

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 988 150**

51 Int. Cl.:

F16C 17/02 (2006.01)
F16C 17/24 (2006.01)
F16C 32/04 (2006.01)
F16C 33/10 (2006.01)
H02K 7/08 (2006.01)
B21K 1/76 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.05.2017** **PCT/US2017/033077**
87 Fecha y número de publicación internacional: **23.11.2017** **WO17201151**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.05.2017** **E 17800081 (6)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.07.2024** **EP 3458733**

54 Título: **Cojinete de muñón integrado**

30 Prioridad:

17.05.2016 US 201662337555 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
19.11.2024

73 Titular/es:

EL-SHAFEI, ALY (100.0%)
74 Amity Place
Amherst, Massachusetts 01002, US

72 Inventor/es:

EL-SHAFEI, ALY

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 988 150 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

Cojinete de muñón integrado

Referencia cruzada a una solicitud relacionada

5 Esta solicitud reivindica el beneficio de la solicitud de patente provisional estadounidense con No. de serie 62/337,555, presentada el 17 de mayo de 2016.

Campo de la invención

La presente invención se refiere a cojinetes de muñón y, más particularmente, a cojinetes de muñón que integran elementos portadores de carga magnética y de película de fluido conocidos, por ejemplo, de JP 2000 002469 A.

10 Antecedentes de la invención

Los cojinetes de película de fluido (FFB) y los cojinetes magnéticos activos (AMB) son dispositivos que compiten en el mercado. Los FFB, en particular los cojinetes de muñón (JB), son elementos de carga superiores debido a su mayor capacidad portadora de carga y su capacidad para introducir amortiguación pasiva en el sistema del rotor. Sin embargo, los JB muestran una vibración inestable a alta velocidad, llamada latigazo de aceite, que se excita cuando la velocidad del rotor alcanza aproximadamente el doble de la primera velocidad crítica. Esta inestabilidad limita la posibilidad de aumentar la velocidad de giro del rotor.

Los AMB, por otro lado, proporcionan soporte al rotor sin contacto, a altas velocidades y están libres de inestabilidades de latigazo. Tienen una característica añadida que es su capacidad como elementos de control. Los AMB pueden proporcionar rigidez y amortiguación variables y controlables y, además, pueden proporcionar control del desequilibrio y muchas otras características de control. Sin embargo, los AMB adolecen de ciertas deficiencias. En particular, los problemas de fiabilidad son siempre una preocupación para los diseñadores de los AMB. De hecho, los AMB siempre están diseñados con un sistema de cojinetes redundante, llamado "cojinete de respaldo", de modo que el cojinete de respaldo soporta el rotor en caso de fallo del AMB.

Resumen de la invención

25 La presente invención proporciona un cojinete integrado inteligente de alto rendimiento que combina un cojinete de película de fluido (FFB) con un actuador electromagnético (EMA) en un dispositivo integrado. En todos los casos, el cojinete de película de fluido portará la carga, mientras que el actuador electromagnético se puede utilizar como un controlador puro o tanto como controlador como elemento portador de carga. En este último caso, el actuador electromagnético puede considerarse como un cojinete magnético activo (AMB).

30 La integración de un AMB y un JB en un solo dispositivo, referido en el presente documento cojinete de muñón integrado (IJB), tiene claras ventajas. El IJB tiene todas las ventajas de los JB y los AMB, y evita todas las deficiencias de los AMB y los JB. El IJB es un elemento portador de carga superior debido a su mayor capacidad de carga y su capacidad para introducir amortiguación pasiva en el sistema del rotor. Además, está libre de inestabilidades de latigazo y tiene capacidades como controlador. Un IJB puede proporcionar rigidez y amortiguación variables y controlables y, además, puede proporcionar control del desequilibrio y muchas otras características de control. Lo más importante es que no hay necesidad de un cojinete de respaldo ya que el rotor se lleva en el JB en todos los casos.

Por tanto, un objeto general de esta invención es proporcionar un cojinete mejorado para máquinas rotativas.

40 Otro objeto de esta invención es proporcionar un cojinete de película de fluido integrado con un actuador electromagnético confinado en un espacio.

Otro objeto de esta invención es proporcionar un cojinete de película de fluido integrado con un actuador electromagnético confinado en un espacio lleno de aceite.

Otro objeto más de esta invención es proporcionar un actuador electromagnético dentro del cojinete integrado que actúa como un cojinete magnético activo.

45 Otro objeto más de esta invención es proporcionar un cojinete magnético activo dentro del cojinete integrado que puede o no portar una carga.

Un objeto particular de esta invención es proporcionar un elemento portador de carga superior.

Un objeto adicional de esta invención es proporcionar un elemento portador de carga con una capacidad portadora de carga superior.

Otro objeto de esta invención es proporcionar un elemento portador de carga que pueda introducir amortiguación pasiva en el sistema de rotor.

Otro objeto más de esta invención es proporcionar un elemento portador de carga que esté libre de inestabilidades de latigazo.

- 5 Otro objeto más de esta invención es proporcionar un elemento portador de carga que pueda actuar como controlador.

Otro objeto de esta invención es proporcionar un elemento portador de carga que pueda proporcionar una rigidez y amortiguación variables y controlables.

- 10 Un objeto adicional de esta invención es proporcionar un elemento portador de carga que pueda proporcionar un control del desequilibrio.

Un objeto adicional de esta invención es proporcionar un elemento portador de carga que pueda proporcionar muchas características de control activo.

Un objeto adicional más de esta invención es proporcionar un elemento de soporte de carga superior que pueda proporcionar todas las características anteriores sin la necesidad de un cojinete de respaldo.

- 15 Ventajosamente, un cojinete de muñón integrado según la presente invención puede lograr simultáneamente todos los objetivos anteriores.

- 20 En un modo de realización preferido, el cojinete magnético rodea un rotor laminado y mantiene su propia holgura adecuada. Se montan dos muñones (posiblemente con el mismo diámetro que el rotor laminado) a cada lado del AMB y se mantienen las laminaciones del rotor en su lugar. Los dos JB se instalan sobre los dos muñones, con su holgura particular. Los conductos de aceite introducen aceite en los dos JB, que se permite que fluya libremente hacia el espacio AMB. Se utilizan juntas de aceite para sellar el flujo de aceite en el exterior del cojinete integrado.

- 25 Este modo de realización logra los objetivos requeridos de una manera única. Para mantener la simetría, dos cojinetes de muñón rodean un AMB en un espacio confinado. Se introduce aceite en el espacio confinado, inundando, por consiguiente, tanto el AMB como el FFB. Luego se utiliza un controlador para controlar el AMB y lograr el rendimiento requerido.

- 30 En otro modo de realización sólo se utiliza un FFB y un AMB. En este modo de realización, el cojinete magnético rodea un rotor laminado y mantiene su propia holgura adecuada. Un muñón (posiblemente con el mismo diámetro que el rotor laminado) se monta al lado del AMB y mantiene las laminaciones del rotor en su lugar. El JB se instala sobre el muñón, con su holgura particular. Los conductos de aceite introducen aceite en el JB, que se permite fluir libremente hacia el espacio del AMB. Se utilizan juntas de aceite para sellar el flujo de aceite en el exterior del cojinete integrado.

Son posibles otros modos de realización posibles con dos AMB y un FFB, y los expertos en la técnica pueden seleccionar claramente el modo de realización más adecuado para la aplicación particular en cuestión.

- 35 Debería quedar claro que para los fines de esta solicitud no importa si el FFB es un JB o un cojinete elíptico, o un cojinete de presa de presión o un cojinete de lóbulos múltiples o incluso un cojinete de plataforma basculante. Del mismo modo, no importa si el AMB es un AMB que porta carga o simplemente un EMA. El diseño particular y el campo de aplicación dictarán el tipo de FFB y AMB utilizados.

- 40 El inventor en su invención de la patente estadounidense No. 7,836,601 en 2010 reveló la posibilidad de integrar los FFB con los AMB en un solo dispositivo. Este fue un gran avance. Hasta esa fecha, nadie en su sano juicio se plantearía añadir aceite a un cojinete magnético. De hecho, los promotores de los AMB los aclamaron como dispositivos "libres de aceite", afirmando que esto era una de sus ventajas. La patente estadounidense No. 7,836,601 fue un cambio de paradigma en la manera de pensar dónde se introdujo el aceite en un AMB.

- 45 Las especificaciones de la patente estadounidense No. 7,836,601 explican que el cojinete integrado puede tener la forma de un cojinete integral que tiene el cojinete de película de fluido dentro del cojinete magnético, de modo que el fluido para el cojinete de película de fluido pasa sobre el rotor del cojinete magnético y dentro de la holgura entre el rotor y el estator en el cojinete magnético.

- 50 Sin embargo, en este caso aparecerá un problema de diseño, ya que el cojinete magnético requerirá una holgura grande para disipar el calor generado, y el cojinete de película de fluido requerirá una holgura pequeña para mejorar la capacidad portadora de carga. Este problema de diseño se puede abordar de dos maneras: una es seleccionar una holgura de compromiso entre los dos requisitos en conflicto y la otra es usar una holgura pequeña para la carga en el cojinete de película de fluido y usar un nivel de fluido mayor para disipar el calor generado en el cojinete magnético.

Similar a la patente estadounidense No. 7,836,601, esta solicitud considera el FFB y el AMB como un cojinete integrado, pero al contrario que la patente estadounidense No. 7,836,601 el FFB y el AMB no comparten la misma holgura. En esta invención, el cojinete integrado consta de un AMB y un FFB que están integrados en un dispositivo pero no comparten una holgura. Sin embargo, tanto el AMB como el FFB están inundados de aceite.

La patente estadounidense No. 7,836,601 revela que la invención en realidad se basa en las ventajas y desventajas de ambos dispositivos. La invención consiste en utilizar un cojinete de película de fluido (ya sea un cojinete de muñón cilíndrico, un cojinete elíptico, un medio cojinete desplazado, un cojinete de lóbulos múltiples o un cojinete de plataforma basculante, en realidad no importa) como un cojinete portador de carga primaria y utilizar un cojinete magnético en combinación con el cojinete de película de fluido para controlar la inestabilidad. Esta debería ser una combinación bastante eficiente, donde la combinación da como resultado cojinetes que pueden usarse a altas velocidades sin tener problemas de estabilidad ni fiabilidad.

Además la patente estadounidense No. 7,836,601 se refiere a muchas patentes que cubren cojinetes magnéticos, por ejemplo,

6,737,777 Cojinete magnético y uso del mismo;

6,727,617 Método y aparato para proporcionar un cojinete magnético de tres ejes que tiene imanes permanentes montados sobre un material de polo radial;

6,720,695 Dispositivo de giro de rotor con un cojinete radial pasivo y sin contacto para el rotor de giro;

6,717,311 Combinación de cojinete magnético radial y de empuje;

6,707,200 Cojinete magnético integrado;

6,703,736 Cojinete magnético;

6,653,756 Dispositivo de cojinete magnético; y

6,606,536 Dispositivo de cojinete magnético y dispositivo de control de cojinete magnético.

Sin embargo, ninguna de estas patentes expone el uso de cojinetes magnéticos como medio para controlar la inestabilidad de los cojinetes de muñón. En realidad, la mayor parte del estado de la técnica y los esfuerzos de desarrollo actuales en cojinetes magnéticos, son para el uso de cojinetes magnéticos como elemento portador de carga principal y para utilizar la acción de control en exceso para proporcionar algunos beneficios de estabilidad deseables en máquinas rotativas

También, la patente estadounidense No. 7,836,601 se refiere a muchas patentes que cubren cojinetes de película de fluido, por ejemplo,

6,089,756 cojinete plano;

5,879,085 Cojinete hidrodinámico con plataforma basculante para maquinaria rotativa;

5,795,076 Cojinete hidrodinámico con plataforma basculante para maquinaria rotativa;

5,772,334 Cojinetes de película de fluido;

5,743,657 Cojinete de muñón con plataforma basculante;

5,743,654 Cojinete de plataforma móvil de control hidrostático y activo;

5,634,723 Cojinetes de película de fluido hidrodinámico;

5,549,392 Junta de árbol para unidad de cojinete hidrodinámico;

5,531,523 Cojinete de muñón de rotor con plataformas de cojinetes ajustables;

5,516,212 Cojinete hidrodinámico con distribución controlada de la presión del lubricante;

5,489,155 Cojinetes de geometría variable con plataforma basculante, que tienen plataformas de cojinete basculantes y métodos para fabricar los mismos;

5,480,234 Cojinete de muñón;

5,322,371 Cojinete de película de fluido;

5,201,585 Cojinete de muñón de película de fluido con amortiguador de película de compresión para turbomaquinaria;

5,096,309 Sistema de cojinetes hidrodinámicos;

5,032,028 Cojinete de película de fluido;

5 4,961,122 Dispositivo de cojinete ranurado hidrodinámico;

4,828,403 Conjunto de cojinete de fluido montado elásticamente;

4,880,320 Cojinetes de muñón de película de fluido;

4,767,223 Cojinetes de muñón hidrodinámicos;

4,597,676 Cojinete híbrido;

10 4,526,483 Cojinete de lámina fluida;

4,415,281 Cojinete de película de fluido hidrodinámico;

4,300,808 Cojinetes de plataforma basculante;

4,034,228 Cojinete de plataforma basculante; y

3,969,804 Método de montaje de carcasa de cojinete para árboles giratorios de alta velocidad.

15 Sin embargo, ninguna de estas patentes sugiere el uso de cojinetes magnéticos como medio para controlar las inestabilidades de la película de fluido.

En realidad, el desarrollo de cojinetes magnéticos y el desarrollo de cojinetes de película de fluido son dos temas completamente separados, y los investigadores de ambas áreas no aprecian los desarrollos en la otra área, como si fueran dos islas diferentes.

20 La patente estadounidense No. 6,353,273, cojinete magnético de lámina híbrido, es una excepción. En esa invención, se sugiere que tanto el cojinete de lámina como el cojinete magnético se utilicen como elementos portadores de carga. Es posible hacerlo para portar cargas grandes, de modo que cada uno de, el cojinete de lámina y el cojinete magnético porten parte de la carga. Sin embargo, en opinión de este inventor, esa no es una buena solución. El cojinete magnético de lámina híbrido, aunque es capaz de funcionar a altas velocidades, todavía adolece de las mismas desventajas que los cojinetes magnéticos.

25 Aunque los cojinetes de película de fluido y los cojinetes magnéticos son dispositivos bien conocidos, aún no es obvio que puedan usarse en forma combinada, ya que la tecnología actual es que estos son dispositivos competidores que no se complementan. Ambos se consideran dispositivos portadores de carga que tienen ciertas capacidades de control (control pasivo para cojinetes de película de fluido y control activo para cojinetes magnéticos). Por tanto, es una invención considerar el cojinete magnético sólo como un dispositivo de control y el cojinete de película de fluido sólo como un dispositivo portador de carga. Su efecto combinado es tener cojinetes con las ventajas de una gran capacidad de carga, excelente fiabilidad y uso a altas velocidades sin inestabilidad, además de todas las ventajas conocidas de los cojinetes de película de fluido y los cojinetes magnéticos. Lo que es más, aparecerá una ventaja adicional: dado que el cojinete magnético no se utiliza como elemento portador de carga, se reducirán los requisitos de potencia y, por tanto, se pueden utilizar cojinetes magnéticos más pequeños y ligeros que puedan controlar las vibraciones del rotor de forma fiable.

Breve descripción de los dibujos

En los dibujos adjuntos:

40 La figura 1 es una vista en alzado en sección transversal de un modo de realización de la invención que representa el cojinete de muñón integrado donde el cojinete magnético rodea un rotor laminado y mantiene su propia holgura adecuada. Se montan dos muñones (posiblemente con el mismo diámetro que el rotor laminado) a cada lado del AMB y se mantienen las laminaciones del rotor en su lugar.

La figura 2 es una vista despiezada del modo de realización mostrado en la figura 1 que muestra los detalles de los componentes. Este es el modo de realización construido y probado por el inventor.

45 La figura 3 es una vista en alzado en sección transversal de otro modo de realización de la invención que representa el cojinete de muñón integrado donde el cojinete magnético rodea un rotor laminado y mantiene su propia holgura adecuada y un muñón está montado adyacente al AMB y mantiene las laminaciones del rotor en su lugar.

La figura 4 es una vista despiezada del modo de realización mostrado en la figura 3 que muestra los detalles de los componentes.

La figura 5 es una vista en alzado en sección transversal de otro modo de realización más de la invención que representa el cojinete de muñón integrado donde el cojinete magnético rodea un rotor laminado y mantiene su propia holgura adecuada y un muñón está montado adyacente al AMB y mantiene las laminaciones de rotor en su lugar con una fijación alternativa.

La figura 6 es una vista despiezada del modo de realización mostrado en la figura 5 que muestra los detalles de los componentes.

La figura 7 muestra el circuito de control básico utilizado para controlar el cojinete magnético activo con retroalimentación de los estados del rotor e incluyendo las características del cojinete de muñón.

Descripción detallada de la invención

Esta invención es un cojinete integrado inteligente de alto rendimiento que combina un cojinete de película de fluido (FFB) con un actuador electromagnético (EMA) en un dispositivo integrado. En todos los casos, el cojinete de película de fluido portará la carga, mientras que el actuador electromagnético se puede utilizar como un controlador puro o como controlador y elemento portador de carga. En este último caso, el actuador electromagnético puede considerarse como un cojinete magnético activo (AMB).

La integración del AMB y el JB en un solo dispositivo, el cojinete integrado (IJB), tiene claras ventajas. El IJB tiene todas las ventajas de los JB y los AMB, y evita todas las deficiencias de los AMB y los JB. El IJB es un elemento portador de carga superior debido a su mayor capacidad de carga y su capacidad para introducir amortiguación pasiva en el sistema del rotor. Además, está libre de inestabilidades de latigazo y tiene capacidades como controlador. Un IJB puede proporcionar rigidez y amortiguación variables y controlables y, además, puede proporcionar control del desequilibrio y muchas otras características de control. Lo más importante es que no hay necesidad de un cojinete de respaldo ya que el rotor es portado en el JB en todos los casos.

Las figuras 1 y 2 muestran un modo de realización preferido del IJB. En este modo de realización las laminaciones 40 del rotor del AMB están montadas en el árbol, mientras que las laminaciones 30 exteriores se mantienen en su lugar mediante la carcasa 10 inferior y la carcasa 60 superior del IJB. La holgura del AMB es en realidad la holgura entre las laminaciones 40 del rotor y las laminaciones 30 exteriores. Dos manguitos 80 de cojinetes de muñón se colocan en el rotor en ambos lados de las laminaciones 40 del rotor. El revestimiento 70 del cojinete de muñón se mantiene en su lugar rodeando el manguito 80 por la carcasa 20 del cojinete de muñón mantenido en su lugar por la carcasa 10 inferior y la carcasa 60 superior del IJB. La holgura del cojinete de muñón se encuentra entre el manguito 80 y el revestimiento 70. El aceite se alimenta y drena a través de los conductos 120, y sumerge tanto el cojinete de muñón como las cavidades del AMB. Unas juntas 50 evitan que el aceite escape de la cavidad. Dos manguitos 90 de sujeción se utilizan para sujetar los manguitos 80 de cojinete en su lugar en el árbol. Un adaptador 100 de fijación está bloqueado en su lugar mediante una tuerca 110 de fijación en cada manguito 90 de sujeción.

Las figuras 3 y 4 muestran otro modo de realización del IJB. En este modo de realización las laminaciones 180 del rotor del AMB están montadas en el árbol, mientras que las laminaciones 160 exteriores se mantienen en su lugar mediante la carcasa 140 inferior y la carcasa 150 superior del IJB. La holgura del AMB es en realidad la holgura entre las laminaciones 180 del rotor y las laminaciones 160 exteriores. Un manguito 190 de cojinete de muñón se coloca en el rotor al lado de las laminaciones 180 del rotor. El revestimiento 130 del cojinete de muñón se mantiene en su lugar rodeando el manguito 190 por la carcasa 140 inferior y la carcasa 150 superior del IJB. La holgura del cojinete de muñón se encuentra entre el manguito 190 y el revestimiento 130. El aceite se alimenta y drena a través de los conductos 210, y sumerge tanto el cojinete de muñón como las cavidades del AMB. La abrazadera 200 se utiliza para sujetar el manguito 190 del cojinete en su lugar en el árbol. Se ha de observar que este modo de realización es adecuado para árboles con rebordes como se muestra en la figura 3, donde las laminaciones 180 del rotor descansan contra el reborde del árbol y se mantienen en su lugar mediante el manguito 190 del muñón, que a su vez se mantiene en su lugar mediante una abrazadera 200.

El mismo modo de realización se muestra en las figuras 5 y 6, pero con un método de fijación diferente para las laminaciones del rotor y el manguito del muñón. En la figura 5 y la figura 6, las laminaciones 230 del rotor del AMB están montadas en el árbol, mientras que las laminaciones 270 exteriores se mantienen en su lugar mediante la carcasa 300 inferior y la carcasa 290 superior del IJB. La holgura del AMB es en realidad la holgura entre las laminaciones 230 del rotor y las laminaciones 270 exteriores. Un manguito 250 de soporte se utiliza para sujetar las laminaciones 270 del rotor. El manguito 240 del cojinete de muñón se inserta en el manguito 250 de soporte y se mantiene en su lugar mediante una tuerca 260 de bloqueo. El revestimiento 280 del cojinete de muñón se mantiene en su lugar rodeando el manguito 240 por la carcasa 300 inferior y la carcasa 290 superior del IJB. La holgura del cojinete de muñón se encuentra entre el manguito 240 y el revestimiento 280. El aceite se alimenta y drena a través de los conductos 320, y sumerge tanto el cojinete de muñón como las

cavidades del AMB. Este modo de realización también es adecuado para árboles con rebordes como se muestra en la figura 5, donde las laminaciones 230 del rotor descansan contra el reborde del árbol y mantienen en su lugar el manguito 250 de soporte y la tuerca 260 de bloqueo.

La figura 7 muestra un diagrama de bloques del sistema del IJB. El rotor está sometido a fuerzas externas F_{ext} , sin embargo, los estados del rotor x y x' afectan al JB que a su vez proporciona una fuerza de apoyo F_b que se suma a la fuerza de soporte magnético F_m . Los estados de retroalimentación x y x' se dirigen electrónicamente a un controlador programable que proporciona una corriente a través de un amplificador de potencia al AMB produciendo así la fuerza magnética F_m .

El inventor ha aplicado muchos algoritmos de control similares al diagrama de bloques de la figura 7. En la referencia 2, el inventor y sus estudiantes exponen el control del latigazo de aceite usando el IJB a través de múltiples algoritmos y muestran que el control de amortiguación es un método efectivo para controlar el IJB, mientras que en la referencia 3, se introducen el control de inestabilidad y el control de desequilibrio usando el IJB. La referencia 4 es una contribución importante que muestra que el aceite no afecta negativamente el rendimiento de los AMB. De hecho, se ha demostrado que el aceite en un AMB proporciona algunas mejoras menores en el rendimiento del AMB. La referencia 5 introduce la prueba de un rotor en un IJB y un cojinete de elementos rodantes usando control PID, mientras que la referencia 6 introduce el control de lógica difusa al IJB, y la referencia 7 introduce el control H^∞ al IJB y expone el reparto de carga entre el AMB y el JB. La referencia 8 presenta la prueba de un rotor en dos cojinetes IJB y la capacidad de transgredir la inestabilidad del latigazo del aceite para el primer modo y el segundo modo aplicando el control PD. De hecho, la referencia 8 es una clara indicación del éxito del IJB. La misma muestra que el IJB puede portar un rotor de alta carga a altas velocidades y con capacidad para controlar múltiples inestabilidades.

En todos los experimentos anteriores se utiliza un controlador programable disponible en el mercado. Todos los algoritmos de control expuestos en el párrafo anterior se implementaron experimentalmente y tuvieron bastante éxito. La elección del algoritmo de control es una cuestión de elección para cada aplicación. En muchos casos, es importante indicarle al cojinete magnético que no interfiera con la carga que transporta el JB. De hecho, el controlador H^∞ introducido en la referencia 7 en realidad tiende a portar parte de la carga en el AMB, mientras que el controlador PD tiende a actuar únicamente como controlador. El problema es que al AMB le gusta centrar el rotor, mientras que el JB tiende a mover el centro del rotor hacia abajo y hacia los lados. Estos dos dispositivos en competencia necesitan un controlador diseñado para portar la carga en el JB y mantener toda la energía del AMB para el control. Sólo en circunstancias especiales (como reubicación de resonancias) se debería permitir que el AMB porte la carga. Las referencias mencionadas anteriormente proporcionan amplios ejemplos de la aplicación del controlador. Sin embargo, un experto en la técnica puede seleccionar juiciosamente el algoritmo de control apropiado. Debería entenderse que lo anterior es simplemente una descripción detallada de uno o más modos de realización de esta invención. Por lo tanto, la descripción anterior no pretende limitar el alcance de la invención. Más bien, el alcance de la invención debe determinarse únicamente por las reivindicaciones adjuntas y sus equivalentes.

Referencias:

1) El-Shafei, A., 2010, "*Methods of Controlling the Instability in Fluid Film Bearings* (Métodos de control de la inestabilidad en cojinetes de película de fluido)", Patente estadounidense 7,836,601.

2) El-Shafei, A. y Dimitri, AS, 2010, "*Controlling Journal Bearing Instability Using Active Magnetic Bearing* (Control de la inestabilidad de los cojinetes de muñón utilizando cojinetes magnéticos activos)", ASME Trans., *Journal of Engineering for Gas Turbine and Power*, vol. 132 de enero, núm. 1.

3) Dimitri, AS y El-Shafei, A., 2010, "*Instability Control and Unbalance Compensation of Flexible Rotors Supported on Journal Bearings Using Magnetic Bearings* (Control de inestabilidad y compensación del desequilibrio de rotores flexibles apoyados sobre cojinetes de muñón utilizando cojinetes magnéticos)", *Proceedings of the 8th IFToMM International Conference on Rotordynamics*, 12-15 de septiembre, KIST, Seúl, Corea.

4) El-Hakim, M., Dimitri, AS, Sakr, T., Mahfoud, J., Adly, AA y El-Shafei, A., 2012, "*Numerical and experimental identification of a combined Journal-Magnetic bearing: Smart Integrated Bearing* (Identificación numérica y experimental de un cojinete combinado de muñón-magnético: Cojinete integrado inteligente)", *Proceedings of the 10th International Conference on Vibrations in Rotating Machinery, IMechE*, Londres, Reino Unido, pp. 399-407, 11-13 de septiembre.

5) El-Shafei, A., Dimitri, AS, Saqr, T. y El-Hakim, M., "*Test Rig Characterization and Dynamic Testing of a Smart Electro-Magnetic Actuator Journal Integrated Bearing* (Caracterización del equipo de prueba y pruebas dinámicas de un cojinete integrado de muñón de actuador electromagnético inteligente)", *Proc. 9th IFToMM Int. Conf. on Rotordynamics*, 22-25 de septiembre, Milán, Italia, 2014. *Mechanisms and Machine Science* vol. 21, Springer.

6) Dimitri, AS, Mahfoud, J. y El-Shafei, A., 2015, "Oil Whip Elimination using Fuzzy Controller (Eliminación de latigazo de aceite mediante un controlador difuso)", *J. Eng. Gas Turbines Power*, vol. 138, No. 6.

5 7) Dimitri, AS, El-Shafei, A., Adly, AA, Mahfoud, J., 2015, "*Magnetic Actuator Control of Oil Whip Instability in Bearings* (Control del actuador magnético de la inestabilidad de latigazo de aceite en cojinetes)" *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 51, núm. 11.

8) El-Shafei, A., Dimitri, AS y Mahfoud, J., 2016, "*PD Control of a Smart Electro-Magnetic Actuator Journal Integrated Bearing (IJB)* (Control PD de un cojinete integrado en un actuador electromagnético inteligente (IJB))" *Proceedings the 11th IMechE International Conference on Vibrations in Rotating Machinery*, Manchester, Reino Unido, septiembre de 2016, documento C1030, pp. 239-250.

10

REIVINDICACIONES

1. Un cojinete de muñón integrado, IJB, que comprende:
un árbol que se extiende en dirección axial;
una carcasa (20) a través de la cual se extiende el árbol en dirección axial, la carcasa (20) que rodea el árbol en dirección radial;
5 un actuador electromagnético, EMA, dispuesto dentro de la carcasa (20) y que rodea el árbol en la dirección radial, el EMA que incluye laminaciones (40) de rotor montadas en el árbol y laminaciones (30) exteriores dispuestas en la carcasa, una holgura de EMA radial que está ubicada entre las laminaciones (40) del rotor y las laminaciones (30) exteriores; y
10 al menos un primer cojinete de muñón de película de fluido, JB, dispuesto en el interior de la carcasa (20) y que rodea el árbol en la dirección radial, el primer JB que incluye un primer manguito (80) del JB montado en el árbol axialmente adyacente a las laminaciones (40) del rotor y un primer revestimiento (70) del JB dispuesto en la carcasa (20), una primera holgura radial del JB que está situada entre el primer manguito (80) del JB y el revestimiento (70);
15 en donde se definen conductos (120) de fluido a través de la carcasa (20) y se configuran para alimentar un fluido al cojinete de muñón y drenar el fluido de la carcasa (20);
caracterizado por que
el fluido es un aceite que es capaz de fluir libremente entre las holguras del EMA y el primer JB y hacia el espacio del EMA, el aceite que es retenido dentro de la carcasa (20) mediante juntas (50) dispuestas entre la
20 carcasa (20) y el árbol.
2. El IJB de la reivindicación 1, que comprende además un segundo JB dispuesto dentro de la carcasa y que rodea el árbol en la dirección radial, el segundo JB que incluye un segundo manguito del JB montado en el árbol axialmente adyacente a un lado opuesto de las laminaciones del rotor del primer manguito del JB y un segundo revestimiento del JB dispuesto en la carcasa, una segunda holgura del JB radial que se ubica entre
25 el segundo manguito del JB y el revestimiento; en donde los conductos de aceite están configurados además para alimentar y drenar aceite que luego puede fluir libremente entre las holguras del EMA y del primer JB.
3. El IJB de la reivindicación 2, que comprende además un primer y un segundo manguitos de sujeción montados en el rotor axialmente hacia afuera del primer y segundo JB, respectivamente.
4. El IJB de la reivindicación 3, que comprende además una primera y una segunda juntas montadas en el
30 rotor, la primera junta que está ubicada axialmente entre el primer JB y el primer manguito de sujeción, la segunda junta que está ubicada axialmente entre el segundo JB y el segundo manguito de sujeción, la primera y segunda juntas que están configuradas para evitar que el aceite se escape entre el árbol y la carcasa.
5. El IJB de la reivindicación 3, que comprende además un primer y un segundo adaptadores de fijación que rodean el primer y segundo manguitos de sujeción, respectivamente, el primer y el segundo adaptadores de fijación que están bloqueados en su lugar mediante una primera y una segunda tuercas de fijación, respectivamente.
35 6. El IJB de la reivindicación 1, en donde el árbol incluye un reborde que se extiende hacia afuera en la dirección radial, un lado de las laminaciones del rotor que es opuesto al primer manguito JB axialmente adyacente al reborde.
7. El IJB de la reivindicación 6, que comprende además una abrazadera montada en el árbol axialmente adyacente a un lado del primer manguito JB opuesto a las laminaciones del rotor.
8. El IJB de la reivindicación 6, que comprende además un manguito de soporte montado en el árbol, el manguito de soporte que está ubicado radialmente entre el árbol y el primer manguito JB y axialmente adyacente al mismo lado de las laminaciones del rotor que el primer manguito JB.
40 9. El IJB de la reivindicación 8, que comprende además una tuerca de bloqueo conectada al manguito de soporte axialmente adyacente a un lado del primer manguito JB opuesto a las laminaciones del rotor.
10. El IJB de la reivindicación 1, que comprende además un controlador en comunicación de señal con el EMA y configurado para suministrarle corriente para operar el EMA controlando una fuerza magnética generada por el mismo.

11. El IJB de la reivindicación 10, en donde el controlador está configurado para controlar el EMA para portar la carga del cojinete además del JB bajo al menos algunas condiciones del árbol, de modo que el EMA funcione como un cojinete magnético activo (AMB).
- 5 12. El IJB de la reivindicación 11, en donde el controlador está configurado para recibir una retroalimentación de fuerzas externas aplicadas al árbol durante diferentes estados del mismo y ajustar la fuerza magnética en respuesta a ello.
13. El IJB de la reivindicación 12, en donde el controlador está configurado para controlar la fuerza magnética generada por el AMB de manera que el transporte de carga del primer JB no se vea interferido en la mayoría de las circunstancias.
- 10 14. El IJB de la reivindicación 13, en donde el controlador está configurado para controlar la fuerza magnética generada por el AMB de modo que proporcione rigidez y amortiguación variables y controlables.
15. El IJB de la reivindicación 13, en donde el controlador está configurado para controlar la fuerza magnética generada por el AMB de modo que compense la inestabilidad del JB.
- 15 16. El IJB de la reivindicación 13, en donde el controlador está configurado para controlar la fuerza magnética generada por el AMB de modo que compense el desequilibrio del árbol.
17. El IJB de la reivindicación 13, en donde el controlador está configurado para controlar la fuerza magnética generada por el AMB de modo que compense las perturbaciones que actúan sobre el árbol.
18. El IJB de la reivindicación 1, en donde el EMA está configurado para proporcionar una amortiguación pasiva.
19. Un método para soportar un árbol para movimiento giratorio, el método que comprende:
 - 20 soportar cargas radiales con al menos un primer cojinete de muñón de película de fluido, JB, dispuesto alrededor del árbol;
 - controlar un cojinete magnético activo, AMB, ubicado axialmente adyacente al primer JB en el árbol, para ayudar al cojinete JB a portar cargas radiales bajo al menos algunas circunstancias; y
 - proporcionar una carcasa común para rodear el primer JB y el AMB,
 - 25 caracterizado por que
 - el fluido del primer JB es un aceite que puede fluir libremente entre el AMB y las holguras del primer JB y hacia el espacio del AMB, y
 - se proporcionan juntas para sellar entre la carcasa y el árbol.

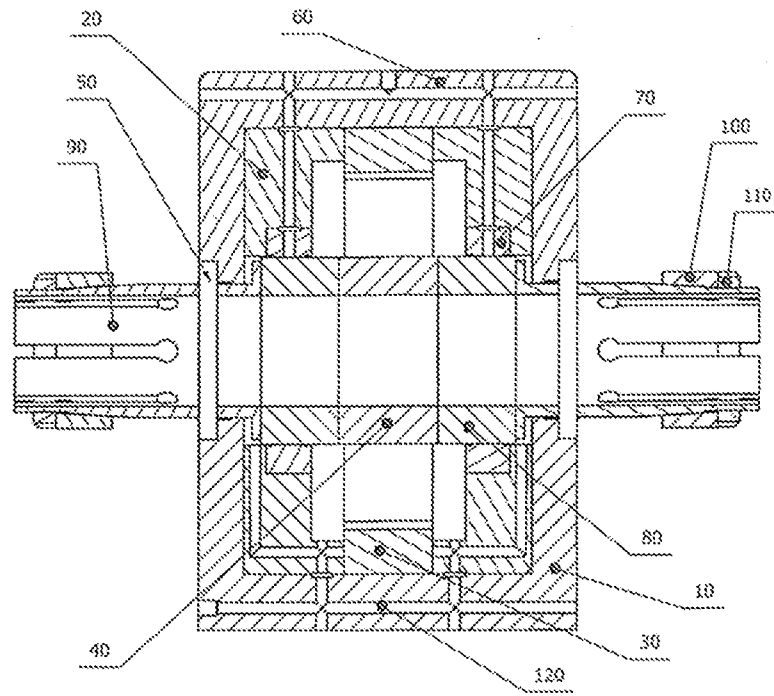


FIG. 1

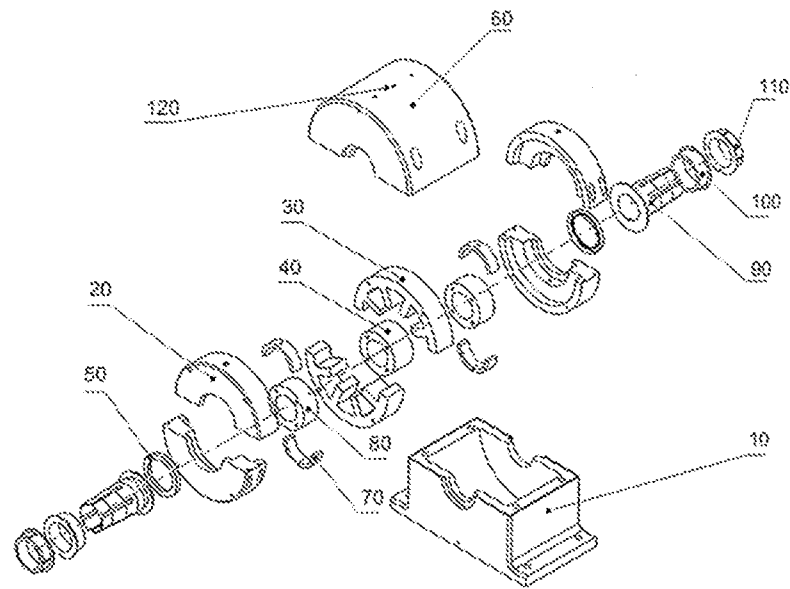


FIG. 2

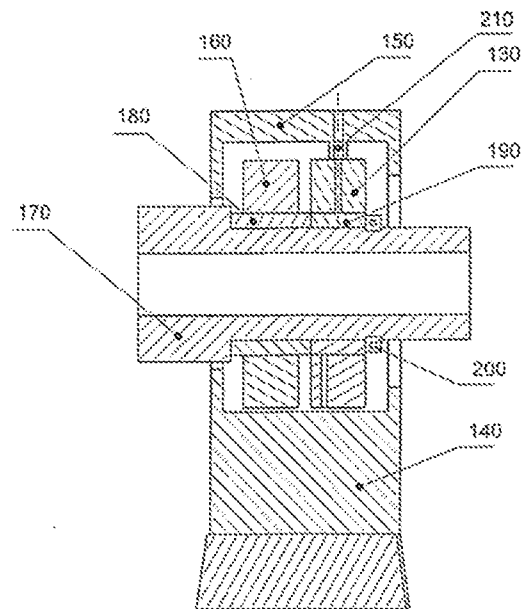


FIG. 3

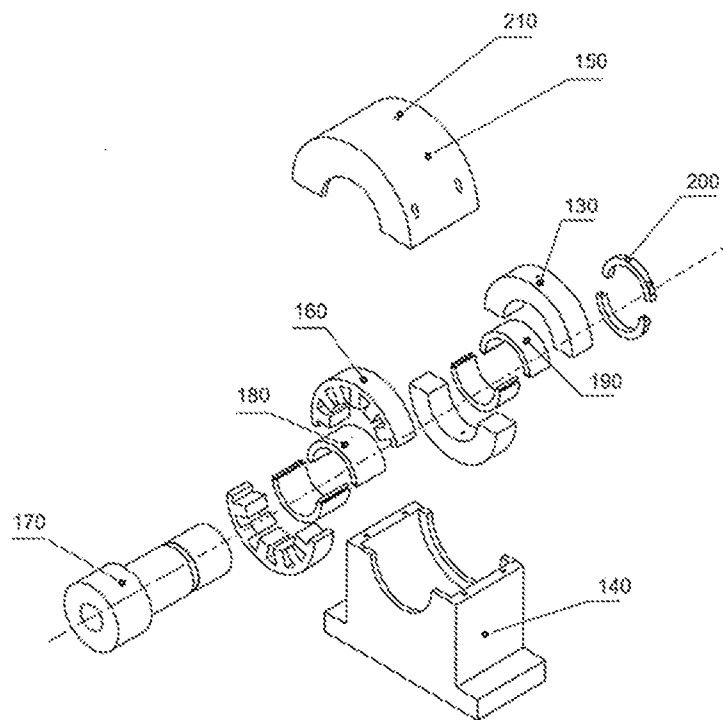


FIG. 4

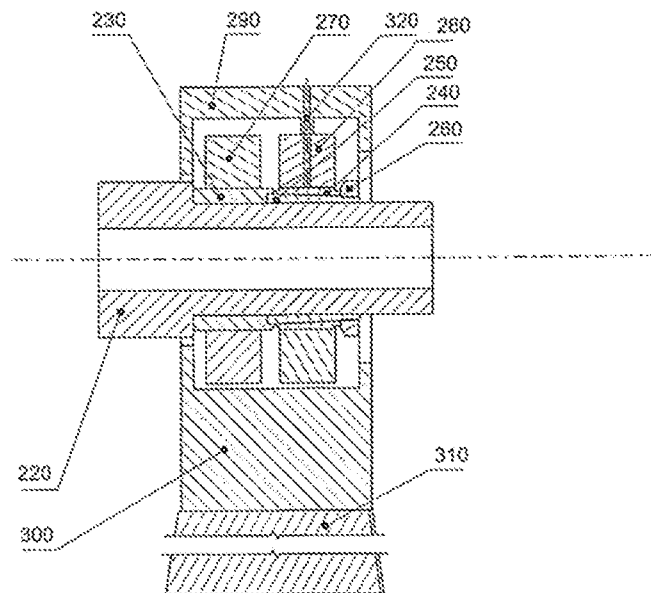


FIG. 5

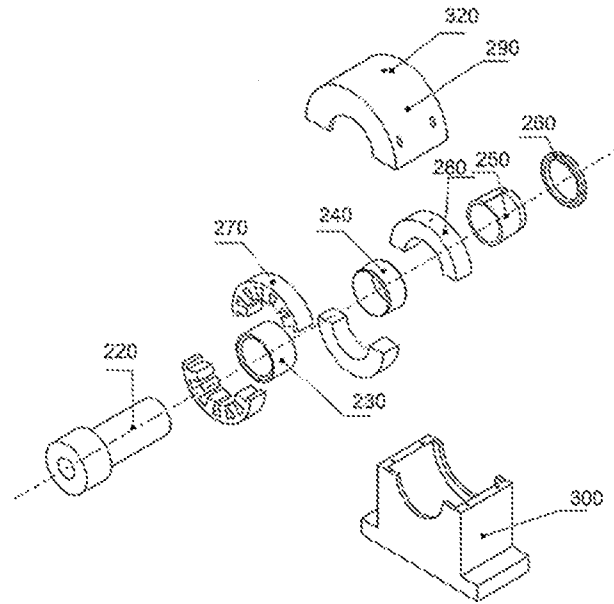


FIG. 6

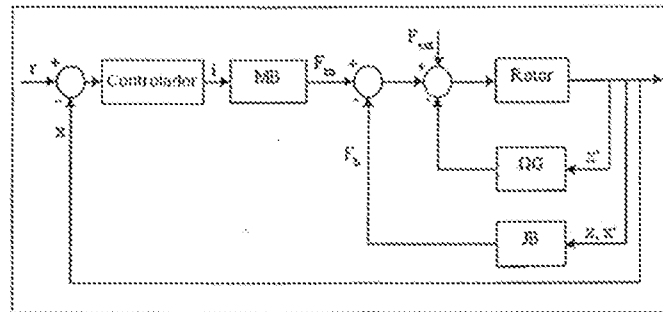


FIG. 7