

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 586 468**

51 Int. Cl.:

F03D 17/00 (2006.01)

F03D 7/04 (2006.01)

G01L 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.08.2010** **E 10008969 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.05.2016** **EP 2290235**

54 Título: **Dispositivo y método para detectar la carga de aspas de rotor pivotantes**

30 Prioridad:

28.08.2009 DE 102009039030

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

14.10.2016

73 Titular/es:

PRÜFTECHNIK DIETER BUSCH AG (100.0%)
Oskar-Messter-Strasse 19-21
85737 Ismaning

72 Inventor/es:

LÖSL, JOHANN y
BECKER, EDWIN

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 586 468 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

Dispositivo y método para detectar la carga de aspas de rotor pivotantes

5 Campo técnico

La invención se refiere a un dispositivo y a un método para detectar la carga de aspas de rotor cuando estas últimas están suspendidas en una disposición de cojinete giratorio. Estas aspas de rotor pivotantes se usan en instalaciones de energía eólica y también en helicópteros.

10 Técnica anterior

La solicitud de patente europea EP 2 075 561 A2 describe un método y un dispositivo con los que se miden las cargas en aspas de rotor. En la misma se usan detectores de proximidad o galgas extensiométricas. La unión de estos detectores al eje principal o a su proximidad, o junto a los cojinetes, resulta preferible para ajustar el ángulo de las aspas de rotor. Esta solicitud se refiere al problema de dos sistemas de coordenadas para la medición haciendo referencia a la góndola de una instalación de energía eólica y haciendo referencia al cubo del rotor.

La publicación de solicitud de patente internacional WO 2009/095025 A1 da a conocer medir la carga de las aspas de rotor usando detectores FBG en las aspas de rotor.

La solicitud de patente alemana de titularidad común DE 10 2008 061 553.6, de uno de los presentes inventores, se refiere a un dispositivo con el que es posible determinar la deformación de un anillo de cojinete con un detector de fibra óptica. WO 2009/097867 A1 también muestra un dispositivo para controlar las cargas y la vibración en un cojinete de un aspa de turbina eólica.

Por lo tanto, la medición directa de la carga de las aspas de rotor está asociada a problemas debidos a que las galgas extensiométricas no resultan fiables o a que, si las mismas están hechas de fibra óptica, son muy caras. La medición directa de la carga de las aspas de rotor debería llevarse a cabo distribuida a lo largo de la longitud del aspa de rotor; esto es difícil con las extensiones actuales de las aspas de rotor, que superan los 50 m. En el caso de las aspas de rotor pivotantes existe el problema adicional de que el suministro de energía a los detectores y la emisión de sus señales a la unidad de control, montada normalmente en la góndola de las instalaciones de energía eólica, debe llevarse a cabo de manera inalámbrica o con anillos colectores mediante dos articulaciones giratorias, de forma específica, el cojinete del aspa de rotor y el cojinete principal de la instalación de energía eólica: esto resulta complejo.

Resumen de la invención

Esta invención evita estos y otros problemas en la medición de la carga de las aspas de rotor mediante la medición de una cantidad directamente influenciada por la carga del aspa de rotor, de forma específica, mediante la medición de la deformación de un cojinete o de una parte de un cojinete, tal como un anillo de cojinete para el giro del aspa de rotor a efectos de ajustar su paso. En este caso, la deformación está definida no solamente como el pandeo del anillo de cojinete, sino que también puede consistir en una desalineación en la que un anillo de cojinete se desplaza a una nueva posición relativa, por ejemplo, debido a su inclinación o debido a una desalineación de cuerpos giratorios. Esta deformación generalmente conocida puede medirse de manera especialmente fácil y económicamente con detectores de proximidad. De forma alternativa, también es posible detectar la deformación mediante detectores de fibra óptica.

Una ventaja especial de la invención consiste en que la carga a detectar en el aspa de rotor no se determina en la propia aspa de rotor, tal como sucede en la solicitud EP 2 075 561 A2, sino en la proximidad del cubo de rotor o en el propio cubo de rotor. No es necesario salvar distancias de más de 10 m en el aspa de rotor o transmitir señales inalámbricamente o a través de anillos colectores del aspa de rotor al cubo o a la góndola de la instalación de energía eólica.

Un dispositivo de evaluación electrónico establece la relación entre la deformación del anillo de cojinete y la carga del aspa de rotor. Este dispositivo de evaluación electrónico puede estar integrado en otros controles electrónicos, tales como el control del ajuste del aspa de rotor, montado con frecuencia en el cubo de rotor de la instalación de energía eólica, o el control de la totalidad de la instalación de energía eólica en la góndola.

En una realización ventajosa de la invención, se incorpora de forma adicional un inclinómetro unidimensional o multidimensional en el dispositivo de medición. Se detecta la posición angular del cubo de rotor en la dirección de giro a través de este inclinómetro. Si el inclinómetro también detecta una inclinación de la dirección que es axial haciendo referencia al giro del cubo de rotor, también se detecta la inclinación de la góndola de la instalación de energía eólica.

Con este dispositivo de medición es posible detectar cargas aerodinámicas en el aspa de rotor y también cargas mecánicas provocadas, por ejemplo, por desequilibrios. Estas cargas pueden usarse posteriormente en la unidad de evaluación para intervenir en el control de la instalación de energía eólica o en el ajuste del giro de las aspas de rotor o en el ajuste de partes de las aspas de rotor. También es posible obtener el equilibrio dinámico de las aspas de rotor individuales, tal como se describe en la publicación de solicitud de patente internacional WO 2009/033472 A2.

En otra versión preferida es posible reconocer cambios estructurales permanentes del aspa de rotor. Estos cambios estructurales pueden ser roturas o exfoliaciones. Por ejemplo, si parte del aspa de rotor en el filo frontal se separa parcialmente, esta parte encabezará la parte restante del aspa de rotor después de pasar la posición central superior. Cuando el aspa de rotor está en la parte inferior de su giro existirá un instante en el que la parte que se ha separado del filo frontal del aspa de rotor impacte contra el resto del aspa de rotor. A la inversa, si una parte en la parte posterior del aspa de rotor se separa parcialmente, se produce un impacto de la parte que sigue al resto del aspa de rotor en el resto del aspa de rotor después de pasar la posición central superior, aunque en la parte superior de su giro. Este cambio de carga del aspa de rotor se manifiesta en la deformación del anillo de cojinete del aspa de rotor en forma de irregularidades en la característica de deformación a lo largo del tiempo. Por ejemplo, si se detecta la posición angular del aspa de rotor al mismo tiempo, por ejemplo, mediante un inclinómetro, es posible determinar la ubicación del daño y/o el tipo de daño.

La invención se describe de forma más detallada a continuación, haciendo referencia a las figuras de los dibujos que se acompañan.

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 es una vista en perspectiva de un cubo de rotor de una instalación de energía eólica diseñado para alojar tres aspas de rotor y en el que se implementan el dispositivo y el método de la invención.

La Figura 2 es una vista en sección de una parte de un cubo de rotor con el pie de un aspa de rotor y una parte de la góndola a la que está conectado el cubo.

Descripción de las realizaciones

La Figura 1 muestra un cubo 1 de rotor de una instalación de energía eólica diseñado, en este caso, para alojar tres aspas de rotor. Las aspas de rotor se montan de forma pivotante en unos anillos 2a, 2b de cojinete exteriores y en unos anillos 3a, 3b de cojinete interiores (no mostrándose el tercer anillo de cojinete). Es posible cambiar la posición angular de las aspas de rotor mediante una transmisión 7. La conexión a los engranajes en la góndola de la instalación de energía eólica se lleva a cabo a través del cojinete principal 8.

El anillo interior 3a se controla usando dos detectores 5, 6 de proximidad. Estos detectores de proximidad están unidos de forma segura al cubo 1 de rotor mediante dispositivos de retención (no mostrados). Los detectores de proximidad detectan la deformación del anillo 3a de cojinete. Estos detectores 5, 6 de proximidad pueden ser detectores inductivos. En este caso, el detector 5 mide la deformación en la dirección radial con respecto al eje de giro del cojinete. En cambio, el detector 6 mide la deformación en la dirección axial con respecto al eje de giro del cojinete. Estos detectores de proximidad están conectados mediante cables a una unidad de evaluación (no mostrada en la Fig. 1, indicada con el número de referencia 17 en la Fig. 2). Un segundo par de detectores en el mismo anillo 3a de cojinete pueden llevar a cabo mediciones de forma útil al estar montados en otra posición periférica. De forma específica, es posible medir la deformación del anillo de cojinete en las dos dimensiones del plano radial del cojinete con un segundo detector unido radialmente (no mostrado).

La unidad de evaluación (no mostrada en la Fig. 1, indicada con el número de referencia 17 en la Fig. 2), que se muestra montada en el aspa de rotor en la Fig. 2, también puede montarse en el cubo 1 de rotor. La misma también puede ser un componente de una unidad de control para ajustar el ángulo de giro de las aspas de rotor. En una realización adicional, la unidad de evaluación puede estar montada en la góndola de la instalación de energía eólica. Incluso aunque la unidad de evaluación esté montada en la góndola, la misma puede ser un componente de una unidad de control para la instalación de energía eólica. La unidad de evaluación puede detectar y procesar adicionalmente los resultados de medición de la deformación de los anillos 3a, 3b de cojinete. En este procesamiento adicional es posible determinar la carga del aspa de rotor. En este caso, es posible determinar las cargas aerodinámicas que provocan la deformación del aspa de rotor. Estas cargas aerodinámicas se crean, por ejemplo, en un estado de estancamiento frente a la torre de la instalación de energía eólica. También es posible determinar de esta manera cargas mecánicas, por ejemplo, debidas a desequilibrios mecánicos.

Debido a que la unidad de evaluación detecta la deformación de los anillos de cojinete, que también incluye desalineaciones o inclinación, el control del cojinete, del estado del cojinete y del juego del cojinete es posible en este caso exactamente de la misma manera. Por lo tanto existe una relación con el método de control de estado habitual en el control de cojinetes.

Por ejemplo, un detector 4 de fibra óptica está unido periféricamente al segundo anillo interior 3b; el mismo detecta la deformación del anillo 3b de cojinete y está conectado a una unidad de evaluación en el cubo 1 de rotor o en la góndola. Estos detectores de fibra óptica permiten determinar la deformación del anillo de cojinete en la dirección axial y también en la dirección radial con respecto al eje de giro del cojinete. En una configuración ventajosa, estos detectores de fibra óptica pueden estar realizados como detectores FBG (rejilla de Bragg en fibra (Fibre Bragg Grating)). Estas rejillas de Bragg son zonas que se han introducido en las fibras de vidrio con un índice de refracción alterado. Es posible reconocer en las transiciones entre zonas con un índice de refracción diferente si existe una deformación de las fibras. Dependiendo de la distribución de estas transiciones entre zonas con un índice de refracción diferente, es posible medir la deformación de las fibras, con una resolución en lo que respecta a la ubicación.

A título de ejemplo, en este caso, se muestran dos técnicas diferentes de medición de la deformación de anillos de cojinete. No obstante, en la práctica, lo más probable es que se use una única técnica en una máquina para todos los anillos de cojinete de las aspas de rotor ajustables. Esto significa que, para una instalación determinada, todos los cojinetes estarán controlados mediante detectores inductivos en su deformación o todos los cojinetes estarán equipados con detectores FBG. Resulta evidente que, del mismo modo que los anillos interiores, los anillos exteriores de las articulaciones giratorias pueden estar equipados con detectores según la invención.

En una realización ilustrativa ventajosa, la unidad de evaluación montada en el cubo de rotor contiene un inclinómetro o está conectada a un inclinómetro. Este inclinómetro detecta la posición angular de giro del cubo 1 de rotor haciendo referencia a la gravitación terrestre. Por lo tanto, por ejemplo, es posible detectar si un aspa de rotor está orientada verticalmente hacia abajo y, por lo tanto, está situada en un estado de estancamiento frente a la torre de la instalación de energía eólica. Además, un inclinómetro multidimensional también puede determinar la posición angular en la dirección axial del cubo 1 de rotor. El inclinómetro también puede montarse en la proximidad de los detectores de deformación de los anillos de cojinete.

El resultado de la medición de la deformación y la carga determinadas del aspa de rotor se usa de manera sensible como parámetros a tener en cuenta en las unidades de control de la instalación de energía eólica. Esta unidad de control es, por ejemplo, el control de la posición angular de giro del aspa de rotor. Otra posibilidad consiste en usar la carga determinada del aspa de rotor como un parámetro para el control para ajustar las partes activas aerodinámicamente de las aspas de rotor. También es posible cambiar dinámicamente pesos de equilibrio mediante la carga establecida del aspa de rotor, por ejemplo, bombeando fluidos en las aspas de rotor, tal como se describe en la publicación de solicitud de patente internacional WO 2009/033472 A2.

La Figura 2 muestra una vista más detallada de cómo es posible llevar a cabo esta medición de la deformación y la carga del aspa de rotor.

La determinación de la deformación y la carga del aspa de rotor se lleva a cabo comprobando la deformación del anillo de cojinete. Si, por ejemplo, solamente el aspa 11 de rotor situada en la posición central superior de su giro se ve afectada por una racha de viento repentina, esta aspa de rotor será empujada de repente en la dirección de la longitud de la góndola 14 hacia la parte posterior de la góndola 14, en alejamiento con respecto al cubo giratorio 1. Si esta aspa 11 de rotor está conectada al anillo 3a de cojinete interior, el movimiento del aspa provocado por dicha racha de viento repentina provocará un cambio de la posición del anillo 3a de cojinete interior de esta aspa específica y también una flexión hacia arriba del lado de barlovento de dicho anillo. El anillo 2a de cojinete exterior está unido de forma fija al cubo giratorio 1 de la instalación de energía eólica. La Fig. 2 muestra también una vista en sección esquemática de unos rodillos 21. Un detector 6a que mide la distancia al anillo 3a de cojinete interior a lo largo de la dirección del aspa de rotor, montado en paralelo con respecto al detector 6 de la Fig. 1, aunque situado hacia la punta de barlovento del cubo giratorio 1, detectará un aumento considerable de la distancia debido a que el pie 12 del aspa 11 de rotor conectado al anillo 3a de cojinete interior se elevará en su lado frontal de barlovento separándose del anillo de cojinete exterior y el anillo 3a se doblará en esta dirección. Este aumento de la distancia es provocado por el aumento repentino de la carga. El detector 6 situado a 90 grados del detector 6a registrará solamente cambios pequeños, mientras que el detector 5, asumiendo que el anillo en su conjunto también se alargará a lo largo de la dirección del viento, registrará una disminución de la distancia al anillo 3a, ya que el diámetro del anillo disminuirá. Debido al alargamiento del anillo 3a en la dirección del viento, el detector 5a registrará un aumento de distancia, del mismo modo que el detector 6a.

Este aumento en la distancia detectado por el detector 6a es registrado cuando la carga añadida por la racha de viento repentina es uniforme a lo largo de la longitud y la anchura del aspa. No obstante, normalmente, la distribución de las fuerzas del viento en el área del aspa no es uniforme, sino que es más compleja, y el cambio de posición del pie 12 del aspa de rotor y del anillo 3a de cojinete interior que lo conecta al cubo giratorio también será más complejo que lo descrito anteriormente. Si se ha llevado a cabo una simulación numérica para este tipo específico de aspa de rotor en conexión con este cojinete pivotante específico o si la reacción del aspa de rotor y del cojinete correspondiente a diferentes distribuciones de carga de viento se ha comprobado experimentalmente, la unidad 17 de evaluación electrónica puede realizar un cálculo del estado de carga real del aspa a partir de la

deformación medida del anillo de cojinete.

Los ensayos han demostrado que, mediante la medición de la deformación del anillo de cojinete con la torsión de un aspa de rotor, es posible determinar, p. ej., las frecuencias naturales de vibración de un aspa de rotor. Diferentes cargas de viento o diferentes tipos de daños (roturas, exfoliación) provocarán cambios en la vibración del aspa de rotor y también cambios en la flexión del anillo de cojinete. Estos cambios y vibraciones pueden ser detectados mediante la invención.

En una configuración ventajosa de la invención, la deformación del aspa de rotor en diversas dimensiones se determina a partir de la carga determinada del aspa de rotor conjuntamente con la posición angular giratoria del cubo de rotor, que es posible determinar con el inclinómetro 18, ya que la medición de la deformación del anillo de cojinete se lleva a cabo de manera multidimensional. Por lo tanto, es posible determinar la forma de deflexión funcional (ODS) de un aspa de rotor sin detectores de alto coste. En este caso, también es posible llevar a cabo mediciones de las frecuencias naturales del aspa de rotor a efectos de análisis modal experimental (EMA).

La Figura 2 muestra también un inclinómetro 18 que está conectado como los detectores 5a y 6a a una unidad 17 de evaluación electrónica. Esta unidad 17 de evaluación electrónica está montada en un soporte 16 en el aspa de rotor y permite transmitir datos de medición inalámbricamente a través de una antena 22 desde el aspa de rotor que puede girar a una antena 23 que transmite estos datos a una unidad 24 de control en la góndola. Por supuesto, la unidad 17 de control también puede estar montada en el cubo giratorio si la misma está conectada mediante anillos colectores o inalámbricamente a los detectores 4, 5, 5a, 6, 6a y puede intercambiar inalámbricamente datos con una unidad de control adicional en la góndola. En esta última configuración con la unidad 17 de control en el cubo giratorio, no es necesario usar un inclinómetro en cada aspa de rotor. Un inclinómetro unido al cubo giratorio será suficiente si las posiciones angulares relativas de las aspas de rotor con respecto a la posición angular de este inclinómetro son conocidas.

Aunque los detectores 5, 5a, 6, 6a mostrados en las Figs. 1 y 2 se muestran como detectores de proximidad inductivos, en una realización preferida, un detector 4 de fibra óptica está unido al lado interior del anillo 3b de cojinete, tal como se muestra en la Fig. 1. Este detector de fibra óptica para controlar la deformación axial y radial de un anillo de cojinete se describe en la publicación de solicitud de patente alemana DE 10 2008 061 553.6. En esta solicitud, se describe que es posible detectar la deformación de un anillo de cojinete en las direcciones axial y radial mediante un único detector conformado como un filamento con múltiples zonas de medición distribuidas a lo largo de su longitud. Por lo tanto, es posible detectar la deformación del anillo de cojinete no solamente en las posiciones dadas por las posiciones de los detectores únicos, como la posición de barlovento en la que están montados los detectores 5a y 6a (Fig. 2), o la dirección en ángulo recto con respecto a la misma en la que están montados los detectores 5 y 6 (Fig. 1). Un detector FBG 4 puede contener un gran número de zonas para la detección de la deformación axial o radial de un anillo 3b de cojinete. El uso de un detector FBG 4 tiene la ventaja de que existe la posibilidad de obtener una zona de detección, p. ej., en la dirección de barlovento o en la dirección en ángulo recto con respecto a la misma. A partir de la anterior descripción, resulta evidente que estas dos áreas del anillo - barlovento y en ángulo respecto con respecto a la misma- presentarán los efectos más grandes. Con un número suficiente de zonas de detección en el detector FBG 4 siempre existirá una zona de detección del detector FBG en estas dos direcciones independiente con respecto al paso del aspa de rotor pivotante.

Por supuesto, cuando más de un aspa de rotor está unida al cubo de rotor, resulta útil determinar la carga de cada aspa de rotor individual mediante detectores de deformación del anillo de cojinete correspondiente, llevándose a cabo la determinación de la carga a partir de la deformación en un dispositivo de evaluación que es común a todas las aspas de rotor. De esta manera, es posible detectar las diferencias entre estas aspas de rotor durante la instalación de las aspas de rotor o poco después. Por lo tanto, es posible controlar el cambio del comportamiento de las aspas de rotor individuales a lo largo del tiempo. Es posible comparar el desarrollo del estado de las aspas de rotor a lo largo del tiempo entre las aspas de una instalación de energía eólica, aunque también entre las aspas de varias instalaciones diferentes.

Los ensayos han demostrado que, mediante la medición de la deformación del anillo de cojinete con la torsión de un aspa de rotor, es posible determinar no solamente la carga de la propia aspa de rotor, sino también la carga de los otros componentes de una instalación de energía eólica, tal como, por ejemplo, los cojinetes principales, el freno o los engranajes. Es posible evaluar fácilmente las frecuencias naturales de estos componentes de la instalación de energía eólica en el anillo de cojinete para el ajuste de giro del aspa de rotor.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo para medir la carga de al menos un aspa de rotor pivotante al menos con una disposición de anillo de cojinete, que comprende:
- 5 al menos un detector que detecta la deformación de un anillo de cojinete de la al menos una disposición de cojinete del aspa de rotor pivotante, y
caracterizado por
un dispositivo de evaluación que determina la carga del aspa de rotor a partir de la deformación del anillo de cojinete detectada por el al menos un detector.
- 10 2. Dispositivo según la reivindicación 1, en el que al menos un detector es al menos dos detectores de proximidad.
3. Dispositivo según la reivindicación 2, en el que los al menos dos detecciones de proximidad detectan la deformación del anillo de cojinete en las direcciones axial y radial con respecto al eje de giro del cojinete.
- 15 4. Dispositivo según la reivindicación 2 o 3, en el que los al menos dos detectores de proximidad detectan la deformación del anillo de cojinete en dos direcciones diferentes del anillo de cojinete que discurren radialmente con respecto al eje de giro del cojinete.
- 20 5. Dispositivo según la reivindicación 1, en el que al menos un detector es un detector de fibra óptica.
6. Dispositivo según la reivindicación 5, en el que el detector de fibra óptica es un detector FBG.
7. Dispositivo según al menos una de las reivindicaciones anteriores, que comprende además al menos un inclinómetro.
- 25 8. Dispositivo según la reivindicación 7, en el que el inclinómetro mide al menos en la dirección axial o en la dirección radial del cubo de rotor.
- 30 9. Método para determinar la carga de un aspa de rotor con un anillo de cojinete, que comprende las etapas de:
detectar la deformación de un anillo de cojinete de la disposición de cojinete del aspa de rotor, y
caracterizado por
determinar la carga del aspa de rotor a partir de la deformación detectada del anillo de cojinete.
- 35 10. Método según la reivindicación 9, en el que se determina la deformación del anillo de cojinete en diversas dimensiones.
- 40 11. Método según la reivindicación 10, en el que se determina la deformación del anillo de cojinete en las direcciones radial y axial con respecto al eje de giro del cojinete.
12. Método según al menos una de las reivindicaciones 9-11, en el que se determina la posición angular de un cubo de rotor conectado al aspa de rotor.
- 45 13. Método según al menos una de las reivindicaciones 9-12, en el que se tiene en cuenta la posición angular del aspa de rotor en la determinación de la carga del aspa de rotor.
14. Método según la reivindicación 12, en el que se tiene en cuenta la posición angular de un cubo de rotor conectado al aspa de rotor en la determinación de la carga del aspa de rotor.
- 50 15. Método según la reivindicación 14, en el que se determina la posición angular de un cubo de rotor al menos en la dirección axial o en la dirección radial del eje de giro del cubo de rotor.
16. Método según la reivindicación 9, en el que se lleva a cabo un ajuste de la posición de giro del aspa de rotor basándose al menos parcialmente en la carga determinada en el aspa de rotor.
- 55 17. Método según la reivindicación 9, en el que se lleva a cabo un ajuste de la posición de partes del aspa de rotor basándose al menos parcialmente en la carga determinada en el aspa de rotor.
- 60 18. Método según la reivindicación 9, en el que se lleva a cabo un ajuste para el equilibrio dinámico del aspa de rotor basándose al menos parcialmente en la carga determinada en el aspa de rotor.

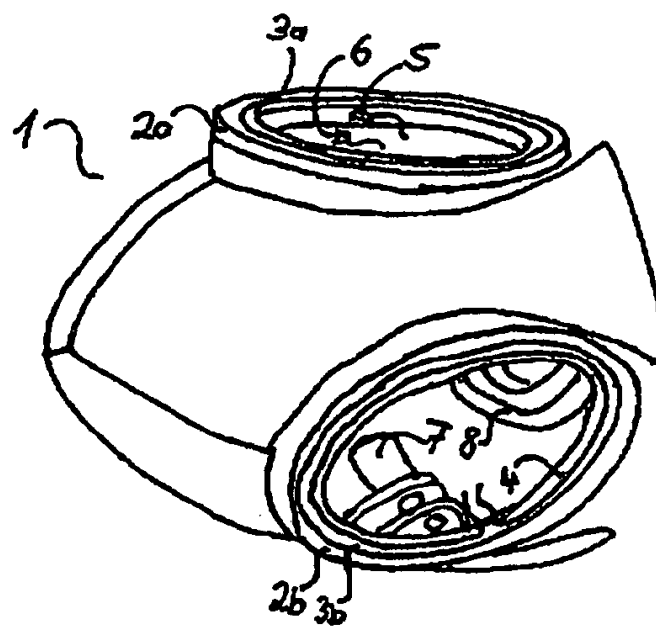


Fig 1

Fig. 2

