descripción de algunos de sus modos de realización, efectuándose la misma en referencia a los dibujos adjuntos en los que:

30 la figura 1 es un esquema de un satélite al que se aplica la invención,

la figura 2 es un esquema de un accionador giroscópico conocido en sí mismo,

35 la figura 3 es un esquema de un dispositivo de control de actitud según la invención, y

los diagramas de las figuras 4a, 4b y de la figura 5 ilustran un ejemplo de funcionamiento del dispositivo según la invención.

40 La figura 1 representa un satélite 10 geoestacionario equipado, para su alimentación de energía, con generadores 12 y 14 solares de grandes dimensiones con respecto a la de su cuerpo 16. Cuando se ejerce un par de perturbación sobre el cuerpo 16 del satélite, las alas ligeras oscilan a baja frecuencia, siendo la amplitud de oscilación relativamente reducida. Estos tipos de deformaciones se denominan modos flexibles.

45 El mismo problema de oscilación se plantea cuando el satélite está dotado de antenas o de cualquier otra estructura de grandes dimensiones, generalmente desplegables.

Para oponerse a las oscilaciones de este tipo, la invención prevé controlar la actitud del satélite con ayuda de un conjunto de accionadores giroscópicos que permiten intercambiar rápidamente el momento cinético de este conjunto con el momento cinético del satélite.

50 Un accionador giroscópico está representado en la figura 2. Comprende una rueda 22 que gira a una velocidad constante alrededor de un eje 24. Su mecanismo 26 de suspensión y de accionamiento está montado sobre una base 28 de cardán y un motor 30 eléctrico está previsto para permitir el basculamiento del mecanismo 26 y por tanto para modificar la orientación del eje 24 de rotación.

55 El par 32 de salida es el producto vectorial de la velocidad de basculamiento del cardán por el momento cinético del rotor de giroscopio. Este par es perpendicular al eje de rotación del cardán y al eje de la rueda. Por tanto gira con respecto al satélite. Para ejercer el par requerido sobre el satélite, se prevén al menos tres accionadores giroscópicos, lo que permite suministrar varias decenas de Newton-metros.

60 La figura 3 muestra, de manera esquemática, el sistema de control de actitud del satélite. En esta figura, el conjunto del satélite, con su cuerpo 16 y sus "alas" 12 y 14, está representado por un rectángulo 34 alargado, y el conjunto de los accionadores giroscópicos está representado por un bloque 36. De manera conocida en sí, los detectores 38 permiten detectar la actitud del satélite. Las señales proporcionadas por estos detectores 38 se suministran a un lazo 40 de control y regulación, en general realizado en forma de software de un procesador calculador. Este lazo 40 recibe también señales por parte del conjunto de accionadores giroscópicos y proporciona las señales de control a los accionadores 36.

ES 2 338 644 T3

El lazo 40 comprende un bloque 42 de tratamiento de las señales proporcionadas por los detectores 38, con el fin de formatearlas para que representen la actitud del satélite y la señal proporcionada por el bloque 42 se suministra a la entrada de un restador 44 que resta estas señales de actitudes medidas a una señal de referencia aplicada a otra entrada 48 de este restador 44. La señal de salida del restador 44, que representa la señal de error, se aplica a la entrada de un bloque 50 corrector que permite evitar las inestabilidades del lazo de regulación y garantizar los comportamientos de puntería. De manera general, el bloque corrector es tal que el ancho de banda del lazo de regulación contiene las frecuencias más bajas y más enérgicas de los modos flexibles.

Este bloque 50 corrector puede comprender, por ejemplo, un corrector PID (Proporcional, Integral, Derivada) y filtros o cualquier otro corrector derivado de los métodos avanzados de control de sistemas tales como los métodos H_∞ y LMI (*Linear Matrix Inequality*).

La señal de salida del bloque 50 se aplica al conjunto 36 de accionadores giroscópicos por medio de un bloque 52 de interfaz que recibe también, en una entrada 54, una señal de medición de la posición angular de cada uno de los cardanes de los accionadores giroscópicos.

Las figuras 4a y 4b muestran un ejemplo de diagramas de Bode del conjunto de regulación.

En la figura 4a se ha indicado en las abscisas la pulsación en radianes por segundo y en las ordenadas la ganancia en decibelios. En la figura 4b se ha indicado en las abscisas la pulsación, también en radianes por segundo, y en las ordenadas la fase en grados.

En la figura 4a se observa un pico 62 de resonancia y picos 64, 66 de antirresonancia que corresponden a los modos flexibles.

En el diagrama de la figura 5, se ha representado un diagrama de Black, o Nichols, en el que las fases en grados se indican en las abscisas, y las ganancias (en decibelios) en lazo abierto se indican en las ordenadas. La curva 70 corresponde a diversos valores del parámetro ω y las partes a la derecha del punto crítico 72 (ganancia 0 db, fase 0) corresponden al modo flexible.

El sistema de control según la invención permite una gran precisión de guiado y, por tanto, una mejora de los comportamientos de puntería.

REIVINDICACIONES

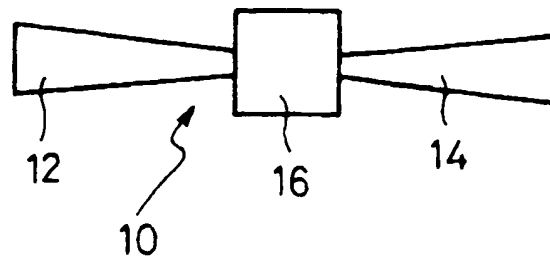
1. Dispositivo de control de actitud de un satélite de tipo geoestacionario que comprende elementos (12, 14) alargados incluyendo generadores solares y antenas, comprendiendo dicho dispositivo además accionadores giroscópicos para proporcionar el par necesario para el mantenimiento de la actitud del satélite sometido a fuerzas o pares de perturbación, **caracterizado** porque comprende un lazo (40) de regulación de la actitud con un corrector (50) tal que el ancho de banda de este lazo contiene las frecuencias más bajas y las más enérgicas de los modos flexibles de dichos elementos alargados.

2. Dispositivo según la reivindicación 1, **caracterizado** porque el corrector del lazo es de tipo Proporcional, Integral, Derivada (PID) y porque está asociado a un filtro de atenuación.

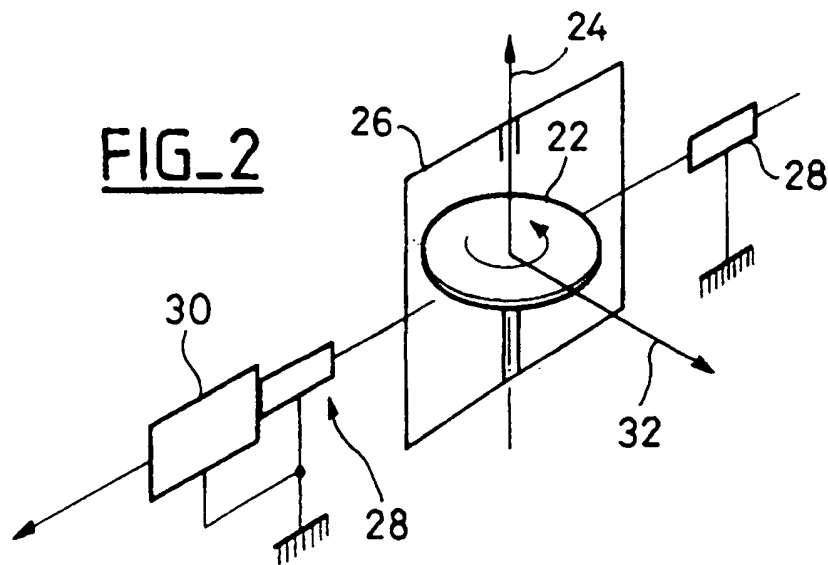
3. Dispositivo según la reivindicación 1, **caracterizado** porque el corrector del lazo se sintetiza mediante los avanzados métodos de control de sistemas tales como los métodos H_{∞} y LMI (*Linear Matrix Inequality*).

4. Un satélite, que comprende elementos alargados y un sistema de control de actitud, según una de las reivindicaciones anteriores.

FIG_1



FIG_2



FIG_3

