

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 665 533**

51 Int. Cl.:

**F03D 7/02**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.10.2013** **E 13187917 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.03.2018** **EP 2860392**

54 Título: **Método para ajustar el ángulo de guiñada de una turbina eólica con respecto a una dirección de viento dada**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**26.04.2018**

73 Titular/es:

**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)  
Werner-von-Siemens-Strasse 1  
80333 München , DE**

72 Inventor/es:

**EGEDAL, PER y  
KROGSGAARD, MADS**

74 Agente/Representante:

**LOZANO GANDIA, José**

**ES 2 665 533 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).

**MÉTODO PARA AJUSTAR EL ÁNGULO DE GUIÑADA DE UNA TURBINA EÓLICA CON RESPECTO A UNA DIRECCIÓN DE VIENTO DADA**

**DESCRIPCIÓN**

5 La invención se refiere a un método para ajustar el ángulo de guiñada de una turbina eólica con respecto a una dirección de viento dada.

10 En el campo de las construcciones de turbina eólica, se conoce que bujes que tienen varias palas de rotor unidas a los mismos se montan de manera rotatoria en la góndola con respecto a un eje horizontal. Enfrente del buje, puede montarse un elemento de giro. La góndola se monta en una construcción de torre de la turbina eólica por medio de un elemento de accionamiento de guiñada. El elemento de accionamiento de guiñada permite una rotación o "realización de la guiñada" de la góndola con respecto a un eje vertical.

15 La salida de energía de una turbina eólica depende esencialmente de la orientación/colocación del buje con respecto a la dirección de viento. Dicho de otro modo, la góndola debe orientarse/colocarse de tal manera que esté orientada directamente hacia el viento. Esta orientación/colocación de la góndola se produce cuando el centro o eje simétrico de la góndola coincide con la dirección de viento. Esta orientación/colocación de la góndola se denomina la dirección de viento cero.

20 Las desviaciones de la orientación/colocación de la góndola con respecto a esta dirección de viento cero se denominan "errores de guiñada". Por tanto, estos errores de guiñada se producen cuando la góndola no está orientada directamente hacia el viento. Errores de guiñada respectivos conllevan una reducción en la salida de energía y eficacia de turbina. Además, habitualmente, los errores de guiñada originan una carga mecánica no uniforme de varios componentes de la turbina eólica que da como resultado un aumento de carga de fatiga.

25 Particularmente, estrategias técnicas conocidas para ajustar el ángulo de guiñada de una turbina eólica con respecto a una dirección de viento dada se basan en simulaciones complicadas y mediciones empíricas de la dirección de viento. En ocasiones, estas estrategias, no son satisfactorias.

30 El documento EP 2 653 721 A1, que se trata de técnica anterior en virtud del Art. 54 (3) CPE, da a conocer un sistema de medición de turbina eólica. El sistema comprende un dispositivo de medición para determinar una presión en varios puntos de medición de presión en la parte frontal de un plano de rotor, un módulo de análisis para generar una señal de control basándose en las mediciones de presión, y medios de salida para emitir la señal de control a un controlador de la turbina eólica.

35 El documento EP 2 267 301 A1 da a conocer una disposición para el control de la guiñada de una turbina eólica que comprende una góndola y un buje. La turbina eólica comprende un canal con al menos una abertura ubicada a una distancia predefinida con respecto al plano de rotor y que se dispone de manera que al menos un componente del viento entrante se guía a través de la abertura y en el canal como un flujo de aire. El canal comprende un dispositivo de medición, que se dispone para medir un parámetro del flujo de aire, al tiempo que pasa a través del canal. El dispositivo de medición se conecta con un controlador, que se dispone para usar el parámetro medido del flujo de aire para detectar un error de ángulo de guiñada entre la dirección del viento entrante y el eje de rotación, mientras que el error de ángulo de guiñada se usa para ajustar el ángulo de guiñada de la góndola.

40 El documento EP 2 017 468 A1 da a conocer un método para el control de la guiñada para una turbina eólica que comprende un rotor con al menos una pala de rotor, definiendo el rotor un eje de rotor y un plano de rotor con respecto al que el eje de rotor es perpendicular. Según el método, el eje de rotor se gira tal como para minimizar el error de ángulo de guiñada entre la dirección de viento ambiental y el eje de rotor, en el que el giro del eje de rotor se realiza basándose en la medición de una velocidad de viento en el plano de rotor en al menos una pala de rotor.

45 El documento EP 2 653 722 A1, que es técnica anterior en virtud del Art. 54 (3) CPE, da a conocer un sensor de detección de error de guiñada que se adapta para montarse en un lado frontal de un buje de una turbina eólica de un tipo de eje horizontal. El sensor de detección de error de guiñada se adapta para medir una presión de inactividad o/y una velocidad de viento en dos posiciones diferentes a lo largo de un plano horizontal del buje.

50 Un objeto de la invención es proporcionar un método mejorado para ajustar el ángulo de guiñada de una turbina eólica con respecto a una dirección de viento dada.

60 Este objeto se logra mediante el método según la reivindicación 1.

65 Según la primera etapa del método, se determina una información de presión de viento de referencia que contiene al menos dos valores de medición de presión de viento de referencia, valores de medición de presión de viento de referencia que muestran una naturaleza periódica relacionada con una rotación del rotor de la turbina eólica. El rotor de la turbina eólica comprende varias palas de rotor unidas a la misma. Habitualmente, las palas de rotor están unidas a un buje de rotor del rotor. Preferiblemente, los al menos dos valores de medición de presión de viento de

referencia se toman enfrente del plano de rotor. Esta primera etapa puede realizarse antes de que se haga funcionar de manera normal la turbina eólica, es decir, la información de presión de viento de referencia puede obtenerse antes del funcionamiento normal de la turbina eólica. La información de presión de viento de referencia puede almacenarse en medios de almacenamiento tales como una tabla de consulta o similares.

5 Según la segunda etapa del método, se determina un desvío de fase de referencia con respecto a un valor de referencia angular a partir de los valores de medición de presión de viento de referencia contenidos en la información de presión de viento de referencia. Es decir, los valores de medición de presión de referencia se procesan de tal manera que se determina un desvío de fase de referencia con respecto a un valor de referencia angular. El procesado de los valores de medición de presión de referencia puede realizarse en una unidad de control usando algoritmos de procesamiento apropiados tales como el algoritmo de Goertzel que se explicará en más detalle a continuación. Generalmente, el valor de referencia angular puede determinarse de manera aleatoria. El desvío de fase de referencia también puede almacenarse en una tabla de consulta o similares.

15 Según la tercera etapa del método, el ángulo de guiñada de la turbina eólica se ajusta de tal manera que el desvío de fase de los valores de medición de presión actuales contenidos en una información de medición de presión actual corresponden al desvío de fase de referencia de los valores de medición de presión de referencia contenidos en la información de presión de referencia. Habitualmente, el ajuste del ángulo de guiñada implica controlar un elemento de accionamiento de guiñada y, por tanto, también puede realizarse en una unidad de control que se comunica con el elemento de accionamiento de guiñada. La unidad de control se adapta para enviar órdenes de control a un controlador de elemento de accionamiento de guiñada. Esta tercera etapa puede realizarse mientras se hace funcionar la turbina eólica de manera normal, es decir, la información de presión de viento actual puede obtenerse durante el funcionamiento normal de la turbina eólica.

25 El método según la invención permite evaluar comparativamente de manera sencilla si la orientación/colocación del rotor coincide con la dirección de viento. Esto también permite evaluar si el rotor está orientado/colocado en la posición de viento cero en la que el eje longitudinal de la góndola se alinea con la dirección de viento de modo que es factible una calibración de viento cero de la turbina eólica.

30 Por tanto, el método según la invención puede usarse para ajustar o controlar la orientación/colocación del rotor de tal manera que siempre esté orientado directamente hacia el viento, optimizando de este modo la salida de energía y reduciendo las pérdidas de entradas, respectivamente. Del mismo modo, la carga mecánica de varios componentes de la turbina eólica tal como particularmente cojinetes puede reducirse, ya que pueden evitarse cargas no uniformes que están relacionadas con errores de guiñada.

35 La primera etapa del método, es decir, determinar una información de presión de viento de referencia que contiene al menos dos valores de medición de presión de viento de referencia, valores de medición de presión de viento de referencia que muestran una naturaleza periódica relacionada con una rotación del rotor, está basada en el conocimiento de que la presión de viento muestra habitualmente un comportamiento bien definido, en que las alteraciones en la presión de viento pueden estar relacionadas con la rotación del rotor, y en que el ángulo de guiñada o error de guiñada de la turbina eólica influye en los valores de medición de presión de viento medidos.

40 Preferiblemente, los valores de medición de presión de viento de referencia se obtienen a partir de una región que coincide con o que precede al plano de rotor, es decir, un plano paralelo enfrente del plano de rotor. El plano de rotor es el plano en el que las palas de rotor rotan. Los valores de medición de presión de viento de referencia pueden originarse a partir de sensores de presión respectivos dotados del elemento de giro o el rotor, particularmente el buje de rotor. Ventajosamente, los sensores de presión están dotados de la región orientada hacia el viento del elemento de giro o el buje de rotor, respectivamente. Los sensores de presión pueden comprender transductores de presión, transmisores de presión, etc. Por tanto, pueden usarse como sensores de presión manómetros de Bourdon, galgas extensiométricas piezorresistivas, o similares.

45 Por tanto, son ventajosas construcciones de un elemento de giro o un buje de rotor con un cuerpo de base con forma cónica o cilíndrica y una cara a barlovento o frontal plana o esencialmente plana, es decir, circular o con forma de disco, ya que los sensores de presión que representan cada uno un punto de medición pueden disponerse en el mismo plano.

50 La naturaleza periódica de los valores de medición de presión de viento de referencia está basada en la rotación periódica del rotor que comprende un elemento de giro o un buje de rotor que están dotados de sensores de presión respectivos.

60 Preferiblemente, un valor de medición de presión de viento de referencia comprende una diferencia de presión entre dos valores de presión obtenidos en diferentes posiciones del elemento de giro o el buje de rotor. Un primer valor de presión debe obtenerse en el centro del elemento de giro o el buje de rotor y un segundo valor de presión debe obtenerse a una determinada distancia desde el punto en el que se obtiene el primer valor de presión. Con esta disposición de puntos de medición para tomar valores de presión respectivos, el primer valor de medición o primer punto de medición permanece (esencialmente) constante durante la rotación del elemento de giro o buje de rotor,

respectivamente. El segundo valor de medición o segundo punto de medición describe una trayectoria circular de recorrido durante la rotación del elemento de giro o buje de rotor, respectivamente. Preferiblemente, el segundo punto de medición se ubica en la superficie a barlovento de elemento de giro o buje de rotor tan lejos del primer punto de medición como sea posible, es decir, el segundo valor de presión se toma tan lejos del primer valor de presión como sea posible. Esta disposición preferida de puntos de medición contribuye a una mejora de la precisión y a la resolución de la medición.

Por tanto, pueden implementarse sensores de presión diferencial que toman mediciones de presión de al menos dos puntos de medición diferentes y que emiten las diferencias de presión entre las mediciones de presión tomadas en estos puntos de medición. Habitualmente, la implementación de tales sensores de presión diferencial es más precisa que el uso de dos sensores de presión absoluta que tienen condiciones de medición diferentes inevitables debido a las tolerancias de fabricación, por ejemplo.

Para una superficie frontal a barlovento de elemento de giro o buje de rotor esencialmente plana o vertical la diferencia en presiones medidas entre puntos de medición primero y segundo respectivos se mantendrá esencialmente constante cuando el elemento de giro o buje de rotor, respectivamente, está orientado directamente hacia el viento. Esto puede visualizarse como una línea recta cuando la diferencia de presión se plasma en forma de gráfica frente a ángulo para una rotación completa (de 0° a 360°) del segundo punto de medición. Esto puede denominarse "diferencia de presión de referencia" para una cara frontal de elemento de giro o buje de rotor plana o vertical.

Para la mayor parte de los diseños de turbina eólica, la góndola está ligeramente inclinada hacia arriba, es decir, el eje de rotación del rotor también está ligeramente inclinado hacia arriba, es decir, aproximadamente 6°, por ejemplo, con respecto a un plano horizontal para proporcionar un juego de seguridad entre la punta de las palas de rotor y la construcción de torre. Para una góndola o rotor de este tipo inclinados hacia arriba, respectivamente, la diferencia en valores de presión medidos entre puntos de medición primero y segundo respectivos oscilará ligeramente si el elemento de giro o buje de rotor, respectivamente, está orientado directamente hacia el viento, ya que la presión en una región exterior más elevada de la superficie a barlovento de elemento de giro o buje de rotor es habitualmente menor que la presión en una región exterior más baja de la superficie a barlovento de elemento de giro o buje de rotor. Un segundo punto de medición respectivo pasa a través de estas zonas de presión ligeramente diferente durante la rotación del rotor.

La oscilación en la diferencia de presión puede visualizarse como una fase de una onda sinusoidal cuando la diferencia de presión se plasma en forma de gráfica frente a ángulo para una rotación completa (desde 0° hasta 360°) del segundo punto de medición. Esta oscilación puede denominarse "oscilación de referencia" para una góndola o rotor inclinados hacia arriba, respectivamente. Cuando la turbina eólica no está orientada directamente hacia el viento, las zonas de presión y por tanto, la diferencia de presión cambiarán.

Como resultado, habitualmente, la presión diferencial periódica está desviada lateralmente de la oscilación de referencia mediante un desvío de fase y verticalmente mediante un cambio de amplitud. El desvío de fase entre esta señal oscilante y la oscilación de referencia dependerá en primer lugar del tamaño o alcance del error de guiñada.

Con el fin de relacionar valores de presión con la rotación del rotor, un segundo punto de medición respectivo puede disponerse en la cara frontal de elemento de giro o buje de rotor de modo que está esencialmente en línea con un eje longitudinal de una pala de rotor particular. Por tanto, siempre que esa pala de rotor particular pasa por su punto más alto el segundo punto de medición también ha completado una revolución completa.

Una medición de posición puede usarse para medir la posición real del rotor, por lo que es factible una identificación de la ubicación de las zonas de presión.

La información proporcionada, es decir, particularmente la información de medición de presión de viento de referencia que se determina preferiblemente determinando valores de medición de presión de viento de referencia para diferentes puntos de medición dispuestos en un plano frontal de la turbina eólica, precediendo o coincidiendo el plano frontal con el plano de rotor de la turbina eólica antes del funcionamiento de la turbina eólica tal como se describió anteriormente, y la referencia angular puede usarse para determinar, es decir, calcular, un desvío de fase de referencia con respecto a un valor de referencia angular.

Por lo tanto, es preferible que la determinación del desvío de fase de referencia a partir de los valores de medición de presión de viento de referencia implique aplicar una transformación de Fourier discreta, preferiblemente un algoritmo de Goertzel, sobre los valores de medición de presión de viento de referencia. De la misma manera, es preferible que la determinación del desvío de fase actual a partir de los valores de medición de presión de viento actuales con respecto a una referencia angular implique aplicar una transformación de Fourier discreta, preferiblemente un algoritmo de Goertzel, sobre los valores de medición de presión de viento actuales.

El uso de un algoritmo tal como el algoritmo de Goertzel es adecuado ya que un algoritmo de este tipo puede determinar un desvío de fase durante una única revolución del elemento de giro. El algoritmo de Goertzel puede

procesar una señal que tiene una única componente de frecuencia tal como los valores de medición de presión de viento actuales o de referencia determinados en las etapas primera y tercera del método según la invención para suministrar una salida compleja que comprende la fase y amplitud de la señal de entrada. La amplitud puede usarse para determinar la velocidad de viento mientras que la fase puede usarse para determinar el desvío de fase o error de guiñada.

El algoritmo de Goertzel es muy eficaz en cuanto a cálculos numéricos, especialmente ya que en este caso solamente se tiene en consideración un único componente de frecuencia. Por tanto, la aplicación del algoritmo de Goertzel es más aplicable que la aplicación de otras técnicas tales como el mínimo cuadrado medio, el mínimo cuadrado recursivo, la transformación de Fourier, etc.

Además, el algoritmo de Goertzel es altamente robusto frente a variaciones de amplitud y se beneficia de ángulos de azimut o referencias angulares puestas a prueba correctamente. Por tanto, se usa un sensor de referencia angular adecuado preciso, preferiblemente un sensor con una resolución de al menos  $10^\circ$ , preferiblemente menos. Por ejemplo, puede usarse un sensor de referencia angular con una resolución de aproximadamente  $1,0^\circ$ .

El desvío de fase de referencia o desvío de fase actual determinados pueden plasmarse en una gráfica frente a error de guiñada medido, estableciéndose el error de guiñada usando los datos de la dirección de viento conocida y la entrada de establecimiento de ángulo conocida al elemento de accionamiento de guiñada. Cada par de valor de desvío de fase y error de guiñada corresponde a un punto en una gráfica de este tipo. Al usar métodos establecidos para la regresión o interpolación, puede determinarse una relación matemática entre desvío de fase y error de guiñada, es decir, el desvío de fase puede expresarse en función del error de guiñada. Esta relación matemática es estática, es decir, solamente necesita estimarse una vez para una turbina eólica o para un tipo específico de turbina eólica, respectivamente.

Según la invención, los valores de medición de presión de referencia se ajustan para crear una curva lineal, por la que el desvío de fase de referencia corresponde al ángulo entre el eje horizontal y una línea ortogonal a la curva lineal que pasa por el origen del sistema de coordenadas de la gráfica. Generalmente, es posible determinar valores de medición de presión respectivos en diferentes errores de guiñada. Además, es posible determinar valores de medición de presión de referencia respectivos a diferentes velocidades de viento.

La invención se refiere además a una turbina eólica que comprende un góndola que se monta de manera rotatoria en una torre, un elemento de accionamiento de guiñada para hacer rotar la góndola con respecto a la torre, un rotor que se monta de manera rotatoria a la góndola, teniendo el rotor un buje de rotor que está dotado de varias palas de rotor y varios sensores de medición de presión de viento adaptados para proporcionar valores de medición de presión de viento, valores de medición de presión de viento que muestran una naturaleza periódica relacionada con una rotación del rotor, y una unidad de control. La unidad de control se adapta para realizar el método tal como se describió anteriormente. El rotor puede comprender un buje de rotor. Un elemento de giro puede montarse en el buje de rotor.

Los anteriores y otros aspectos, características, y ventajas adicionales de la presente invención se entenderán de manera más clara a partir de la siguiente descripción junto con los dibujos adjuntos, en los que:

la figura 1 muestra un dibujo de principio de una turbina eólica según una realización de la invención;

la figura 2 muestra una representación esquemática de una vista en planta de la turbina eólica representada en la figura 1;

la figura 3 muestra una distribución de presión para una primera orientación del buje de rotor de la turbina eólica representada en la figura 1;

la figura 4 muestra una distribución de presión para una segunda orientación del buje de rotor de la turbina eólica representada en la figura 1;

la figura 5 muestra una gráfica de curvas de diferencia de presión para una revolución del buje de orientaciones de rotor de las figuras 3, 4; y

las figuras 6 - 8 muestran diferentes gráficas de la salida a partir de un algoritmo de Goertzel.

La figura 1 muestra un dibujo de principio de una turbina 1 eólica según una realización a modo de ejemplo de la invención. La turbina 1 eólica comprende un buje 2 de rotor que forma parte de un rotor de la turbina 1 eólica. El buje 2 de rotor tiene varias palas 3 de rotor unidas al mismo. El buje 2 de rotor se monta en una góndola 4. La góndola 4 se monta de manera rotatoria en una torre 5 mediante un elemento 6 de accionamiento de guiñada. La turbina 1 eólica comprende además una unidad 7 de control central que se incorpora a modo de ejemplo dentro de la góndola 4.

La unidad 7 de control se adapta para generar una orden de control con el fin de iniciar el elemento 6 de accionamiento de guiñada para ajustar el ángulo de guiñada  $\alpha$  de la turbina 1 eólica, el buje 2 de rotor y la góndola 3, respectivamente. Puede ser necesario un ajuste del ángulo de guiñada  $\alpha$  para corregir la alineación del buje 2 de rotor de modo que esté orientado directamente hacia el viento, es decir, esté alineado de manera precisa con la dirección de viento.

Varios sensores PS1, PS2 de presión están dotados de la superficie a barlovento o cara frontal del buje 2 de rotor. Un sensor de referencia angular (no mostrado) puede suministrar una señal de disparo a los sensores PS1, PS2 de presión a intervalos angulares regulares a medida que el buje 2 de rotor rota. Los sensores PS1, PS2 de presión representan puntos de medición de presión.

La figura 2 muestra una representación esquemática de una vista en planta de la turbina 1 eólica representada en la figura 1. Tal como se mencionó con respecto a la figura 1, la góndola 4 puede hacerse rotar mediante el elemento 6 de accionamiento de guiñada (indicado mediante la línea discontinua) con la intención de hacer que el eje longitudinal L de la góndola 4 y el buje 2 de rotor se alineen con la dirección de viento actual W.

Tal como puede apreciarse, el buje 2 de rotor se orienta/coloca en una posición no ideal con respecto a la dirección de viento W, es decir, el eje longitudinal L de la góndola 4 no está alineado con la dirección de viento actual W de modo que el eje longitudinal L de la góndola 4 no coincide con la dirección de viento W. Por tanto, el buje 2 de rotor se orienta/coloca de tal manera que no está orientado directamente hacia el viento.

El buje 2 de rotor se orienta/coloca de modo que está orientado hacia la dirección de viento W con un determinado desvío angular que se denomina error de guiñada. El desvío o error de guiñada puede derivarse del ángulo de guiñada  $\alpha$  que es superior a cero. El ángulo de guiñada  $\alpha$  es el ángulo entre el eje longitudinal L y la dirección de viento (actual) W.

Debido al error de guiñada, la salida de energía de la turbina 1 eólica es inferior a lo que sería si el buje 2 de rotor estuviera orientado directamente hacia el viento, posición/orientación en la que el ángulo de guiñada  $\alpha$  es cero. Esta posición/orientación del buje 2 de rotor con respecto a la dirección de viento W puede denominarse dirección de viento cero.

Normalmente, los errores de guiñada también dan como resultado la carga inestable de diversos componentes de la turbina 1 eólica. Por ejemplo, los cojinetes de las palas 3 de rotor tal como cojinetes de cabeceo o cojinetes del árbol principal del generador pueden estar sometidos a cargas de fatiga no deseables.

El método según la invención permite ajustar el ángulo de guiñada  $\alpha$  de la turbina 1 eólica o el buje 2 de rotor, respectivamente, de tal manera que el buje 2 de rotor esté orientado o coincida directamente con la dirección de viento W.

El método según la invención comprende las etapas de:

- determinar una información de presión de viento de referencia que contiene al menos dos valores de medición de presión de viento de referencia, valores de medición de presión de viento de referencia que muestran una naturaleza periódica relacionada con una rotación del rotor o buje 2 de rotor, respectivamente;

- determinar un desvío de fase de referencia con respecto a un valor de referencia angular a partir de los valores de medición de presión de viento de referencia contenidos en la información de presión de viento de referencia; y

- ajustar el ángulo de guiñada  $\alpha$  del buje 2 de rotor de tal manera que el desvío de fase de los valores de medición de presión actuales contenidos en una información de medición de presión actual corresponde al desvío de fase de referencia de los valores de medición de presión de referencia contenidos en la información de presión de referencia.

La determinación de una información de presión de viento de referencia respectiva y la determinación de un desvío de fase de referencia con respecto a un valor de referencia angular se explicará con respecto a las figuras 3 - 5.

La figura 3 muestra una distribución de presión para una primera orientación del buje 2 de rotor de la turbina 1 eólica representada en la figura 1. La figura 4 muestra una distribución de presión para una segunda orientación del buje 2 de rotor de la turbina 1 eólica representada en la figura 1, y la figura 5 muestra una gráfica de curvas de presión diferencial para una revolución de las orientaciones de buje de rotor según las figuras 3, 4.

En la figura 3, se presupone que el buje 2 de rotor es esencialmente circular en forma, teniendo el buje 2 de rotor una cara 8 frontal esencialmente circular. El buje 2 de rotor se inclina hacia arriba con respecto a un eje vertical un ángulo pequeño de aproximadamente 6°, por ejemplo.

En la figura 3, el buje 2 de rotor está orientado directamente hacia el viento. La distribución de presión sobre la cara 8 frontal es tal que se produce una presión más alta en una primera zona P0 de presión ligeramente desviada del centro geométrico (indicado por una "x") de la cara 8 frontal. La presión disminuye con un aumento de distancia de la zona P0 de región de presión más alta.

La disminución de presión se indica mediante zonas P1, P2, P3 de presión discreta indicando cada una una región de presión decreciente. La zona P3 de presión que está en el borde más exterior del buje 2 de rotor muestra la presión más baja. Obviamente, la presión no disminuye paso a paso sobre las zonas P0, P1, P2, P3 de presión discreta, sino que disminuye uniformemente de la presión más alta en el centro de la cara 8 frontal a la presión más baja en el perímetro exterior de la cara 8 frontal.

La distribución de presión permanece igual mientras el buje 2 de rotor rota (indicado mediante la flecha). Por lo tanto, un primer punto 9 permanece esencialmente dentro de la primera zona P0 de presión, mientras que un segundo punto 10 se mueve a lo largo de una trayectoria circular de recorrido (indicado mediante la línea de puntos) que lo lleva a través de las zonas P2, P3 de presión exteriores. Por tanto, mientras que la presión en el primer punto 9 permanece esencialmente constante, la presión en el segundo punto 10 aumenta y disminuye de manera cíclica o periódica a medida que el buje 2 de rotor rota y el segundo punto 10 pasa dentro y fuera de las zonas P2, P3 de presión en su trayectoria circular de recorrido de 0° en su punto más alto o azimut en la cara 8 frontal a 180° en su punto más bajo en la cara 8 frontal.

Las zonas de presión no son simétricas necesariamente alrededor de un eje vertical. La zona de presión máxima puede cambiarse o desviarse un ángulo determinado con respecto al eje vertical.

La figura 4 muestra una situación en la que el buje 2 de rotor no está orientado directamente hacia el viento. En su lugar, el buje 2 de rotor está orientado hacia el viento con un determinado desvío angular o error de guiñada. El efecto del error de guiñada es que las zonas de presión se disponen ahora de manera diferente sobre la cara 8 frontal. En su lugar, las zonas P0' P1', P2', P3' de presión se "desvían" y pueden distorsionarse. Como resultado, el segundo punto 10 pasa ahora dentro y fuera de varias zonas P1', P2', P3' de presión.

En esta posición de error de guiñada el tamaño de la presión delta será diferente en comparación con la situación mostrada en la figura 3, es decir, las zonas P1', P2', P3' de presión serán diferentes de las zonas P1, P2, y P3 de presión. Sin embargo, los puntos de presión más baja y más alta siguen siendo diametralmente opuestos alrededor del primer punto 9, que se indica mediante la línea discontinua inclinada recta que pasa por estos puntos.

Tal como se mencionó con respecto a la figura 1, el buje 2 de rotor comprende dos puntos de medición de presión representados por los sensores PS1, PS2 de presión. Un primer sensor PS1 de presión se ubica esencialmente en el centro geométrico de la cara 8 frontal del buje 2 de rotor (véase, primer punto 9). Un segundo sensor PS2 de presión se ubica próximo a un borde exterior de la cara 8 frontal del buje 2 de rotor (véase punto 10). Como los sensores PS1, PS2 de presión se ubican en la cara de parte frontal 8 del buje 2 de rotor, se encuentran enfrente de un plano P<sub>R</sub> de rotor en el que las palas 3 de rotor rotan.

Tal como se describió anteriormente con la ayuda de las figuras 3 y 4, se experimentará una presión esencialmente no cambiante o inactiva en el primer sensor PS1 de presión a medida que el buje 2 de rotor rota. Por el contrario, el segundo sensor PS2 de presión experimentará una presión que cambia cíclicamente a medida que pasa de manera repetida por regiones de presión más baja y más alta.

Un sensor de presión diferencial (no mostrado) pueden disponerse en una cavidad tras la cara 8 frontal del buje 2 de rotor. El sensor de presión diferencial puede emitir un valor de presión diferencial que indica la diferencia en valores de presión derivados de los sensores PS1, PS2 de presión. Además, pueden determinarse un valor de error de guiñada y un valor de velocidad de viento basándose en la salida del sensor de presión diferencial.

La figura 5 muestra dos gráficas de curvas 11, 12 de presión diferencial para una única revolución de buje 2 de rotor de 0° a 360°. La gráfica 11 corresponde a un primer error de guiñada, es decir, un primer ángulo de guiñada  $\alpha > 0^\circ$ , la gráfica 12 corresponde a un segundo error de guiñada, es decir, un segundo ángulo de guiñada  $\alpha > 0^\circ$ . Los errores de guiñada primero y segundo son diferentes de modo que los ángulos de guiñada primero y segundo  $\alpha$  también son diferentes. La gráfica 11 se caracteriza por una naturaleza periódica, es decir, una oscilación sinusoidal de presión diferencial con un desvío 11\_off y una amplitud 11\_amp. La gráfica 12 también se caracteriza por una naturaleza periódica, es decir, una oscilación sinusoidal de presión diferencial con un desvío 12\_off y una amplitud 12\_amp.

Las mediciones S pueden derivarse de los valores de presión obtenidos por los sensores PS1, PS2 de presión. Los valores de presión pueden obtenerse a intervalos regulares, por ejemplo, cada 10°, 20°, 30° etc. tal como se indica mediante las mediciones S a modo de ejemplo dispuestas a lo largo de la gráfica 11. Obviamente, esto mismo se aplica a la gráfica 12.

Puede aplicarse un algoritmo de Goertzel en estas mediciones S, es decir, las mediciones S y un valor de referencia

angular pueden agregarse al algoritmo de Goertzel para determinar o emitir una amplitud y un desvío de fase (de referencia o real). Dicho de otro modo, un desvío de fase (de referencia o real) con respecto a un valor de referencia angular se determina a partir de valores de medición de presión de viento (de referencia o real) contenidos en una información de presión de viento (de referencia o real).

5 Cada una de las figuras 6 - 8 muestra una gráfica de salidas a partir de un algoritmo de Goertzel. La figura 6 muestra una gráfica de la salida de fase (eje y) a partir de un algoritmo de Goertzel frente a ángulo de guiñada  $\alpha$  (eje x). El valor de referencia angular es  $0^\circ$ . El desvío de fase es el valor de la salida de fase del algoritmo de Goertzel a un ángulo de guiñada  $\alpha$  de  $0^\circ$ . Por tanto, el desvío de fase es aproximadamente de  $18^\circ$  en la figura 6.

10 La figura 7 muestra una gráfica de la salida a partir del algoritmo de Goertzel en el plano complejo para mediciones dirigidas a diferentes errores de guiñada y diferentes velocidades de viento. El valor de referencia angular sigue siendo  $0^\circ$ , es decir, el valor de referencia angular es el punto que tiene las coordenadas x-, y- 0, 0 (origen). Las mediciones S se ajustan a un ajuste lineal, es decir, para crear una curva 13 lineal. Cada línea en la figura 7 representa resultados ajustados procedentes de mediciones dirigidas a diferentes velocidades de viento. El desvío de fase corresponde al ángulo entre la línea 14 recta que se extiende entre el valor de referencia angular y la curva 13 lineal ajustada. La línea 14 recta corta perpendicularmente la curva 13 lineal en un ángulo de  $90^\circ$ . El ángulo  $\beta$  entre la línea 14 recta que se extiende entre el valor de referencia angular y la curva 13 lineal ajustada también es aproximadamente de  $18^\circ$  y por tanto, coincide con el desvío de fase tal como se representa en la figura 6. Este desvío de fase determinado puede usarse como un desvío de fase de referencia.

Debe observarse que el desvío de fase será diferente para cada variante de turbina eólica, y por tanto debe determinarse o bien para cada turbina eólica individual o para cada variante de turbina eólica individual.

25 Este desvío de fase de referencia se usa para ajustar el ángulo de guiñada  $\alpha$  actual de la turbina 1 eólica de tal manera que el desvío de fase derivado de valores de medición de presión determinados de manera actual respectivos de mediciones S corresponden al desvío de fase de referencia.

30 La figura 7 también muestra que el desvío de fase es esencialmente independiente de la velocidad de viento ya que el ángulo  $\beta$  entre la línea 14 recta que se extiende entre el valor de referencia angular y todas las curvas 13 lineales ajustadas que indican cada una que una velocidad de viento determinada es siempre la misma.

35 La figura 8 muestra otro gráfico de la salida a partir del algoritmo de Goertzel en el plano complejo. La curva está basada en los dos supuestos. En primer lugar, se presupone que cuando el buje 2 de rotor está orientado directamente hacia el viento, es decir, el error de guiñada es cero y el ángulo de inclinación es cero, la salida a partir del algoritmo de Goertzel también es cero (ninguna amplitud en la señal). En segundo lugar, se presupone que un cambio en el ángulo de inclinación de la góndola, rotor y buje 2 de rotor con respecto a un eje vertical y un cambio en el ángulo de guiñada  $\alpha$  dará como resultado un cambio perpendicular en la salida, al menos cuando el cambio es pequeño y los valores absolutos son próximos a cero.

40 Los supuestos se ilustran en la figura 8. La curva 15 que se extiende esencialmente en vertical que indica un ángulo de inclinación  $0^\circ$  del buje 2 de rotor y la curva 16 que se extiende esencialmente en horizontal se cortan en perpendicular entre sí en el punto 0, 0 (origen). Las curvas 15 para ángulos de inclinación diferentes se extienden en paralelo. Las curvas 16 para ángulos de guiñada  $\alpha$  diferentes también se extienden en paralelo.

45 Aunque la presente invención se ha descrito en detalle con referencia a la realización preferida, la presente invención no se limita a los ejemplos dados a conocer a partir de los que el experto en la técnica puede derivar otras variaciones sin alejarse del alcance de la invención.

50



**REIVINDICACIONES**

1. Método para ajustar el ángulo de guiñada de una turbina (1) eólica con respecto a una dirección de viento dada, que comprende las etapas de:
  - 5 - determinar una información de presión de viento de referencia que contiene al menos dos valores de medición de presión de viento de referencia, valores de medición de presión de viento de referencia que muestran una naturaleza periódica relacionada con una rotación del rotor de la turbina (1) eólica;
  - 10 - determinar un desvío de fase de referencia con respecto a un valor de referencia angular a partir de los valores de medición de presión de viento de referencia contenidos en la información de presión de viento de referencia; y
  - 15 - ajustar el ángulo de guiñada ( $\alpha$ ) del rotor de tal manera que el desvío de fase de los valores de medición de presión actuales contenidos en una información de medición de presión actual corresponde al desvío de fase de referencia de los valores de medición de presión de referencia contenidos en la información de presión de referencia, caracterizado porque los valores de medición de presión de referencia se ajustan para crear una curva lineal, por la que el desvío de fase de referencia corresponde al ángulo entre un eje horizontal y una línea ortogonal a la curva lineal que pasa por el origen del sistema de coordenadas de la gráfica.
2. Método según la reivindicación 1, en el que al menos la información de presión de viento de referencia se determina determinando valores de medición de presión de viento de referencia para diferentes puntos de medición dispuestos en un plano frontal de la turbina (1) eólica, precediendo o coincidiendo el plano frontal con el plano de rotor de la turbina (1) eólica antes del funcionamiento de la turbina (1) eólica.
- 25 3. Método según la reivindicación 2, en el que un valor de medición de presión de viento de referencia comprende una diferencia de presión entre un primer valor de presión medido en un primer punto (9) de medición dispuesto en el centro del rotor y un segundo valor de presión medido en un segundo punto (10) de medición dispuesto con una determinada distancia con respecto al primer punto (9) de medición.
- 30 4. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en el que determinar el desvío de fase de referencia a partir de los valores de medición de presión de viento de referencia y el desvío de fase actual de los valores de medición de presión de viento actuales con respecto a una referencia angular implica aplicar una transformación de Fourier discreta, particularmente un algoritmo de Goertzel, sobre los valores de medición de presión de viento de referencia y los valores de medición de presión de viento actuales.
- 35 5. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en el que valores de medición de presión de referencia respectivos se determinan en diferentes errores de guiñada.
- 40 6. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en el que valores de medición de presión de referencia respectivos se determinan a diferentes velocidades de viento.
- 45 7. Turbina (1) eólica, que comprende una góndola (4) que se monta de manera rotatoria en una torre (5), un elemento (6) de accionamiento de guiñada para hacer rotar la góndola (4) con respecto a la torre (5), teniendo un rotor un buje (2) de rotor que se monta de manera rotatoria a la góndola (4), estando el buje (2) de rotor dotado de varias palas (3) de rotor y varios sensores (PS1, PS2) de medición de presión de viento adaptados para proporcionar valores de medición de presión de viento, valores de medición de presión de viento que muestran una naturaleza periódica relacionada con una rotación del rotor, y una unidad (7) de control adaptada para realizar el método según una de las reivindicaciones anteriores.
- 50

FIG 1

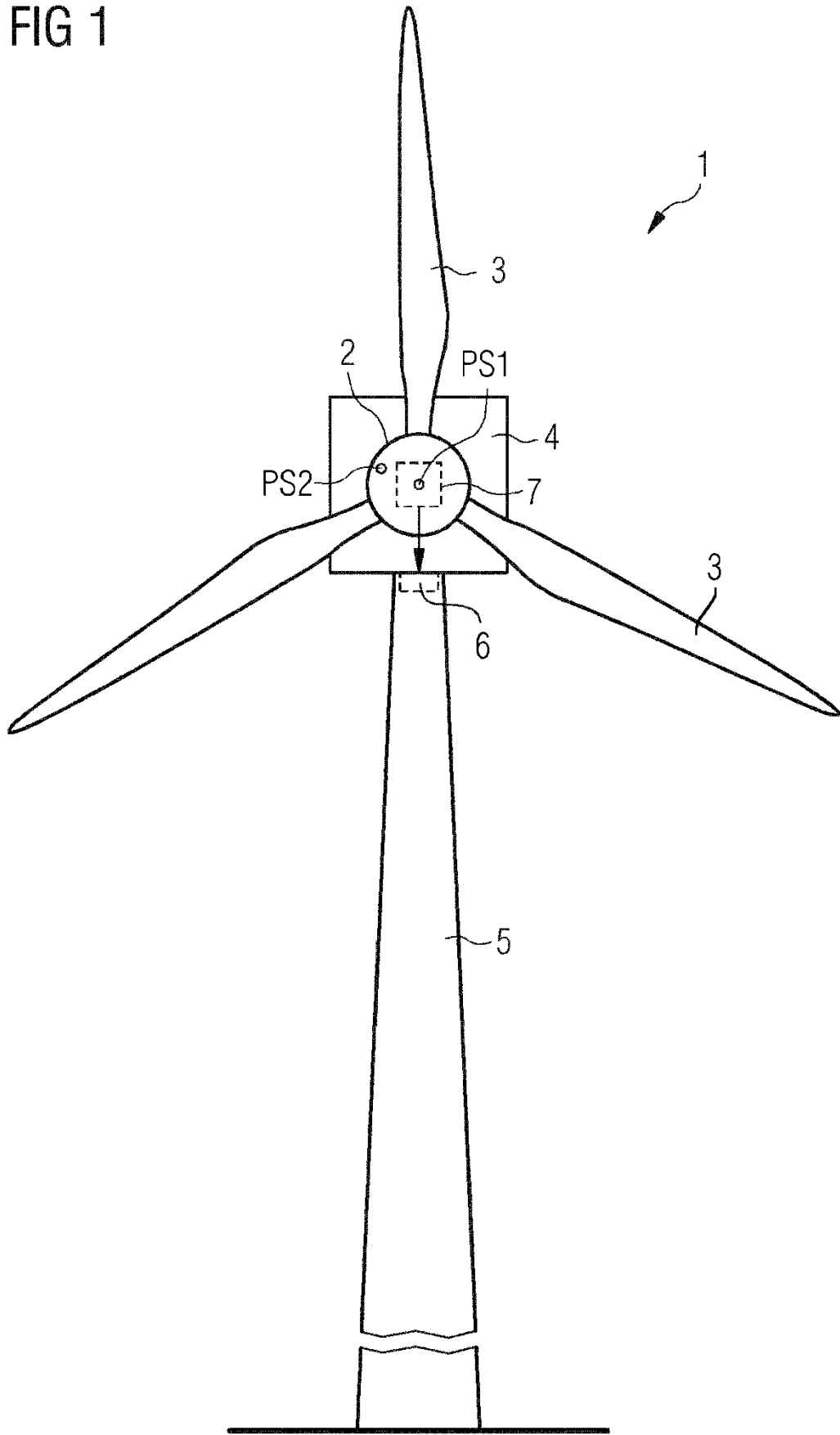


FIG 2

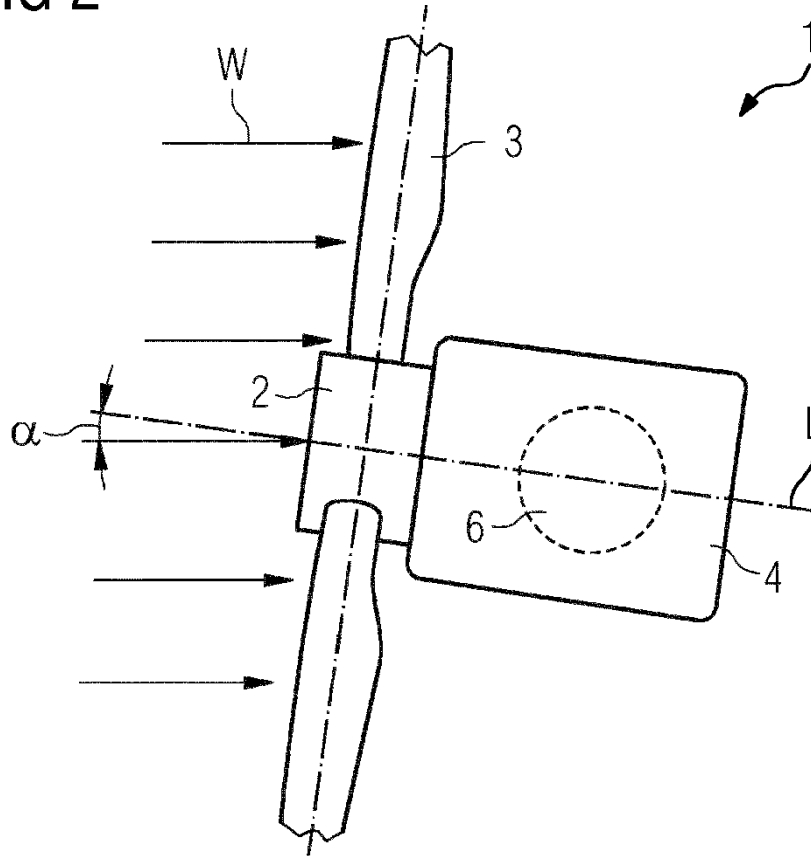


FIG 3

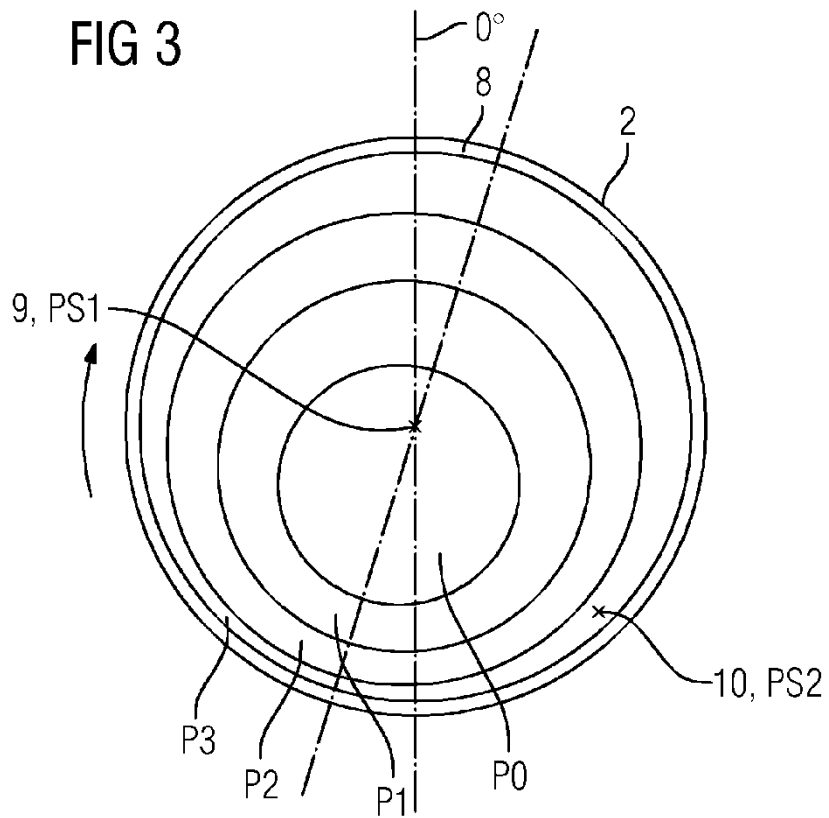


FIG 4

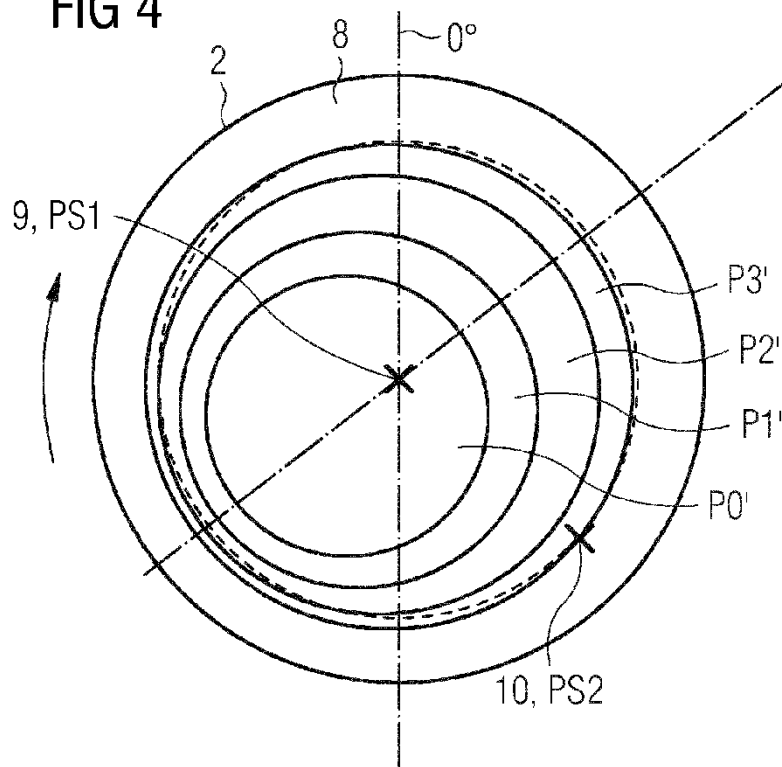


FIG 5

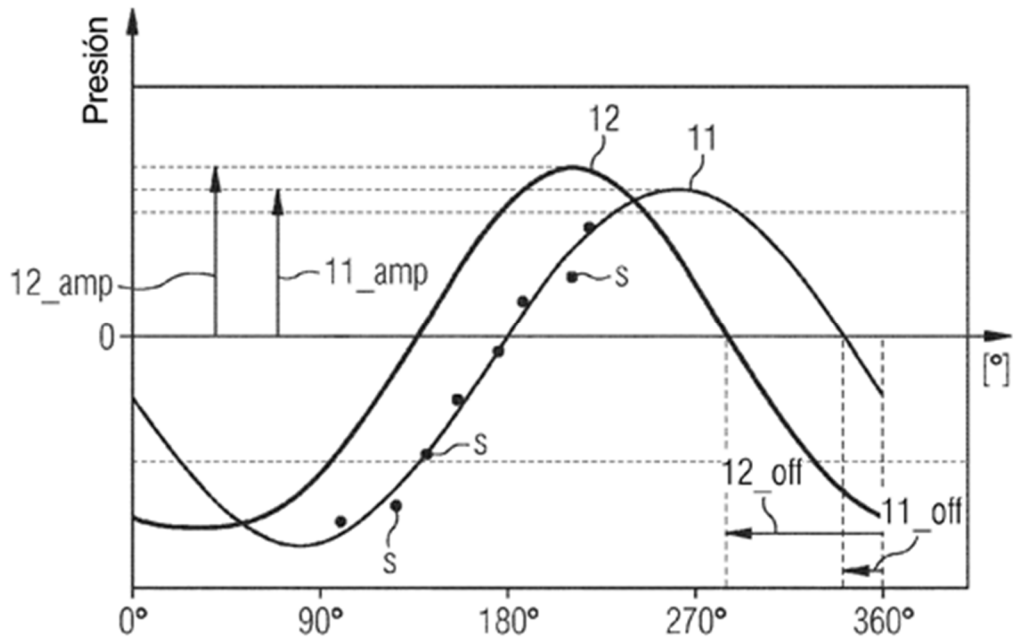


FIG 6

