

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 787 010**

51 Int. Cl.:

H01Q 1/18 (2006.01)

H01Q 1/28 (2006.01)

H01Q 1/12 (2006.01)

F16F 15/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.12.2016 PCT/IB2016/057714**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.07.2017 WO17115204**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.12.2016 E 16831742 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.02.2020 EP 3398229**

54 Título: **Sistema de apuntamiento estabilizado compacto**

30 Prioridad:
28.12.2015 IT UB20159411

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
14.10.2020

73 Titular/es:
**STELLAR PROJECT S.R.L. (100.0%)
Viale Ancona 22
30172 Venezia Mestre, IT**

72 Inventor/es:
**SANSONE, FRANCESCO y
FRANCESCONI, ALESSANDRO**

74 Agente/Representante:
ELZABURU, S.L.P

ES 2 787 010 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

Sistema de apuntamiento estabilizado compacto

El campo de aplicación preferido de la presente invención se refiere a la estabilización de la orientación de una plataforma de apuntamiento en satélites pequeños como, por ejemplo, los denominados nano satélites.

5 Como quedará claro a partir de la siguiente descripción, el uso de nano-satélites para aplicaciones espaciales de bajo coste requiere que estos nano satélites tengan un rendimiento suficiente para admitir nuevas posibles aplicaciones; por ejemplo, podría requerirse una capacidad de telecomunicaciones superior a la disponible actualmente y, en esta perspectiva, podría ser particularmente útil proporcionar a estos nano satélites una plataforma estabilizada que permita alojar un terminal de telecomunicaciones capaz de operar en portadoras de banda óptica, y tal terminal requeriría un
10 apuntamiento preciso para funcionar.

Aunque la necesidad de una plataforma estabilizada es muy real y se caracteriza por requisitos muy exigentes, en las aplicaciones espaciales citadas anteriormente, está claro que la tecnología presentada a continuación también puede encontrar aplicación en otros contextos en los que exista la misma necesidad: es decir, el requisito genérico de tener una plataforma compacta y ligera capaz de mantener una orientación estable, con una precisión dada, incluso si está
15 montada en un sistema de soporte no estabilizado.

Los proyectos basados en satélites convencionales se caracterizan por un alto coste de lanzamiento y tiempos muy largos que parecerían necesarios para implementar cada misión. Estas prerrogativas constituyen un límite a la difusión de los satélites tradicionales y a su uso para aplicaciones innovadoras con alto riesgo comercial y, por lo tanto, dichas prerrogativas también representan un freno para los futuros desarrollos, incluso en el aspecto tecnológico.

20 Este escenario técnico-económico, que penaliza el desarrollo completo de aplicaciones espaciales comerciales basadas en plataformas de satélite tradicionales, por otro lado, parece alentar el uso de satélites de dimensiones pequeñas o muy pequeñas, como los llamados nano satélites. Esta última, de hecho, aparece como una solución tecnológica utilizable en muchas aplicaciones, y no se ve afectada por las limitaciones mencionadas anteriormente.

25 Cada vez es más claro cómo se establece rápidamente el uso de satélites que pesan unas pocas decenas de kilogramos o menos: convencionalmente, el nombre "nano satélite" se refiere a cualquier satélite que pese menos de diez kilogramos, hasta pesar solo unos pocos kilogramos, y asume dimensiones del orden de unos pocos decímetros.

Por lo tanto, las pequeñas dimensiones y pesos permiten reducir drásticamente el coste de su lanzamiento en órbita. Este hecho es muy importante ya que desencadena un círculo económico virtuoso: de hecho, el mayor número esperado de lanzamientos justifica la consolidación de los estándares de construcción que permiten el diseño modular
30 de plataformas de nano satélites y la consecuente reducción de costes. Nuevamente, la gran cantidad de objetos contruidos según los estándares apropiados permitirá lograr un mayor rendimiento y confiabilidad, alentando cada vez más el establecimiento de tecnología de nano satélites en todas las aplicaciones que permitan su uso.

Por lo tanto, la siguiente descripción generalmente se referirá al caso de plataformas de estabilización montadas en nano satélites; pero esto no excluye el caso de satélites más grandes o incluso la instalación en otros entornos en los que exista la necesidad de una plataforma capaz de mantener un apuntamiento estabilizado. La referencia a los nano satélites solo representa un caso típico de aplicación que, además de ser un caso de aplicación eficaz para la
35 ilustración de la presente invención, también representa una aplicación muy desafiante desde un punto de vista técnico.

Este breve resumen sobre el éxito esperado de las plataformas de nano satélites se menciona aquí principalmente para subrayar la importancia de un problema técnico, que podría tener un impacto importante en términos de la
40 aceleración de las aplicaciones basadas en tecnología de nano satélites.

De hecho, el tamaño y peso pequeños, si por un lado tienen la ventaja de activar las optimizaciones económicas que se mencionaron anteriormente, por otro lado, plantean nuevos problemas técnicos, ya que también toda la instrumentación de la placa (o carga útil) debe estar diseñada para ser particularmente pequeña, compacta y liviana,
45 al tiempo que garantiza un alto rendimiento incluso con los recursos limitados disponibles.

En particular, es importante cuidar el rendimiento de los sistemas de telecomunicaciones. De hecho, cualquier satélite necesita comunicarse independientemente de la aplicación para la que está diseñado. Por ejemplo, un satélite para observación, que toma imágenes de la tierra, debe poder transmitir las hacia un centro de control, así como a cualquier otro satélite, diseñado para recopilar datos meteorológicos o ambientales.

50 El problema de las comunicaciones, en el caso de los nano satélites, también se caracteriza por el hecho de que estos satélites se colocan en órbitas bastante bajas y, por lo tanto, se mueven con respecto a la Tierra (y, en general, también entre ellos) a velocidades bastante altas. por lo tanto, las ventanas temporales de visibilidad, que son los períodos de tiempo durante los cuales las dos terminales pueden comunicarse porque están lo suficientemente cerca y en vista uno del otro, pueden ser muy cortas.

Esta restricción en el tiempo de comunicación, combinada con los requisitos sobre la cantidad de datos a transmitir que requiere cada aplicación, empuja a buscar sistemas de comunicación capaces de soportar una transmisión de velocidad considerable. Esto se debe a que cuanto mayor sea la velocidad de datos que puede soportar un nano satélite, mayor será el número de funciones que puede realizar y menos crítica y compleja será la red de telecomunicaciones que tendrá que estar preparada para cada aplicación dada de dichos nano satélites.

La velocidad de transmisión de radio está a su vez vinculada a la potencia del transmisor, y la potencia está relacionada con el peso y el tamaño del sistema. En resumen, si los requisitos de ligereza y tamaño representan los requisitos constitutivos esenciales para los nano satélites, se puede concluir que las comunicaciones de radio que pueden activar están limitadas en velocidad por las restricciones de peso y dimensiones del transmisor (igualmente los límites de la potencia disponible)

Esta limitación en las comunicaciones por radio ha resultado en un creciente interés por las comunicaciones ópticas. Esto último, de hecho, permite obtener el presupuesto de enlace que, dada la potencia disponible a bordo del nano satélite, puede alcanzar una velocidad de transmisión de varios órdenes de magnitud más alta que las velocidades de transmisión obtenibles con transmisores en radiofrecuencia. Esto se debe a la mayor directividad de las portadoras ópticas y la mejor capacidad de gestión del ruido en las señales ópticas. En resumen, se puede concluir que las comunicaciones ópticas son particularmente adecuadas para construir terminales capaces de soportar una velocidad considerable de transmisión mientras se mantienen pesos y dimensiones reducidos.

Cabe señalar, a este respecto, que la tecnología de comunicación no es, sin embargo, el objeto de la presente invención, porque se conocen sistemas de transmisión óptica adecuados para la comunicación para aplicaciones en satélites grandes, o prototipos de tales sistemas diseñados para operar en nano satélites. Más bien, la presente invención se centra en el soporte mecánico de los elementos de telecomunicaciones e indica una plataforma para mantener el apuntamiento estabilizado, a fin de beneficiarse de la extrema directividad que se puede alcanzar con las transmisiones en portadoras ópticas.

A los fines de la ilustración de la presente invención, las consideraciones anteriores solo sirven para indicar por qué es importante poder utilizar terminales ópticos en comunicaciones que involucran al menos un nano satélite: y la razón es que las comunicaciones en portadores ópticos (o los portadores láser) son particularmente adecuados para soportar comunicaciones de alta velocidad y baja potencia.

La extrema directividad de una portadora láser para comunicaciones ópticas, por el contrario, a las distancias típicas de las aplicaciones espaciales, requiere una precisión de puntería extremadamente alta, del orden de los micro radianes. Dependiendo del caso, las comunicaciones ópticas a grandes distancias, y caracterizadas por una alta capacidad, pueden imponer requisitos sobre la precisión de apuntamiento del orden de algunos micro radianes o unas pocas decenas de micro radianes.

La secuencia de los argumentos anteriores, por lo tanto, llega a la identificación de un problema técnico muy desafiante.

De hecho, los nano satélites que tienen una masa muy baja están sujetos a solicitudes en un amplio espectro de frecuencias que determinan movimientos difíciles de compensar. Además, dado que, por razones de peso y dimensiones, las cantidades de recursos a bordo (como el propulsor, la potencia o las masas inerciales) se reducen extremadamente, es muy difícil lograr la estabilización precisa de un nano satélite completo.

Por lo tanto, el sistema de apuntamiento necesario para mantener activa una conexión inalámbrica direccional, en particular cuando está activo en una portadora óptica, debe compensar la inestabilidad inherente de orientación del nano satélite en el que está montado.

Los rendimientos de comunicación, que implican un nano satélite, que hasta ahora son accesibles por medio de sistemas conocidos, son aún insuficientes.

El objetivo es proporcionar un terminal muy compacto cuyo peso, incluido el mecanismo de apuntamiento y estabilización, sea del orden de un kilogramo (o incluso más bajo) y que, al mismo tiempo, garantice una precisión de apuntamiento muy alta, incluso cuando está instalado en una plataforma particularmente inestable, como un nano satélite, que es muy sensible a las perturbaciones ambientales, ya que está equipado con un sistema de control de actitud que tiene un rendimiento mucho menor que los típicos de los grandes satélites tradicionales.

La naturaleza crítica del problema técnico mencionado se refleja en el hecho de que todavía no se han propuesto soluciones plenamente satisfactorias.

Por ejemplo, en algunos proyectos coordinados por el MIT (Instituto de Tecnología de Massachusetts), donde estos problemas se abordan con metodologías de vanguardia, se busca una solución técnica al problema de la estabilización del apuntamiento mediante el uso de una tecnología llamada FSM (*Espejo de Dirección Rápido*), que es una tecnología en la que una fuente láser, fijado con respecto a la plataforma de nano satélite, apunta hacia un espejo de orientación controlable capaz de mantener estable la orientación del haz reflejado.

El recurso a la tecnología FSM permite contener lo suficiente los pesos y dimensiones generales, ya que el emisor láser (fijo) se puede montar mediante soportes pequeños y ligeros, el espejo también es un elemento liviano y los motores que controlan los grados de libertad asociados con el espejo, generalmente dos grados de libertad, se pueden llevar a una miniaturización significativa. El límite de la tecnología FSM está en el pequeño rango de apuntamiento, normalmente menos de algunas décimas de grado. Especialmente para altas frecuencias, los actuadores muy rápidos tienen golpes cortos, y esta limitación de rango implica al menos dos contraindicaciones muy significativas. La primera consiste en el hecho de que la tecnología FSM no puede realizar la función de apuntamiento, sino solo la estabilización: y, por lo tanto, el sistema general debe estar compuesto por un mecanismo de apuntamiento, incluso con precisión insuficiente, acoplado al sistema de estabilización en la tecnología FSM. El segundo inconveniente es que el rango limitado también debe compensarse con una amplia divergencia de portadoras ópticas, lo que penaliza la ganancia y, en consecuencia, reduce la capacidad de transmisión. De hecho, las implementaciones actualmente disponibles adolecen de las limitaciones mencionadas anteriormente, que son bastante críticas con respecto a muchas aplicaciones de interés, ya que tienen un impacto tanto en la compactación del sistema como en su idoneidad reducida para soportar comunicaciones de alta velocidad de bits.

Otros proyectos, como el proyecto SOTA (Pequeño Transpondedor Óptico), promovido por el "Instituto Nacional Japonés de Tecnologías de Información y Comunicación", basan sus desarrollos recurriendo a transmisores ópticos montados directamente en mecanismos con juntas controlables que permiten controlar al menos dos grados de libertad. Sin embargo, este proyecto prevé el montaje del sistema de telecomunicaciones en una plataforma de tamaño y masa que no permita la integración a bordo de un nano satélite; por lo tanto, las restricciones de masa y potencia son menos estrictas, y también los requisitos de apuntamiento son menos exigentes, porque un satélite más grande también es inherentemente más estable. Todo esto ha llevado al desarrollo de soluciones con características que no se pueden escalar hacia los nano satélites, con el peso total de los terminales ópticos (incluidos los mecanismos de apuntamiento) del orden de algunos kilogramos.

Otros sistemas de apuntamiento estabilizados son conocidos de los documentos US 2009/0050191 A1 y JP11097919.

Por lo tanto, el alcance principal de la presente invención es idear un nuevo mecanismo capaz de garantizar un apuntamiento muy estable, con una precisión muy alta incluso cuando se monta en un soporte (como, por ejemplo, un nano satélite) sujeto a movimientos significativos y vibraciones en un amplio espectro de frecuencias. Otro alcance de la presente invención es concebir un nuevo mecanismo de estabilización más ligero y compacto que los conocidos y, posiblemente, económico (también en términos de fiabilidad y funcionamiento).

Finalmente, el alcance adicional de la presente invención es concebir un nuevo mecanismo de apuntamiento estabilizado que pueda representar un módulo, potencialmente estandarizado, adecuado para ser acoplado a un pequeño satélite (por ejemplo, un nano satélite) capaz de operar en un entorno espacial.

Los propósitos previstos para esta invención se logran mediante un sistema de apuntamiento estabilizado según la reivindicación 1. Las características opcionales se exponen en las reivindicaciones dependientes.

La principal ventaja de la presente invención está dada por el hecho de que un sistema de apuntamiento estabilizado de una plataforma móvil realizado según las enseñanzas de la presente invención cumple los propósitos principales para los cuales fue concebido. Esta invención también tiene ventajas adicionales que se harán evidentes a partir de la siguiente descripción, que muestra más detalles, de las reivindicaciones adjuntas, que forman parte integral de la misma descripción, y de la ilustración de algunos ejemplos de realización descritos, pero no limitados a, en lo que sigue, y en los dibujos adjuntos en los que:

- la Figura 1 muestra un satélite equipado con un sistema de apuntamiento estabilizado según las enseñanzas de la presente invención;
- la Figura 2 muestra, con más detalle, los elementos caracterizadores del sistema de apuntamiento estabilizado según las enseñanzas de la presente invención;
- la Figura 3 muestra un caso especial de montaje del sistema de apuntamiento estabilizado general.

La Figura 1 proporciona una vista general de un nano satélite en el que se destaca la presencia de un transmisor óptico para telecomunicaciones montado en un soporte ajustable estabilizado según la invención.

El número 100 indica la plataforma de nano satélites exclusiva de cualquier carga útil. Con el número 101 se indica un sistema de referencia cartesiano integral con dicha plataforma 100 de nano satélite.

El sistema 101 de referencia sigue los movimientos de la plataforma 100 de nano satélite y, por lo tanto, se mueve tanto con respecto a la tierra como con respecto a otros satélites. Como ya se dijo, con respecto a las plataformas de nano satélites, tales movimientos de dicho sistema 101 de referencia son tanto traslacionales como rotacionales, y se caracterizan por amplitudes significativas en un amplio espectro de frecuencias. Estas características del movimiento del sistema 101 de referencia se atribuyen estructuralmente a la tecnología de las plataformas de nano satélites y no se espera, a corto plazo, ninguna tecnología para la estabilización de toda la plataforma de nano satélites, capaz de

eliminar algunos componentes de tales movimientos sin reducir o afectar los recursos disponibles para la carga útil del nano satélite.

5 De hecho, la eliminación, o incluso solo una limitación significativa, por ejemplo, de las rotaciones, requeriría sistemas de estabilización con un impacto significativo en las restricciones de peso y coste; mientras que la investigación sobre las plataformas de nano satélites, en este momento, prioriza, a veces también exaspera, la reducción de peso y costo.

La presente invención, por lo tanto, está alineada con esta tendencia de evolución en las plataformas de nano satélites (y de los satélites pequeños en general), y propone una solución al problema del apuntamiento estabilizado que tiene un impacto mínimo en estas plataformas de satélite, ya que son rápidas evolucionando

10 Por lo tanto, esta solución tiene una modularidad significativa, en el sentido de que mantiene un impacto mínimo en los requisitos de desarrollo y en la evolución de las plataformas en las que se aplicará. Por lo tanto, es una solución que pretende ser indicada como un posible estándar en la industria.

15 Todavía en la Figura 1, el número 111 indica un elemento de restricción integral con el sistema 101 de referencia que proporciona un punto de restricción sobre el cual se fija un soporte móvil y orientable. Dicho elemento de soporte móvil se indica en la Figura 1 con el número 210, mientras que el número 211 indica la restricción de dicho elemento de soporte móvil 210 con dicho elemento 111 de restricción, y por lo tanto con la plataforma 100 de nano satélite; y dicha restricción 211 está constituida por una junta libre que permite, dependiendo de la realización, dos o tres grados de libertad de rotación.

20 Se observa en este punto que, para determinar la orientación (o el apuntamiento) del elemento 210 de soporte, dos grados de libertad de rotación serían teóricamente suficientes; sin embargo, el mecanismo de apuntamiento y estabilización que se describirá a continuación hace uso, preferentemente, de movimientos que proporcionan que dicha restricción 211 sea una articulación giratoria con tres grados de libertad. De hecho, el tercer grado de libertad de rotación puede ser útil para lograr los movimientos del sistema de apuntamiento con trayectorias más convenientes, que permiten satisfacer condiciones de optimización adicionales, como la minimización del consumo de energía o el aumento de la velocidad de actuación, etc.

25 Dicho elemento 111 de restricción, fijado con respecto al sistema 101 de referencia de la plataforma 100 de nano satélite, puede estar constituido por una especie de soporte aplicado a una plataforma de nano satélites según uno de los estándares disponibles o, en cualquier caso, puede estar constituido por cualquier elemento apropiado de una plataforma existente de nano satélites, por ejemplo un borde, que permita unir el elemento 210 de soporte móvil en una posición que permita un margen adecuado para el movimiento de rotación en todas las direcciones, permitiendo así una suficiente amplitud de apuntamiento.

30 En una realización variante, dicho elemento 111 de restricción también puede ser, en parte o completamente, una plataforma intermedia, móvil con respecto al sistema 101 de referencia, integral con la plataforma 100 de satélite, pero igualmente inestable, con respecto a los requisitos del sistema de apuntamiento

35 Como ya se dijo, en el caso de que no haya plataformas intermedias (el caso con plataformas intermedias se describirá más adelante), dicho elemento 210 de soporte móvil está unido a la plataforma 100 de nano satélite por medio de la unión mostrada en la Figura 1 con el número 211 (colocado en el elemento 111 de restricción) que solo permite movimientos de rotación con dos o tres grados de libertad. El número 201 indica entonces un sistema de referencia cartesiano integral a dicho elemento 210 de soporte móvil. Para el efecto del tipo de restricción con el que dicho elemento 210 de soporte móvil está unido a la plataforma 100 de nano satélite, el sistema 201 de referencia puede girar con respecto al sistema 101 integral a la plataforma 100 de nano satélite. En particular, dicho elemento 210 de soporte móvil puede controlarse para mantener un apuntamiento particular indicado, en la Figura 1, por el eje "w" del sistema 201 de referencia.

45 Todavía en la Figura 1, el número 220 indica el ejemplo de una antena óptica de un transmisor láser, adecuada para transmitir una señal de telecomunicaciones modulada a través de una portadora óptica. Dicho transmisor 220 láser está montado en dicho elemento 210 de soporte móvil y es integral con él. En el caso representado en la Figura 1, el sistema 201 de referencia, integral al elemento 210 de soporte móvil, se ha elegido de modo que el eje "w" también coincida con la dirección de apuntamiento del transmisor 220 láser. Obviamente, los mecanismos de montaje del transmisor 220 láser en el elemento 210 de soporte móvil puede ser de varios tipos: lo que importa para los propósitos de implementación de la presente invención es el hecho de que el transmisor 220 láser está montado en un elemento 50 210 de soporte, móvil con respecto a la plataforma 100 de nano satélite (que es una plataforma inherentemente inestable), y, mediante el control de dicho elemento 210 de soporte móvil, es posible tanto el control como la estabilización del apuntamiento de dicho transmisor 220 láser.

55 El uso de las dos expresiones distintas: "estabilización" y "control" del apuntamiento, es esencial para aclarar que el mecanismo descrito también es adecuado para soportar la funcionalidad del apuntamiento en sí, pudiendo operar sobre amplitudes de rotación, que pueden alcanzar fácilmente el orden de diez grados.

Otros métodos conocidos, que pueden compensar la inestabilidad de una plataforma, no permiten que el "rango" de movimiento sea suficiente para controlar el apuntamiento real y, por lo tanto, deben estar acoplados a otros sistemas que puedan asegurar un apuntamiento que luego debe ser estabilizado con un control más fino.

5 Es importante notar que el control de la orientación de dicho elemento 210 de soporte no se produce mediante la aplicación directa de pares de torsión en la junta 211 (lo que conduciría a maniobrar el elemento 210 de soporte móvil recurriendo a palancas desventajosas): Esta última junta, de hecho, está diseñado para ser extremadamente simple desde el punto de vista constructivo, y está constituida por una restricción rotativa pura. La junta 211 articulada, por lo tanto, en una realización preferida, es un mecanismo muy simple sin engranajes o mecanismos para la transmisión del movimiento y puede estar constituida, por ejemplo, por un acoplamiento de cojinetes rotativos, que se caracteriza por su alta fiabilidad.

La orientación del elemento 210 de soporte móvil, con respecto a la plataforma inestable de nano satélites en la que está montado, está determinada por actuadores constituidos por al menos dos patas extensibles.

15 El número 310 muestra una de las patas por la cual dicho elemento 210 de soporte móvil está unido a dicha plataforma 100 de nano satélite, mientras que el número 320 muestra una segunda pata extensible, similar a la pata 310, pero no necesariamente idéntica. Dicha pata 310 extensible está unida en sus dos extremos por medio de restricciones giratorias: en un extremo está conectada a dicho elemento 210 de soporte móvil, y en el otro extremo está conectada a la plataforma 100 de nano satélite. Es importante tener en cuenta que incluso en las articulaciones que unen la pata 310 no se proporciona, como en el caso de la junta 211 (por la cual el elemento 210 de soporte móvil está conectado a la plataforma 100 de nano satélite), la aplicación directa de cualquier par de torsión. Los únicos elementos activos se encuentran en los mecanismos de extensión de las patas.

Por lo tanto, la orientación del elemento 210 de soporte móvil está determinada por la longitud asumida por las patas extensibles, con las cuales dicho elemento 210 de soporte móvil está conectado a dicha plataforma 100 de nano satélite.

25 La unión 211 y las conexiones a través de las patas extensibles son las únicas restricciones por las cuales dicho elemento 210 de soporte móvil está conectado a la plataforma 100 de nano satélite, de la cual sufre los esfuerzos que lo hacen inestable, para dificultar particularmente un apuntamiento preciso.

30 Finalmente, debe señalarse que todas las diversas patas extensibles, en la implementación preferida, tienen las mismas características (de hecho, todas son iguales). Sin embargo, en teoría, también pueden tener diferentes formas y tamaños, y pueden tener algunas características mecánicas diferentes. En cualquier caso, tales patas, como la pata 310, se caracterizan por estar conectadas en sus extremos, por medio de restricciones giratorias, en un extremo al elemento 210 de soporte móvil, y en el otro extremo a la plataforma 100 de nano satélite. Además, todas las patas extensibles son, precisamente, extensibles de manera controlada, ya que incluyen un actuador lineal. Se observa que con la expresión "actuador lineal", se pretende hacer referencia a cualquier tipo de actuador, que posiblemente comprenda también los mecanismos para la transformación del movimiento de rotación, que permiten variar la longitud de una pata extensible de forma controlada. Y la longitud asumida por estas patas extensibles determina la orientación de dicho elemento 210 de soporte móvil con respecto a la plataforma 100 de nano satélite.

40 La Figura 2 reproduce un ejemplo de implementación similar al de la Figura 1 (que ilustra bien los principios inventivos de la presente invención) y, por lo tanto, también en la Figura 2, algunos elementos del sistema para la estabilización de la orientación del elemento 210 de soporte móvil, según las enseñanzas de la presente invención, se indican con los mismos números utilizados en la Figura 1. Por lo tanto, el número 100 indica la plataforma de nano satélite (en la Figura 2 apenas visible), el número 210 todavía representa el elemento de soporte móvil y el número 220 muestra la antena óptica del transmisor láser. Como en la Figura 1, la dirección de apuntamiento de la antena óptica del transmisor 220 láser es la dirección del eje "w" del sistema 201 de referencia Cartesiano integral con el elemento 210 de soporte móvil.

45 El número 200 indica entonces en general todo el sistema móvil, que consiste en el conjunto de todos los elementos que son integrales con el elemento 210 de soporte móvil.

50 La Figura 2 también muestra dos patas extensibles que, en función de sus longitudes variables, determinan la orientación del sistema 200 móvil. Dichas dos patas extensibles se indican con los números 310 y 320. En la pata indicada con el número 310, que se encuentra en primer plano y confinada dentro de un rectángulo discontinuo, algunos elementos caracterizadores que lo componen se muestran con más detalle. El número 311 representa una junta libre que permite conectar la pata 310 extensible al elemento 210 de soporte móvil. El número 314 representa otra junta con al menos dos grados de libertad que permite conectar la pata 310 extensible, en el otro extremo, a la plataforma 100 de nano satélite.

55 En el ejemplo de implementación de la Figura 2, solo la junta 311 esférica es un enlace libre con tres grados de libertad rotativos, mientras que la otra restricción se realiza con una junta más simple con dos grados de libertad, sin embargo, la opción de implementación podría revertirse, y proporcionarse que sea la junta 314 la que pueda girar libremente con tres grados de libertad. Dado en un sistema con dos patas extensibles es posible una configuración en la que todas las juntas estén libres (tres grados de libertad), en teoría también es posible una variante adicional que en su

- lugar solo permite el uso de juntas con solo dos grados de libertad, en ambos extremos de cada pata extensible: en este caso, se generaría una tensión torsional en la pata extensible; sin embargo, el fenómeno podría adaptarse fácilmente al proporcionar la presencia de una junta que permita una torsión libre en un punto intermedio de una pata extensible. Sin embargo, entre las variantes de implementación mencionadas anteriormente, las preferidas son aquellas en las que una restricción rotatoria, en un extremo de la pata 310 extensible, es una junta libre, mientras que la otra restricción rotatoria, en el otro extremo de la pata 310 extensible, es una junta articulada con hasta dos grados de libertad.
- Volviendo al examen de la pata 310 extensible (como también en las otras patas extensibles), se observa que comprende al menos dos elementos extensores colocados en serie, de modo que cuando ambos se extienden, la extensión total de la pata 310 viene dada por la suma de las extensiones de los dos elementos; cuando, en cambio, ambos están comprimidos, la compresión total de la pata 310 viene dada por la suma de las compresiones de los dos elementos (obviamente, cuando un elemento se comprime y el otro se extiende, los dos efectos compensan al menos parcialmente la variación de la longitud de la pata) .
- El número 313 muestra un elemento de atenuación y amortiguación, que es un elemento pasivo de compresión o extensión. Dicho elemento 313 pasivo, en una implementación típica, se caracteriza por una rigidez "k" y por un coeficiente disipativo "c" y, de hecho, actúa como un resorte (generalmente no lineal, y también caracterizado por propiedades disipativas) que actúa como un filtro de paso bajo (de segundo orden, al menos, ya que también se caracteriza, como se dijo, por un coeficiente de fricción disipativa).
- El número 312 representa un actuador lineal que permite alargar y/o acortar la pata. Es, en este caso, el elemento activo y controlable, que permite cambiar la longitud de la pata 310 dentro de un cierto rango.
- Debe tenerse en cuenta que: cuanto más se comporta el amortiguador 313 pasivo como un filtro de paso bajo ideal, con baja frecuencia de corte, y más el elemento 210 de soporte móvil daría como resultado una orientación estabilizada, al menos cuando lo soliciten bien las frecuencias por encima de la frecuencia de corte. De hecho, todas las solicitudes de alta frecuencia, determinadas por los movimientos de la plataforma 100 de nano satélite, y transmitidas a través del enlace 314, serían absorbidas por dicho elemento 313 de amortiguación pasivo, que en su otro extremo se presentaría casi estacionario, y transferiría al actuador 312 lineal activo solo movimientos de baja frecuencia. Sin embargo, está claro que los comportamientos ideales son solo aproximaciones teóricas, no replicadas en sistemas reales y, sobre todo, el control de la longitud de la pata requiere que los movimientos de control también transmitan componentes a frecuencias suficientemente altas (por ejemplo, para realizar controles de apuntamiento rápidos). Por lo tanto, dicho elemento 313 de atenuación pasiva y amortiguación absorbe solo una parte de los esfuerzos producidos en cada pata extensible por la plataforma 100 de nano satélite a la que está conectado, y transferirá el resto de estos esfuerzos a su otro extremo. Por lo tanto, el actuador 312 lineal es necesario, ya que tiene que compensar cualquier esfuerzo no filtrado por el amortiguador 313 pasivo (y particularmente las frecuencias más bajas para las que el amortiguador no está diseñado).
- Ahora está claro cómo la presencia de un elemento 313 pasivo, en cada pata del sistema de estabilización según la invención, permite facilitar el control de estabilización del elemento 210 de soporte móvil, al filtrar una parte relevante de los movimientos que habrían sido para ser compensado
- También debería quedar claro ahora que cuanto más pueda filtrar el amortiguador 313 pasivo, absorbiéndolas, las tensiones inducidas por la plataforma 100 de nano satélite, más se simplificará la tarea de estabilización que está a cargo del actuador 312 lineal activo.
- En una realización típica de la presente invención, el elemento 313 pasivo de atenuación y amortiguación comprende un resorte caracterizado por una rigidez muy baja.
- Tenga en cuenta, a este respecto, que en entornos de baja gravedad (como es el entorno espacial) es ciertamente posible utilizar resortes muy "flojos" (ya que no hay necesidad de compensar el peso que puede comprimir o extender excesivamente estos resortes "demasiado" flojos). Sin embargo, se están realizando estudios para diseñar amortiguadores pasivos más complejos que resortes simples, y los resultados de tales estudios pueden generar otros tipos de amortiguadores 313 con un rendimiento cada vez más eficiente en relación con la aplicación indicada por las enseñanzas descritas en esta patente.
- En general, en los casos reales, donde la construcción de las patas extensibles se basa en el uso de resortes o pistones u otros componentes físicos reales, la caracterización puede formalizarse mediante un modelo simplificado en el que un elemento puramente elástico (caracterizado por un coeficiente de elasticidad "1/k") y un elemento disipativo (caracterizado por un coeficiente "c") se colocan en serie. O pueden implementarse según un modelo más complejo, donde algunas contribuciones elásticas y disipativas se combinan de diferentes maneras, tanto en serie como en paralelo.
- Las enseñanzas de la presente invención, por lo tanto, permiten realizar un elemento 210 de soporte móvil, controlable en su orientación por medio de unos pocos (normalmente dos) actuadores lineales, y el sistema estabilizado global alcanzable es muy compacto y mantiene un peso algo bajo.

5 El control de estabilización que se puede implementar alcanza resultados muy satisfactorios de precisión y velocidad de respuesta gracias al sistema particular de restricciones y a la inserción de algunos elementos de atenuación pasiva y amortiguación que simplifican mucho el diseño de una función de control automático con la que controlar actuadores lineales que son, precisamente, los elementos de control. En otras palabras, el sistema de restricciones indicado en la presente invención es adecuado para soportar la ejecución de una función de control diseñada para generar comandos de control para los actuadores lineales, capaz de lograr errores de tolerancia muy pequeños, y también en línea con los requisitos particularmente estrictos planteadas por las aplicaciones de apuntamiento para comunicaciones ópticas que involucran plataformas de nano satélites.

10 La elección de un elemento pasivo de atenuación y amortiguación, caracterizado por una cierta rigidez "k" y un cierto factor disipativo "c", no sujeto a control activo, está dictada por consideraciones de simplicidad, y por esta razón puede considerarse una elección para la realización preferida. Sin embargo, el principio de la presente invención reside en el concepto de maniobrar la orientación de la plataforma 210 móvil controlando la longitud de dos o más patas extensibles que, además del elemento actuador, también incluyen un elemento para atenuación y amortiguación, adecuado para filtrar algunas solicitudes mecánicas. Por lo tanto, dicho principio inventivo también se puede
15 implementar según una variante que, si bien introduce una mayor complejidad, proporciona un elemento de atenuación y amortiguación que también puede estar activo: por ejemplo, un elemento en el que se permite el control del coeficiente "k", o un filtro mecánico de mayor complejidad y orden, en el que se puede controlar una pluralidad de coeficientes.

20 Por lo tanto, todas las realizaciones variantes que hacen uso de elementos de atenuación y amortiguación de diferente complejidad y orden, y eventualmente incluso no pasivas (en el sentido de que se permite un cierto control de uno o más coeficientes de elasticidad o amortiguación disipativa), han de considerarse todos variantes de la misma invención.

25 Como se indicó anteriormente, el número de patas extensibles con las que es posible realizar la presente invención es variable y, aunque el caso con solo dos patas debe considerarse preferido, porque es el que es más simple y más compacto, también los casos con tres patas deben considerarse implementaciones realistas de la presente invención, así como los casos con un mayor número de patas.

Desde un punto de vista funcional, la presencia de tres patas extensibles ofrece la oportunidad de tener tres parámetros de control y, por lo tanto, teóricamente permite controlar tres grados de libertad.

30 Está claro que las aplicaciones de apuntamiento (y estabilización) normalmente requieren el control de solo dos grados de libertad, generalmente no se requiere un control mecánico de la polarización de las señales ópticas; sin embargo, en algunos casos, también puede haber una razón para optar por implementaciones funcionales con tres patas: por ejemplo, tres patas implican un sistema de restricciones que permite gestionar los requisitos de robustez con mayor flexibilidad. El control del tercer grado de libertad también permite realizar movimientos con un mayor número de trayectorias posibles, entre las que se puede seleccionar la que minimiza, por ejemplo, la extensión de las patas, o la
35 velocidad de extensión, o el consumo de energía.

Como ya se mencionó, el sistema que se muestra en la presente invención puede soportar puntos con amplitudes del orden de diez grados: es un "rango" ya suficiente para muchas aplicaciones, pero en algunos casos de aplicación puede ser importante aumentar, incluso en unos pocos grados, este "rango", con el fin de cumplir con los requisitos de aplicaciones potenciales adicionales.

40 En muchos casos, especialmente en plataformas de satélite que también deben admitir otras aplicaciones, puede requerirse una amplitud de apuntamiento mayor que la permitida por la movilidad del sistema 200 móvil y, cuando no sea posible compensar la reducida amplitud de apuntamiento recurriendo a una variación de toda la orientación del satélite, es necesario aumentar el ancho del "rango" de apuntamiento recurriendo a medidas alternativas.

45 Obviamente, al usar sistemas de estabilización más voluminosos, con patas más largas y con un elemento 111 de restricción más sobresaliente, la amplitud del "rango" de apuntamiento puede aumentar: sin embargo, es mejor no seguir este camino, no solo porque aumenta la dimensión total (esta consecuencia es sustancialmente inevitable), sino también porque complica la modularidad del sistema y lo hace menos estandarizable, ya que se deben proporcionar diferentes módulos, dependiendo del "rango" de apuntamiento requerido. Además, la elección de los actuadores sería más difícil, ya que, en general, el aumento en el "rango" operativo implica una reducción de la
50 velocidad de respuesta.

55 Existe entonces otra solución, que puede verse como una variante de montaje del sistema según las enseñanzas de la presente invención, y que establece que este sistema no está vinculado directamente a la plataforma 100 satelital o, en cualquier caso, a un elemento conectado rígidamente a él, sino que establece que está unido a una plataforma intermedia que, a su vez, puede moverse con respecto al sistema 101 de referencia integral con la plataforma 100 de satélite.

La Figura 3 muestra una variante de montaje adicional de este tipo de sistema de estabilización y apuntamiento según la invención.

En la parte superior de la figura se representa el elemento 210 de soporte móvil, estabilizado como en el ejemplo que se muestra en la Figura 2. Sin embargo, en la Figura 3, el elemento 111 de restricción no es integral con la plataforma 100 de nano satélite, sino que puede moverse con respecto a él, y luego con respecto al sistema 101 de referencia. En la Figura 3, el elemento 111 de restricción asume entonces una forma más extendida, ya que ofrece los puntos de acoplamiento incluso para las patas extensibles, que en el caso de la Figura 2 están unidas a la plataforma 100 de nano satélite. Por lo tanto, en la Figura 3, (a diferencia de la Figura 2), la junta rotatoria que une la pata 310 al elemento 111 de restricción (que en este caso se convierte en una plataforma intermedia) se indica con el número 314 y, de manera similar, el número 324 indica la junta rotatoria que une la otra pata extensible, siempre al mismo elemento 111 de restricción.

Finalmente, el número 110 muestra una junta rotatoria adicional con la cual dicho elemento 111 de restricción está conectado a la plataforma 100 de satélite (que, por lo tanto, no está rígidamente unida a esta última). La junta 110 rotatoria es controlable por un medio actuador genérico; Sin embargo, no se cree que el control de dicha junta 110 compense con precisión la inestabilidad de la plataforma 100 de nano-satélite, y por lo tanto el elemento 111 de restricción continuará siendo una plataforma intermedia inestable, y el elemento 210 de soporte móvil continuará necesitando , también en la configuración que se muestra en la Figura 3, un control para la estabilización y para el apuntamiento, como sucede en el caso representado en la Figura 2.

La función principal de la junta 110 rotatoria es, por lo tanto, aumentar la amplitud de apuntamiento.

Es inmediato apreciar cómo, en la configuración de la Figura 3, el mismo módulo mecánico diseñado para ser el elemento 210 de soporte móvil, estabilizado y ajustable de manera controlada, puede usarse en sistemas donde se requiere una mayor amplitud de apuntamiento; y todo se puede adaptar solo agregando una junta controlada adicional.

Es importante señalar que los medios actuadores que implementan el control de dicha junta 110 no tienen que tener prestaciones específicas. En teoría, entonces, ni siquiera es un requisito que el elemento 111 de restricción esté unido por medio de una restricción 110 rotatoria, o solo por medio de una restricción 110 rotatoria; de hecho, la función de aumentar el "rango" de apuntamiento angular se puede lograr con cualquier tipo de enlace que permita que el elemento 111 de restricción realice ciertos movimientos de rotación con dos grados de libertad con respecto al sistema de referencia 101 integral con la plataforma 100 de satélite.

La invención que se acaba de describir también puede prestarse a numerosas variantes que pueden ofrecer ventajas adicionales en comparación con las mencionadas anteriormente. Y estas otras variantes pueden ser desarrolladas por el experto en la materia sin apartarse de la invención, como queda claro a partir de la presente descripción y las reivindicaciones adjuntas a la misma.

Por lo tanto, la posición de algunos elementos descritos se puede cambiar, por ejemplo, se puede invertir el orden en el que los elementos activos y pasivos se colocan en las patas extensibles.

La precisión y eficiencia del control de la orientación del sistema 200 se puede mejorar entonces mediante una optimización de tipo geométrica, por ejemplo, cambiando la inclinación de las patas extensibles. Estos procesos de optimización geométrica también son funcionales para hacer que el sistema general sea más compacto y más sólido, y las soluciones que se alcanzarán deben considerarse variantes de los mismos principios inventivos que se enseñan en la presente invención.

Además, cada elemento puede desarrollarse en diferentes materiales, tamaños o formas; así como la invención en sí misma puede realizarse de manera parcial y muchos detalles descritos pueden reemplazarse por elementos técnicamente equivalentes.

Finalmente, la invención descrita se presta para incorporar y soportar técnicas adicionales para mejorar aún más el rendimiento de la plataforma estabilizada descrita. En particular, se espera un progreso significativo en el logro del elemento 313 pasivo acoplado a las patas extensibles. Además, también los actuadores 312 lineales son susceptibles al progreso tecnológico: actuadores lineales controlables más ligeros, más precisos o más rápidos pueden estar disponibles pronto, y por lo tanto podrían usarse para implementar medidas nuevas y más efectivas para el control de estabilización.

Especialmente interesante podría ser una implementación en la que los parámetros de disipación y rigidez/elasticidad se obtienen en la estructura del motor en sí. Los motores reales, por supuesto, siempre incluyen estos parámetros, ya que no existen materiales y movimientos absolutamente indeformables que no se vean afectados por la fricción, sin embargo, no existen tecnologías suficientemente maduras que permitan el diseño de motores en los que la determinación de estos parámetros pueda establecerse adecuadamente con la libertad necesaria como variable de diseño. Sin embargo, en el caso eventual de que hubiera técnicas de diseño y materiales disponibles que permitan desarrollar motores en los que dichos coeficientes de rigidez y disipación sean controlables, como sucede con los otros parámetros de rendimiento, la presente invención puede implementarse obviamente a través de patas extensibles en las que todos los componentes están integrados en un solo elemento.

Está claro que muchas mejoras pueden concebirse en función de la evolución de la tecnología que interesen a la implementación de la presente invención. Dichas medidas de mejora, no descritas aquí, pueden eventualmente ser objeto de otras solicitudes de patente asociadas a esta invención.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de apuntamiento estabilizado que comprende un elemento (210) de soporte móvil configurado para unirse con al menos tres elementos de acoplamiento a una plataforma inestable.
5 en donde un elemento de acoplamiento es una junta (211) que permite la rotación solo con dos o tres grados de libertad, los otros al menos dos elementos de acoplamiento son patas extensibles cuya longitud es controlable por un elemento actuador, y cada una de dichas patas extensibles está unida a dicho elemento (210) de soporte móvil en uno de sus extremos, y dicha plataforma inestable en la otra parte del extremo; y dichas patas extensibles se caracterizan por que:
 - 10 a. al menos una de dichas patas extensibles también comprende uno o más elementos para amortiguar y atenuar la extensión o compresión de dicha pata extensible, y
 - b. dichos uno o más elementos para la amortiguación y atenuación y dicho elemento actuador se colocan en serie en cada pata, y
 - c. las uniones de dichas al menos dos patas extensibles con dicho elemento (210) de soporte móvil y con dicha plataforma inestable son juntas, que permiten solo la rotación, con al menos dos grados de libertad cada una.
- 15 2. Sistema de apuntamiento estabilizado según la reivindicación 1, en donde dichas patas extensibles son solo dos.
3. Sistema de apuntamiento estabilizado según la reivindicación 1, en donde al menos una pata extensible está unida en al menos uno de sus dos extremos por medio de una junta que permite la rotación con tres grados de libertad.
- 20 4. Sistema de apuntamiento estabilizado según la reivindicación 1, en donde al menos una pata extensible está unida en sus dos extremos por medio de una junta que permite la rotación con solo dos grados de libertad, y una parte de dicha pata extensible es libre de rotar, con respecto a otra parte del mismo, alrededor del eje de extensión.
- 25 5. Sistema de apuntamiento estabilizado según la reivindicación 1, en donde dicho uno o más elementos para la amortiguación y atenuación de la extensión o compresión de dicha pata extensible, son elementos pasivos caracterizados por un coeficiente de rigidez no controlable "k", y por un coeficiente disipativo "c" no controlable también.
6. Sistema de apuntamiento estabilizado según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en donde dicha plataforma inestable, a la que dicho elemento (210) de soporte móvil está configurado para unirse, es una plataforma (100) de satélite.
- 30 7. Sistema de apuntamiento estabilizado según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en donde dicha plataforma inestable, a la que dicho elemento (210) de soporte móvil está configurado para estar unido, a su vez, está unido a una plataforma (100) de satélite por medio de un sistema de enlaces que permite movimientos de rotación con al menos dos grados de libertad.

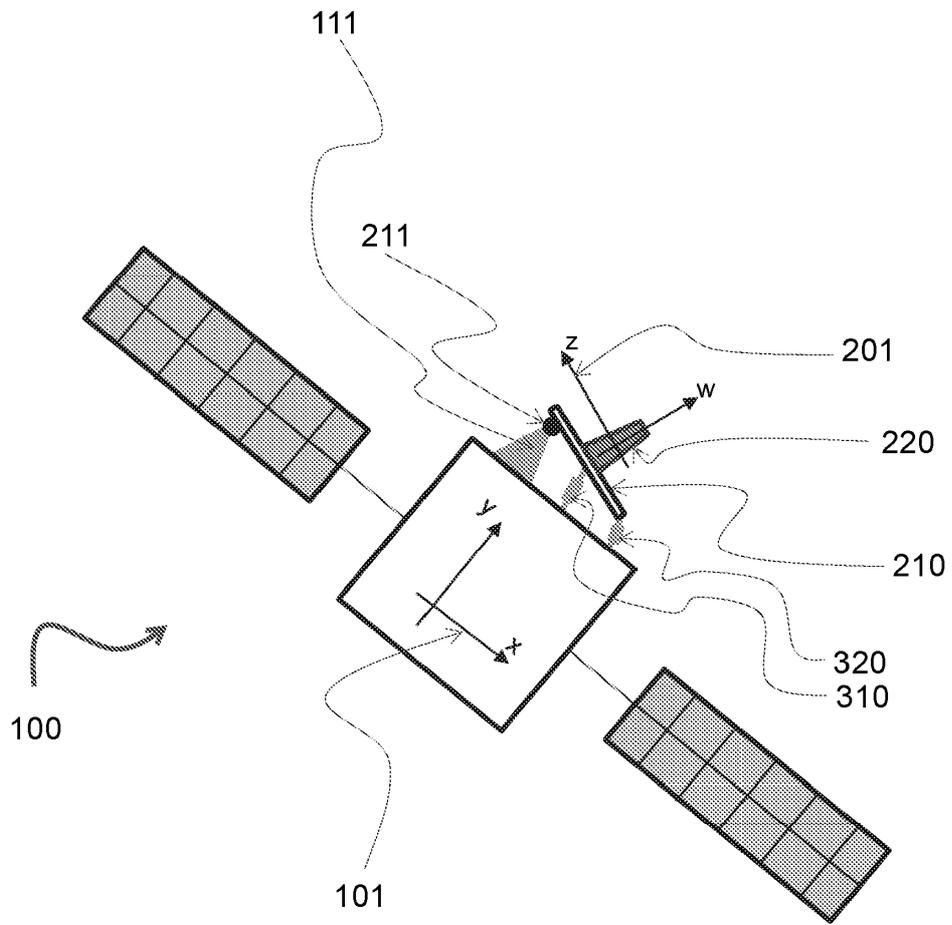


FIG. 1

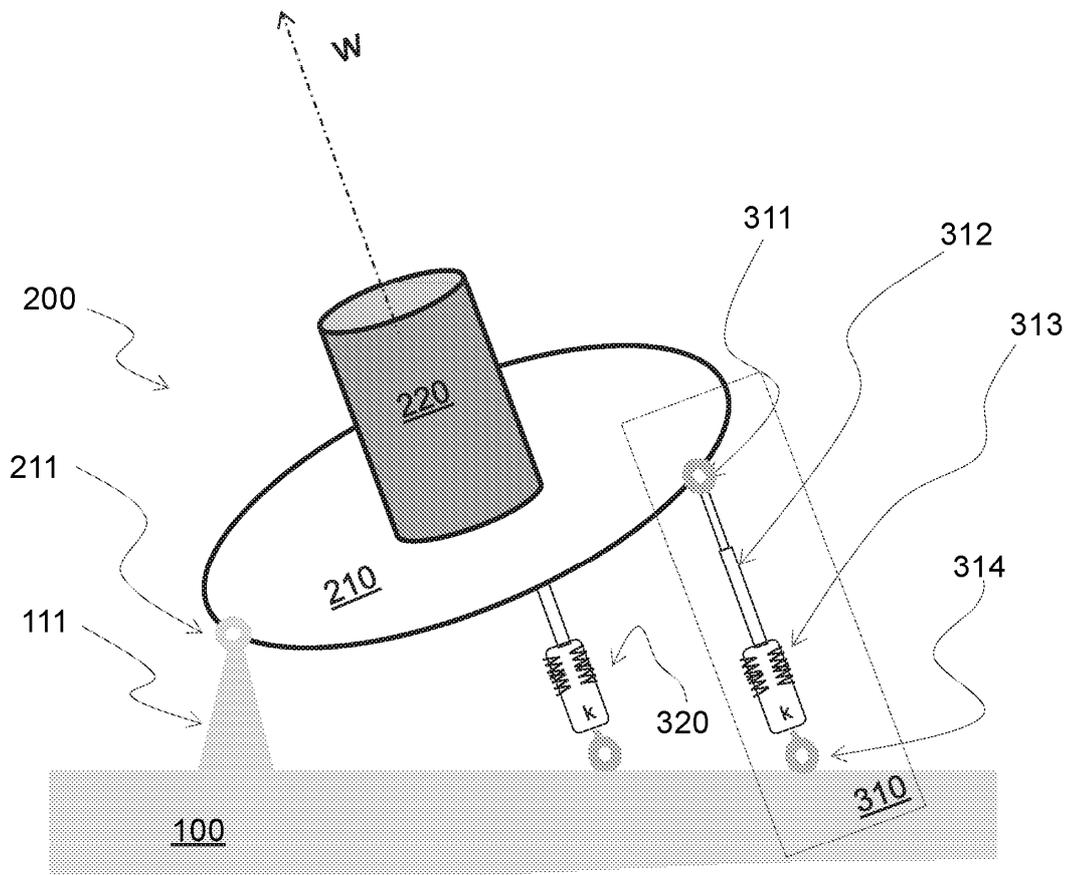


FIG. 2

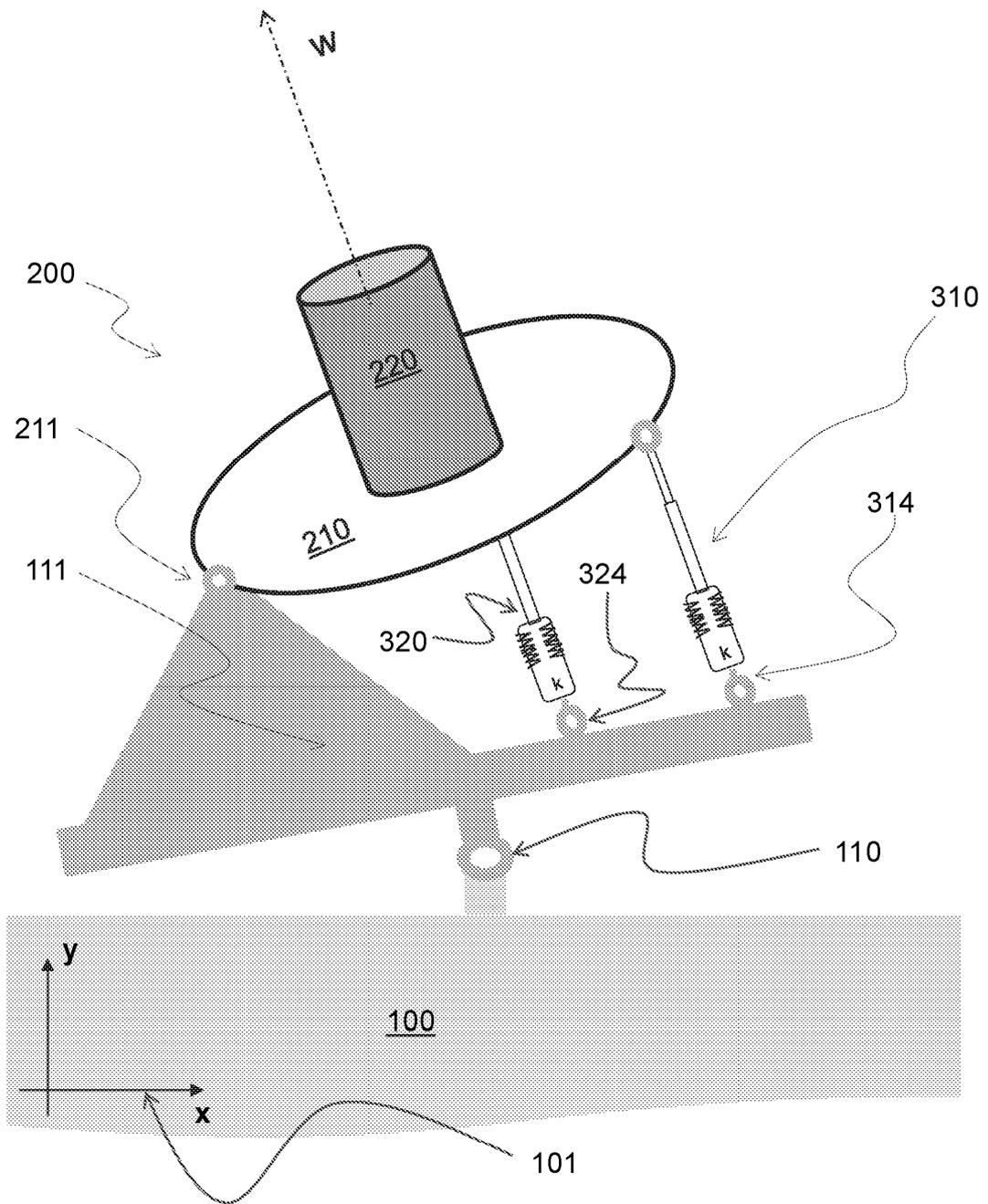


FIG. 3