

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 807 500**

51 Int. Cl.:

F03D 1/02 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.11.2016 PCT/DK2016/050372**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.05.2017 WO17084674**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.11.2016 E 16801957 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.07.2020 EP 3377757**

54 Título: **Método y sistema de control para turbina eólica que tiene múltiples rotores**

30 Prioridad:

18.11.2015 DK 201570742

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

23.02.2021

73 Titular/es:

**VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)
Hedeager 42
8200 Aarhus N, DK**

72 Inventor/es:

**BAUN, TORBEN LADEGAARD y
NEUBAUER, JESPER LYKKEGAARD**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 807 500 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

Método y sistema de control para turbina eólica que tiene múltiples rotores

Campo técnico

5 La invención se refiere a un sistema de control de un sistema de turbina eólica que tiene múltiples rotores y más particularmente, pero no exclusivamente, a un sistema de turbina eólica de múltiples rotores de tipo matriz.

Antecedentes de la invención

10 El tipo más habitual de turbina eólica es la turbina eólica de eje horizontal (HAWT) de barlovento de tres palas, en la que el rotor de turbina está en la parte delantera de la góndola y orientado hacia el viento aguas arriba de su torre de soporte. Sin embargo, también se conocen varios diseños de turbina eólica alternativos. Un ejemplo es la turbina eólica de tipo matriz de múltiples rotores.

15 El documento EP1483501B1 da a conocer una turbina eólica de tipo matriz de múltiples rotores en la que una pluralidad de rotores coplanarios están montados en una estructura de soporte común. Una configuración de este tipo logra ahorros de escala similares a los que pueden obtenerse con una turbina de un único rotor muy grande, pero evita los inconvenientes asociados tales como alta masa de pala, componentes electrónicos de potencia aumentados a escala y así sucesivamente. Sin embargo, aunque una turbina eólica de múltiples rotores coplanarios de este tipo tiene sus ventajas, presenta desafíos para implementar el concepto en la práctica, particularmente sobre cómo gestionar una pluralidad de rotores, o góndolas, durante altas velocidades de viento.

20 El documento US2008/284171 A1 da a conocer un aparato de generación de potencia eólica incluye una pluralidad de módulos de aceleración de viento verticalmente apilados. El aparato incluye además un controlador, que puede controlar el funcionamiento de un generador eléctrico según una señal a partir de un sensor.

Sumario de la invención

25 Según un aspecto de la presente invención, se proporciona un sistema de turbina eólica que comprende una pluralidad de módulos de turbina eólica montados en una estructura de soporte, en el que cada uno de los módulos de turbina eólica comprende un rotor que incluye una o más palas de paso variable, que definen cada una un ángulo de paso de pala respectivo y que se controlan mediante un sistema de control de paso, y un sistema de control que puede hacerse funcionar para controlar los ángulos de paso de pala de la pluralidad de palas de los módulos de turbina eólica. El sistema de control está configurado para identificar la presencia de una condición de parada predeterminada y, dependiendo de la misma, puede hacerse funcionar para controlar los ángulos de paso de pala de las palas respectivas a posiciones de parada predeterminadas que reducen la oscilación de la estructura de soporte.

30 Una ventaja de la invención es que los ángulos de paso de las palas se configuran de una manera coordinada y se optimizan para lograr una reducción neta de la excitación de pala durante un acontecimiento de parada de turbina eólica. Estableciendo la posición de parada de las palas a posiciones de paso óptimas, proporcionando en efecto una extensión uniforme de ángulos de paso de pala a lo largo de todas las palas del sistema de turbina eólica, se reducirá la excitación de la estructura de soporte mediante las palas. En este enfoque, las palas del sistema de turbina eólica presentan muchas zonas de superficie eficaces, y también ángulos de ataque, con respecto al flujo de viento entrante, y esto sigue siendo válido para cualquier dirección del viento. Por tanto, en un acontecimiento de parada, la dirección del viento es una consideración menos importante y lo único que se requiere es establecer las palas a un intervalo predeterminado de posiciones de parada para evitar que la estructura de soporte se excite de manera inaceptable por las condiciones de viento. Esto da como resultado un sistema de turbina eólica más fiable que es más fácil de controlar en tales condiciones de parada.

45 En otro aspecto, la invención reside en un método de control de un sistema de turbina eólica que tiene una pluralidad de módulos de turbina eólica montados en una estructura de soporte, en el que cada uno de los módulos de turbina eólica comprende un rotor que incluye una o más palas de paso variable, que definen cada una un ángulo de paso de pala respectivo, en el que el método comprende: identificar la presencia de una condición de parada de turbina eólica predeterminada, y, dependiendo de la misma, controlar los ángulos de paso de pala de las palas respectivas a posiciones de parada predeterminadas que se seleccionan para reducir la oscilación de la estructura de soporte.

50 Las posiciones de parada predeterminadas se seleccionan mediante un procedimiento de selección aleatorizado. Este procedimiento puede llevarse a cabo en cualquier momento, pero en una realización el procedimiento de selección aleatorizado se lleva a cabo cuando se ha identificado la condición de parada predeterminada.

55 En una realización, las posiciones de paso optimizadas pueden almacenarse como valores de parámetros en una zona de memoria del sistema de control de modo que los sistemas de control de paso pueden controlarse en consecuencia. Sin embargo, en algunas realizaciones, las posiciones de parada predeterminadas de las palas respectivas se establecen mecánicamente mediante sistemas de control de paso respectivos, por ejemplo mediante una posición de parada final para un elemento de accionamiento de paso de pala respectivo del sistema de control

de paso.

Las posiciones de parada predeterminadas para las palas pueden calcularse de modo que cada pala tiene una posición diferente. Alternativamente, las posiciones de parada predeterminadas pueden determinarse para ser diferentes para cada pala para un módulo de turbina eólica dado.

- 5 Puede calcularse la posición de parada de cada pala de modo que está dentro de un intervalo de posición de paso de pala predeterminado. Este intervalo puede ser de entre 30 y 100 grados.

En las realizaciones, al menos algunos de la pluralidad de módulos de turbina eólica están montados en la estructura de soporte en pares, en los que cada par de módulos de turbina eólica están montados en la estructura de soporte mediante una disposición de brazo de soporte respectiva.

- 10 También pueden expresarse aspectos de la invención como un controlador para un sistema de control de turbina eólica que tiene una pluralidad de módulos de turbina eólica montados en una estructura de soporte, en el que cada uno de los módulos de turbina eólica comprende un rotor que incluye una o más palas de paso variable, que definen cada una un ángulo de paso de pala respectivo, en el que el controlador comprende un procesador, un módulo de memoria y un sistema de entrada/salida, y en el que la memoria incluye un conjunto de instrucciones de código de programa que, cuando se ejecutan por el procesador, implementan un método tal como se describió anteriormente.

15 También pueden expresarse aspectos de la invención como producto de programa informático que puede descargarse a partir de una red de comunicación y/o almacenado en un medio legible por máquina, que comprende instrucciones de código de programa para implementar un método tal como se describió anteriormente, y también a un medio legible por máquina que tiene almacenado en el mismo un producto de programa informático de este tipo.

- 20 Para los fines de esta divulgación, debe entenderse que el sistema de control descrito en el presente documento puede comprender una unidad de control o dispositivo de cálculo que tiene uno o más procesadores electrónicos. Un sistema de este tipo puede comprender una única unidad de control o controlador electrónico o alternativamente diferentes funciones del/de los controlador(es) pueden implementarse, o alojarse, en diferentes unidades de control o controladores. Tal como se usa en el presente documento, se entenderá que el término "sistema de control"
- 25 incluye tanto una única unidad de control o controlador como una pluralidad de unidades de control o controladores que funcionan de manera colectiva para proporcionar la funcionalidad de control requerida. Puede proporcionarse un conjunto de instrucciones que, cuando se ejecutan, hacen que dicho(s) controlador(es) o unidad(es) de control implementen las técnicas de control descritas en el presente documento (incluyendo el/los método(s) descrito(s) a continuación). El conjunto de instrucciones puede implementarse en uno o más procesadores electrónicos o,
- 30 alternativamente, el conjunto de instrucciones puede proporcionarse como software que va a ejecutarse por uno o más procesadores electrónicos. Por ejemplo, un primer controlador puede implementarse en software ejecutado en uno o más procesadores electrónicos, y uno o más de otros controladores también pueden implementarse en software ejecutado en uno o más procesadores electrónicos, opcionalmente los mismos uno o más procesadores que el primer controlador. Sin embargo, se apreciará que otras disposiciones también son útiles y, por tanto, no se pretende que la presente invención se limite a ninguna disposición particular.

Breve descripción de los dibujos

Para que se entienda más completamente, ahora se describirá la invención únicamente a modo de ejemplo con referencia a los siguientes dibujos, en los que:

la figura 1 es una vista frontal de una primera realización de un sistema de turbina eólica de múltiples rotores;

- 40 la figura 2 es una vista desde arriba del sistema de turbina eólica en la figura 1;

la figura 3 es una vista de sistemas esquemática del sistema de turbina eólica en la figura 1;

la figura 4 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento que rige la configuración del sistema de turbina eólica de la figura 1 para dar un estado seguro o "de parada";

- 45 la figura 5 es una vista de un rotor del sistema de turbina eólica en la figura 1, tomada a lo largo de una sección de pala A-A en la figura 1, que proporciona una explicación del ángulo de paso de pala;

la figura 6 es una vista frontal del sistema de turbina eólica en la figura 1 en un estado de parada, según una realización;

la figura 7 es una vista frontal del sistema de turbina eólica en un estado de parada según una realización alternativa; y

- 50 las figuras 8 y 9 son vistas frontales de sistemas de turbina eólica alternativos.

Descripción detallada de realizaciones de la invención

Con referencia a las figuras 1 y 2, un "sistema" o instalación de turbina eólica 2 incluye una estructura de soporte en forma de una torre 4 en la que están montados una pluralidad de módulos de turbina eólica 6. Todo el sistema de turbina eólica 2 está soportado en unos cimientos 8, tal como resulta habitual, que pueden ser una gran masa enterrada en el suelo, aunque se conocen otras estructuras de cimientos. Obsérvese que el término "módulo de turbina eólica" se usa en este caso para hacer referencia principalmente a los componentes de generación del sistema de turbina eólica y como independientes de la torre 4.

En esta realización, hay cuatro módulos de turbinas eólicas 6, y estos están montados en la torre 4 en dos pares, incluyendo cada par dos turbinas eólicas 6 que están montadas en la torre 4 mediante una disposición de brazo de soporte respectiva 10. Por tanto, un primer par de las turbinas eólicas, marcado con 6a, están asociadas con una primera disposición de brazo de soporte 10a, y un segundo par de las turbinas eólicas, marcado con 6b, están asociadas con una segunda disposición de brazo de soporte 10b. Sin embargo, son posibles otras configuraciones en las que los módulos de turbina eólica 6 no están montados en pares sino que, en vez de eso, están montados en la estructura de soporte 4 de manera individual o en grupos de tres o más, o en las que las estructuras de brazo de soporte están montadas formando un ángulo diferente con respecto a la torre.

Dado que cada par de turbinas eólicas y sus disposiciones de brazo de soporte asociadas son esencialmente idénticas, a continuación se hará referencia a las mismas de manera general mediante números sin sufijos. Esto también se aplica a componentes de las disposiciones de brazo de soporte. Sin embargo, la referencia a una específica de la disposición de brazo de soporte, turbinas eólicas asociadas o subcomponentes, se hará usando los sufijos "a" o "b" para referirse a la disposición de brazo de soporte superior o inferior, según sea apropiado.

Cada disposición de brazo de soporte 10 comprende una porción de montaje o acoplamiento 12 y brazos de soporte primero y segundo 14 que son mutuamente opuestos y se extienden lateralmente desde la porción de montaje 12. Como tales, cada uno de los brazos de soporte 14 incluye un extremo interno 16 conectado a la porción de montaje 12 y un extremo externo 18 que está conectado a un módulo de turbina eólica respectivo 6. La disposición de brazo de soporte 10 está montada en la torre 4 en la porción de montaje 12 de modo que puede ajustar la guiñada alrededor del eje vertical de la torre 4. Puede proporcionarse un sistema de guiñada adecuado (no mostrado) con este fin, y tales sistemas de guiñada se conocen generalmente en la técnica. Por tanto, la porción de montaje 12 representa una unidad de guiñada de la disposición de brazo de soporte 10 que puede "ajustar la guiñada" de, es decir mover angularmente, la disposición de brazo de soporte 10 alrededor del eje principal de la torre 4. Obsérvese que, en la figura 2, sólo puede observarse la superior de las disposiciones de brazo de soporte, dado que la inferior está oculta. Obsérvese además que se hará referencia a las unidades de guiñada usando los mismos números de referencia que para las porciones de montaje 12. Se prevén otras realizaciones en las que las disposiciones de brazo de soporte 10 pueden ajustar la guiñada alrededor de la torre accionadas por el empuje diferencial desarrollado por cada uno de los módulos de turbina eólica, pero no se proporciona una explicación adicional en este caso por motivos de claridad.

Cada uno de los módulos de turbina eólica 6 incluye un rotor 22 que está montado de manera rotatoria en una góndola 23 de la manera habitual. El rotor 22 tiene un conjunto de tres palas 24 en esta realización. Los rotores de tres palas son una configuración de rotor habitual, pero también se conocen números diferentes de palas. Por tanto, los módulos de turbinas eólicas 6 pueden generar potencia a partir del flujo de viento que pasa a través de la zona de barrido o "disco de rotor" 26. Aunque puede considerarse que los módulos de turbina eólica 6 son sustancialmente idénticos, en general pueden usarse módulos de turbina eólica con especificaciones diferentes, tales como diámetro de rotor diferente y sistemas de generación diferentes, por ejemplo.

Durante el funcionamiento, las fuerzas generadas por los módulos de turbina eólica 6 excitan la torre 4 y hacen que oscile en diferentes modos; por ejemplo la torre 4 se balanceará hacia delante y hacia atrás, y también de lado a lado, dando por tanto lugar a modos de oscilación primero y segundo. La torre 4 también puede experimentar excitación de torsión, debido a la acción del viento pero también debido a cualquier desequilibrio de empuje entre algunos individuales de los módulos de turbina eólica 6, lo cual da lugar a otro modo de oscilación. La oscilación de la estructura de soporte conduce a fatiga que puede tener un impacto sobre la vida útil de la instalación en su conjunto. Aunque la torre y las disposiciones de brazo de soporte están diseñadas para resistir una determinada cantidad de esfuerzos estructurales, altas velocidades de viento pueden provocar que se imponga un esfuerzo excesivo sobre la estructura durante el funcionamiento. Un problema relacionado es que incluso condiciones de viento moderadas provocarán que la estructura oscile cuando el sistema de turbina eólica se ha llevado a un estado loco o de parada, por ejemplo durante un acontecimiento de apagado. Las realizaciones de la invención proporcionan una estrategia para gestionar el esfuerzo inducido sobre el sistema de turbina eólica durante tales acontecimientos de apagado.

Las figuras 1 y 2 muestran los componentes estructurales principales del sistema de turbina eólica 2, aunque el experto entenderá que la realización ilustrada se ha simplificado con el fin de no complicar la invención con detalles innecesarios. Ahora se proporcionará una explicación adicional sobre los componentes de sistema del sistema de turbina eólica 2 con referencia también a la figura 3.

A nivel de sistemas, cada módulo de turbina eólica 6 incluye una caja de engranajes 30 y un sistema de generación de potencia 31 que incluye un generador 32 y un sistema convertidor 34. Tal como se conoce, la caja de engranajes

30 aumenta la velocidad de rotación del rotor y acciona el generador 32 que, a su vez, alimenta potencia generada a un sistema convertidor 34. Tal arquitectura se conoce, y otras son posibles, tales como tipos “sin engranajes”, también conocidos como “accionamiento directo”; así como tipos de transmisión de “accionamiento por correa”.

5 Con el fin de que pueda controlarse la velocidad de los rotores 22, permitiendo por tanto el control de la potencia producida por los módulos de turbina eólica 6, las palas tienen un paso variable. Por tanto, se proporciona un sistema de control de paso 36 para controlar el paso de las palas con respecto a sus ejes longitudinales, que incluyen elementos de accionamiento de control de paso respectivos para este fin, tal como entenderá bien un experto. La configuración precisa del generador 32 y el sistema convertidor 34 no es fundamental para la invención y no se describirá en detalle. Sin embargo, para los presentes fines, puede considerarse que estos componentes son
10 convencionales y, en una realización, pueden basarse en una arquitectura de convertidor a escala completa (FSC) o una arquitectura de generador por inducción de doble alimentación (DFIG), aunque el experto conocerá otras arquitecturas. Además, puede considerarse que cada uno de los módulos de turbina eólica es sustancialmente idéntico, de modo que sólo se ha marcado uno completamente en la figura 3 por motivos de claridad.

15 En la realización ilustrada, la salida de potencia del convertidor 34 de cada turbina eólica 6 se alimenta a una unidad de distribución 40 que tiene una función de recibir entradas de potencia 42 a partir de las turbinas eólicas 6 a través de cableado adecuado para la transmisión hacia delante hasta una carga 46, que se muestra en este caso como la red de distribución eléctrica. Aunque no se muestra en este caso, debe apreciarse que la unidad de control y distribución central 40 puede estar ubicada en cualquier posición adecuada, por ejemplo dentro de la torre 4. El
20 experto será consciente de que existen diferentes opciones de conversión y transmisión de potencia, y estará dentro de las capacidades del experto especificar un sistema adecuado. Por tanto, este aspecto no se describe en más detalle en este caso.

25 Debe observarse en este punto que en este caso sólo se describe un único sistema de turbina eólica 2, pero que pueden agruparse entre sí varios de sistemas de este tipo para formar una central de energía eólica, también denominada granja eólica o “parque eólico”. En este caso, se proporcionará una instalación de control y distribución de central eléctrica (no mostrada) para coordinar y distribuir las salidas de potencia de los sistemas de turbina eólica individuales a la red de distribución más amplia.

30 Dado que el sistema de turbina eólica 2 incluye una pluralidad de módulos de turbina eólica 6, cada uno de los cuales puede hacerse funcionar para generar energía eléctrica a medida que se acciona el rotor 22 por el viento, el sistema de turbina eólica 2 incluye medios de control localizados 49 que pueden hacerse funcionar para monitorizar el funcionamiento de algunas respectivas de la pluralidad de turbinas eólicas 6 y para emitir órdenes a las mismas para lograr un conjunto de objetivos de control locales. En esta realización, los medios de control localizados 49 se proporcionan en forma de una pluralidad de módulos de control locales 50 que se implementan como dispositivos de cálculo respectivos, cada uno de los cuales está dedicado a un módulo de turbina eólica asociado 6. Un objetivo de control de este tipo es monitorizar la velocidad de rotor y salida de potencia y controlar el sistema de control de paso
35 36 y el generador 32 con el fin de garantizar que se extrae la potencia máxima del viento durante condiciones de funcionamiento por debajo de las nominales y que se controla la velocidad de rotación en condiciones de funcionamiento por encima de las nominales.

40 Aunque cada uno de los módulos de turbina eólica 6 incluye un módulo de control local 50, el sistema de turbina eólica 2 también incluye unos medios de control centralizados 51 que sirven para una función de supervisión con el fin de proporcionar una estrategia de control coordinada. En esta realización, los medios de control centralizados 51 se proporcionan por un módulo de control central 52 que es un dispositivo de cálculo incorporado en la unidad de distribución central 40 pero, en general, también puede colocarse separado de la unidad de distribución 40. En este caso, el módulo de control central 52 está ubicado en la torre 4, por ejemplo, en la torre o en un alojamiento adyacente a la torre, aunque se prevé que otras ubicaciones serán aceptables. Tal como se explicará, el módulo de control central 52 está configurado para monitorizar el funcionamiento del sistema de energía eólica 2, es decir, los
45 módulos de turbinas eólicas 6 y la torre 4, y para proporcionar órdenes de control centralizadas a la pluralidad de módulos de turbina eólica 6 con el fin de lograr un objetivo de control de supervisión.

50 El módulo de control central 52 logra el control sobre cada uno de los módulos de turbina eólica 6 proporcionando órdenes de control a los mismos. Tal como se muestra en la figura 3, el módulo de control central 52 emite primeras órdenes de control 54 que se reciben por cada uno de los módulos de turbina eólica 6 y, más particularmente, se reciben por los módulos de control locales 50. Las órdenes de control 54 pueden ser de tipo de orden de “radiodifusión” en el que se envía la misma orden a cada módulo de turbina eólica 6, o las órdenes pueden ser del tipo de orden “dirigida” en el que se envía una orden de control específica a uno o más seleccionados, pero no todos, de los módulos de turbina eólica 6.

55 Se observará que la figura 3 es una vista esquemática, de modo que la manera en la que se transfieren las órdenes de control 54, 56 a las turbinas eólicas 6 no se representa de manera explícita. Sin embargo, se apreciará que puede proporcionarse cableado adecuado para interconectar la unidad de control central 52 con los módulos de turbina eólica 6, y más específicamente con los módulos de control locales 50. Las interconexiones pueden ser conexiones directas o “de punto a punto”, o pueden formar parte de una red de área local (LAN) que se hace funcionar según un protocolo adecuado (bus CAN o Ethernet por ejemplo). Además, debe apreciarse que en vez de
60

usar cableado, las órdenes de control 54, 56 pueden transmitirse de manera inalámbrica a través de una red inalámbrica adecuada, por ejemplo que funciona según las normas WiFi™ o ZigBee™ (IEEE802.11 y 802.15.4 respectivamente).

5 El objetivo del módulo de control central 52 es implementar una estrategia de control coordinada para el grupo de módulos de turbina eólica 6 de modo que sus interacciones entre sí, y las interacciones entre los módulos de turbina eólica 6 y la estructura de soporte 4, se gestionen de la manera más eficaz. Dicho de otro modo, el módulo de control central 52 aplica una estrategia de control de nivel superior al funcionamiento de la instalación de turbina eólica 2, mientras que los módulos de control locales 50 aplican una estrategia de control de nivel inferior a cada módulo de turbina eólica respectivo 6 de manera individual. Sin embargo, ambos “niveles” de la estrategia de control
10 funcionan en conjunto con el fin de optimizar el rendimiento del sistema de energía eólica 2, en cuanto a la producción de potencia absoluta, a la eficiencia de producción y a la optimización de la fatiga.

En las realizaciones de la invención, el módulo de control central 52 está configurado para emprender una acción durante condiciones de viento alto potencialmente peligrosas, o durante otras condiciones de “parada” o “apagado” relevantes, para establecer los módulos de turbina eólica, y más específicamente los ángulos de paso de las palas de esos módulos 6, a un estado “seguro” o “de parada” que reduce los esfuerzos provocados sobre los propios
15 módulos de turbina eólica y sobre las disposiciones de brazo de soporte 10 y la torre 4. Esta acción puede denominarse acontecimiento de parada a partir de ahora.

La figura 4 es un diagrama de flujo de una realización de un procedimiento 100 que rige la configuración del sistema de turbina eólica 2 para dar el estado de parada durante un acontecimiento de parada. En esta realización, el
20 procedimiento 100 se implementa por el módulo de control central 52 de modo que las palas se controlan mediante el sistema de control de paso 36 de una manera coordinada en vez de mediante una manera dependiente del módulo. Sin embargo, debe apreciarse que el procedimiento 100 puede implementarse en otra parte, por ejemplo en un sistema de control que forma parte de una granja eólica que comprende muchos sistemas de turbina eólica de múltiples rotores de este tipo 2, o en uno de los módulos de control locales 50 que actúan como dispositivo
25 “maestro”.

El procedimiento 100 se inicia en la etapa 102 que puede ser cuando se ha iniciado el sistema de turbina eólica 2 y antes de que los módulos de turbina eólica 6 hayan alcanzado un estado de generación de potencia. Por tanto, el procedimiento 100 puede proporcionar un nivel de seguridad para verificar que las condiciones de parada no están presentes antes de hacer funcionar el sistema de turbina eólica hasta una velocidad de funcionamiento.

30 En la etapa 104, el procedimiento 100 realiza una comprobación de las condiciones de parada. Las condiciones de parada pueden ser cualquier condición que afectará al funcionamiento del sistema de turbina eólica y requerirá que active un acontecimiento de parada, dejando de ese modo de funcionar. Por ejemplo, un fallo de red de distribución puede significar que no está disponible un suministro de potencia para suministrar potencia a los consumidores eléctricos del sistema de turbina eólica 2, por ejemplo el sistema de control de paso. Sin embargo, es posible que un
35 suministro de potencia de reserva pueda proporcionar potencia temporal durante un breve periodo de tiempo a esos consumidores eléctricos. Además, el sistema de turbina eólica 2 puede detectar que hay un fallo con el sistema de conversión de potencia 31 que requiere que se apague el sistema. Alternativamente, las condiciones de viento pueden ser tales que no es seguro continuar el funcionamiento de la turbina eólica. En este caso, pueden obtenerse las condiciones de viento mediante un sensor de viento 55 montado en la torre 4 por ejemplo. Alternativamente,
40 puede proporcionarse información sobre las condiciones de viento locales al sistema de turbina eólica. Tal sensor de viento es convencional y el experto sabrá que incluye normalmente un sensor de velocidad y dirección del viento, por ejemplo un dispositivo de ultrasonidos, o un anemómetro y veleta, aunque también se conocen dispositivos diferentes en la técnica, por ejemplo basados en sensores de LIDAR.

45 Cuando se monitorizan las condiciones de viento, resulta importante identificar cuándo se considera que las condiciones de viento ponen en peligro el funcionamiento seguro de la turbina eólica. Como tal, la etapa de comprobación de condición de parada 104 puede configurarse para monitorizar diversos parámetros tales como velocidad y dirección del viento instantáneas, velocidad y dirección del viento promedio, velocidad de ráfaga pico y así sucesivamente, y para comparar esos parámetros con umbrales adecuados con el fin de alcanzar una decisión sobre si las condiciones de viento prevalentes son seguras o no son seguras. El sistema también puede estar
50 configurado para monitorizar condiciones no seguras predichas, por ejemplo a partir de advertencias de mal clima avanzadas a partir de servicios meteorológicos, a partir de advertencias de otras turbinas o granjas eólicas, o a partir de sistemas de detección de sismos cerca de los sistemas de turbina eólica que incorporan instalaciones de detección meteorológica, por ejemplo.

55 Si se determina que las condiciones de parada son seguras, entonces el procedimiento 100 termina en la etapa 105 de modo que el funcionamiento del sistema de turbina eólica 2 no se ve afectado.

Sin embargo, si se determina que las condiciones de apagado están presentes, el procedimiento 100 avanza a la etapa 106 en la que el módulo de control central 52 ordena a todas las turbinas eólicas 6 que inicien un acontecimiento de parada en el que se termina la generación de potencia y se llevan los rotores a una condición o bien de parada o bien loca. Se prevé que puede ser preferible una condición loca dado que esto no requerirá la

aplicación de un freno mecánico, que puede aplicar altas cargas de engranaje.

Una vez iniciado el acontecimiento de parada en la etapa 106, el módulo de control central 52 ordena a los sistemas de control de paso 36 de los módulos de turbina eólica 6 que establezcan el paso de las palas a una posición que no produce potencia en la etapa 108. Esto se describe en más detalle a continuación con referencia a las figuras 5 y 6.

- 5 Opcionalmente, una vez que se han apagado los módulos de turbina eólica 6 y se ha regulado el paso de las palas de modo que los rotores ya no están produciendo potencia, el módulo de control central 52 puede ordenar las unidades de guiñada 12a, 12b de las disposiciones de brazo de soporte 10a, 10b a un estado de parada predeterminado en la etapa 110. El estado de parada puede requerir que los rotores 22 estén todos orientados “contra el viento” de tal manera que los ejes de rotación de los rotores 22 estén en paralelo a la dirección del viento prevalente. Por tanto, en esta situación, todas las disposiciones de brazo de soporte 10 se controlarán para extenderse en una dirección que es perpendicular a la dirección del viento prevalente. Alternativamente, las disposiciones de brazo de soporte 10 pueden controlarse a diferentes posiciones angulares.

Aunque se muestra que la etapa de orientación 110 sigue a la etapa de ajuste de paso de pala 108 en la figura 4, debe indicarse que el orden no es esencial.

- 15 Una vez que los módulos de turbina eólica 6 se han orientado en el estado de parada en la etapa 110, se realiza una segunda comprobación de condición de parada en la etapa 112, tal como se realizó en la etapa 102. En este caso, el módulo de control central 52 comprueba para ver si todavía se considera que las condiciones de parada están presentes, o si se han resuelto las condiciones de parada de tal manera que resulta seguro reiniciar el sistema de turbina eólica para la producción de potencia. Esta comprobación se repite mientras se determine que están presentes las condiciones de parada. Sin embargo, una vez que se determina que no están presentes las condiciones de parada, el módulo de control central 52 implementa un procedimiento de reinicio de turbina eólica en la etapa 114 en la que se ordena que las disposiciones de brazo de soporte 10 y las palas vuelvan a su posición de inicio en la que las turbinas eólicas están orientadas en la dirección del viento prevalente. Después, el procedimiento 100 termina en la etapa 116.

- 25 Ahora se describirá en más detalle el procedimiento mediante el cual se configuran las palas 24 de los rotores 22 a las posiciones de parada correspondientes para reducir la vibración de la estructura de soporte.

- La figura 5 muestra una pala 24 a lo largo de una sección en la dirección de la cuerda tomada a lo largo de la línea A-A en la figura 1, y demuestra el paso variable de la pala 24 con respecto al rotor 22 y a la góndola 23. Tal como apreciará el experto, las palas de turbina eólica se configuran normalmente de modo que puede cambiarse su paso durante el funcionamiento con el fin de aumentar o reducir el empuje generado por la pala 24 sobre el rotor 22. Normalmente, puede hacerse variar el paso de pala desde una posición de paso nulo Pa en la que el eje en la dirección de la cuerda C de la pala 24 coincide sustancialmente con el plano de rotación (identificado por la flecha “R”) del disco de rotor 26, tal como se muestra en la figura 5, y hasta un ángulo de paso positivo predeterminado Pb que puede ser igual o superior a 90 grados. Los ajustes de ángulo de paso se usan para hacer variar el empuje producido por la pala sobre el rotor. Habitualmente se considera que un ángulo de paso de 90 grados, en el que el eje en la dirección de la cuerda C de la pala 24 es sustancialmente perpendicular al plano de rotación R de la pala, es una posición “aparcada” o “en bandera” de la pala 24 dado que a este ángulo la pala 24 no debe producir empuje sobre el rotor 22 siempre y cuando la góndola 23 esté dirigida contra el viento.

- 40 Cuando una pala está en la posición en bandera, no debe producir ningún empuje significativo sobre su rotor asociado mientras la dirección del viento es sustancialmente perpendicular al plano de rotación de la pala. Sin embargo, un cambio sustancial en la dirección del viento puede dar como resultado formación de torbellinos a partir de todas las palas en bandera lo cual puede inducir vibraciones y oscilaciones no deseadas de la estructura de soporte. Aunque un convenio aceptado es que las palas deben estar “aparcadas” en una posición en bandera cuando una turbina eólica no está operativa, esto puede ser un efecto no deseado en el contexto de un sistema de turbina eólica de múltiples rotores en el que el alto número de palas puede aumentar la excitación de la estructura de soporte.

- La invención propone una técnica para mitigar los efectos de excitación de pala durante un acontecimiento de parada de turbina eólica estableciendo los ángulos de paso de las palas de la totalidad de los rotores a posiciones de ángulo de paso predeterminadas cuando el sistema de turbina eólica entra en un acontecimiento de parada. Estableciendo la posición de parada de las palas en posiciones de paso óptimas, proporcionando en efecto una extensión uniforme de ángulos de paso de pala a lo largo de todas las palas 24 del sistema de turbina eólica 2, se reducirá la excitación de la estructura de soporte 4 por las palas. En este enfoque, las palas 24 del sistema de turbina eólica 2 presentan muchas áreas de superficie efectivas diferentes, y también ángulos de ataque, con respecto al flujo de viento entrante, y esto sigue siendo válido para cualquier dirección del viento. Por tanto, en un acontecimiento de parada, la dirección del viento es una consideración menos importante y lo único que se requiere es establecer las palas a un intervalo predeterminado de posiciones de parada para evitar que la estructura de soporte se excite de manera inaceptable por las condiciones de viento.

La posición de ángulo de paso exacta de las palas 24 no es crucial. Sin embargo, lo que es importante es que los

ángulos de paso de las palas se seleccionen para lograr una reducción neta significativa de la excitación sobre la estructura de soporte. Los diferentes ángulos de paso de pala para cada pala dan como resultado una minimización de esfuerzos sobre las palas y disposiciones de brazo de soporte durante un acontecimiento de parada independientemente de la dirección del viento.

5 Los ángulos de paso precisos de las palas a lo largo de todos los rotores pueden determinarse de varias maneras. Una opción es seleccionar una extensión uniforme de ángulos de paso para todas las palas a lo largo de un intervalo de ángulos predeterminado. Por ejemplo, en la realización de la figura 6 en la que hay doce palas en total, tres para cada rotor 22, los ángulos de paso de pala tienen una extensión de desde 35 grados hasta 105 grados (es decir una extensión de 100 grados en total) en incrementos de 5 ó 10 grados. Más específicamente, en esta realización, las
10 palas de uno de los módulos de turbina eólica 6 (posición superior izquierda) pueden estar inclinadas a 60, 80 y 100 grados, las palas de otro de los módulos de turbina eólica 6 (posición superior derecha) pueden estar inclinadas a 50, 70 y 90 grados, las palas de otro de los módulos de turbina eólica 6 (posición inferior izquierda) pueden estar inclinadas a 45, 65 y 95 grados, mientras que la pala de uno final de los módulos de turbina eólica 6 (posición inferior derecha) puede estar inclinada a 35, 55 y 105 grados. Debe entenderse que estos valores de ángulos se facilitan a
15 modo de ejemplo y no deben considerarse limitativos del alcance del concepto de la invención. Los ajustes de posición de paso precisos para las palas pueden seleccionarse aleatoriamente, por ejemplo mediante una rutina que se ejecuta mediante el módulo de control central 52. Alternativamente, cada uno de los módulos de control locales 50 puede ejecutar una rutina para generar ajustes de paso para las palas respectivas.

20 Se prevén otras realizaciones en las que el ángulo de extensión es mayor, por ejemplo una extensión de 180 grados, 270 grados o 360 grados. Un ángulo de extensión mayor será particularmente apropiado para sistemas de turbina eólica que tienen un número mayor de módulos de turbina eólica y, por tanto, un número mayor de palas.

En otra realización, tal como se muestra en la figura 7, las posiciones de parada predeterminadas para palas respectivas en cada rotor son sustancialmente las mismas para cada módulo de turbina eólica 6. Por ejemplo, a partir de la figura 7 puede observarse que las palas 24 de cada rotor están inclinadas a 20, 45 y 70 grados respectivamente. La posición de azimut para cada rotor también puede establecerse a una posición angular
25 predeterminada que es diferente para cada rotor.

Teniendo en cuenta los ángulos de paso anteriores, se apreciará evidentemente que debe esperarse, y tolerarse, algo de desalineación angular entre las palas.

30 Se prevén otras realizaciones en las que las posiciones de parada de pala se reflejan de manera especular alrededor de la torre 4. Por tanto, la posición de palo de pala para las palas a la derecha de la torre puede seleccionarse para ser la misma que las posiciones de paso de pala para las palas a la izquierda de la torre. En otras realizaciones, puede ser posible realizar un ajuste fino de la diferencia angular para optimizar el efecto de amortiguación de las posiciones diferentes de las palas.

35 Una opción es que el valor de los ángulos de paso de pala para las palas se determine mediante un procedimiento de diseño probabilístico ejecutado en un entorno de ejecución fuera de línea para determinar los ángulos de paso de pala apropiados para aplicar a las palas con el fin de minimizar la excitación de la estructura de soporte 4. Por ejemplo, pueden llevarse a cabo varias simulaciones en diferentes condiciones de viento (que implican métricas de la velocidad del viento, dirección del viento, turbulencia, estela, cizalladura del viento y así sucesivamente) para determinar los ángulos de paso de pala para cada pala del sistema de turbina eólica que da como resultado una
40 reducción útil de la excitación estructural. Por tanto, este enfoque coordina los ángulos de paso de todas las palas a lo largo de todo el sistema de turbina eólica de múltiples rotores 2 con el fin de reducir la excitación de la estructura de soporte cuando se encuentra en un estado de parada. Dentro de este enfoque, puede tenerse en cuenta el perfil de viento del sitio en el que está ubicado el sistema de turbina eólica 2 con el fin de derivar un conjunto de ángulos de paso de pala que se seleccionan para reducir la oscilación inducida de la estructura de soporte. En este ejemplo, las posiciones de paso optimizadas para cada pala y, si es apropiado, las posiciones de azimut de rotor, pueden almacenarse como valores de parámetros en una zona de memoria adecuada dentro del módulo de control central 52 para todas las palas. Alternativamente, los módulos de control locales 50 para cada módulo de turbina eólica 6 pueden ser responsables de almacenar e implementar las posiciones de paso de pala predeterminadas para sus
45 palas respectivas, y también la posición de azimut de rotor.

50 La posición de parada de las palas puede configurarse de diferentes maneras. En una realización, el sistema de control de paso 36 para cada pala establece mecánicamente la posición de parada predeterminada, ya que puede accionar la pala respectiva a su posición de parada predeterminada y la sujeta en esa posición hasta el momento en que recibe una orden de cambiar el ángulo de paso de pala alejándolo de la posición de parada.

55 En otras realizaciones, el sistema de paso de pala 36 para cada pala incluye un elemento de accionamiento de paso de pala respectivo (no mostrado) en el que se establece una parada final en la posición de parada para la pala respectiva. En un acontecimiento de parada, o en una situación en la que falla la potencia al sistema de control de paso 36, puede considerarse que cada pala ajusta el paso de manera automática a un ángulo de "bloqueo" determinado. En este punto, la pala no puede rotar adicionalmente y está fijada en su sitio hasta que el módulo de control central ordena que los ángulos de paso de pala vuelvan a su estado operativo. De manera beneficiosa, en

esta realización el elemento de accionamiento no requiere potencia para mover la pala a su posición de parada, y evita la necesidad de una unidad de potencia de reserva para el sistema de control de paso.

El experto apreciará que pueden realizarse modificaciones a las realizaciones específicas descritas anteriormente sin alejarse del concepto de la invención tal como se define por las reivindicaciones.

5 Anteriormente se ha hecho referencia al sistema de turbina eólica 2 con diferentes números de módulos de turbina eólica 6. En las figuras 8 y 9 se muestran dos alternativas a modo de ejemplo, en las que el sistema de turbina eólica 2 en la figura 8 comprende seis módulos de turbina eólica 6 agrupados en tres pares, estando cada par asociado con una diferente de tres disposiciones de brazo de soporte 10, mientras que el sistema de turbina eólica 2 en la figura 9 incluye un único par de módulos de turbina eólica 6 montados en una disposición de brazo de soporte respectiva 10.

10 Debe observarse que, en los sistemas de turbina eólica 2 de la figura 8 y 9, los módulos de turbina eólica 6 están agrupados en pares y, además, dispuestos en el mismo plano. Sin embargo, no se necesita que esto sea así. En otras realizaciones se prevé que pueden configurarse sistemas de turbina eólica de tal manera que los módulos de turbina eólica pueden estar ubicados, alternativa o adicionalmente, entre los pares de módulos de turbina eólica en los extremos de los brazos de soporte. Además, no se necesita que los módulos de turbina eólica estén dispuestos en el mismo plano.

15

REIVINDICACIONES

1. Sistema de turbina eólica (2) que comprende:

5 una pluralidad de módulos de turbina eólica (6) montados en una estructura de soporte (4), en el que cada uno de los módulos de turbina eólica comprende un rotor (22) que incluye una o más palas de paso variable (24), que definen cada una un ángulo de paso de pala respectivo y que se controlan mediante un sistema de control de paso,

un sistema de control (49-52) que puede hacerse funcionar para controlar los ángulos de paso de pala de la pluralidad de palas de los módulos de turbina eólica,

10 en el que el sistema de control está configurado para identificar la presencia de una condición de parada predeterminada y, dependiendo de la misma, puede hacerse funcionar para controlar los ángulos de paso de pala de las palas respectivas hasta posiciones de parada predeterminadas que reducen la oscilación de la estructura de soporte,

caracterizado porque las posiciones de parada predeterminadas de las palas se seleccionan mediante un procedimiento de selección aleatorizado.
- 15 2. Sistema de turbina eólica según la reivindicación 1, en el que el procedimiento de selección aleatorizado se lleva a cabo cuando se ha identificado la condición de parada predeterminada.
3. Sistema de turbina eólica según la reivindicación 1, en el que las posiciones de parada predeterminadas de las palas se almacenan como valores de parámetros en una zona de memoria del sistema de control.
- 20 4. Sistema de turbina eólica según la reivindicación 1, en el que las posiciones de parada predeterminadas de las palas respectivas se establecen mecánicamente mediante sistemas de control de paso respectivos.
5. Sistema de turbina eólica según la reivindicación 4, en el que las posiciones de parada predeterminadas de las palas respectivas se establecen mediante una posición de parada final para un elemento de accionamiento de paso de pala respectivo.
- 25 6. Sistema de turbina eólica según las reivindicaciones 1 a 5, en el que la posición de parada predeterminada de cada pala es diferente.
7. Sistema de turbina eólica según las reivindicaciones 1 a 5, en el que la posición de parada predeterminada de cada pala para un módulo de turbina eólica asociado es diferente.
8. Sistema de turbina eólica según las reivindicaciones 1 a 7, en el que la posición de parada predeterminada de cada pala está dentro de un intervalo de posición de paso de pala predeterminado.
- 30 9. Sistema de turbina eólica según la reivindicación 8, en el que el intervalo de posición de paso de pala predeterminado es de entre 30 y 100 grados.
10. Método de control de un sistema de turbina eólica (2) que tiene una pluralidad de módulos de turbina eólica (6) montados en una estructura de soporte (4), en el que cada uno de los módulos de turbina eólica comprende un rotor (22) que incluye una o más palas de paso variable (24), que definen cada una un ángulo de paso de pala respectivo, en el que el método comprende: identificar la presencia de una condición de parada de turbina eólica predeterminada (104), y, dependiendo de la misma, controlar los ángulos de paso de pala de las palas respectivas (108) a posiciones de parada predeterminadas que se seleccionan para reducir la oscilación de la estructura de soporte,

35 caracterizado porque las posiciones de parada predeterminadas de las palas se seleccionan mediante un procedimiento de selección aleatorizado.
- 40 11. Método según la reivindicación 10, en el que el procedimiento de selección aleatorizado se lleva a cabo cuando se ha identificado la condición de parada predeterminada.
12. Método según la reivindicación 10, en el que las posiciones de parada predeterminadas de las palas se almacenan como valores de parámetros en una zona de memoria del sistema de control.
- 45 13. Controlador para un sistema de control de turbina eólica que tiene una pluralidad de módulos de turbina eólica montados en una estructura de soporte, en el que cada uno de los módulos de turbina eólica comprende un rotor que incluye una o más palas de paso variable, que definen cada una un ángulo de paso de pala respectivo, en el que el controlador comprende un procesador, un módulo de memoria y un sistema de entrada/salida, y en el que la memoria incluye un conjunto de instrucciones de código de programa que,

50 cuando se ejecutan por el procesador, implementan un método según las reivindicaciones 10 a 12.

14. Producto de programa informático que puede descargarse a partir de una red de comunicación y/o almacenado en un medio legible por máquina, que comprende instrucciones de código de programa que, cuando se ejecutan por el controlador según la reivindicación 13, hacen que el controlador lleve a cabo el método según las reivindicaciones 10-12.

5

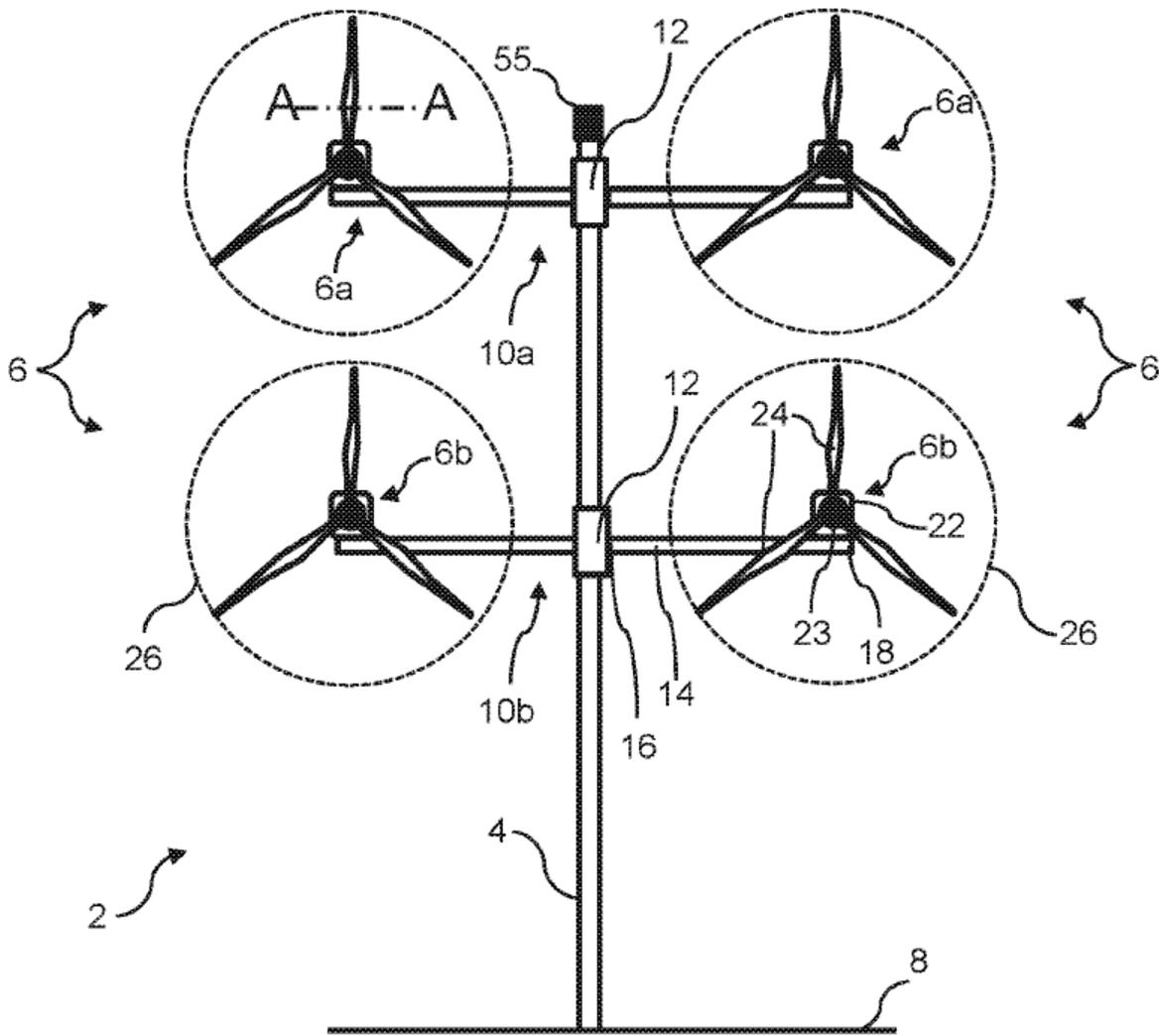


Fig.1

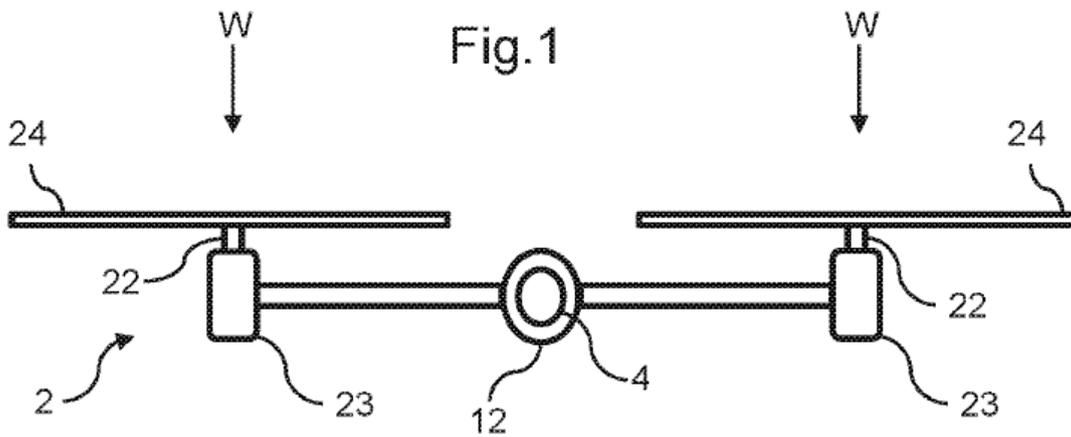


Fig.2

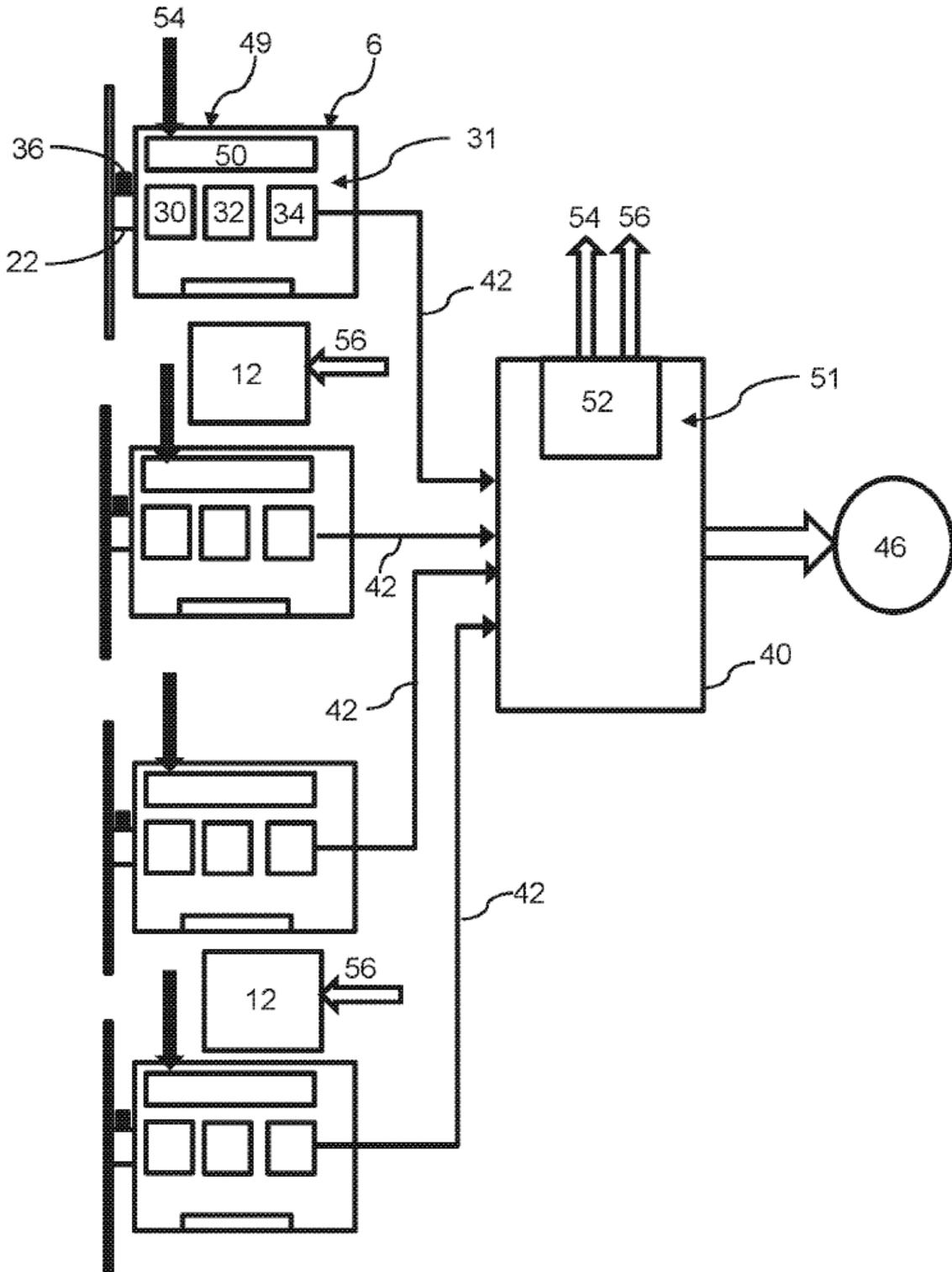


Fig.3

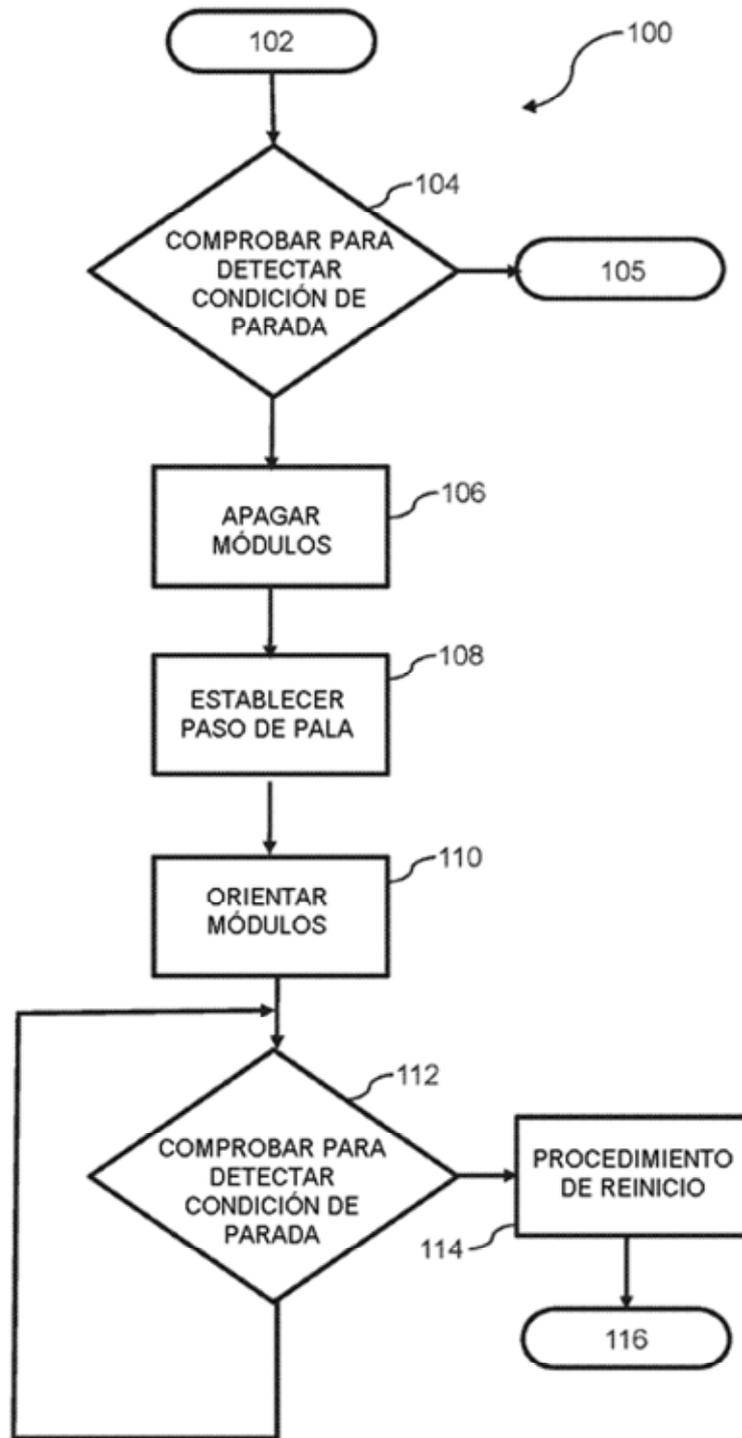


Fig.4

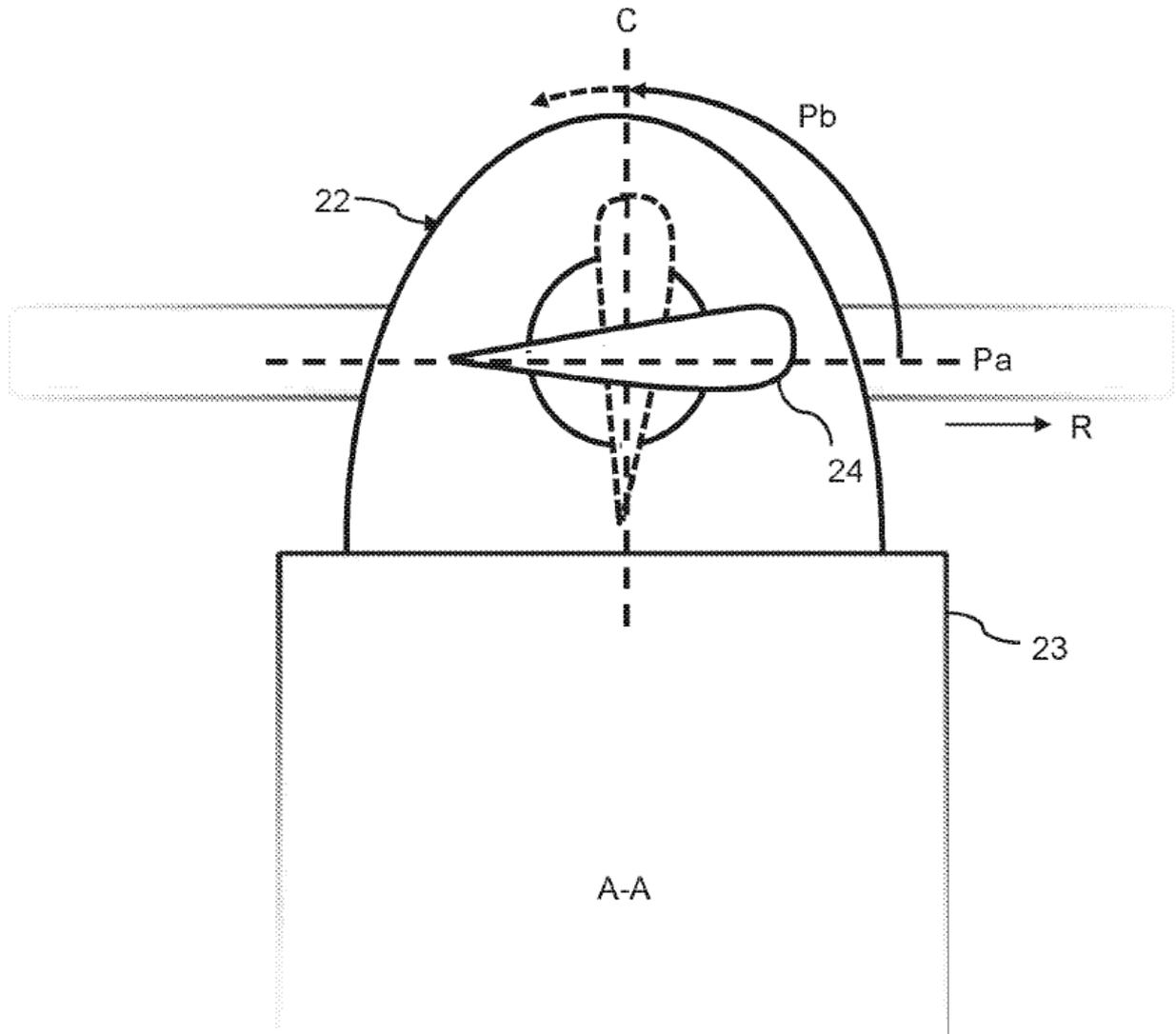


Fig.5

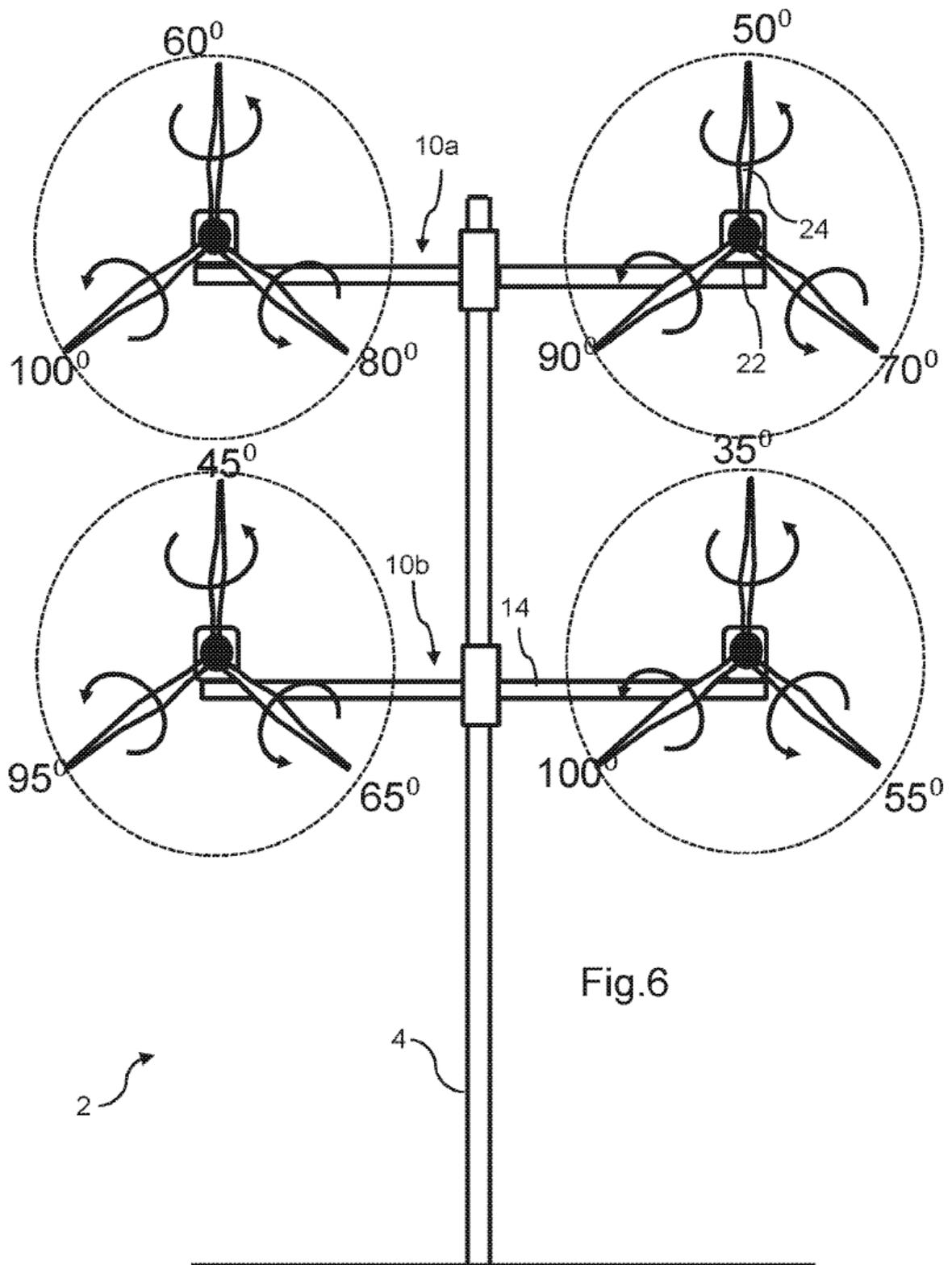


Fig.6

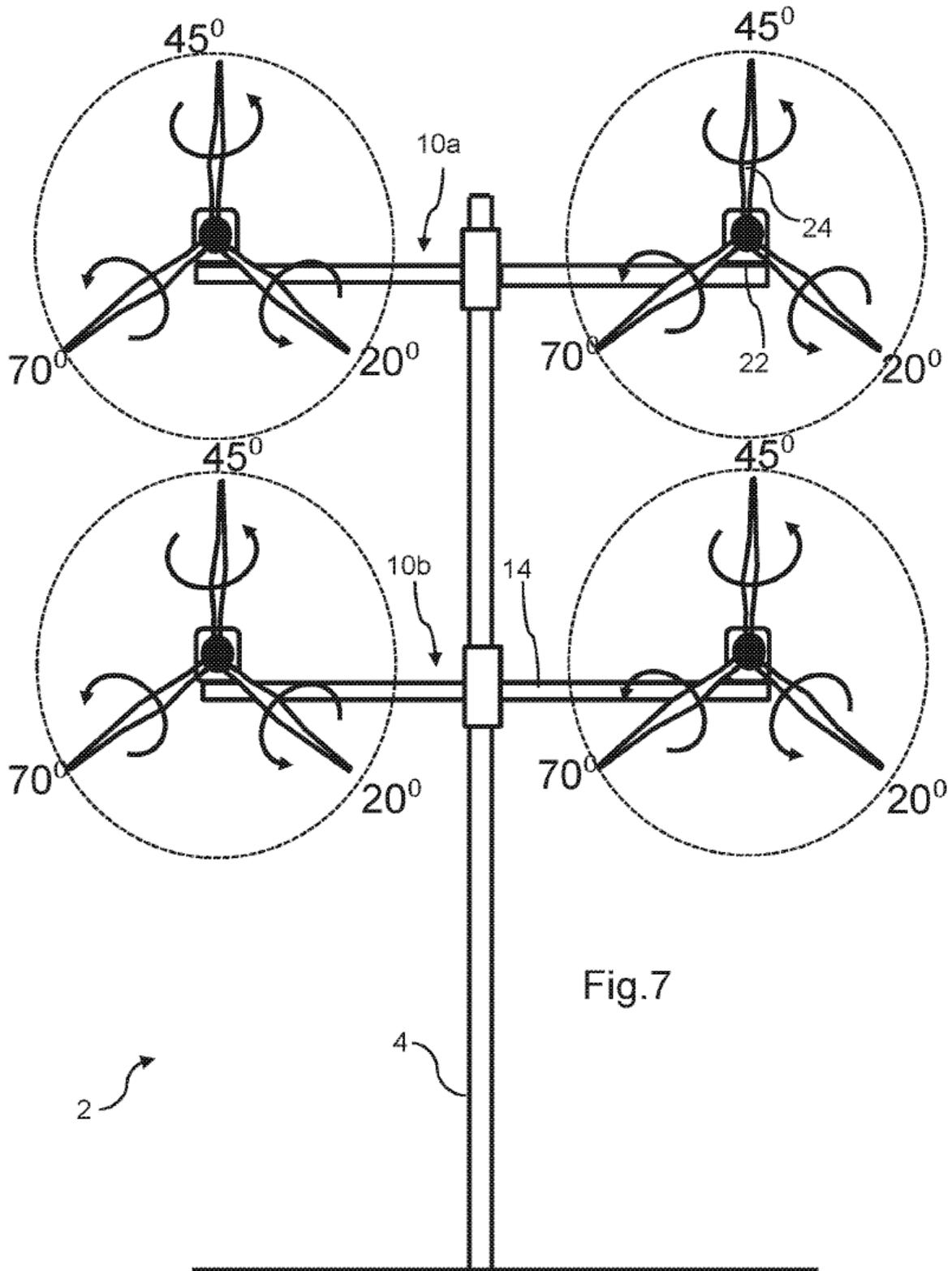


Fig.7

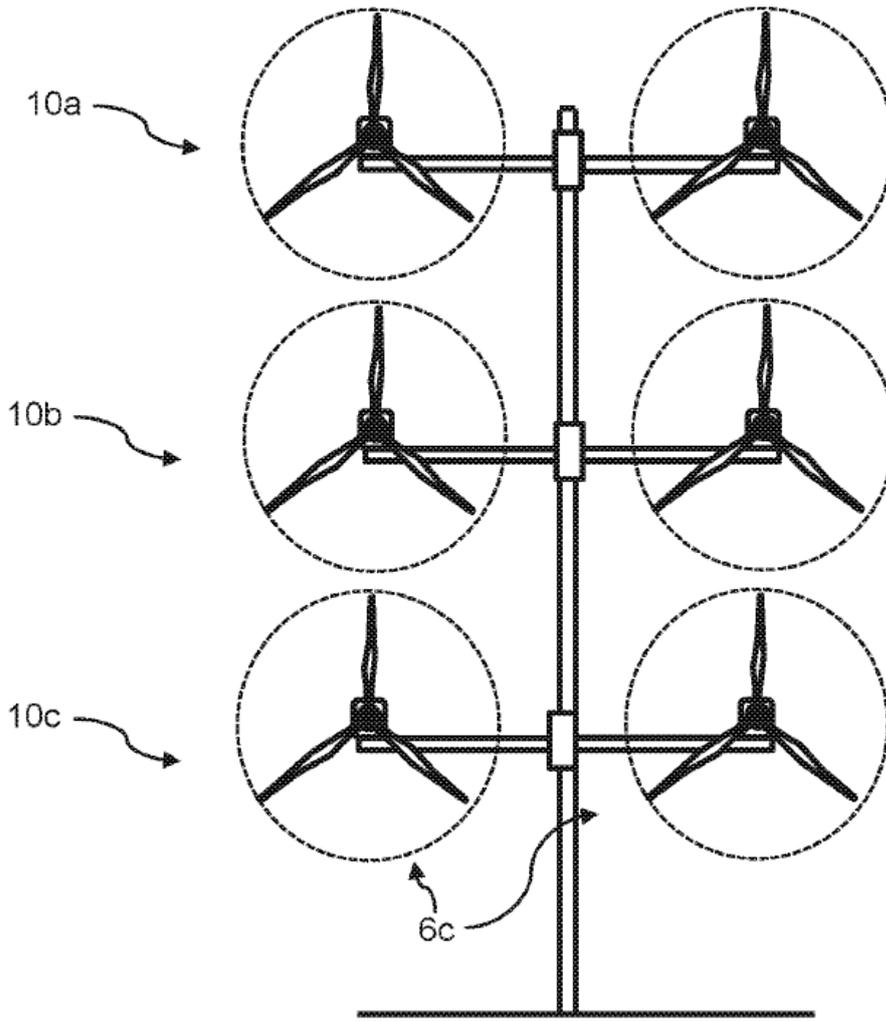


Fig.8

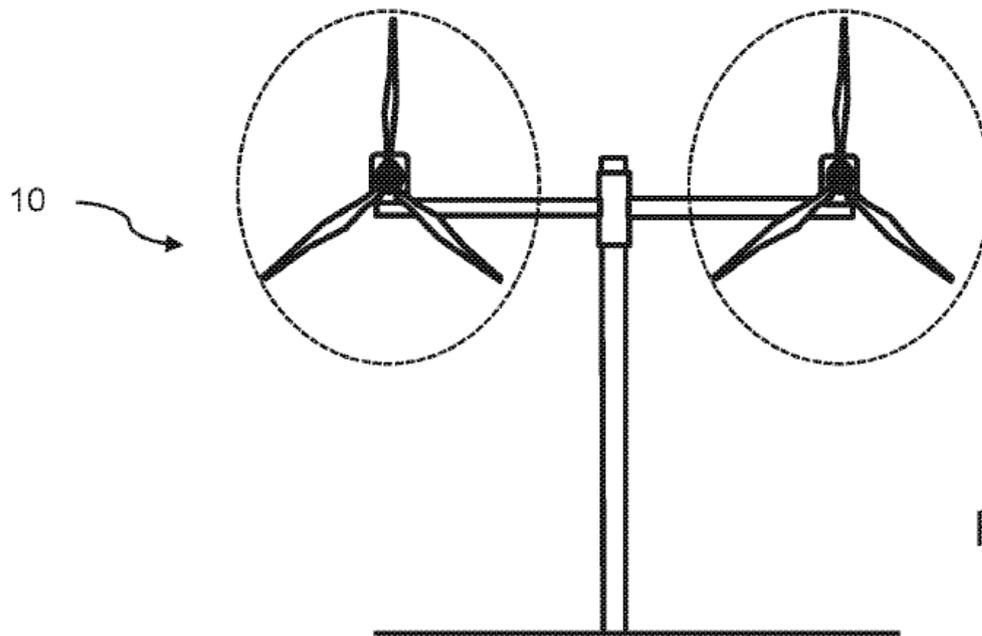


Fig.9