



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 293 968**

51 Int. Cl.:  
**B64G 1/28** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **01403326 .0**

86 Fecha de presentación : **20.12.2001**

87 Número de publicación de la solicitud: **1223104**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **17.07.2002**

54 Título: **Procedimiento de orientación de un sistema de accionadores giroscópicos.**

30 Prioridad: **15.01.2001 FR 01 00462**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**01.04.2008**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**01.04.2008**

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

72 Inventor/es: **Salenc, Cédric**

74 Agente: **Lehmann Novo, María Isabel**

ES 2 293 968 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

Procedimiento de orientación de un sistema de accionadores giroscópicos.

5 La invención concierne a los sistemas de accionadores giroscópicos utilizados en satélites, y más específicamente, una ley de orientación de un sistema de accionadores giroscópicos.

10 Se utilizan en los satélites sistemas de accionadores giroscópicos, que están constituidos por varias ruedas cinéticas impulsadas en rotación. Los ejes de las ruedas están montados sobre cardanes. Cada accionador conserva su momento cinético constante en amplitud y genera un par modificando la dirección de su momento cinético en la referencia del satélite, con la ayuda del cardán. Los movimientos de los cardanes del sistema provocan una variación del momento cinético total del sistema; tales variaciones permiten controlar la actitud del satélite. Se habla entonces en lo que sigue indistintamente de variación de actitud o de variación de momento cinético, este último término será, sin embargo, el término más adecuado si se considera el sistema de accionadores, independientemente de un satélite.

15 Se denomina en este contexto momento cinético de un accionador, de forma conocida en sí, un vector cuya dirección es aquella del eje de rotación del accionador, y cuya intensidad es igual al producto del momento de inercia del accionador por la velocidad de rotación. La dirección del momento cinético está dada por una convención vinculada a la orientación de la referencia en el espacio. El momento cinético de un sistema de accionadores es igual a la suma vectorial de los momentos cinéticos de los diferentes accionadores.

20 Un problema encontrado en tales sistemas de accionadores giroscópicos es aquel de las configuraciones singulares o singularidades del sistema. Se denomina "singularidad interna" una configuración de accionadores, en la cual el momento cinético no es máximo, pero en el que no es posible aumentar el momento cinético sin violación, de una limitación; la limitación es típicamente un límite de la velocidad de rotación del cardán de un accionador. En una ley de orientación que suministra un comando en velocidad angular de los cardanes de los accionadores en función del par o del momento cinético deseado, por inversión de una matriz, una singularidad se explica analíticamente por un determinante de matriz que tiende a cero, lo que provoca un comando en velocidad que tiende hacia el infinito, y por lo tanto una saturación de los motores de cambio.

25 Se llama "singularidad externa" una configuración en la que el momento cinético del sistema de accionadores es máximo en una dirección; típicamente, esa singularidad es alcanzada cuando todos los momentos cinéticos de todos los accionadores son colineales y de igual dirección, o cuando los componentes de los momentos cinéticos de todos los accionadores según un eje dado son máximos.

30 Se considera el ejemplo de un sistema constituido por cuatro accionadores; para un sistema de este tipo, una singularidad interna posible es obtenida cuando los momentos cinéticos de todos los accionadores están en una misma dirección, con los momentos de tres accionadores en una dirección y el momento del cuarto accionador en la otra dirección. Se comprende que en tal configuración, para aumentar aún más el momento cinético del sistema de accionadores, es necesario invertir el eje del cuarto accionador. Tal inversión induce componentes perpendiculares a la dirección de los accionadores; una fuerte inversión corre el riesgo de violar una limitación de la velocidad de rotación de un cardán de accionador. El paso por una singularidad no es deseable para la dirección de la actitud de un satélite: o bien induce componentes de momento cinético no deseadas, o conduce a una violación de una limitación sobre los movimientos de los accionadores.

35 Obviamente, no es posible evitar las singularidades externas de un sistema de accionadores - ya que estas singularidades son provocadas por las limitaciones inherentes al sistema. Sin embargo, es conveniente evitar las singularidades internas. Este problema ocurre especialmente cuando el sistema de accionadores es utilizado para el control de la actitud de un satélite. Se utiliza a continuación el término singularidad para designar las singularidades internas del sistema de accionadores.

40 FR-A-2 786 283 describe un procedimiento de control de la actitud de un satélite, mediante el control de la velocidad de los cardanes de girodinas de un racimo de girodinas. Este documento propone determinar a partir de condiciones inicial y final en términos de actitud/velocidad angular/tiempo, una configuración de racimo alejada de cualquier configuración singular, y tal que el intercambio de momento cinético provoque la maniobra deseada. Este documento propone seguidamente conducir de forma simultánea e independiente la orientación de cada cardán en su orientación de consigna, gracias a una consigna de posición angular, enviada en circuito abierto en el dominio local en posición angular de los cardanes. Según este documento, la consigna en circuito abierto es casi instantánea en relación con el tiempo de respuesta del dominio en circuito cerrado del sistema de control de actitud. Esta solución induce, sin embargo, perturbaciones en la orientación de la actitud del satélite, de hecho, la precisión de la posición angular de los cardanes puede valer algunos micro radianes; un circuito abierto, incluso de poca duración, tiene incidencias sobre la precisión de la orientación. Además, esta solución supone un tiempo de quietud importante; las perturbaciones provocadas por la aplicación de la consigna de ángulo en circuito abierto son todavía sensibles al final del cambio de actitud. Por último, esta solución implica, para una estrategia de orientación dada, accionadores giroscópicos susceptibles de soportar una velocidad elevada de los cardanes - en otras palabras presentando un par de salida elevado.

45 La sección del estado de la técnica en este documento se refiere a un procedimiento de orientación local; este procedimiento no permite evitar las singularidades. El mismo se refiere también a una orientación global continua, por

## ES 2 293 968 T3

el cálculo de la mejor trayectoria de re-configuración antes de cada maniobra; este procedimiento implica un cálculo demasiado importante para que pueda ser embarcado; por lo tanto es necesario proceder al cálculo en tierra, y luego cargar a distancia los resultados del cálculo.

5 Por tanto, existe una necesidad de una solución de orientación de un sistema de accionadores giroscópicos, que permita evitar las singularidades internas, no induzca o induzca pocas perturbaciones en la actitud y que para una variación de la actitud dada no implique sobre-dimensionamiento del sistema de accionadores.

10 En resumen, en un modo de realización de la invención, se propone identificar un número finito de configuración de referencia, que permita el conjunto de las maniobras posibles. Como este número es finito, se puede almacenar un número igualmente finito de trayectorias continuas y precalculadas, que permiten pasar de una configuración de referencia a otra. Para una maniobra, entonces es suficiente identificar una configuración de referencia que permita la maniobra, y luego si es necesario pasar de una configuración actual a la configuración de referencia identificada, con la ayuda de una trayectoria calculada de antemano. Por lo tanto, es posible antes de una maniobra pasar de una  
15 configuración que puede provocar una singularidad durante la maniobra a otra configuración en las cercanías de la cual la maniobra puede ser efectuada sin riesgos de singularidad.

Más particularmente, la invención propone un procedimiento de orientación de un sistema de accionadores giroscópicos según la reivindicación 1.  
20

De preferencia el sistema de accionadores giroscópicos es dirigido por un sistema de control en circuito cerrado, y la etapa de paso se efectúa inyectando un perfil en el sistema de control.

25 El perfil puede ser definido por las velocidades de los cardanes de los accionadores giroscópicos, por pares de los motores de los cardanes de los accionadores giroscópicos o también por la intensidad de las corrientes aplicadas a los motores de los cardanes de los accionadores giroscópicos.

30 En un modo de realización, el perfil presenta una velocidad de los cardanes de los accionadores nula al inicio como al final del perfil. También se puede prever que un perfil presente una aceleración de los cardanes de los accionadores nula al inicio como al final del perfil. Aún es ventajoso que el perfil presente una velocidad de los cardanes de los accionadores creciente y luego decreciente, la velocidad alcanzando la velocidad máxima admisible en el sistema de accionadores giroscópicos. En este caso, es ventajoso que, la aceleración máxima admisible en el sistema de accionadores giroscópicos sea alcanzada cuando la velocidad es creciente y cuando la velocidad es decreciente.

35 La etapa de paso puede efectuarse al mismo tiempo que el inicio de la generación del momento cinético; también puede presentar una duración inferior a 20%, de preferencia inferior a 10% de la duración de la generación del momento cinético.

40 La invención propone también un satélite que presenta las características de la reivindicación 12.

De preferencia, el satélite presenta un sistema de control en circuito cerrado para el sistema de accionadores giroscópicos y una entrada en circuito abierto que aplica uno de los perfiles al sistema de accionadores giroscópicos.

45 El perfil almacenado en el satélite puede ser definido por las velocidades de los cardanes de los accionadores giroscópicos, por pares de los motores de los cardanes de los accionadores giroscópicos o también por la intensidad de las corrientes aplicadas a los motores de los cardanes de los accionadores giroscópicos.

Otras características y ventajas de la invención aparecerán con la lectura de la descripción que sigue de los modos de realización de la invención, dados a título de ejemplo y con referencia a los dibujos anexos, que muestran

- 50
- figura 1, una representación esquemática de un sistema de accionadores giroscópicos;
  - figuras 2 a 4, envolturas de momento cinético para configuraciones de referencia del sistema de la figura 1;

55

  - figuras 5 a 10, cortes en diferentes planos de las envolturas de las figuras 2 a 4;
  - figura 11, un gráfico del perfil de orientación en posición de un accionador giroscópico;
  - figura 12, un gráfico de velocidad del perfil de la figura 11;

60

  - figura 13, un gráfico de la aceleración del perfil de la figura 11;
  - figura 14, un gráfico de la derivada tercera del perfil de la figura 11;

65

  - figura 15, una representación esquemática del circuito de comando del accionador.

En lo que sigue de la descripción, para la claridad de la explicación, la invención es descrita con referencia a un sistema de accionadores giroscópicos que presentan un momento cinético nulo en reposo, se trata solo de un ejemplo

## ES 2 293 968 T3

de configuración clásico de un sistema de accionadores giroscópicos. La invención también se puede aplicar a un sistema de accionadores giroscópicos que presentan siempre un momento cinético no nulo.

En una configuración dada de los accionadores de un sistema de accionadores giroscópicos, hay valores máximos del momento cinético del sistema de accionadores que pueden ser alcanzados sin pasar por una singularidad interna. Por lo tanto, es posible para una configuración C dada del sistema de accionadores giroscópicos que presentan un momento cinético nulo, definir direcciones en el espacio llamadas "libres" o sin singularidades: a partir de la configuración C dada, se puede alcanzar un momento cinético máximo en una dirección libre, sin pasar por una singularidad interna.

Se determina a continuación un número de configuraciones  $C_i$ , llamadas en lo que sigue configuraciones de referencia, que son tales que el conjunto de las direcciones libres cubre todas las direcciones posibles. En otras palabras, para cada dirección posible del momento cinético; existe una configuración de referencia a partir de la cual un momento cinético máximo en esta dirección posible puede ser alcanzado sin pasar por una singularidad.

Una vez definidas las configuraciones de referencia, cualquier maniobra -es decir cualquier selección de un valor de momento cinético a generar- es posible a partir de una configuración de referencia. Para una maniobra dada, si el sistema de accionadores giroscópicos no está en las cercanías de una configuración de referencia que permita la maniobra, el problema es pasar a otra configuración de referencia, que permita la maniobra.

La invención se basa en la constatación de que es suficiente para permitir cualquier maniobra sin riesgo de singularidades, definir un número finito de configuraciones de referencia. Como el número de configuraciones de referencia es finito, sólo hay un número finito de pasos posibles de una configuración de referencia a otra. Como resultado de ello, es suficiente definir de antemano un número finito de perfiles que permitan pasar de una configuración de referencia a otra.

Se describe con referencia a la figura 1 un ejemplo de sistema con cuatro accionadores giroscópicos, con tres configuraciones de referencia y seis perfiles. Un sistema de cuatro accionadores es una solución que permite generar cualquier dirección del momento cinético, mientras que presenta una redundancia. La figura 1 muestra una representación esquemática del sistema de accionadores giroscópicos. Es llevado a la figura una referencia ortonormada directa  $(x, y, z)$ ; la referencia es llamada directa porque la misma define para el momento cinético una convención de dirección: una rotación del eje  $z$ , que lleva el eje  $x$  sobre el eje  $y$  es representada por un vector que es positivo sobre el eje  $z$ . En la figura aparece en línea de puntos la estructura 2 del satélite. Los accionadores están dispuestos sobre las caras de la pirámide; para facilitar la explicación, se consideró una pirámide que presenta un ángulo piramidal de  $45^\circ$ ; en otras palabras, cada cara de la pirámide forma con la vertical un ángulo de  $45^\circ$ . El primer accionador giroscópico 4 presenta un cardán 6 móvil en rotación alrededor de un eje 8 teniendo un vector director  $(1, 0, 1)$ . En la posición representada en la figura, la rueda 10 llevada por el cardán 6 es impulsada en rotación en el plano  $(x, z)$  en la dirección que conduce el vector unitario  $(1, 0, 0)$  hacia el vector unitario  $(0, 0, 1)$ . El momento cinético presenta por lo tanto un valor positivo según el eje  $y$ , lo que es representado en la figura por el vector 12. El vector momento cinético presenta coordenadas  $(0, h, 0)$ , con  $h$  el producto del momento de inercia de la rueda 10 por la velocidad de rotación de esta rueda.

Los otros accionadores 14, 16 y 18 del sistema de accionadores giroscópicos presentan ejes de rotación de los cardanes cuyas direcciones respectivas son  $(0, 1, 1)$ ,  $(-1, 0, 1)$  y  $(0, -1, 1)$ . En la configuración representada en la figura 1, los momentos cinéticos de las ruedas de los cuatro accionadores 4, 14, 16 y 18 valen respectivamente  $(0, h, 0)$ ,  $(-h, 0, 0)$ ,  $(0, -h, 0)$  y  $(h, 0, 0)$ ; se supone aquí que los cuatro accionadores son idénticos. La configuración de la figura es una configuración de momento cinético total nulo.

Para esta configuración, la dirección  $z$  es una dirección libre. En otras palabras, es posible alcanzar un momento cinético máximo a lo largo del eje  $z$ , sin pasar por una singularidad interna: es suficiente para esto hacer girar un cuarto de giro ( $90^\circ$ ) cada uno de los accionadores, siguiendo el eje de rotación del cardán. Se obtiene entonces para los accionadores 4, 14, 16 y 18 momentos cinéticos que presentan las coordenadas  $(-h/\sqrt{2}, 0, h/\sqrt{2})$ ,  $(0, -h/\sqrt{2}, h/\sqrt{2})$ ,  $(h/\sqrt{2}, 0, h/\sqrt{2})$  y  $(0, h/\sqrt{2}, h/\sqrt{2})$ . El momento cinético total vale por lo tanto  $(0, 0, 4\sqrt{2}h)$ : el mismo es máximo siguiendo el eje  $z$ . Se comprende que el paso desde la configuración de la figura 1 hacia la configuración con un momento cinético máximo siguiendo el eje  $z$  puede efectuarse con:

- componentes del momento cinético constantemente nulos siguiendo las direcciones  $x$  e  $y$ ;
- un componente del momento cinético siguiendo la dirección  $z$  que crece de forma monótona.

A la inversa, para la configuración de la figura 1, la dirección  $x$  no es una dirección libre. De hecho, para alcanzar un momento cinético máximo siguiendo la dirección  $x$ , sería necesario:

- hacer girar el accionador 4 un cuarto de giro para que el mismo presente un momento cinético  $(h/\sqrt{2}, 0, -h/\sqrt{2})$ ;
- invertir el accionador 14 para que el mismo presente un momento cinético  $(h, 0, 0)$ ;

## ES 2 293 968 T3

- hacer girar el accionador 16 un cuarto de giro para que el mismo presente un momento cinético  $(h/\sqrt{2}, 0, h/\sqrt{2})$ ; y
- no mover el accionador 18.

5

Es evidente que estos movimientos de los accionadores 4 y 16 opuestos pueden efectuarse con componentes nulos siguiendo las direcciones y y z. Sin embargo, la rotación del accionador 14 genera un momento cinético no nulo siguiendo los ejes y y z.

10 Del mismo modo, la dirección y no es una dirección libre para la configuración del sistema de accionadores giroscópicos, representada en la figura 1.

15 La configuración del sistema de accionadores giroscópicos, representada en la figura 1, es por tanto conveniente cuando se desea generar un momento cinético dirigido siguiendo el eje z, o en las cercanías de este eje; por el contrario, la misma no es conveniente como configuración de partida si se desea generar un momento cinético dirigido en el plano (x, y). Por lo tanto, se puede considerar que las direcciones comprendidas en un ángulo sólido conteniendo el eje z son direcciones libres para la configuración de la figura 1. Un ángulo sólido en el interior de un doble cono de revolución de eje z y ángulo en la parte superior de  $45^\circ$  es conveniente.

20 La configuración del sistema de accionadores giroscópicos de la figura 1 es una configuración en la que los momentos cinéticos de los accionadores son coplanos, y en la que accionadores opuestos tienen momentos cinéticos opuestos. Otras configuraciones con un momento cinético total nulo son posibles. Estas configuraciones pueden ser definidas por los ángulos de los cardanes de los diferentes accionadores. Por convención, se puede considerar que los ángulos representados en la figura 1 son ángulos nulos. Luego se dirigen los ejes de los cardanes hacia arriba, en este caso, una rotación del cardán 6 de un cuarto de giro, de modo que el accionador presente un momento cinético  $(-h/\sqrt{2}, 0, h/\sqrt{2})$ , es una rotación de  $+90^\circ$ ; por el contrario, una rotación del cardán 6 para que el accionador presente un momento cinético  $(h/\sqrt{2}, 0, -h/\sqrt{2})$  es una rotación de  $-90^\circ$ . Esta regla de signo de los ángulos se deriva de la orientación de la referencia. Con esta convención, los momentos cinéticos de los accionadores son los siguientes, para un ángulo  $\alpha$  de rotación del cardán:

30

- para el accionador 4:  $(-\text{sen}\alpha/\sqrt{2}, \text{cos}\alpha, \text{sen}\alpha/\sqrt{2})$
- para el accionador 14:  $(-\text{cos}\alpha, -\text{sen}\alpha/\sqrt{2}, \text{sen}\alpha/\sqrt{2})$
- para el accionador 16:  $(\text{sen}\alpha/\sqrt{2}, -\text{cos}\alpha, \text{sen}\alpha/\sqrt{2})$
- para el accionador 18:  $(\text{cos}\alpha, \text{sen}\alpha/\sqrt{2}, \text{sen}\alpha/\sqrt{2})$ .

35

40 Con estas convenciones, se pueden definir las configuraciones siguientes. Una configuración es obtenida para los ángulos  $(\alpha, -\alpha, \alpha, -\alpha)$  de los cardanes de los accionadores 4, 14, 16 y 18, con  $\alpha$  un ángulo nulo e inferior a  $90^\circ$ . En esta configuración, los momentos cinéticos de los accionadores 4 y 16 están dirigidos hacia arriba; la suma de sus momentos cinéticos está dirigida hacia arriba siguiendo el eje z. Los momentos cinéticos de los accionadores 14 y 18 están dirigidos hacia abajo y la suma de sus momentos cinéticos está dirigida hacia abajo, siguiendo el eje z. El momento cinético total es nulo. En esta configuración, es evidente que la dirección z no es una dirección libre. Por el contrario, la dirección  $(1, 1, 0)$  es una dirección libre: es posible hacer variar las direcciones de los accionadores, de modo que el momento cinético total siga siendo nulo siguiendo las direcciones perpendiculares  $(1, -1, 0)$  y z, y crezca en valor absoluto de manera monótona siguiendo la dirección  $(1, 1, 0)$ , a fin de alcanzar sobre esta dirección un valor máximo positivo o negativo. Esto es simplemente obtenido con la ayuda de una ley que permite pasar de un comando en actitud a un comando de los cuatro accionadores; esto se conduce con la inversión de una matriz rectangular. Esta inversión es posible siempre que el determinante no es nulo - es decir en ausencia de singularidad. Una solución posible es utilizar la pseudo-inversa de Moore-Penrose. Esta solución es bien conocida por el experto en la materia especialista de los accionadores giroscópicos. La misma presenta la ventaja de minimizar la energía para alcanzar un momento cinético dado.

55 Otra configuración es obtenida para los ángulos  $(-\alpha, \alpha, -\alpha, \alpha)$ , de nuevo con  $\alpha$  un ángulo no nulo e inferior a  $90^\circ$ . En esta configuración, los momentos cinéticos de los accionadores 4 y 16 están dirigidos hacia abajo; la suma de sus momentos cinéticos está dirigida hacia abajo siguiendo el eje z. Los momentos cinéticos de los accionadores 14 y 18 están dirigidos hacia arriba y la suma de sus momentos cinéticos está dirigida hacia arriba, siguiendo el eje z. El momento cinético total es nulo. En esta configuración, sigue siendo evidente que la dirección z no es una dirección libre. Por el contrario, la dirección  $(1, -1, 0)$  es una dirección libre: es posible hacer variar las direcciones de los accionadores, de modo que el momento cinético total sigue siendo nulo siguiendo las direcciones perpendiculares  $(1, 1, 0)$  y z, y crece en valor absoluto de manera monótona siguiendo la dirección  $(1, -1, 0)$ .

65 Para estas dos configuraciones, la selección del ángulo  $\alpha$  depende de la estructura del sistema de accionadores giroscópicos. Para un sistema que presenta accionadores sobre las paredes de una pirámide, un valor entre  $30^\circ$  y  $60^\circ$  es apropiado; para un ángulo piramidal de  $30^\circ$ , el valor de  $\alpha$  puede ser seleccionado a  $40^\circ$ . La selección de un ángulo  $\alpha$  dado depende de la estructura del sistema de accionadores, y concretamente del ángulo piramidal. En la práctica, para una configuración piramidal, una selección de  $\alpha$  ligeramente superior al valor del ángulo piramidal se revela

## ES 2 293 968 T3

conveniente; por ejemplo  $10^\circ$  más que el ángulo piramidal. Un valor de  $\alpha$  demasiado bajo conduce configuraciones  $C_+$  o  $C_-$  con direcciones libres demasiado próximas a aquellas de la configuración  $C_0$ ; un valor de  $\alpha$  demasiado importante aproxima hacia una configuración  $(90^\circ, -90^\circ, 90^\circ, -90^\circ)$ , que es una singularidad interna.

5 Se definen así tres configuraciones de referencia  $C_0$ ,  $C_+$  y  $C_-$ , con ángulos respectivos  $(0, 0, 0, 0)$ ,  $(\alpha, -\alpha, \alpha, -\alpha)$  y  $(-\alpha, \alpha, -\alpha, \alpha)$ . Las figuras 4 a 10 muestran las direcciones libres para cada una de estas configuraciones; para las representaciones de las figuras, se considera un sistema de accionadores giroscópicos piramidal, con un ángulo piramidal de  $36^\circ$  y un ángulo  $\alpha$  de  $45^\circ$ . Las figuras son graduadas en Nms, con un momento cinético H de 19 Nms por accionador. Las figuras 2 a 4 muestran envolturas de momento cinético para las configuraciones de referencia  
10  $C_-$ ,  $C_0$  y  $C_+$ . Las envolturas son el lugar de los puntos M del espacio, en cada dirección con el vector OM igual al vector de momento cinético de mayor intensidad susceptible de ser alcanzado sin singularidad. La figura 3 muestra, por ejemplo, que es posible en la configuración  $C_0$  alcanzar momentos cinéticos máximos siguiendo la dirección z, pero que los momentos cinéticos alcanzados en el plano (x, y) son bastante bajos. Por el contrario, la figura 4 muestra que se alcanza rápidamente una singularidad a partir de la configuración  $C_+$ , si se busca obtener un momento cinético  
15 dirigido hacia el eje z positivo.

Las figuras 5 y 7 muestran en corte envolturas de las figuras 2 a 4 en el plano  $y = 0$ . Las figuras 8 a 10 muestran vistas en corte de las envolturas de las figuras 2 a 4 en el plano  $z = 0$ ; la escala de la figura 9 no es la misma que las escalas de las figuras 5, 7, 8 y 10. Las figuras 6 y 9 confirman la discusión de las direcciones libres de la configuración  
20  $C_0$ , evocadas anteriormente. Las figuras 8 y 10 confirman que las direcciones libres de las configuraciones  $C_-$  y  $C_+$  son las bisectrices  $(1, -1, 0)$  y  $(1, 1, 0)$  del plano (x, y).

A partir de una de estas tres configuraciones, es posible alcanzar un momento cinético máximo en una dirección dada, sin pasar por una singularidad interna. Esto aparece de la superposición de las figuras 5, 6 y 7, por una parte, o de 8, 9 o 10 por la otra. La selección de una configuración puede efectuarse de la siguiente manera: se considera una dirección del momento cinético, referenciada por una elevación  $\delta$  y un azimut  $\lambda$ . La elevación es el ángulo que forma la dirección con el eje z; el azimut es el ángulo que forma la proyección en el plano (x, y) de la dirección con el eje x. Si la elevación  $\delta$  es el valor absoluto superior a un valor límite  $\delta_{\text{límite}}$ , entonces se selecciona la configuración  $C_0$ . Esto significa que el momento cinético a generar es principalmente siguiendo el eje z; la configuración  $C_0$  de la figura 1  
25 es entonces una configuración de partida conveniente. En la figura 6, se encuentran en la parte superior o inferior del “reloj de arena”, que constituye la envoltura de la configuración  $C_0$ .

Si la elevación es en valor absoluto inferior o igual al valor límite  $\delta_{\text{límite}}$ , se utiliza una de las configuraciones de referencia  $C_+$  o  $C_-$ . La selección de una u otra de estas configuraciones depende del azimut; si el azimut de la tangente es positivo, se puede seleccionar la configuración  $C_+$  y si no, la dirección  $C_-$ . En otras palabras, se selecciona la configuración  $C_+$  en el cuadrante del plano (x, y) entre los ejes x positivo e y positivo, así como en el cuadrante del plano (x, y) entre los ejes x negativo e y negativo; en la figura 10, es evidente que la envoltura de la configuración  $C_+$  cubre bien esos cuadrantes - mientras que la envoltura de la configuración  $C_-$  (figura 8) o de la configuración  $C_0$  (figura 9) no los cubre. Por el contrario, se selecciona la configuración C en el cuadrante del plano (x, y) entre los ejes x positivo e y negativo, así como en el cuadrante del plano (x, y) entre los ejes x negativo e y positivo. En todos los casos, la configuración de referencia seleccionada permite alcanzar un valor máximo del momento cinético sin singularidad interna.  
35

Se notará que la discusión anterior se centra esencialmente en los valores máximos del momento cinético en una dirección dada; y si el valor del momento cinético a obtener es bajo, puede ser posible obtenerlo a partir de una configuración de partida cualquiera. En este caso, cualquier configuración de referencia conviene para la maniobra. Así, como se muestra en la figura 9, la configuración  $C_0$  permite alcanzar sin singularidad momentos cinéticos en el plano (x, y) si estos son inferiores en norma a 20 Nms.  
45

El ejemplo de la figura 1 muestra, para una estructura dada de un sistema de accionadores giroscópicos, que es posible definir configuraciones de referencia; para cualquier dirección del momento cinético, existe una configuración de referencia a partir de la cual se puede alcanzar un valor máximo del momento cinético en esta dirección dada, sin pasar por una singularidad interna. El ejemplo de la figura 1 ofrece configuraciones posibles para un sistema de accionadores giroscópicos piramidal, también sería posible añadir otras configuraciones a las configuraciones de referencia propuestas.  
50  
55

Más generalmente, las configuraciones de referencia pueden ser determinadas experimentalmente para un sistema de accionadores giroscópicos dado, que presentaría una estructura diferente. Se considera para esto el conjunto de las configuraciones que presentan el momento cinético buscado en reposo -un momento cinético nulo en el ejemplo de la figura 1-; para una configuración dada, se busca, en cada dirección posible, si es posible alcanzar un valor máximo del momento cinético sin encontrar singularidades. Se determina así para una configuración el conjunto de direcciones libres. Esta configuración se añade al conjunto de las configuraciones de referencia; este conjunto de configuraciones presenta un conjunto de direcciones libres. Se considera a continuación otra configuración, y se busca para esta configuración, si en una dirección que no está aún en el conjunto de las direcciones libres, es posible alcanzar un valor máximo del momento cinético sin encontrar singularidades. Cada adición de una configuración al conjunto de las configuraciones de referencia aumenta el número de direcciones cubiertas. Se obtiene al final del procedimiento un conjunto de configuraciones de referencia que permiten alcanzar sin singularidad cualquier dirección del espacio. Este conjunto puede ser optimizado, si algunas configuraciones hacen doble función.  
60  
65

## ES 2 293 968 T3

Así, en el ejemplo de la figura 1, se parte de la configuración  $C_0$ , que permite alcanzar las direcciones alrededor de los ejes z positivo y z negativo. Se añaden a continuación sucesivamente las configuraciones  $C_+$  y  $C_-$ .

En todos los casos, es posible para un sistema de accionadores giroscópicos definir un conjunto de configuraciones de referencia, en número finito. Cualquier maniobra -es decir cualquier generación de un momento cinético- puede ser realizada a partir de una configuración de referencia. Si el sistema de accionadores giroscópicos no está en una configuración próxima a la configuración de referencia seleccionada, es suficiente entonces pasar de la configuración de referencia actual a la configuración seleccionada; este paso puede efectuarse como se explicó con referencia a la figura 15, inyectando en el circuito abierto una trayectoria predeterminada en el sistema de control de los cardanes de los accionadores. Se notará en este contexto que el sistema de accionadores giroscópicos está en régimen normal en una configuración que es próxima a una configuración de referencia; de hecho, si se parte de una configuración de referencia, es posible volver a una configuración de referencia de este tipo después de haber generado el momento cinético necesario para la maniobra. Esto está garantizado por la ley de orientación seleccionada; la pseudo-inversa de Moore-Penrose asegura un retorno a la configuración de partida: en efecto, la misma minimiza la energía necesaria para pasar de un momento cinético nulo a un momento cinético dado; el trayecto inverso se efectúa por lo tanto con energía mínima, y conduce el sistema de accionadores en la misma configuración. En la práctica, el sistema de accionadores al final de la maniobra se encuentra siempre en la cercanía de una configuración de referencia, si estaba antes de la maniobra en las cercanías de esta configuración. Una consecuencia de esto es que es fácil reconocer la configuración de referencia en las cercanías de la cual el sistema de accionadores se encuentra en un instante dado.

Como el número de configuraciones de referencia es finito -tres en el caso del ejemplo de la figura 1- existe un número finito de pasos posibles, es posible entonces prever de antemano perfiles que permitan pasar de una configuración hacia una configuración de referencia. En el ejemplo de la figura 1, se puede así definir tres perfiles; con sus opuestos, estos tres perfiles permiten pasar de una cualquiera de las tres configuraciones de referencia a otra de las tres configuraciones de referencia; la tabla a continuación indica la configuración de referencia inicial, la configuración de referencia final, y el perfil utilizado.

Conf. Inicial	Configuración inicial		
	$C_+$	$C_0$	$C_-$
$C_+$	-	Opuesto del perfil 1	Opuesto del perfil 2
$C_0$	Perfil 1	-	Opuesto del perfil 3
$C_-$	Perfil 2	Perfil 3	-

En otras palabras, el perfil 1 permite pasar de la configuración  $C_0$  a la configuración  $C_+$ ; el perfil 2 permite pasar de la configuración  $C_-$  a la configuración de  $C_+$ ; el perfil 3 permite pasar de la configuración  $C_-$  a la configuración  $C_0$ .

Debido a esto, es posible almacenar perfiles de paso, en número limitado, que pueden ser aplicados cuando un cambio de configuración es necesario. Como el número de perfiles es limitado, los perfiles pueden ser incorporados sin necesidad de cargarlos a distancia. Como estos perfiles son almacenados, y determinados de antemano, los mismos pueden ser concebidos para presentar un contenido de frecuencias limitado; esto limita en consecuencia la excitación de los modos flexibles del equipo, así como la estructura del satélite. Es especialmente ventajoso que cada perfil presente una velocidad nula al inicio y al final del perfil; también es ventajoso que cada perfil presente una aceleración nula al inicio y al final del perfil.

Cada perfil puede ser descompuesto en una pluralidad de perfiles para cada accionador; así, el perfil 1 que permite pasar de la configuración  $C_0$  a la configuración  $C_+$  permite:

- para el accionador 4, pasar de un ángulo de  $0^\circ$  a un ángulo  $\alpha$  vecino de  $40^\circ$ ;
- para el accionador 14, pasar de un ángulo de  $0^\circ$  a un ángulo  $\alpha$  vecino de  $-40^\circ$ ;
- para el accionador 16, pasar de un ángulo de  $0^\circ$  a un ángulo  $\alpha$  vecino de  $40^\circ$ ;
- para el accionador 18, pasar de un ángulo de  $0^\circ$  a un ángulo  $\alpha$  vecino de  $-40^\circ$ ;

## ES 2 293 968 T3

Se describe a título de ejemplo con referencia a las figuras 11 a 14 un perfil utilizado para pasar en un accionador giroscópico de un ángulo de  $0^\circ$  a  $40^\circ$ . El perfil es generado en  $(1 - \cos)$  a partir de la derivada tercera de la posición angular del cardán del accionador. Los parámetros del perfil son el tiempo de ascenso a par máximo, la aceleración máxima, la velocidad máxima así como la deflexión angular deseada -  $40^\circ$  en el ejemplo. El perfil propuesto en el ejemplo es un perfil lo más corto posible, en el que los valores máximos admisibles de la velocidad angular y la aceleración angular son alcanzados. Un perfil de este tipo presenta la ventaja de una duración tan corta como sea posible respetando las limitaciones de funcionamiento del sistema; por lo tanto, es posible aplicar sin perturbaciones el perfil al inicio de cada maniobra, en superposición con la maniobra. La poca duración del perfil frente a la duración de la maniobra permite evitar cualquier singularidad, y no perturbar o perturbar poco el sistema de comando. Esta superposición evita llevar a cabo una re-configuración antes de la maniobra. Una duración del perfil del orden de 1 s es típicamente baja frente a la duración de la maniobra, que puede ser del orden de 5 a 20 s. En este caso, la duración de la maniobra es inferior a 20% incluso a 10% de la duración de la maniobra. Como se señaló anteriormente, un valor bajo del momento cinético puede ser obtenido a partir de cualquier configuración, sin el riesgo de singularidad; las maniobras cortas correspondientes, de una duración típica de 1 o 2 s no requieren el paso de la configuración de referencia a otra configuración.

La figura 14 es un gráfico de la derivada tercera del ángulo de un accionador giroscópico. En la abscisa se lleva el tiempo, y en las ordenadas la derivada tercera, en radianes/<sup>3</sup>. El gráfico de la figura 14 presenta tres partes. La primera parte -en la figura entre 0 y  $t_3$ - corresponde al aumento en la velocidad para alcanzar la velocidad angular máxima, que aparece en la figura 12; sin embargo esta primera parte, la derivada tercera es sucesivamente positiva de 0 a  $t_1$ , constante  $t_1$  a  $t_2$ , y después negativa de  $t_2$  a  $t_3$ ; como se muestra en la figura 13, esta primera parte corresponde a una aceleración hasta una aceleración máxima, y luego a una desaceleración para alcanzar una aceleración nula cuando la velocidad alcanza una velocidad máxima. Esta primera parte presenta típicamente una duración  $t_3$  del orden de 0,2 a 1 s. En el ejemplo, la primera parte está constituida de la concatenación de una función en  $A(1-\cos(t))$  entre 0 y  $t_1$ , con A un real y t el tiempo, de una función constante y nula entre  $t_1$  y  $t_2$ , y de una función de  $-A(1-\cos(t-t_2))$  entre  $t_2$  y  $t_3$ ; el valor de la constante A depende de la aceleración máxima admisible por el sistema, que se alcanza en el instante  $t_1$ . La duración  $t_2 - t_1$  depende de la velocidad máxima admisible, y es ajustada para que la velocidad máxima sea alcanzada en el instante  $t_3$ .

La segunda parte del gráfico -en la figura entre  $t_3$  y  $t_4$ - corresponde al intervalo de rotación a la velocidad máxima. La duración de este intervalo de rotación a la velocidad máxima depende de la deflexión angular a obtener; en otras palabras, una vez determinadas las primeras y terceras partes, la duración de la tercera parte puede ser adaptada en función del ángulo a obtener.

La tercera parte del gráfico - entre los instantes  $t_4$  y  $t_7$  es esencialmente simétrica a la primera parte; la misma corresponde a la desaceleración desde la velocidad máxima hasta una velocidad nula; al igual que en la primera parte, se desacelera para alcanzar el valor máximo negativo admitido de la desaceleración, y luego se reduce (en valor absoluto) la aceleración para alcanzar una aceleración nula al final del tercer período.

La figura 13 muestra un gráfico de la aceleración angular, con el tiempo en la abscisa y la aceleración en radianes/s<sup>2</sup> en las ordenadas. Se reconoce en la figura la primera parte, en la cual la aceleración crece hasta alcanzar un valor máximo -de 4 radianes/s<sup>2</sup> en el ejemplo- y luego decrece hasta un valor nulo. Durante la segunda parte, la aceleración es nula. Durante la tercera parte, la aceleración disminuye hasta alcanzar un valor negativo máximo, entonces se mantiene constante y luego crece hasta un valor nulo.

La figura 12 muestra un gráfico de la velocidad angular, con el tiempo en la abscisa y la velocidad en radianes/s en las ordenadas. Durante la primera parte, la velocidad crece para alcanzar la velocidad máxima; el cardán se desplaza a la velocidad máxima entre  $t_3$  y  $t_4$ , y luego la velocidad decrece entre  $t_4$  y  $t_7$  hasta una velocidad nula.

La figura 11 muestra un gráfico del ángulo en función del tiempo. El ángulo crece de forma monótona de  $0^\circ$  a  $40^\circ$ . Se notará en los gráficos de las figuras 12 y 13 que la velocidad y la aceleración son nulas al inicio del perfil como al final del perfil.

Las figuras 11 a 14 solo muestran un ejemplo de perfil. Es concretamente posible obtener un perfil que presenta al inicio como al final velocidades y aceleraciones nulas con una función distinta de la función  $1-\cos(t)$  propuesta en la figura 14; por ejemplo, se podría utilizar una función polinomio para generar la curva de la figura 14, y luego integrarla para obtener las curvas de las figuras 11, 12 y 13.

Las figuras 11 y 14 solo muestran una curva que permite desplazar un accionador de un ángulo del orden de  $40^\circ$ . Es posible utilizar una curva similar para asegurar el desplazamiento del accionador de un ángulo de  $-40^\circ$ , tomando simplemente el opuesto de la curva propuesta. Así, las figuras proponen un ejemplo de un perfil que permite pasar de una configuración a otra configuración. Se notará también que los parámetros propuestos con referencia a estas figuras permiten hacer variar el perfil para adaptarse a la variación angular buscada, a la velocidad máxima del accionador, a la aceleración máxima o a la duración del perfil.

Así, la definición de un perfil explicado con referencia a las figuras 11 a 14 permite pasar de una configuración de referencia a otra configuración de referencia. Los perfiles pueden ser calculados de antemano y almacenados; desde este punto de vista, no hay necesidad de almacenar el conjunto de las curvas representadas en las figuras 11 a 14, sino

## ES 2 293 968 T3

simplemente una curva de ángulo o de la velocidad, en función del modo de dirección utilizado por los accionadores. También se puede almacenar una curva de par aplicada a los motores de los cardanes de los accionadores, o también una curva de intensidad de la corriente aplicada a los motores de los cardanes de los accionadores. La selección de un formato u otro depende del comando aplicado al sistema de accionadores.

5 La curva puede ser almacenada bajo la forma de una tabla de valores de velocidad para diferentes instantes; se puede también almacenar la curva bajo una forma analítica. Esto puede ser especialmente interesante cuando los parámetros de la curva -y específicamente la deflexión angular- pueden variar. La definición de antemano de los perfiles y su almacenamiento permite incorporar el conjunto de los parámetros de navegación, al tiempo que se evitan las singularidades. Con relación a la solución de orientación global continua, el procedimiento descrito anteriormente no implica cálculos no pesados: es suficiente determinar la configuración de referencia más cercana, seleccionar la configuración de referencia en función de la maniobra a realizar, y aplicar un perfil predefinido. Por tanto, no es necesario cargar a distancia los resultados de un cálculo, y los componentes necesarios para la orientación pueden ser incorporados. A diferencia de la solución de orientación local del estado de la técnica, el procedimiento propuesto permite evitar eficazmente las singularidades, y presenta un aspecto real predecible.

10 Por último, con relación a la solución propuesta en el documento FR-A-2 786 283, el procedimiento descrito anteriormente no implica cambios bruscos de velocidades y ángulos de accionadores. El procedimiento es más fácil de aplicar, ya que no implica el cálculo de la configuración final o de la configuración inicial; es suficiente identificar, por ejemplo, en una tabla la configuración de referencia conveniente a la maniobra, determinar la configuración de referencia corriente, y leer en una tabla el perfil que permite pasar de una a la otra.

15 El procedimiento no implica la limitación en la velocidad del cardán: la solución propuesta en FR-A-2 786 283 se basa fundamentalmente en la idea de que se puede omitir el régimen transitorio, de cambio de configuración, debido al hecho de su corta longitud; por lo tanto es indispensable que la velocidad del cardán en ese régimen sea importante - sobre todo porque el sistema de control de actitud es cortado. Por el contrario, el método propuesto no se basa en un régimen transitorio que se puede omitir.

20 El procedimiento propone seguir continuamente un perfil de satélite, sin generar momentos cinéticos parásitos. En cualquier momento en el perfil que permite pasar de una configuración de referencia a otra configuración de referencia, el momento cinético total del sistema es nulo. Ese no es el caso de la solución propuesta en FR-A-2 786 283: se aplican a los accionadores variaciones de ángulos que generan necesariamente momentos cinéticos parásitos; estos pueden ser omitidos -a partir de este documento- debido a su escasa duración. Esto explica por qué el procedimiento aquí descrito no implica la quietud como la solución propuesta en FR-A-2 786 283.

25 Por último, la solución de FR-A-2 786 283 implica velocidades de los cardanes elevadas; el sistema de accionadores no es únicamente dimensionado para los pares a producir, sino también por la necesidad de permitir velocidades de los cardanes elevadas durante la re-configuración de los cardanes. Estas velocidades elevadas son equivalentes a una capacidad para producir un par importante. El sistema es sobredimensionado para permitir la re-configuración. Por el contrario, el procedimiento descrito aquí no supone velocidades elevadas; el mismo se interesa en limitar la duración de la re-configuración, pero esto no es indispensable.

30 Se describe con referencia a la figura 6 es un ejemplo de circuito de comando para un sistema de accionadores giroscópicos del mismo tipo que en la Figura 1. Es aplicada a la entrada 20 del circuito una consigna satélite - por ejemplo un perfil de orientación en cuaterna y en velocidad. Esta consigna es aplicada a un corrector del sistema de control de actitud 22. Este corrector también recibe una señal de medición descrita a continuación. A partir de la consigna y de la señal de medición, el corrector calcula una señal de error; esta señal de error es siempre en cuaterna y en velocidad; la misma se aplica a un inversor 24. El inversor 24 calcula a partir de la señal de error un comando de ángulos a aplicar a los diferentes accionadores. Puede ser utilizado para el inversor 24 un algoritmo basado en la pseudo-inversa de Moore-Penrose. Tiene la ventaja de minimizar el consumo eléctrico, pero tiene la tendencia si se utiliza sola de dirigir el sistema de accionadores giroscópicos hacia configuraciones singulares. El inversor proporciona a la salida señales de velocidad angular diana para los diferentes accionadores. Estas señales son aplicadas a una entrada de sumatoria de un sustractor 26. Este recibe además en una entrada de sustracción una velocidad angular estimada de los diferentes accionadores. La velocidad angular puede ser estimada con la ayuda de un codificador óptico 28 que mide los ángulos de los accionadores del sistema 30; los valores de los ángulos medidos son entonces aplicados a un calculador de velocidad 32 y suministrados en salida a la entrada de sustracción la sustractor 26.

35 El sustractor también recibe en otra entrada de sumatoria las señales del perfil 34; estas señales son entonces inyectadas, en el circuito de regulación del sistema de accionadores giroscópicos. Se comprende así la utilidad en esta configuración de un almacenamiento de los perfiles en forma de una tabla de velocidades, que es directamente inyectable en el circuito de la figura 15. Las señales del perfil son inyectadas, al inicio de la maniobra o antes del inicio de la maniobra, cuando se detecta que la configuración actual del sistema de accionadores giroscópicos no permite la maniobra sin riesgo de singularidad - en otras palabras, que el momento cinético a generar no está en una dirección libre para la configuración de referencia más próxima de la configuración actual.

40 La suma de las señales de perfil de re-configuración y de la diferencia entre las señales de la ley de orientación y las señales de velocidad angular estimada es aplicada a los accionadores del sistema 30, a través de un controlador de cardanes 36.

## ES 2 293 968 T3

Además, la estimación del estado real del satélite, aplicado al corrector 22, proviene de las medidas combinadas de un sistema giroestelar 38; este sirve de sensor de actitud del satélite. Su señal de salida es aplicada al corrector a través de un filtro 40. La figura 15 muestra todavía esquemáticamente el satélite 42; la flecha 44 indica el par aplicado al satélite por el sistema de accionadores; la flecha 46 indica el par aplicado a los cardanes del sistema de accionadores giroscópicos por los cambios de actitud del satélite.

El comando de la figura 15 es sólo un ejemplo de un posible comando; se notará simplemente que se propone inyectar en circuito abierto, en este comando del sistema de accionadores giroscópicos, el perfil de re-configuración. Este perfil es aplicado sin que sea necesario desactivar el comando de actitud del satélite, tal como se propone en el documento FR-A-2 786 283.

Un satélite que pone en práctica el procedimiento descrito aquí comprende por lo tanto un sistema de accionadores giroscópicos, que presenta un conjunto de configuraciones de referencia, como se explicó anteriormente. Además, el satélite presenta una memoria u otro medio de almacenamiento; la memoria contiene los perfiles de variación de los ángulos de los accionadores permitiendo pasar de una configuración de referencia a otra. El satélite presenta así ventajosamente un circuito de comando del tipo de aquel de la figura 15, con una entrada para la aplicación de un perfil.

Por supuesto, la presente invención no se limita a los ejemplos y modos de realización descritos y representados, sino que es susceptible de muchas variaciones accesibles para el hombre del arte. En los ejemplos, se consideró un sistema con cuatro accionadores; es, por supuesto, posible cambiar el número de accionadores, así como su configuración. El circuito de retroacción para el control de los accionadores representado en la figura 15 puede ser modificado; y finalmente, aunque el perfil de cambio de configuración pueda estar superpuesto al inicio de la maniobra, también es posible proceder al cambio de la re-configuración con el inicio de la maniobra.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de orientación de un sistema de accionadores giroscópicos que comprende:

- la definición de configuraciones de referencia, un momento cinético que puede ser generado sin pasar por una singularidad a partir de al menos una configuración de referencia;
- la definición de los perfiles permitiendo pasar de una configuración de referencia a otra;

**caracterizado** porque

- los parámetros del perfil siendo el tiempo de ascenso a par máximo, la aceleración máxima, la velocidad máxima así como la deflexión angular deseada;
- el almacenamiento de dichos perfiles en el satélite;
- para generar un momento cinético, la selección de una configuración de referencia a partir de la cual el momento cinético puede ser generado sin pasar por una singularidad; y
- si la configuración actual del sistema de accionadores giroscópicos no es cercana a la configuración de referencia, el paso de la configuración actual a la configuración de referencia con la ayuda de un perfil almacenado.

2. El procedimiento de la reivindicación 1, **caracterizado** porque el sistema de accionadores giroscópicos es dirigido por un sistema de control en circuito cerrado, y porque la etapa de paso se efectúa inyectando un perfil almacenado en el sistema de control.

3. El procedimiento de la reivindicación 1 o 2, **caracterizado** porque un perfil es definido por las velocidades de los cardanes de los accionadores giroscópicos.

4. El procedimiento de la reivindicación 1 o 2, **caracterizado** porque un perfil es definido por los pares de los motores de los cardanes de los accionadores giroscópicos.

5. El procedimiento de la reivindicación 1 o 2, **caracterizado** porque un perfil es definido por las intensidades de las corrientes aplicadas a los motores de los cardanes de los accionadores giroscópicos.

6. El procedimiento de una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado** porque un perfil presenta una velocidad de los cardanes de los accionadores nula al inicio como al final del perfil.

7. El procedimiento de una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado** porque un perfil presenta una aceleración de los cardanes de los accionadores nula al inicio como al final del perfil.

8. El procedimiento de una de reivindicación 1 a 7, **caracterizado** porque el perfil presenta una velocidad de los cardanes de los accionadores creciente y luego decreciente, la velocidad alcanzando la velocidad máxima admisible en el sistema de accionadores giroscópicos.

9. El procedimiento de la reivindicación 8, **caracterizado** porque la aceleración máxima admisible en el sistema de accionadores giroscópicos es alcanzada cuando la velocidad es creciente y cuando la velocidad es decreciente.

10. El procedimiento de una de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado** porque la etapa de paso se efectúa al mismo tiempo que el inicio de la generación del momento cinético.

11. El procedimiento de una de las reivindicaciones 1 a 10, **caracterizado** porque la etapa de paso presenta una duración inferior a 20%, de preferencia inferior a 10% de la duración de la generación del momento cinético.

12. Un satélite que presenta

- un sistema de accionadores giroscópicos (4, 14, 16, 18), que tiene un conjunto de configuraciones de referencia, un momento cinético que puede ser generado sin pasar por una singularidad a partir de al menos una configuración de referencia;

**caracterizado** por

- medios de almacenamiento de perfiles en el satélite;
- perfiles que permiten pasar de una configuración de referencia a otra, los perfiles siendo almacenados en el satélite.

## ES 2 293 968 T3

13. El satélite de la reivindicación 12, **caracterizado** porque presenta un sistema de control en circuito cerrado para el sistema de accionadores giroscopios y una entrada en circuito abierto que aplica uno de los perfiles al sistema de accionadores giroscópicos.

5 14. El satélite de la reivindicación 12 o 13, **caracterizado** porque un perfil es definido por las velocidades de los cardanes de los accionadores giroscópicos.

15. El satélite de la reivindicación 12 o 13, **caracterizado** porque un perfil es definido por los pares de los motores de los cardanes de los accionadores giroscópicos.

10 16. El satélite de la reivindicación 12 o 13, **caracterizado** porque un perfil es definido por la intensidad de las corrientes aplicadas a los motores de los cardanes de los accionadores giroscópicos.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

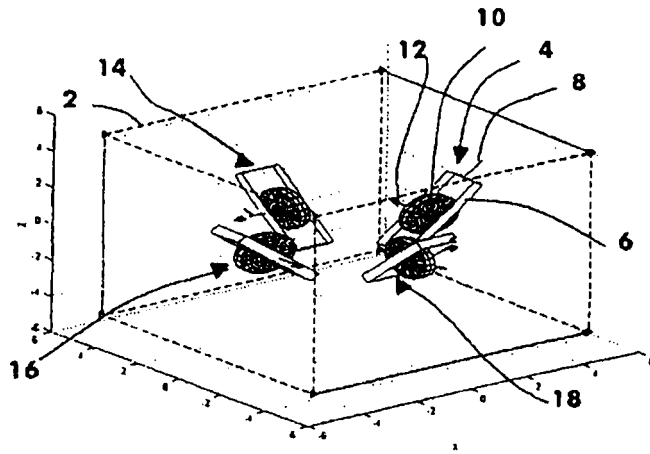


Fig. 1

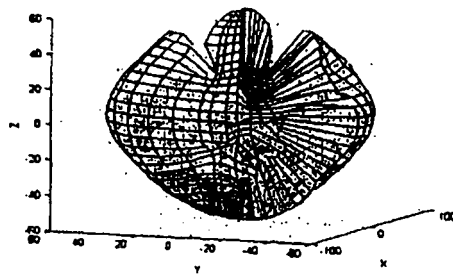


Fig. 2

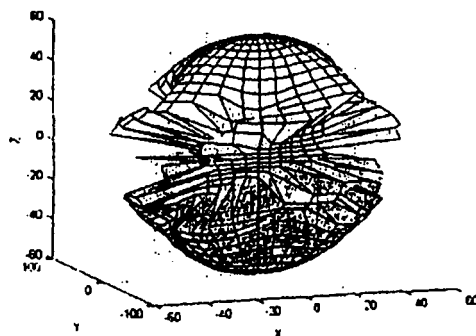


Fig. 3

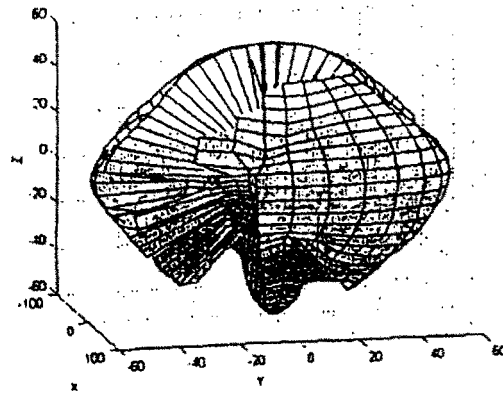


Fig. 4

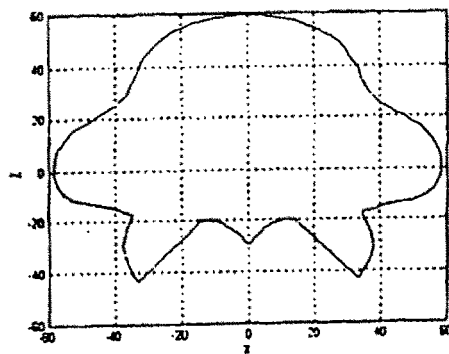


Fig. 5

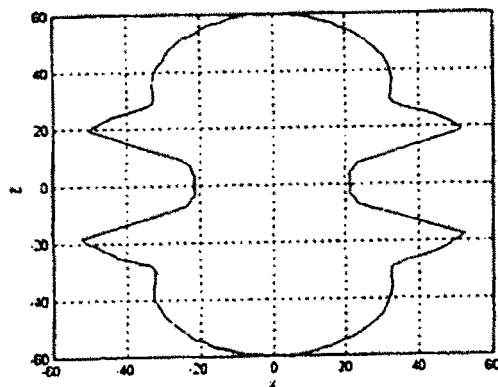


Fig. 6

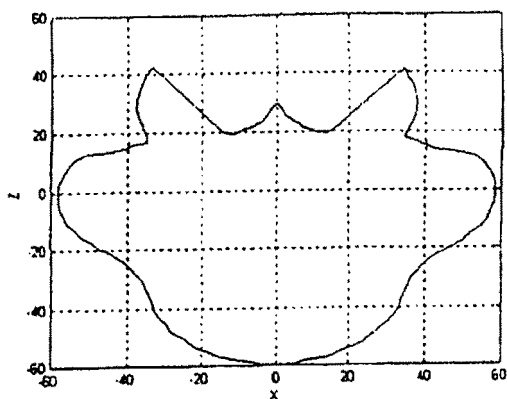


Fig. 7

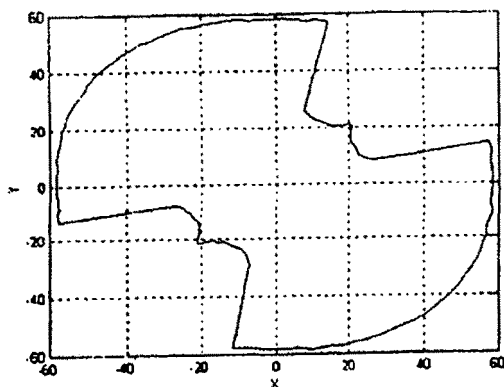


Fig. 8

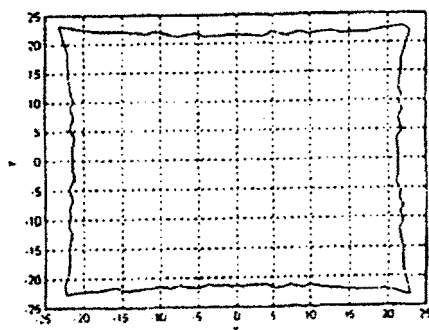


Fig. 9

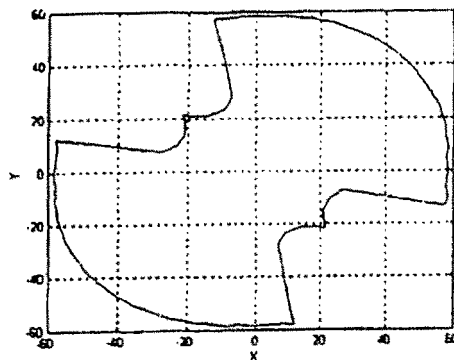


Fig. 10

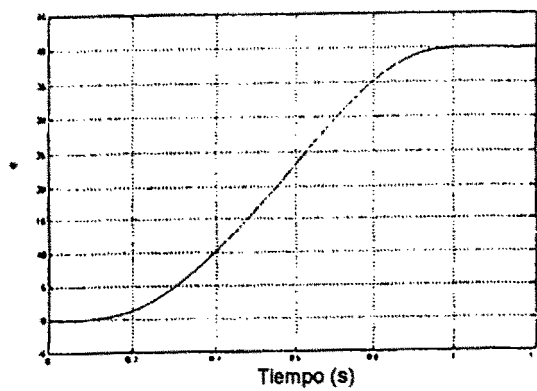


Fig. 11

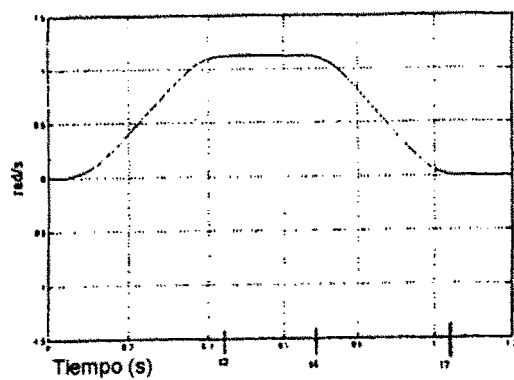


Fig. 12

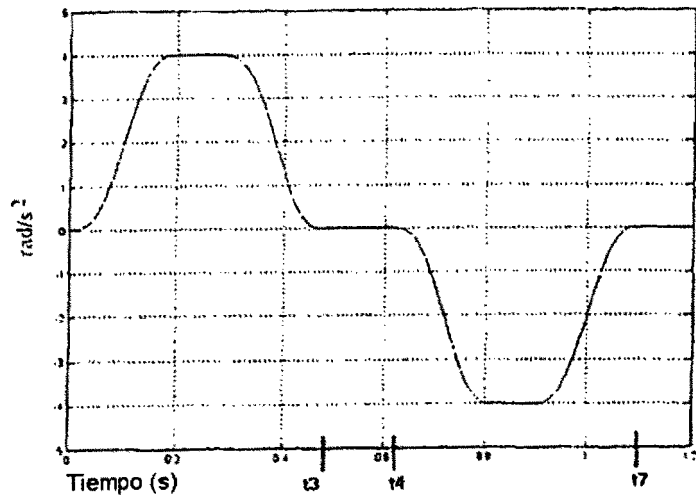


Fig. 13

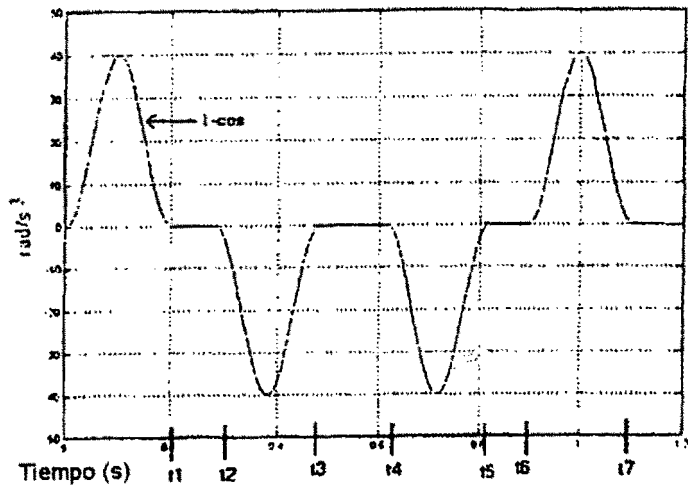


Fig. 14

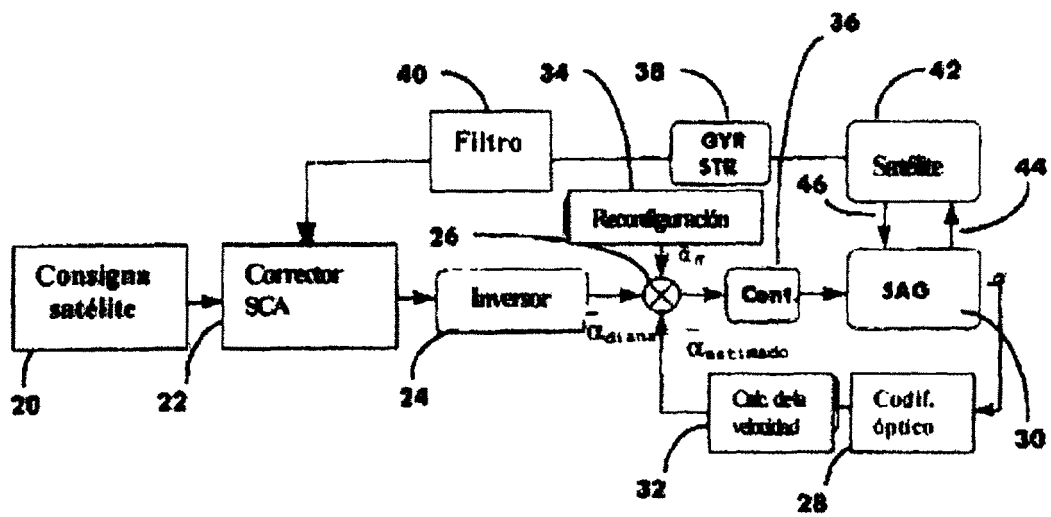


Fig. 15