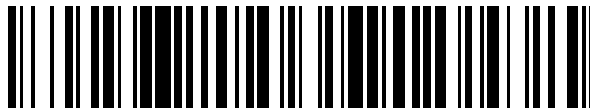


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 656 671**

51 Int. Cl.:

G01H 1/00 (2006.01)

G01P 3/44 (2006.01)

G01P 3/487 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.12.2014 PCT/FR2014/053510**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.07.2015 WO15097396**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.12.2014 E 14831001 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.12.2017 EP 3087356**

54 Título: **Conjunto para turbomáquina destinado a medir vibraciones experimentadas por una pala en rotación**

30 Prioridad:

23.12.2013 FR 1363470

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

28.02.2018

73 Titular/es:

**SAFRAN HELICOPTER ENGINES (100.0%)
64510 Bordes, FR**

72 Inventor/es:

**TALON, ARNAUD;
CAZAUX, JEAN-YVES;
CHAUVIN, GUILLAUME y
GARNIER, JULIEN**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 656 671 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

Conjunto para turbomáquina destinado a medir vibraciones experimentadas por una pala en rotación

Campo general

5 La invención se refiere al campo de los álabes móviles en rotación.

De manera más particular la invención se refiere al campo de la caracterización de vibraciones a las que tales álabes son sometidos cuando son hechos girar.

Estado de la técnica

10 Una rueda de álabes consiste en un cubo que comprende una pluralidad de álabes o palas. Durante la concepción y la certificación de turbomáquinas es necesario verificar si una rueda de álabes de esta clase que gire en un cárter presenta frecuencias propias susceptibles de ser excitadas en el campo de funcionamiento del motor de tales turbomáquinas.

Para los modos propios identificados en este campo de funcionamiento han de cuantificarse además los niveles de tensiones vibratorias asociadas.

15 El documento US 4757717 describe un aparato de medición de vibraciones de una máquina giratoria.

Una primera técnica conocida para caracterizar las vibraciones experimentadas por álabes en funcionamiento consiste en la utilización de galgas de deformación pegadas en la rueda de álabes. A partir de una medición de microdeformaciones en la superficie del material resulta posible caracterizar los álabes en el campo de la frecuencia y calcular las tensiones en el material.

20 Pero esta primera técnica presenta muchos inconvenientes.

En primer lugar, las galgas pegadas en las palas son sometidas a fuerzas centrífugas colosales (del orden de 100.000 g) asociadas potencialmente con temperaturas muy elevadas, en particular cuando la instrumentación está prevista en una turbina de alta presión. La vida útil de las galgas es por tanto limitada.

25 En segundo lugar, el posicionamiento de galga requiere mucha pericia, minuciosidad y tiempo (sobre todo para la cocción de cementos en los que son encastradas las galgas).

En tercer lugar, es necesario hacer llegar la señal proveniente de las galgas dispuestas en la rueda de álabes móvil a un sistema de referencia fijo. Para este fin han de extenderse hilos de conexión en el árbol motor hasta un colector giratorio. Además de ser la longitud de los hilos y la conexión giratoria del colector generadoras de ruido de medición, los estudios preliminares para la integración de un colector giratorio en un motor son largos y costosos.

30 Con el fin de paliar estos inconvenientes ha sido propuesta una segunda técnica, basada en la utilización de sondas ópticas posicionadas enfrente de las palas en rotación, y por tanto en un sistema de referencia fijo.

35 Esta segunda técnica pone en práctica una medición de las diferencias de tiempo de paso delante de las sondas ópticas de dos estados vibratorios de una pala (existencia o inexistencia de vibraciones). Tal procedimiento de medición, denominado en inglés «tip timing», permite calcular amplitudes de desplazamientos alternativos en la cabeza de una pala. El conocimiento de las deformadas modales permite relacionar niveles de desplazamiento en la cabeza de una pala con niveles de tensión de la pala.

40 Pero esta segunda técnica no permite obtener información de frecuencia de las vibraciones medidas. Mediante esta segunda técnica, en efecto, solo es posible determinar niveles globales de desplazamiento en la cabeza de una pala, sin que pueda saberse qué modo de pala se encuentra excitado. Desde el punto de vista de la vigilancia de las vibraciones, esta limitación puede ser muy desventajosa.

Por otro lado, el método «tip timing» presenta a veces ambigüedades que no permiten determinar la clase de excitación causante de los niveles de desplazamiento registrados.

Presentación de la invención

45 La invención tiene por objeto permitir la caracterización de las vibraciones experimentadas por una pala durante su puesta en rotación, y, en particular, cuantificar las velocidades de vibración experimentadas por la pala.

Con este fin, y de acuerdo con un primer aspecto, se ofrece un conjunto para turbomáquina según la reivindicación 1.

De acuerdo con un segundo aspecto, se ofrece un procedimiento de medición de vibraciones de una pala de un conjunto para turbomáquina según el primer aspecto, que comprende las etapas de:

—poner en rotación la rueda de álabes en el cárter,

-medir en los terminales de cada uno de los conductores eléctricos una tensión eléctrica respectiva inducida por el imán contenido en la cabeza de la pala enfrentada con el cárter,

5 -determinar la velocidad del imán,

-calcular la velocidad de vibración axial experimentada por la cabeza de la pala a partir de las dos tensiones eléctricas medidas y la velocidad determinada del imán.

10 El imán genera un campo magnético. Cuando la rueda de álabes móvil es puesta en rotación con respecto al cárter este campo magnético induce una corriente eléctrica en cada uno de los dos conductores eléctricos comprendidos en el cárter, situado enfrente de la cabeza de la pala que lleva el imán. Cada corriente eléctrica se transmite a los terminales del conductor eléctrico correspondiente, generando en ellos una tensión eléctrica. La tensión en los terminales de cada conductor eléctrico permite caracterizar vibraciones experimentadas por la pala. Además, la disposición mutua de los dos conductores eléctricos en el conjunto para turbomáquina propuesto permite obtener dos tensiones, a partir de las cuales puede ser determinada la velocidad de vibración axial de la cabeza de la pala.

15 El conjunto para turbomáquina propuesto permite así prescindir de mediciones directas de tensiones en la rueda de álabes y evitar una instrumentación pesada en el sistema de referencia móvil asociado con la pala para caracterizar sus vibraciones. La instrumentación prevista es mínima en este sistema de referencia móvil (solo un imán es integrado en la pala) y también en el sistema de referencia fijo asociado con el cárter (dos conductores eléctricos insertados contra o en el cárter) para cuantificar vibraciones axiales de la pala.

20 El conjunto según el primer aspecto puede presentar las características que siguen, consideradas individualmente o en cualquiera de sus combinaciones técnicamente posibles.

25 La primera parte central puede extenderse en el plano de desplazamiento del imán en torno al eje de rotación de la rueda de álabes, y la segunda parte central puede extenderse ortogonalmente al plano de desplazamiento. En tal modo de realización, la tensión medida en los terminales del primer conductor eléctrico es representativa de las vibraciones experimentadas por el imán fuera de este plano de desplazamiento, y esta tensión es independiente del movimiento giratorio de la pala en torno a su eje de rotación (así, en la situación ideal en la que la pala no estuviera sometida a ninguna vibración, la tensión en los terminales del conductor eléctrico cuando el imán se encuentre enfrente de una parte de la parte central sería minimizada).

30 Por otro lado, la primera parte central puede formar parte de un círculo centrado en un punto del eje de rotación de la rueda de álabes, y la segunda parte central puede atravesar el plano de desplazamiento por un punto de dicho círculo. Tal modo de realización es sencillo de llevar a la práctica en caso de que la superficie interna del cárter enfrentada con la rueda de álabes sea cilíndrica; en este modo de realización, además, el campo magnético generado por el imán afecta a partes respectivas de las partes centrales de los conductores eléctricos que tienen la misma longitud.

35 El imán puede estar adaptado para generar un campo magnético de eje radial con respecto al eje de rotación de la rueda de álabes, siendo el campo magnético isótropo en torno al eje radial. Merced a tal disposición de campo magnético, la velocidad de vibración axial de la pala es proporcional a la razón entre las tensiones medidas en los terminales respectivos de los dos conductores eléctricos.

40 Las tensiones en los terminales de los dos conductores eléctricos son generalmente pequeñas. Un amplificador de tensión puede ser conectado con los terminales de los conductores eléctricos, realizándose las mediciones en la salida de este amplificador.

45 Los dos conductores eléctricos pueden estar empotrados, al menos parcialmente, en una capa desgastable situada en una superficie interna del cárter enfrentada con la rueda de álabes, estando hecha la capa desgastable de un material paramagnético o diamagnético. Así, el flujo magnético generado por el imán se modifica muy poco y puede ser aprovechado en su totalidad en las mediciones realizadas.

Descripción de las figuras

Otras características, objetos y ventajas de la invención se deducirán de la descripción que sigue, cuyo carácter es simplemente ilustrativo y no limitativo, y los dibujos adjuntos, en los que:

50 -La figura 1 es una vista en corte parcial de un conjunto para turbomáquina según un modo de realización de la invención.

-La figura 2a es una vista esquemática en perspectiva del conjunto de la figura 1.

-La figura 2b detalla una parte del conjunto mostrado en la figura 2a.

-La figura 3 es un organigrama de etapas de un procedimiento de medición de vibraciones experimentadas por una pala según un modo de realización de la invención.

5 -La figura 4 representa sistemas de referencia asociados con diferentes elementos del conjunto para turbomáquina representado en las figuras 1 y 2.

-La figura 5 muestra esquemáticamente interacciones electromagnéticas entre elementos del conjunto para turbomáquina mostrado en las figuras 1 y 2.

En las figuras, elementos similares son designados mediante referencias idénticas.

Descripción detallada de la invención

10 Con referencia a la figura 1, un conjunto E para turbomáquina comprende un cárter 1 y una rueda 2 de álabes que puede rotar con respecto al cárter 1.

El cárter 1 presenta una superficie interna 10 que define un espacio en el que está alojada la rueda de álabes 2. A modo de ejemplo, esta superficie interna 10 puede ser cilíndrica.

15 La rueda 2 de álabes está montada en un árbol motor 24 que se extiende en la dirección de un eje de rotación (perpendicular al plano de la figura 1). La rueda 2 de álabes comprende un disco 22 en torno al árbol 24, y una pluralidad de palas. Cada pala se extiende sensiblemente en dirección radial desde el disco 22 y termina en una cabeza respectiva. Así, la cabeza de cada pala se encuentra enfrente de una parte de la superficie del cárter 1 cualquiera que sea la posición angular ocupada por la rueda 2 de álabes móvil en relación con el cárter 1.

Al menos una de las palas de la rueda de álabes, con referencia 20, comprende en su cabeza 21 un imán 3.

20 El imán 3 es solidario de la pala 20, que a su vez es solidaria del disco 22; se considera en lo que sigue que el movimiento del imán 3 es representativo del movimiento de la cabeza 21 de la pala 20.

La topología del campo magnético creado por el imán 3 es similar a la de un solenoide de varias espiras: forma un toro que rodea el imán 3, orientado de su polo norte hacia su polo sur. El imán 3 está adaptado para generar un campo magnético de orientación radial con respecto al eje de rotación de la rueda 2 de álabes.

25 Con referencia a la figura 2a, el cárter 1 comprende un primer conductor eléctrico 4 y un segundo conductor eléctrico 7.

Los terminales de cada conductor eléctrico 4, 7 están conectados con entradas de un amplificador 5 de tensión idéntica o diferente.

30 El conjunto E comprende también un dispositivo de medición 6 a la salida del amplificador o de los amplificadores 5 de tensión. Este dispositivo 6 comprende medios para realizar cálculos con los valores de las tensiones medidas por dicho dispositivo 6.

En relación con la figura 2b, el primer conductor eléctrico 4 comprende una parte «central» que forma una espira o una parte de espira en torno al eje de rotación de la rueda 2 de álabes. A modo de ejemplo, esta parte central 40 puede estar fijada en la superficie interna 10 del cárter 1 enfrentada con la rueda 2 de álabes.

35 La parte central 40 comprende dos extremos 42, 42' situados en posiciones angulares diferentes en torno al eje de rotación de la rueda 2 de álabes.

El conductor eléctrico 4 comprende también dos ramas 44, 44' que prolongan, cada una, un extremo respectivo de la parte central 40.

40 De preferencia, la parte central 40 no se extiende en toda la circunferencia del cárter 1 en torno al eje de rotación de la rueda 2 de álabes, sino que forma un arco definido por un sector angular de menos de 360° en torno al eje de rotación de la rueda de álabes. Los dos extremos 42, 42' delimitan entonces una parte de circunferencia del cárter 1 no cubierta por la parte central 40; esta parte no cubierta se denomina en lo que sigue «abertura de espira» y se designa con la referencia 46.

45 Las ramas 44, 44' pueden extenderse en una dirección sensiblemente radial hacia el exterior con respecto al eje de rotación de la rueda 2 de álabes en el cárter 1. A modo de ejemplo, cada rama 44 (respectivamente 44') puede formar con la parte central 40, en el extremo 42 (respectivamente 42') que prolonga, un ángulo comprendido entre 80 y 100°, preferiblemente 90°.

50 La parte central 40 y las ramas 44, 44' que prolongan dicha parte central 40 se extienden en un plano que coincide con el plano de desplazamiento del imán 3 (plano de las figuras 2a y 2b) durante una revolución de la pala 20 en torno al eje de rotación de la rueda 2 de álabes.

Cuando la rueda 2 de álabes ocupa una posición angular por la que el imán 3 se encuentra enfrente de un punto de la parte central 40, el movimiento relativo del campo magnético generado por el imán 3 con respecto a la parte central 40 cuando la pala 20 vibra induce una corriente eléctrica en las ramas 44 y 44'.

- 5 El segundo conductor eléctrico 7 comprende una parte 70 denominada también «central» que atraviesa la abertura de espira 46 mostrada entre los extremos 42, 42' del primer conductor eléctrico 4.

Esta parte central 70 no está en contacto eléctrico con el primer conductor 4 y puede estar fijada también en la superficie interna 10 del cárter 1, enfrente de la rueda 2 de álabes.

- 10 El segundo conductor eléctrico 4 pasa, en particular, por un punto P del plano de desplazamiento del imán 3, estando situado este punto P entre los dos extremos 42, 42' enfrentados, por ejemplo, en la mitad de la distancia entre estos extremos 42. El punto P se sitúa en el mismo radio que la parte central 40 del conductor 4.

La parte central 70 del segundo conductor eléctrico 7 se prolonga por sus dos extremos mediante dos ramas que forman los terminales del segundo conductor eléctrico 7, conectados con el amplificador 5.

- 15 Cuando la rueda 2 de álabes ocupa una posición angular por la que el imán 3 se encuentra enfrente del punto P de la parte central 70, el campo magnético generado por el imán 3 induce una corriente eléctrica en una parte de la parte central 70 cerca de este punto P.

De preferencia, la parte central 70 del segundo conductor 7 es rectilínea cerca de este punto P y está orientada ortogonalmente al plano en el que se extiende el primer conductor eléctrico 4; la parte central 70, por tanto, es paralela al eje de rotación z de la rueda 2 de álabes.

- 20 En el modo de realización mostrado en las figuras 2a y 2b, el punto P y la parte central 40 del primer conductor eléctrico 4 definen partes de un mismo círculo; de esta manera, el entrehierro entre el imán 3 y un punto cualquiera de la parte central 40, y el entrehierro entre el imán 3 y el punto P tienen longitudes idénticas: el campo magnético B generado por el imán 3 tiene, pues, una influencia comparable o idéntica en partes respectivas de las partes centrales 40, 70 de los conductores eléctricos 4, 7.

- 25 *Principio general del procedimiento de medición de vibraciones de pala*

La figura 3 representa las etapas de un procedimiento de medición de vibraciones experimentadas por la pala 20 que comprende el imán 3.

En una etapa preliminar 101 la rueda 2 de álabes es hecha rotar en torno a su eje de rotación. Esta puesta en rotación puede suscitar vibraciones de la pala 20.

- 30 Un periodo de revolución de la pala 20 en torno al eje de rotación de la rueda 2 de álabes comprende dos fases diferentes, que corresponden, cada una, a una gama respectiva de posiciones angulares de la rueda 2 de álabes móvil con respecto al cárter 1: una fase durante la cual el imán 3 se encuentra enfrente de una parte de la parte central 40, y una fase durante la cual el imán 3 se encuentra enfrente de la abertura de espira 46 mostrada entre sus dos extremos 42, 42'.

- 35 Cuando el imán 3 está enfrente de una parte de la parte central 40 del primer conductor eléctrico 4, el movimiento vibratorio relativo del campo magnético B generado por el imán 3, con respecto a la parte central 40, induce una primera corriente eléctrica en la parte central 40 que se transmite a los terminales formados por las ramas 44, 44'. Una tensión U_1 es entonces generada entre los dos terminales del primer conductor eléctrico 4.

- 40 De manera similar, cuando el imán 3 esté enfrente de la abertura 46 de espira, y por tanto enfrente de la parte central 70 del segundo conductor eléctrico 7, el movimiento vibratorio relativo del campo magnético B generado por el imán 3, con respecto a la parte central 70, induce una segunda corriente eléctrica en la parte central 70 que se transmite a los terminales del segundo conductor eléctrico 7. Una tensión U_2 es entonces generada entre los dos terminales del segundo conductor eléctrico 7.

- 45 Las tensiones U_1 y U_2 , generalmente muy pequeñas, son amplificadas mediante el amplificador 5 durante una etapa 102.

Durante una etapa 103 el dispositivo de medición 6 capta las tensiones U_1 y U_2 amplificadas por el amplificador o los amplificadores 5.

- 50 Durante una etapa 104, el dispositivo de medición 6 determina la velocidad de rotación de la pala 20 a partir de una y/u otra de las tensiones medidas. Como se describirá en lo que sigue, la velocidad de rotación de la pala 20 se deduce de la duración de una vuelta del imán en torno al eje de rotación, siendo determinada esta duración mediante las variaciones de tensión medidas.

Durante una etapa 104, el dispositivo 6 calcula la velocidad de vibración axial experimentada por la cabeza de la pala a partir de las dos tensiones eléctricas medidas.

Los efectos electromagnéticos del imán 3 durante las dos fases antedichas se describen a continuación con más detalle.

Efecto electromagnético del imán 3 cuando se encuentra enfrente de la parte central 40

- 5 En relación con la figura 4, se define con carácter preliminar un sistema de referencia fijo R asociado con el cárter 1 y un sistema de referencia móvil R' asociado con el imán 3.

El sistema de referencia fijo R está definido por un centro O, el eje z de rotación de la rueda 2 de álabes, y los ejes x e y, que definen, perpendicularmente al eje motor, el plano en el que el imán 3 se mueve.

- 10 El sistema de referencia R' móvil es definido por un centro O' representativo de la posición del imán 3, un eje z' paralelo al eje z, un eje x' que se extiende en la recta OO', y un eje por el que el sistema de referencia R' es un triedro directo. El sistema de referencia móvil R' forma un ángulo θ con respecto al sistema de referencia fijo R.

De manera general, las leyes de cambio entre sistemas de referencia R y R' de un punto M, en el sistema de referencia R' determinan la relación siguiente:

$$\vec{V}_{M/R} = \vec{V}_{O'/R} + \vec{V}_{M/R'}$$

- 15 Con respecto a la figura 5, se considera M un punto de la parte central 40 del primer conductor 4. Se puede entonces establecer la igualdad:

$$\vec{V}_{O'/R} = -\vec{V}_{M/R'}$$

- 20 Esta relación muestra que, de manera equivalente, el imán 3 en la cabeza de la pala 20 se desplaza hacia la parte central 40 fija en el sistema de referencia fijo o que la parte central 40 se desplaza hacia el imán 3 fijo en el sistema de referencia móvil.

Un electrón de la parte central 40, inmóvil en el sistema de referencia fijo R, tendría una velocidad aparente en el sistema de referencia giratorio R' representada por el vector $\vec{V}_{M/R'}$, es decir, la velocidad que tendría un punto del sistema de referencia giratorio en el sistema de referencia fijo a la distancia $r + e$, designando e el entrehierro entre el imán 3 y la parte central 40, y r la distancia OO'.

- 25 En el caso en que el punto M se encontrase exactamente en el eje O'x' del imán 3, la resultante de la fuerza de Lorentz FI ejercida sobre el electrón tendría la orientación que muestra la figura 5.

- 30 Se puede considerar el dispositivo en el plano O'x'z y el campo B con solo componentes x', z. La velocidad de desplazamiento del electrón en el sistema de referencia giratorio tendría un punto fijo en el sistema de referencia giratorio a la distancia $r + e$, teniendo en cuenta el radio r del álabe y el entrehierro e entre el imán 3 y la abscisa en el sistema de referencia giratorio del punto M. Puede entonces expresarse el campo electromotor de la manera siguiente:

$$\vec{E}_M = \vec{V}_{M/R'} \times \vec{B} = \begin{vmatrix} 0 & B_{x'} & 0 \\ (r+e)\theta & B_{y'} & 0 \\ 0 & B_{z'} & -(r+e)\theta B_{x'} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} (r+e)\theta B_{z'} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ -(r+e)\theta B_{x'} & 0 & 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} E_{x'} \\ E_{y'} \\ E_{z'} \end{vmatrix}$$

Cuando el imán 3 es sometido a las vibraciones de la pala 20, el campo electromotor así generado por el movimiento vibratorio de la pala 20 es:

35
$$\vec{E}_M = \vec{V} \times \vec{B} = \begin{vmatrix} v_{vib_x} & B_{x'} & 0 \\ (r+e)\theta + v_{vib_y} & B_{y'} & 0 \\ v_{vib_z} & B_{z'} & -(r+e)\theta B_{x'} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} (r+e)\theta B_{z'} + v_{vib_y} B_{z'} - v_{vib_z} B_{y'} \\ v_{vib_z} B_{x'} - v_{vib_x} B_{z'} \\ v_{vib_x} B_{y'} - (r+e)\theta B_{x'} - v_{vib_y} B_{x'} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} E_{Mx'} \\ E_{My'} \\ E_{Mz'} \end{vmatrix}$$

siendo:

$$\vec{V}_{M/R'} + \vec{V}_{M/R'} = \vec{V}$$

Una corriente inducida en la parte central 40 es medible cuando el campo electromagnético esté orientado en la dirección de la componente y, es decir, en el eje del conductor. Una componente medible sería:

$$\vec{E}_{M_{\text{útil}}} = (V_{\text{vib}_z} \cdot B_{x'} - V_{\text{vib}_x} \cdot B_{z'}) e'_y$$

Por otro lado, si el imán 3 está contenido en el plano de la parte central 40, esta componente se expresaría del modo siguiente:

5
$$\vec{E}_{M_{\text{útil}}} = (V_{\text{vib}_z} \cdot B_{x'}) e'_y$$

En consecuencia, en el caso en que el imán 3 esté en el plano de la parte central 40, solo un comportamiento vibratorio en la dirección del eje z (eje de rotación) daría lugar a corrientes inducidas medibles. Sin actividad vibratoria, por tanto, no habría señal medible.

10 La tensión instantánea U_1 medida en los terminales del conductor eléctrico 4 cuando un segmento AB se encuentra en el campo de influencia del imán 3 se expresa de la forma siguiente:

$$U_1 = \int_A^B E_m \cdot d\vec{l} = \int_A^B V_{\text{vib}_z} B_{x'} e_{y'} \cdot d\vec{l} = V_{\text{vib}_z} B_{x'} l_{AB}$$

siendo l_{AB} la longitud del segmento AB sometido a la influencia del imán 3, $B_{x'}$ la componente radial del campo magnético generado por el imán 3, y V_{vib_z} la componente de velocidad vibratoria del imán 3 en la dirección del eje z' .

15 *Efecto electromagnético del imán 3 cuando se encuentra enfrente de la abertura de espira*

El campo magnético del imán 3 no produce efecto en el conductor eléctrico 4 cuando el imán 3 está enfrente de la abertura de espira 46; pero la parte central 70 del segundo conductor eléctrico 7 penetra en este campo magnético B y genera la tensión U_2 , que se expresa mediante la fórmula siguiente:

$$U_2 = \int_C^D E_m \cdot d\vec{l} = \int_C^D V_{\text{rot}} B_{x'} e_{x'} \cdot d\vec{l} = V_{\text{rot}} B_{x'} l_{CD}$$

20 siendo l_{CD} la longitud del segmento de la parte central 70 sometido al efecto del imán, $B_{x'}$ la componente radial del campo magnético generado por el imán 3, y V_{rot} la velocidad de rotación del imán 3.

Determinación de la velocidad de rotación de la pala

25 El movimiento que genera la tensión U_2 en el conductor eléctrico correspondiente 7 consiste en la rotación de la rueda 2 de álabes en torno a su eje.

30 La velocidad de rotación V_{rot} del imán 3 solidario de la cabeza 21 de la pala 20 es determinada durante la etapa 104 mediante el dispositivo de medición 6, que de manera continua y durante un tiempo predeterminado capta en los terminales del segundo conductor una señal temporal de tensión U_2 que comprende una pluralidad de máximos de tensión que corresponden, cada uno, al paso del imán frente a la abertura de espira 46 durante una vuelta de pala respectiva.

El tiempo que transcurre entre dos máximos sucesivos captados representa, pues, el tiempo que dura un giro de pala; la velocidad de rotación del imán 3 puede entonces ser calculada por el dispositivo 6 a partir del tiempo que transcurre entre dos máximos (o de la media aritmética de tales tiempos) y de la posición radial OO' del imán 3 en torno al eje de rotación de la rueda de álabes (figura 4).

35 *Cálculo de la velocidad de vibración axial de la pala*

Al combinar las relaciones definidas en lo que antecede se obtiene la relación entre tensiones eléctricas U_1 y U_2

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{V_{\text{vib}_z} B_{x'} l_{AB}}{V_{\text{rot}} B_{x'} l_{CD}}$$

Si el campo magnético generado por el imán es isótropo alrededor de su eje, las longitudes de espira sometidas al efecto del imán serán iguales ($l_{AB}=l_{CD}$). Se obtiene entonces la relación

40
$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{V_{\text{vib}_z}}{V_{\text{rot}}}$$

Durante la etapa 104 es calculada la componente axial de la velocidad de vibración experimentada por el imán 3 (y, por tanto, por la pala 20) merced a la combinación de las relaciones que definen las tensiones U_1 y U_2 , de acuerdo con la fórmula

$$5 \quad V_{vib_z'} = V_{rot} \cdot \frac{U_1}{U_2}$$

De manera ventajosa, esta ecuación permite evitar mediciones de campo magnético en los conductores eléctricos 4 y 7 (al ser hechas desaparecer en la ecuación)

Por otro lado, este proceso adicional permite obtener informaciones cuantitativas relacionadas con las vibraciones de la pala, y no solo cuantitativas.

- 10 De manera más precisa, pueden asociarse niveles de velocidades de vibración con frecuencias de resonancias mostradas por diagramas de Campbell realizados a partir de señales de tensiones medidas en los terminales del primer conductor eléctrico, sin necesidad de medir la intensidad del campo magnético en la espira.

- 15 Cuando la pala es excitada mediante una graduación de motor ($n \times$ velocidad de rotación, siendo n un número entero) la tensión U_1 aumenta. La disposición propuesta permite transformar la información de tensión en velocidad de vibración cuando la pala es excitada.

Materiales

La parte central 40, 70 de los conductores eléctricos puede ser posicionada directamente en la superficie interna 10 del cárter 1, enfrente de la rueda 2 de álabes.

- 20 Alternativamente, la parte central 40, 70 de los conductores puede ser posicionada en el interior del cárter 1, pero garantizando que toda parte de material del cárter 1 situada entre cada parte central 40, 70 y el imán 3 permita una buena transmisión del campo magnético generado por el imán 3 a la parte central 40, 70. Dicha parte de material ha de hacerse de un material paramagnético o diamagnético, al presentar estos materiales valores de permeabilidad magnética próximos a 1. Por lo tanto, el flujo magnético 3 sería modificado muy poco de ese modo, por lo que el flujo magnético generado por el imán 3 puede ser aprovechado en su totalidad para realizar las mediciones.

- 25 A modo de ejemplo, cada conductor eléctrico 4, 7 puede ser empotrado total o parcialmente en una capa desgastable situada en la superficie interna 10 del cárter 1, enfrente de la rueda 2 de álabes, siendo hecha la capa desgastable de tal material paramagnético o diamagnético.

El imán 3 puede estar hecho de aluminio-níquel-cobalto (AlNiCo) con un punto de Curie entre 800 y 850°C (siendo el punto de Curie la temperatura a la que el material pierde su imantación espontánea).

- 30 El amplificador 5 puede ser del tipo de corriente constante, que de manera ventajosa permita aplicar ganancias de hasta 3000. Resulta así posible amplificar la tensión en los terminales del conductor eléctrico 4 para obtener una tensión medible del orden de un milivoltio.

El conjunto E para turbomáquina descrito es aplicable a cualquier agrupación de álabes en rotación en una estructura fija asimilable a un cárter: ruedas axiales, rodetes centrífugos, turbinas de alta presión, turbinas libres, etc.

- 35 Una turbomáquina que comprenda tal conjunto E puede ser cargada en toda clase de vehículo, particularmente en una aeronave.

REIVINDICACIONES

1. Conjunto (E) para turbomáquina, comprendiendo el conjunto (E) un cárter (1) y una rueda (2) de álabes móvil en rotación en el cárter (1), comprendiendo la rueda (2) de álabes al menos una pala (20) que presenta una cabeza (21) enfrentada con el cárter (1), comprendiendo la cabeza (21) un imán (3) y comprendiendo el cárter (1) un primero y un segundo conductores eléctricos (4, 7), estando adaptado cada conductor eléctrico para generar entre sus terminales una tensión eléctrica inducida por el imán (3) de la cabeza (21) enfrentada, representativa de vibraciones experimentadas por la cabeza (21) de la pala (20) durante la rotación de la rueda (2) de álabes, comprendiendo el primer conductor eléctrico (4) una primera parte central (40) que se extiende en torno al eje de rotación (z) de la rueda (2) de álabes, caracterizado por que el primer conductor eléctrico (4) comprende dos extremos (42, 42') enfrentados y el segundo conductor eléctrico (7) comprende una segunda parte central (70) que atraviesa un espacio (46) que presenta la primera parte central (40) entre sus dos extremos (42, 42').
2. Conjunto (E) según la reivindicación 1, en el que la primera parte central (40) se extiende en el plano de desplazamiento del imán (3) en torno al eje de rotación (z) de la rueda (2) de álabes, y la segunda parte central (70) se extiende ortogonalmente al plano de desplazamiento.
3. Conjunto (E) según la reivindicación 2, en el que la primera parte central (40) forma parte de un círculo centrado en un punto del eje de rotación (z) de la rueda (2) de álabes, y la segunda parte central (70) atraviesa el plano de desplazamiento por un punto de dicho círculo.
4. Conjunto (E) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el imán (3) está adaptado para generar un campo magnético en una dirección radial con respecto al eje de rotación (z) de la rueda (2) de álabes, siendo isótropo en torno al eje radial el campo magnético generado.
5. Conjunto (E) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, que comprende además un amplificador (5) de tensión conectado con los terminales de cada conductor eléctrico.
6. Conjunto (E) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que los dos conductores eléctricos (4, 7) están empotrados, al menos parcialmente, en una capa desgastable situada en una superficie interna (10) del cárter (1) enfrentada con la rueda (2) de álabes, estando hecha la capa desgastable de un material paramagnético o diamagnético.
7. Procedimiento de medición de vibraciones de una pala (20) de un conjunto (E) para turbomáquina según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende las etapas siguientes:
- hacer rotar (101) la rueda (2) de álabes en el cárter (1),
 - medir (103) en los terminales de cada uno de los conductores eléctricos (4, 7) una tensión eléctrica respectiva inducida por el imán (3) previsto en la cabeza (21) de la pala (20) enfrentada con el cárter (1),
 - determinar (104) la velocidad del imán (3),
 - calcular (105) una velocidad de vibración axial experimentada por la cabeza (21) de la pala (20) a partir de las dos tensiones eléctricas medidas y la velocidad del imán (3) determinada.
8. Procedimiento de medición según la reivindicación 7, en el que la determinación (104) de la velocidad del imán (3) comprende las subetapas siguientes:
- captar en los terminales del segundo conductor eléctrico (7) una señal temporal de tensión que presente al menos dos máximos sucesivos, representando cada máximo el paso del imán (3) delante del segundo conductor eléctrico (7) durante una vuelta respectiva de la cabeza (21) en torno al eje de rotación (z) de la rueda (2) de álabes, y
 - calcular la velocidad del imán (3) a partir de la posición radial del imán (3) con respecto al eje de rotación (z) de la rueda (2) de álabes y del tiempo que transcurre entre máximos.
9. Procedimiento de medición según cualquiera de las reivindicaciones 7 u 8, por el que la velocidad de vibración es calculada (105) multiplicando la velocidad del imán (3) determinada mediante la relación entre la tensión medida en los terminales del primer conductor eléctrico (4) y la tensión medida en los terminales del segundo conductor eléctrico (7).
10. Procedimiento de medición según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, que comprende además una etapa de amplificación (102) de una y/u otra de las tensiones eléctricas inducidas, realizada antes de la etapa de medición.

FIG. 1

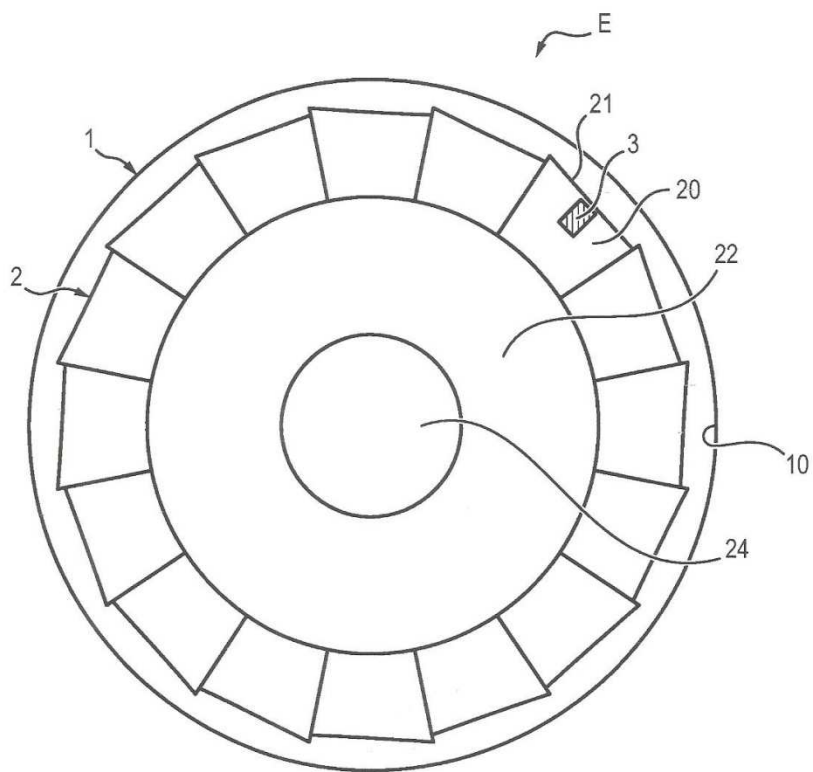


FIG. 2a

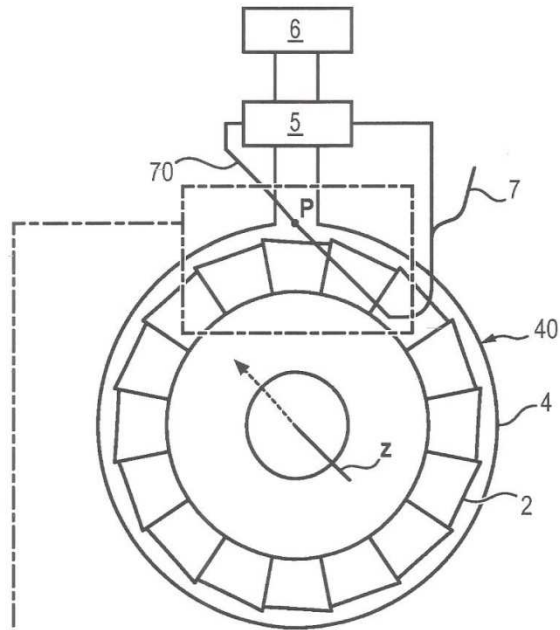


FIG. 2b

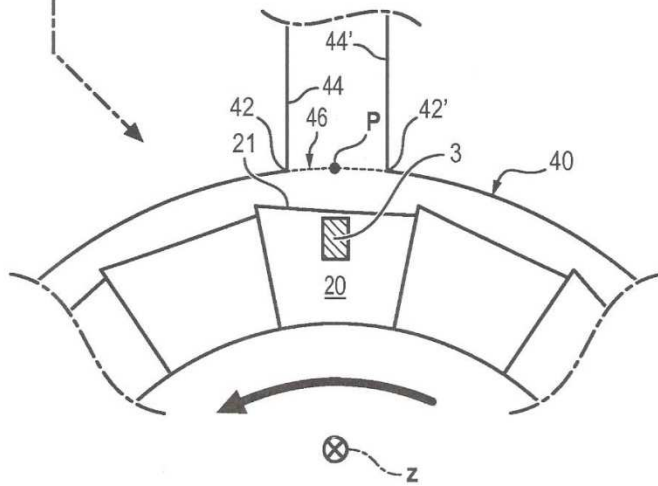


FIG. 3

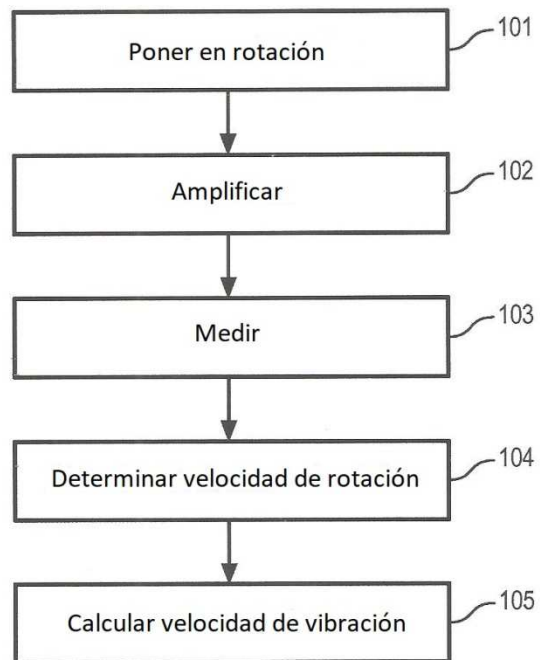


FIG. 4

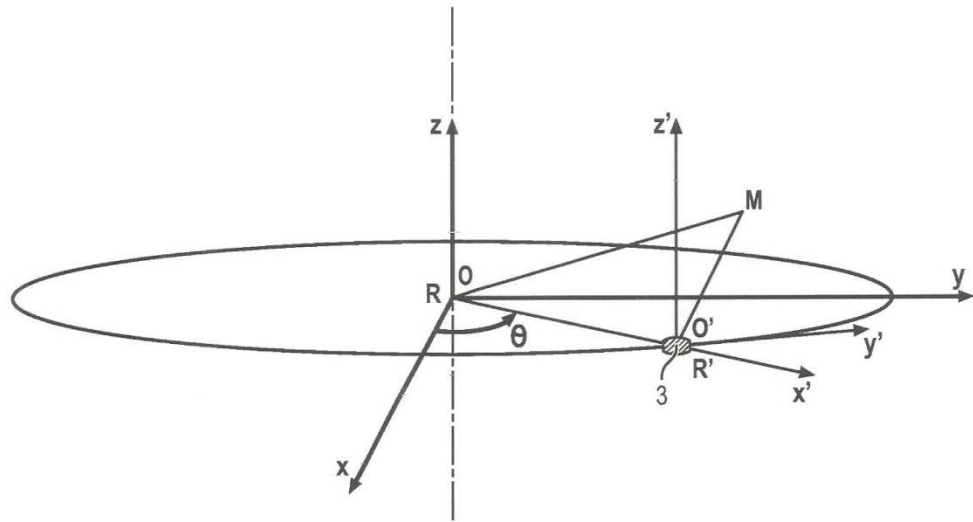


FIG. 5

