

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 473 343**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 7/04 (2006.01)

F03D 7/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.03.2007 E 07103533 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.05.2014 EP 1832743**

54 Título: **Procedimiento de control de la velocidad rotacional de un rotor**

30 Prioridad:

06.03.2006 US 368939

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

04.07.2014

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)
1 River Road
Schenectady, NY 12345, US**

72 Inventor/es:

**WILLEY, LAWRENCE DONALD;
CUNNINGHAM, JOHN NOEL;
GEBHARDT, ERIC;
UPHUES, ULRICH;
HOLLEY, WILLIAM EDWIN y
PIERCE, KIRK GEE**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 473 343 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

Procedimiento de control de la velocidad rotacional de un rotor

Antecedentes de la invención

La presente invención se refiere a un procedimiento de control de la velocidad rotacional de un rotor.

5 En la operación de al menos algunas de las turbinas eólicas conocidas, la velocidad del rotor es controlada para impedir que el rotor de la turbina eólica rote a, o por encima de, una velocidad predeterminada que pueda dañar los componentes de la turbina eólica. Por ejemplo, al menos algunas de las turbinas eólicas conocidas controlan la velocidad del rotor mediante la graduación del paso de las palas del rotor utilizando un sistema de accionamiento del paso que modifica el ángulo de las palas del rotor, modificando con ello el par aerodinámico del rotor, cf. por ejemplo el documento US-A-2006/0033338. Desde su introducción, las turbinas eólicas han aumentado continuamente en cuanto a su tamaño físico y a su potencia eléctrica de salida. Sin embargo, a medida que aumenta el diámetro del rotor y, por tanto, las longitudes de las palas del rotor, puede también incrementarse la fricción dentro del sistema de accionamiento del paso, lo que puede incrementar el par requerido por el motor de accionamiento del paso para acomodar el paso de las palas del rotor. Así mismo, a medida que aumentan las longitudes de las palas del rotor puede también resultar más difícil controlar con precisión el paso de las palas del rotor debido al culateo de engranajes dentro del sistema de accionamiento del paso. En cuanto tal, el sistema de accionamiento del paso puede exigir llevar a cabo unas operaciones de adaptación del paso para controlar con precisión el ángulo de las palas del rotor, lo que puede incrementar las pérdidas de potencia parásitas dentro de la turbina eólica y / o puede incrementar una cantidad de enfriamiento requerida por el sistema de accionamiento del paso para impedir daños a la turbina y / o que se averíe. Así mismo, la adaptación del paso de las palas del rotor puede incrementar las cargas inducidas sobre una torre de la turbina eólica debido al efecto del paso de las palas sobre el empuje del rotor.

Breve descripción de la invención

En un aspecto de la presente invención, se proporciona un procedimiento de acuerdo con la reivindicación adjunta 1.

Breve descripción de los dibujos

25 A continuación se describirán, solo a modo de ejemplo, formas de realización de la presente invención, con referencia a los dibujos que se acompañan, en los cuales:

La Figura 1 es una vista en perspectiva de una forma de realización ejemplar de una turbina eólica ejemplar.

30 La Figura 2 es una vista en perspectiva parcialmente recortada de una porción de la turbina eólica mostrada en la Figura 1.

La Figura 3 es un diagrama esquemático de la turbina eólica mostrada en las Figuras 1 y 2.

La Figura 4 es una vista en sección transversal de una porción de un buje de rotor de la turbina eólica mostrada en las Figuras 1 a 3 que ilustra una forma de realización ejemplar de un sistema de adaptación del paso para modificar un paso de una pala de rotor de la turbina eólica mostrada en las Figuras 1 a 3.

35 La Figura 5 es un diagrama de flujo que ilustra una forma de realización ejemplar de un procedimiento de control de una velocidad del rotor de la turbina eólica mostrada en las Figuras 1 a 3.

La Figura 6 es un gráfico que ilustra un ejemplo del procedimiento mostrado en la Figura 5.

Descripción detallada de la invención

40 Según se utiliza en la presente memoria, el término “pala”, se refiere a cualquier dispositivo que proporcione una fuerza reactiva cuando se desplace con respecto a un fluido circundante. Según se utiliza en la presente memoria, el término “turbina eólica” se refiere a cualquier dispositivo que genere una energía rotacional a partir de la energía eólica y, más concretamente, convierta la energía cinética del viento en energía mecánica. Según se utiliza en la presente memoria, el término “aerogenerador” se refiere a cualquier turbina eólica que genere potencia eléctrica a partir de la energía rotacional generada por la energía eólica y, más concretamente, convierta la energía mecánica convertida por la energía cinética del viento en potencia eléctrica. Según se utiliza en la presente memoria, el término “molino de viento” se refiere a cualquier turbina eólica que utilice la energía rotacional generada por la energía eólica y, más concretamente, la energía mecánica convertida a partir de la energía cinética del viento, para una finalidad predeterminada distinta de la generación de energía eléctrica, como por ejemplo, sin limitación, y el bombeo de un fluido y / o el triturado de una sustancia.

50 La Figura 1 es una vista en perspectiva de una forma de realización ejemplar de una turbina eólica 10 ejemplar. La Figura 2 es una vista en perspectiva parcialmente recortada de una porción de la turbina eólica 10. La Figura 3 es un diagrama esquemático de la turbina eólica 10. La turbina eólica 10 descrita e ilustrada en la presente memoria es un

aerogenerador para generar energía eléctrica a partir de la energía eólica. Sin embargo, en algunas formas de realización, la turbina eólica 10 puede ser, además o como alternativa a un aerogenerador, cualquier tipo de turbina eólica, como por ejemplo, sin limitación, un molino de viento (no mostrado). Así mismo, la turbina eólica 10 descrita e ilustrada en la presente memoria incluye una configuración de eje geométrico horizontal. Sin embargo, en algunas formas de realización, la turbina eólica 10 puede incluir, además o como alternativa a la configuración de eje geométrico horizontal, una configuración (no mostrada) de eje geométrico vertical. La turbina eólica 10 puede ser acoplada a una carga eléctrica (no mostrada) como por ejemplo, sin limitación, una red de energía eléctrica (no mostrada) para recibir de ella la energía eléctrica para accionar el funcionamiento de la turbina eólica 10 y / o a sus componentes asociados y / o para suministrar la energía eléctrica generada por la turbina eólica 10. Aunque solo se muestra una turbina eólica 10 en las Figuras 1 a 3, en algunas formas de realización una pluralidad de turbinas eólicas 10 puede estar agrupada de forma conjunta, algunas veces designadas como “parque eólico”.

La turbina eólica 10 incluye un cuerpo 16, algunas veces designado como “góndola” y un rotor (genéricamente designado con la referencia numeral 18) acoplado al cuerpo 16 para su rotación con respecto al cuerpo 16 alrededor de un eje geométrico de rotación 20. En la forma de realización ejemplar, la góndola 16 está montada sobre una torre 14. Sin embargo, en algunas formas de realización, además de o como alternativa a la góndola 16 montada sobre una torre, la turbina eólica 10 incluye una góndola 16 adyacente al suelo y / o a una superficie de agua. La altura de la torre 14 puede ser cualquier altura apropiada que permita que la turbina eólica 10 funcione según lo descrito en la presente memoria. El rotor 18 incluye un buje 22 y una pluralidad de palas 24 (algunas veces designadas como “superficies aerodinámicas”) que se extienden radialmente hacia fuera desde el buje 22 para convertir la energía eólica en energía rotacional. Aunque el rotor 18 se describe e ilustra en la presente memoria incorporando tres palas 24, el rotor 18 puede incorporar una diversidad de palas 24. Cada una de las palas 24 puede tener cualquier longitud (ya se describa o no en la presente memoria). Por ejemplo, en algunas formas de realización una o más palas 24 del rotor tienen una longitud de aproximadamente 0,5 metros, mientras que en algunas formas de realización una o más palas 24 del rotor tienen aproximadamente 50 metros de largo. Otros ejemplos de longitudes de las palas 24 incluyen longitudes de 10 metros o menos, aproximadamente 20 metros, aproximadamente 37 metros y aproximadamente 40 metros. Otros ejemplos adicionales incluyen palas de rotor entre aproximadamente 50 y aproximadamente 100 metros de largo.

A pesar de la forma en que se ilustran las palas 24 del rotor en la Figura 1, el rotor 18 puede incorporar unas palas 24 de cualquier forma, y pueden incorporar unas palas 24 de cualquier tipo y / o cualquier configuración, ya se describan y / o se ilustren o no en la presente memoria dichas formas, tipo y / o configuración. Un ejemplo de otro tipo, forma y / o configuración de las palas 24 del rotor es un rotor conducido (no mostrado) que incorpora una turbina (no mostrada) contenida dentro de un conducto (no mostrado). Otro ejemplo de otro tipo, forma y / o configuración de las palas 24 del rotor es una turbina eólica Darrieus, algunas veces designada como turbina eólica “eggbeater” [“batidora de huevos”]. Así mismo, la turbina eólica 10 puede, en algunas formas de realización, ser una turbina eólica en la que el rotor 18 genéricamente esté encarado a barlovento para utilizar la energía eólica, y / o puede ser una turbina eólica en la que el rotor 18 genéricamente tenga el viento de cara para utilizar la energía eólica y / o puede ser una turbina eólica en la que el rotor 18 genéricamente esté encarado a sotavento para utilizar la energía. Por supuesto, en cualquier forma de realización, el rotor 18 puede estar dispuesto para situarse exactamente a barlovento y / o a sotavento, pero, puede genéricamente estar dispuesto en cualquier ángulo (que puede ser variable) con respecto a una dirección del viento para utilizar la energía procedente del mismo.

Con referencia ahora a las Figuras 2 y 3, la turbina eólica 10 incluye un generador 26 eléctrico acoplado al rotor 18 para generar energía eléctrica a partir de la energía rotacional generada por el rotor 18. El generador 26 puede ser cualquier tipo de generador eléctrico apropiado, como por ejemplo, sin limitación, un generador de inducción con rotor devanado. El generador 26 incluye un estator (no mostrado) y un rotor (no mostrado). El rotor 18 incluye un eje 30 del rotor acoplado al buje 22 del rotor para su rotación con éste. El generador 26 está acoplado al eje 30 del rotor de forma que la rotación del eje 30 del rotor accione la rotación del generador y, por tanto, el funcionamiento del generador 26. En la forma de realización ejemplar, el rotor del generador incorpora un eje 28 del rotor acoplado a aquél y acoplado al eje 30 del rotor de forma que la rotación del eje 30 del rotor accione la rotación del rotor del generador. En otras formas de realización, el rotor del generador está directamente acoplado al eje 30 del rotor, y algunas veces designado como “turbina eólica de accionamiento directo”. En la forma de realización ejemplar, el eje 28 del rotor del generador está acoplado al eje 28 del rotor por medio de una caja de engranajes 32. Aunque en otras formas de realización, el eje 28 del generador del rotor está acoplado directamente al eje 30 del rotor. Más en concreto, en la forma de realización ejemplar, la caja de engranajes 32 incorpora un lado 34 de baja velocidad acoplado al eje 30 del rotor y un lado 36 de alta velocidad acoplado al eje 28 del rotor del generador. El par del rotor 18 acciona el rotor del generador para de esta manera generar una energía eléctrica de ca de frecuencia variable a partir de la rotación del rotor 18. El generador 26 presenta un par en el entrehierro entre el rotor del generador y el estator que se opone al par del rotor 18. Un convertidor 38 de frecuencia está acoplado al generador 26 para convertir la ca de frecuencia variable en una ca de frecuencia fija para proporcionar una carga eléctrica (no mostrada), como por ejemplo, sin limitación, a una red de energía eléctrica (no mostrada), acoplada al generador 26. El convertidor 38 de frecuencia puede estar acoplado en cualquier parte dentro de o lejos de la turbina eólica 10. Por ejemplo, en la forma de realización ejemplar, el convertidor 38 de frecuencia está situado dentro de una base (no mostrada) de la torre 14.

En algunas formas de realización, la turbina eólica 10 puede incluir uno o más sistemas 40 de control acoplados a algunos o todos los componentes de la turbina eólica 10 para genéricamente controlar el funcionamiento de la turbina eólica 10 y / o algunos o todos de sus componentes (ya se describan y / o se ilustren o no dichos componentes en la presente memoria). Por ejemplo, en la forma de realización ejemplar, un(os) sistema(s) 40 de control está(n) montado(s) dentro de la góndola 16 está(n) acoplado(s) a un control 41 del rotor para genéricamente controlar el rotor 18. En la forma de realización ejemplar, el (los) sistema(s) 40 de control está(n) montado(s) dentro de la góndola 16. Sin embargo, de forma adicional o como alternativa, uno o más sistemas 40 de control pueden estar dispuestos a distancia de la góndola 16 y / o de otros componentes de la turbina eólica 10. El (los) sistemas 40 de control puede(n) ser utilizado(s) para, sin limitación, controlar el sistema global y controlar entre otros, por ejemplo, la regulación del paso y de la velocidad, el eje de alta velocidad y la aplicación de frenado de guiñada, y la aplicación de la guiñada y del motor de bombeo y / o vigilar la aparición de averías. En algunas formas de realización, pueden ser utilizadas arquitecturas de control distribuidas o centralizadas alternativas.

En algunas formas de realización, la turbina eólica 10 puede incluir un freno de disco (no mostrado) para frenar la rotación del rotor 18 para, por ejemplo, ralentizar la rotación del rotor 18, disponiéndose el rotor 18 de frenado contra el par del viento a toda la velocidad, y / o reducir la generación de energía eléctrica procedente del rotor 26 eléctrico. Así mismo, en otras formas de realización, la turbina eólica 10 puede incluir un sistema 42 de guiñada para hacer rotar la góndola 16 alrededor de un eje geométrico de rotación 44 para modificar una guiñada del rotor 18, y más concretamente para modificar una dirección encarada por el rotor 18 para, por ejemplo, ajustar un ángulo entre la dirección encarada por el rotor 18 y una dirección del viento. El sistema 42 de guiñada puede ser acoplado al (a los) sistema(s) 40 de control para controlar dicho ángulo. En algunas formas de realización, la turbina eólica 10 puede incluir un sistema de anemometría 46 para medir la velocidad y / o la dirección del viento. El sistema de anemometría 46, en algunas formas de realización, puede ser acoplado al (a los) sistema(s) 40 de control para detectar mediciones de control del (de los) sistema(s) 40 de control para su procesamiento. Por ejemplo, y aunque el sistema de anemometría 46 pueda estar acoplado al (a los) sistema(s) 40 de control para enviar mediciones hacia aquél para controlar las operaciones de la turbina eólica 10, el sistema de anemometría 46 puede enviar mediciones para controlar el (los) sistema(s) 40 de control para controlar y / o modificar una guiñada del rotor 18 utilizando el sistema 42 de guiñada. Como alternativa, el sistema de anemometría 46 puede estar acoplado directamente al sistema 42 de guiñada para controlar y / o modificar una guiñada del rotor 18.

La turbina eólica 10 puede también incluir una pluralidad de sensores 48 cada uno acoplado a una pala 24 correspondiente para medir un paso de cada pala 24 o, más en concreto, un ángulo de cada pala 24 con respecto a una dirección del viento y / o con respecto al buje 22 del rotor. Los sensores 48 pueden ser cualquier sensor apropiado situado en cualquier emplazamiento conveniente dentro o a distancia de la turbina eólica 10, como por ejemplo, sin limitación, unos codificadores ópticos dentro del sistema 56 de ajuste del paso (descrito más adelante). En algunas formas de realización, los sensores 48 están acoplados a (a los) sistema(s) 40 de control para enviar las mediciones del paso para controlar el (los) sistema(s) 40 de control para su procesamiento. En la forma de realización ejemplar, la turbina eólica 10 incluye uno o más sensores 50 acoplados al eje 28 del rotor del generador para medir una velocidad de rotación del eje 28 de rotor y / o un par del eje 28 del rotor del generador. El (los) sensor(es) 50 puede(n) ser cualquier sensor apropiado que esté situado en cualquier emplazamiento adecuado dentro o lejos de la turbina eólica 10, como por ejemplo, sin limitación, unos codificadores ópticos, unos sensores de proximidad digitales, unos medidores de la deformación y / o unos tacómetros. En algunas formas de realización el (los) sensor(es) 50 está(n) acoplado(s) al (a los) sistema(s) 40 de control para enviar mediciones de la velocidad al (a los) sistema(s) 40 de control para su procesamiento. Así mismo, en la forma de realización ejemplar, la turbina eólica 10 incluye uno o más sensores 52 acoplados al eje 30 del rotor para medir una velocidad de rotación del eje 28 del rotor y / o un par del eje 30 del rotor. El (los) sensor(es) 52 puede(n) ser cualquier sensor apropiado que se sitúe en cualquier emplazamiento adecuado dentro de o lejos de una turbina eólica 10, como por ejemplo, sin limitación, unos codificadores ópticos, unos sensores de proximidad digitales, unos transductores piezoeléctricos, unos medidores de la deformación y / o unos tacómetros. En algunas formas de realización el (los) sensor(es) 52 está(n) acoplado(s) al (a los) sistema(s) 40 de control para enviar mediciones al (a los) sistema(s) 40 de control para su procesamiento. Así mismo, en la forma de realización ejemplar, la turbina eólica 10 incluye uno o más sensores 54 acoplados al generador 26 para medir una potencia de salida eléctrica del generador 26. En algunas formas de realización, el (los) sensor(es) 54 está(n) acoplado(s) al (a los) sistema(s) 40 de control para enviar mediciones para controlar el (los) sistema(s) 40 de control para su procesamiento. El (los) sensor(es) 54 puede(n) ser cualquier sensor apropiado que esté situado en cualquier emplazamiento adecuado dentro o lejos de la turbina eólica 10, como por ejemplo, sin limitación, unos transductores de corriente de efecto Hall (CTs) y / o unos transductores de tensión capacitivos (CVTs).

La turbina eólica 10 puede también incluir uno o más sensores adicionales (no mostrados) acoplados a uno o más componentes de la turbina eólica 10 y / o a la carga eléctrica, ya se describa(n) o ilustre(n) o no dicho(s) componente(s) en la presente memoria, para medir los parámetros de dicho(s) componente(s). Dicho(s) otro(s) sensor(es) puede(n) incluir, sin limitación, unos sensores configurados para medir los desplazamientos, la guiñada, el paso, los momentos, la deformación, el esfuerzo, la torsión, los daños, las averías, el par del rotor, la velocidad del rotor y una anomalía en la carga eléctrica, y / o una anomalía de la energía suministrada a cualquier componente de la turbina eólica 10. Dichos otros sensores pueden acoplarse a cualquier componente de la turbina eólica 10 y / o a

la carga eléctrica en cualquier emplazamiento de estos para medir cualquier parámetro de estos, ya se describa y / o ilustre o no en la presente memoria, dicho componente, emplazamiento y / o parámetro.

5 La turbina eólica 10 incluye un sistema 56 de paso de las palas para controlar, incluyendo pero no limitados a, el cambio, el ángulo de paso de las palas 24 del rotor (mostradas en las Figuras 1 a 3) con respecto a una dirección del viento. La Figura 4 es una vista en sección transversal de una vista de un buje 22 en porciones que ilustra una forma de realización ejemplar del sistema 56 de paso. El sistema 56 de paso puede ser acoplado al (a los) sistema(s) 40 de control (mostrado(s) en las Figuras 1 y 2) para el control de aquél. El sistema 56 de paso incluye uno o más accionadores (por ejemplo, el engranaje 58 de accionamiento del paso y el engranaje de corona 60 de paso, descrito más adelante) acoplado al buje 22 y a las palas 24 para cambiar el ángulo de paso de las palas 24 haciendo rotar las palas 24 con respecto al buje 22. Los accionadores del paso pueden incluir cualquier estructura, configuración, disposición, medios y / o componentes apropiados, ya se describan y / o ilustren o no en la presente memoria, como por ejemplo, sin limitación, motores eléctricos, motores hidráulicos, muelles y / o servomecanismos. Así mismo, los accionadores del paso pueden ser accionados por cualquier medio apropiado, ya se describan y / o se ilustren o no en la presente memoria, como por ejemplo, sin limitación, fluido hidráulico, energía eléctrica, energía electroquímica y / o energía mecánica, como por ejemplo, sin limitación, una fuerza por resorte. En la forma de realización ejemplar, los accionadores del paso incluyen un engranaje 58 de accionamiento del paso que está acoplado a una rueda dentada 60 del paso, como se muestra en la Figura 4. La rueda dentada 60 del paso está acoplada a la pala 24 de forma que la rotación de la rueda dentada 58 del paso haga rotar la pala 24 alrededor de un eje geométrico de rotación 62 para de esta manera modificar el paso de la pala 24.

20 En algunas formas de realización, los accionadores del paso pueden ser accionados por la energía extraída de la inercia rotacional del rotor 18 y / o una fuente de energía almacenada (no mostrada) que suministre a los componentes de la turbina eólica 10, como por ejemplo, sin limitación, al (a los) sistema(s) 40 de control y / o al sistema 56 del paso, energía durante una anomalía en la carga eléctrica y / o la fuente de energía acoplada a la turbina eólica 10. Por ejemplo una anomalía en la carga eléctrica y / o en la fuente de energía puede incluir, sin limitación, un fallo de energía, un estado de infratensión, un estado de sobretensión y / o un estado fuera de frecuencia. En cuanto tal, la fuente de energía almacenada permite el paso de las palas 24 durante la anomalía. Aunque pueden ser utilizadas otras fuentes de energía almacenadas, en algunas formas de realización, la fuente de energía almacenada incluye acumuladores hidráulicos, generadores eléctricos, energía de resorte almacenada, condensadores y / o baterías. Las fuentes de energía almacenada pueden estar situadas en cualquier parte dentro de, sobre, en posición adyacente a, y / o a distancia de la turbina eólica 10. En algunas formas de realización, la fuente de energía almacena la energía extraída de la inercia rotacional del rotor 18, la energía almacenada dentro del convertidor 38 y / o otras fuentes de energía auxiliares, como por ejemplo, sin limitación, una turbina eólica auxiliar (no mostrada) acoplada a la turbina eólica 10, unos paneles solares y / o instalaciones de energía hidroeléctrica.

35 Con referencia de nuevo a la Figura 3, en algunas formas de realización, el (los) sistema(s) 40 de control incluyen una barra colectora 62 u otro dispositivo de comunicaciones para comunicar información. Uno o más procesador(es) están acoplados a la barra colectora 62 para procesar información, incluyendo la información procedente de un sistema de anemometría 46, unos sensores 48, 50, 52 y / o 54 y / u otro(s) sensor(es). El (los) sistema(s) 40 de control puede(n) también incluir una o más memorias de acceso aleatorio (RAM) 66 y / u otro(s) dispositivo(s) 68 de almacenaje. La(s) RAM(s) 66 y el (los) dispositivo(s) 68 de almacenaje están acoplados a la barra colectora 62 para almacenar y transferir información e instrucciones destinadas a ser ejecutadas por el (los) procesador(es) 64. La RAM(s) 66 (y / o también el (los) dispositivo(s) 68 de almacenaje, caso de que se incluya(n)) puede(n) también ser utilizado(s) para almacenar variables temporales u otra información intermedia durante la ejecución de las instrucciones por el (los) procesador(es) 64. El (los) sistema(s) 40 de control puede(n) también incluir una o más memorias de solo lectura (ROM) 70 y / u otros dispositivos de almacenaje estáticos acoplados a la barra colectora 62 para almacenar y proporcionar información estática (esto es, no modificable) e instrucciones al (a los) procesador(es) 64. El (los) dispositivo(s) 72 de entrada / salida puede(n) incluir cualquier dispositivo conocido en la técnica para proporcionar datos de entrada al (a los) sistema(s) 40 de control y / o para proporcionar salidas, como por ejemplo, sin limitación, las salidas de control de guiñada y / o de control del paso. Las instrucciones pueden ser suministradas a la memoria a través de un dispositivo de almacenaje, como por ejemplo, sin limitación, un disco magnético, un circuito integrado de memoria de solo lectura (ROM), un CD-ROM, y / o un DVD, por medio de una conexión a distancia que puede ser o bien cableada o inalámbrica que proporcione acceso a uno o más medios electrónicamente accesibles, etc. En algunas formas de realización, el conjunto de circuitos cableado puede ser utilizado en lugar de o en combinación con instrucciones de software. De esta manera, la ejecución de secuencias de instrucciones no está limitada a ninguna combinación específica de conjunto de circuitos de software y a instrucciones de software, ya se describan y / o se ilustren o no en la presente memoria. El (los) sistema(s) 40 de control puede(n) también incluir una interfaz 74 de sensores que permita que el (los) sistema(s) 40 de control comuniquen(n) con un sistema de anemometría 56, los sensores 48, 50, 52 y / o 54 y / u otro(s) sensor(es). La interfaz 64 de sensores puede ser o puede incluir, por ejemplo, uno o más convertidores analógico - digitales que conviertan la señales analógicas en señales digitales que puedan ser utilizadas por el (los) procesador(es) 64.

La Figura 5 es un diagrama de flujo que ilustra una forma de realización ejemplar del procedimiento 100 de control de la velocidad del rotor 18 (mostrado en las Figuras 1 a 3). El procedimiento 100 incluye el control 102 de un par del generador 26 (mostrado en las Figuras 2 y 3) para de esta manera controlar un par del eje 30 (mostrado en la Figura

2) del rotor, y la alternancia entre el cambio 104 de un ángulo del paso de una o más palas 24 (mostradas en las Figuras 1 y 2) del rotor para facilitar el control de la velocidad del rotor 18 y del mantenimiento 106 del ángulo del paso de una o más palas 24 del rotor sustancialmente constante. El control 102 del par del generador puede incluir, sin limitación, la selección de un par del generador, la modificación del par del generador y / o el control de una cadencia a la cual se modifica el par del generador. El (los) valor(es) del par del generador seleccionado(s), modificado(s) y / o controlado(s) puede(n) ser cualquier valor(es) apropiado(s) o intervalo de estos, como por ejemplo, sin limitación, +/- un 20% de un par nominal predeterminado. El control 102 del par del generador puede llevarse a cabo durante cualquier porción de alternancia entre la modificación 104 y el mantenimiento 106 del ángulo de paso. Por ejemplo, el par del generador puede ser controlado 102 durante un cambio 104 del ángulo de paso de las palas y / o mientras el ángulo de paso se mantiene 106. En algunas formas de realización, y por ejemplo, si el control 102 del par del generador es suficiente para regular una velocidad rotacional deseada del rotor 18, por ejemplo una velocidad que genere una salida de potencia deseada del generador 26, el ángulo de paso de las palas puede no ser modificado 102. Por ejemplo, en algunas formas de realización, el par del controlador es controlado 102 de manera simultánea con el cambio 104 del ángulo de paso, por ejemplo, para facilitar la evitación del funcionamiento de la turbina eólica 10 a velocidades y / o a pares por encima o por debajo de límites predeterminados.

El cambio 104 del ángulo de paso de las palas 24 puede incluir el control de una cadencia a la cual el ángulo de paso de una o más de las palas 24 se modifique. El (los) valor(es) de paso del ángulo de paso de las palas 24 modificado 104 y / o mantenimiento 106 puede(n) ser cualquier valor apropiado o intervalo del mismo, como por ejemplo, sin limitación, entre aproximadamente 5° y aproximadamente +30°. La modificación 104 del paso de las palas incluye una banda muerta para adaptarse, por ejemplo, al culateo de engranajes. En algunas formas de realización la banda muerta es diferente dependiendo de la dirección del cambio del ángulo de paso.

El control 102 de un par de un eje 28 del rotor del generador y la alternancia entre el cambio 104 de un ángulo de paso de una o más palas 24 del rotor y el mantenimiento 106 del ángulo de paso de una o más palas 24 del rotor de una manera sustancialmente constante, puede llevarse a cabo utilizando cualquier estructura, proceso y / o medio apropiado. En la forma de realización ejemplar, el procedimiento 100 controla 102 el par del generador y alterna entre el cambio 104 de un ángulo de paso de una o más palas 24 del rotor y el mantenimiento 106 del ángulo de paso de una o más palas 24 del rotor sustancialmente constante utilizando el (los) sistema(s) 40 de control (mostrado(s) en las Figuras 2 y 3) y la entrada procedente de un sistema de anemometría 46 (mostrado en las Figuras 1 y 2), los sensores 48 (mostrados en la Figura 1), 50 (mostrado en la Figura 2), 52 (mostrado en la Figura 2) y / o 54 (mostrado en la Figura 3) y / u otro(s) sensor(es). El par del generador puede ser controlado 102 utilizando cualquier estructura, proceso y / o medio apropiado. En la forma de realización ejemplar, el convertidor 38 de frecuencia (mostrado en las Figuras 2 y 3) controla el par del generador 26 mediante el control 105 del par de espacio libre de aire del rotor y el estator del generador 26 (mostrados en las Figuras 2 y 3). Así mismo, en la forma de realización ejemplar, el convertidor 38 de frecuencia controla el par del eje 28 del rotor del generador (mostrado en las Figuras 2 y 3) para de esta manera controlar el par del eje 30 del rotor. Sin embargo, en otras formas de realización, por ejemplo en las que la turbina eólica 10 es una turbina eólica de accionamiento directo, el convertidor 38 de frecuencia puede controlar el par de un acoplamiento entre el rotor del generador y el eje 30 del rotor para de esta manera controlar el par del eje 30 del rotor. El paso de las palas puede ser controlado 102 utilizando una estructura, proceso y / o medios apropiados. En la forma de realización ejemplar, el paso de las palas es controlado 102 utilizando el sistema 56 de paso de las palas variable.

Aunque el procedimiento 100 puede incluir el control 102 del par del generador y la alternancia entre el cambio 104 y el mantenimiento 106 del paso de las palas durante la operación de velocidad variable de la turbina eólica 10 a o por debajo de una velocidad del viento nominal predeterminada (que se puede basar en una salida de potencia deseada del generador 26), en el procedimiento 100 de la forma de realización ejemplar controla 102 el par del generador y alterna entre el cambio 104 y el mantenimiento 106 del paso de las palas para facilitar una operación de velocidad genéricamente constante de la turbina eólica 10 (manteniendo una velocidad sustancialmente constante del rotor 18) a o por debajo de una velocidad del viento nominal predeterminada. En algunas formas de realización, la velocidad del viento es variable por encima de la velocidad nominal predeterminada de forma que el procedimiento 100 controle el par del generador y alterne entre el cambio 104 y el mantenimiento 106 del paso de las palas para facilitar la operación de velocidad genéricamente constante de la turbina eólica 10 en el curso de velocidades del viento variables por encima de la velocidad del viento nominal predeterminada.

La Figura 6 es un gráfico que ilustra un ejemplo del procedimiento 100 (mostrado en la Figura 5) que controla 102 el par del generador y la alternancia entre el cambio 104 y el mantenimiento 106 de un paso 107 de las palas a o por encima de una velocidad del viento nominal predeterminada. Más en concreto, cuando la velocidad del viento aumenta por encima de una velocidad del viento nominal predeterminada de aproximadamente 11 m/s, el procedimiento 100 controla 102 el par del generador y alterna entre el cambio 104 y el mantenimiento 106 del paso 107 de las palas para facilitar el mantenimiento a una velocidad 109 del rotor genéricamente constante de aproximadamente 1440 revoluciones por minuto (rpm). En cuanto tal, por encima de una velocidad del viento de aproximadamente 11 m/s, se genera una potencia de salida 108 media genéricamente constante de aproximadamente 1550 kilovatios (KW) desde el generador 26 (mostrado en las Figuras 2 y 3). Por supuesto, la Figura 6 es solo un ejemplo del procedimiento 100. Por consiguiente, la velocidad del viento, el paso 107 de las palas, la velocidad 109 del rotor y la potencia de salida 108 son solo valores ejemplares. La velocidad del viento, el

paso 107 de las palas, la velocidad 109 del rotor y la potencia de salida 108 pueden tener cualquier otro valor apropiado dependiendo de, por ejemplo, un emplazamiento de la turbina eólica 10, parámetros de diseño de la turbina eólica 10 en conjunto, y / o cualquier componente de esta, y / u otras características de la turbina eólica 10.

- 5 Con referencia ahora a las Figuras 5 y 6, en la forma de realización ejemplar, la alternancia entre el cambio 104 y el mantenimiento 106 del paso de las palas incluye el cambio 110 de un ángulo de una o más palas 24 de rotor en una pluralidad de etapas sucesivas. Por ejemplo, la Figura 6 ilustra un ejemplo de procedimiento 100 en el que el paso de las palas se incrementa en una pluralidad de etapas 112 sucesivas cuando la velocidad del viento aumenta por encima de la velocidad del viento nominal predeterminada de aproximadamente 11 m/s. Cada etapa sucesiva del paso de las palas puede tener cualquier tamaño apropiado, como por ejemplo, sin limitación, 0,3°. Así mismo, cada etapa sucesiva puede incrementar el paso de las palas o reducir el paso de las palas. En algunas formas de realización, el paso de las palas se modifica en una pluralidad de etapas iguales sucesivas, cada una de las cuales incrementa el paso de las palas. En algunas formas de realización, el paso de las palas se modifica en una pluralidad de etapas iguales sucesivas cada una de las cuales reduce el paso de las palas. En algunas formas de realización, el paso de las palas se modifica en una pluralidad de etapas iguales sucesivas, en las que algunas de las etapas incrementan el paso de las palas y algunas de las palas reducen el paso de las palas. En otras formas de realización, una o más etapas es diferente de una o más de las demás etapas. Por ejemplo, como se ilustra en la Figura 6, las etapas 112 incluyen etapas más pequeñas entre velocidades del viento de aproximadamente 11 m/s y aproximadamente 13 m/s que efectúan el tránsito a etapas mayores por encima de aproximadamente 13 m/s de velocidad del viento.
- 10
- 15
- 20 Para facilitar la obtención de una potencia de salida media deseada del generador 26 y para facilitar la evitación de actuación continua sobre la turbina eólica 10 y / o pares por encima o por debajo de límites predeterminados, la modificación 104 y / o el mantenimiento 106 del ángulo de paso de las palas se puede basar, al menos en parte, en una comparación 114 entre una potencia de salida deseada y una potencia de salida efectiva del generador 26 generada en el curso del control 102 del par del generador. La potencia de salida efectiva del generador 26 puede ser medida o calculada. Por ejemplo, en algunas formas de realización el (los) sistema(s) 40 de control recibe(n) una potencia de salida del generador 26 procedente del sensor 54 (mostrado en las Figuras 2 y 3) y cambia 104 o mantiene 106 el ángulo de paso de las palas en base a la potencia de salida medida. En otras formas de realización, y por ejemplo, el (los) sistema(s) 40 de control calcula la potencia de salida del generador 26 en base a un par medido del generador 26 (en la forma de realización ejemplar un par medido del eje 28 del rotor del generador
- 25
- 30 recibido desde el (los) sensor(es) 50, mostrado(s) en las Figuras 2 y 3) o un par medido del eje 30 del rotor recibido desde el (los) sensor(es) 52 (mostrado(s) en las Figuras 2 y 3), y en base a una velocidad rotacional medida del eje 30 del rotor recibida desde el (los) sensor(es) 52 o una velocidad rotacional medida del generador 26 (en la forma de realización ejemplar una velocidad rotacional medida del eje 28 del rotor del generador recibida desde el (los) sensor(es) 50).
- 35 En algunas formas de realización, el procedimiento 100 incluye la utilización de una región de ganancia reducida de control del paso sobre todas las ganancias para reducir la actividad del paso cuando la velocidad del generador está suficientemente controlada por el par del generador. Más en concreto, una región de ganancia reducida de control del paso puede ser utilizada para facilitar la suavización de una transición entre el cambio 104 y el mantenimiento 106 de paso de las palas. Por ejemplo, en algunas formas de realización, el procedimiento 100 incluye la regulación de al menos una transición entre el cambio 104 y el mantenimiento 106 del ángulo de paso de las palas utilizando una ganancia sobre una señal en base a una diferencia entre un par medido del rotor 18 en el curso del control 102 y un par de referencia medio deseado sustancialmente constante. Así mismo, y por ejemplo, en algunas formas de realización, el procedimiento 100 incluye la regulación entre al menos una transición entre el cambio 104 y el mantenimiento 106 del ángulo de paso de las palas utilizando una ganancia de una señal en base a una diferencia entre una velocidad medida del rotor 18 en el curso del control 102 y una velocidad de referencia media deseada sustancialmente constante. Así mismo, y por ejemplo, en algunas formas de realización, el procedimiento 100 incluye la regulación de al menos una transición entre el cambio 104 y el mantenimiento 106 del ángulo de paso de las palas utilizando una ganancia sobre una señal en base a una diferencia entre una potencia de referencia media deseada sustancialmente constante y, o bien una potencia de salida eléctrica medida del generador 26 eléctrico o bien del producto de un par medido del rotor 18 en el curso del control 102 y una velocidad rotacional medida del rotor 18 en el curso del control 102. La regulación de al menos una transición entre el cambio 104 y el mantenimiento 106 puede incluir la determinación acerca de si modificar el ángulo de paso de las palas en base a si la diferencia entre la referencia media deseada constante y el valor medido (o el producto de una pluralidad de valores medidos) está por encima de un umbral predeterminado. Por ejemplo, en algunas formas de realización, si la diferencia entre la referencia media deseada constante y el valor medido (o el producto de una pluralidad de valores medidos) está por encima del umbral predeterminado, el ángulo de paso de las palas puede modificarse 104 en proporción a dicha diferencia. Así mismo, y por ejemplo, en algunas formas de realización, si la diferencia entre la referencia media deseada constante y el valor medido (o el producto de una pluralidad de valores medidos) está por debajo del umbral predeterminado, el ángulo de paso de las palas puede ser mantenido 106.
- 40
- 45
- 50
- 55
- 60 Las formas de realización descritas y / o ilustradas en la presente memoria son rentables y eficientes para controlar la velocidad del rotor. Más en concreto, mediante el control del par del eje del rotor del generador para controlar la velocidad del rotor y la alternancia entre el cambio y el mantenimiento del ángulo de paso de las palas, las formas de realización descritas y / o ilustradas en la presente memoria pueden facilitar la reducción de una cantidad de

5 desplazamiento del paso requerida para controlar la velocidad del rotor. En cuanto tales, las formas de realización descritas y / o ilustradas en la presente memoria, pueden facilitar la reducción del desgaste de los sistemas de paso, para facilitar la reducción de las pérdidas de potencia parásitas procedentes del sistema de paso, y / o pueden facilitar la reducción de una interacción entre los desplazamientos del paso de las palas y las oscilaciones de la torre inducidas por el empuje del rotor.

10 Aunque las formas de realización descritas y / o ilustradas en la presente memoria se describen y / o ilustran con respecto a una turbina eólica, y, más en concreto, al control de la velocidad del rotor de una turbina eólica, la práctica de las formas de realización descritas y / o ilustradas en la presente memoria no está limitada a las turbinas eólicas. Antes bien, las formas de realización descritas y / o ilustradas en la presente memoria son aplicables para controlar la velocidad de cualquier rotor que incorpore una o más palas.

15 Se han descrito y / o ilustrado con detalle en la presente memoria formas de realización ejemplares. Las formas de realización no están limitadas a las formas de realización descritas en la presente memoria, sino que, antes bien, se pueden utilizar componentes y etapas de cada forma de realización de manera independiente y separada de otros componentes y etapas descritos en la presente memoria. Cada componente y cada etapa puede también ser utilizada en combinación con otros componentes y / o etapas de procedimiento.

20 En la introducción de elementos / componentes / etc. descritos y / o ilustrados en la presente memoria, los artículos "un", "uno/a", "el / la / los / las", "dicho / dicha / os / as", y "al menos uno" están concebidos para significar que hay uno o más de (de los) elemento(s) / componente(s) / etc. Los términos "que comprende/n", "que incluye/n" y "que presenta/n" están concebidos para incluir y significar que puede haber un(os) elemento(s) adicional(es) componente(s) / etc. distintos del (de los) elemento(s) relacionado(s) / componente(s) / etc.

Aunque la invención ha sido descrita en términos de diversas formas de realización específicas, los expertos en la materia advertirán que la invención puede llevarse a la práctica con modificaciones dentro del alcance de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

- 1.- Un procedimiento de control de una velocidad rotacional de un rotor (18) que incorpora al menos una pala (24) de rotor, un eje (28, 30) de rotor y un generador (26) eléctrico acoplado a este último, comprendiendo dicho procedimiento;
- 5 el control (102) de un par del eje (28, 30) del rotor mediante el control de un par del generador (26) eléctrico;
- la alternancia entre el cambio de un ángulo de paso (104) de la al menos una pala (24) del rotor en una pluralidad de etapas sucesivas y el mantenimiento del ángulo de paso (106) de la al menos una pala (24) del rotor sustancialmente constante, en el que el cambio del ángulo del paso (104) de la al menos una pala (24) del rotor comprende la utilización de una banda ciega para acomodar el culateo de engranajes; y
- 10 el mantenimiento de una velocidad rotacional sustancialmente constante del rotor (18) cuando se produzcan velocidades del viento variables por encima de una velocidad del viento nominal predeterminada.
- 2.- Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además la regulación de al menos una transición del cambio de un ángulo de paso de la al menos una pala (24) del rotor y el mantenimiento del ángulo de paso de la al menos una pala (24) del rotor sustancialmente constante utilizando una ganancia sobre una señal en base a una diferencia entre un par medido del rotor (18) y un par de referencia media deseada sustancialmente constante.
- 15
- 3.- Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además la regulación de al menos una transición entre el cambio de un ángulo de paso de la al menos una pala (24) del rotor y el mantenimiento del ángulo de paso de la al menos una pala (24) del rotor sustancialmente constante utilizando una ganancia sobre una señal en base a una diferencia entre una velocidad medida del rotor (18) y una velocidad de referencia media deseada sustancialmente constante.
- 20
- 4.- Un procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, que comprende además la regulación de al menos una transición entre el cambio de un ángulo de paso de la al menos una pala (24) del rotor y el mantenimiento del ángulo de paso de al menos una pala (24) del rotor sustancialmente constante, utilizando una ganancia sobre una señal en base a una diferencia entre una potencia de referencia media deseada sustancialmente constante y un parámetro entre una potencia de salida eléctrica medida del generador (26) eléctrico y el producto del par medio del rotor (18) y una velocidad rotacional medida del rotor (18).
- 25
- 5.- Un procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que el cambio del ángulo de paso de la al menos una pala (24) del rotor comprende además el cambio de un ángulo de paso de la al menos una pala (24) del rotor en base a una potencia de salida medida del generador (26) eléctrico.
- 30
- 6.- Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el cambio de un ángulo de paso de la al menos una pala (24) del rotor comprende además el cambio de un ángulo de paso de la al menos una pala (24) del rotor en base a un par medido de un parámetro entre el generador (26) eléctrico y el eje (28, 30) del rotor y una velocidad rotacional medida de un parámetro entre el generador (26) eléctrico y el eje (28, 30) del rotor.
- 35
- 7.- Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el cambio de un ángulo de paso de la al menos una pala (24) del rotor en una pluralidad de etapas sucesivas comprende el cambio del ángulo de paso de la al menos una pala (24) del rotor en una pluralidad de etapas sustancialmente iguales.
- 8.- Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el cambio de un ángulo de paso de la al menos una pala (24) del rotor en una pluralidad de etapas sucesivas comprende el cambio del ángulo de paso de la al menos una pala (24) del rotor en una pluralidad de etapas, en el que al menos una etapa de la pluralidad de etapas es diferente de al menos otra etapa de la pluralidad de etapas.
- 40
- 9.- Un procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que el rotor (18) es un primer rotor (28) y el control de un par del eje (28, 30) del rotor mediante el control del par del generador (26) eléctrico comprende además el control de un par de entrehierro entre un segundo rotor (30) del generador eléctrico y un estator del generador eléctrico.
- 45
- 10.- Un procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que el control de un par del eje (28, 30) del rotor mediante el control de un par del generador (26) eléctrico comprende además el control de un par del generador (26) eléctrico en el curso de una operación de velocidad genéricamente constante del rotor (18) a, y por encima de, la velocidad del viento nominal predeterminada.
- 50

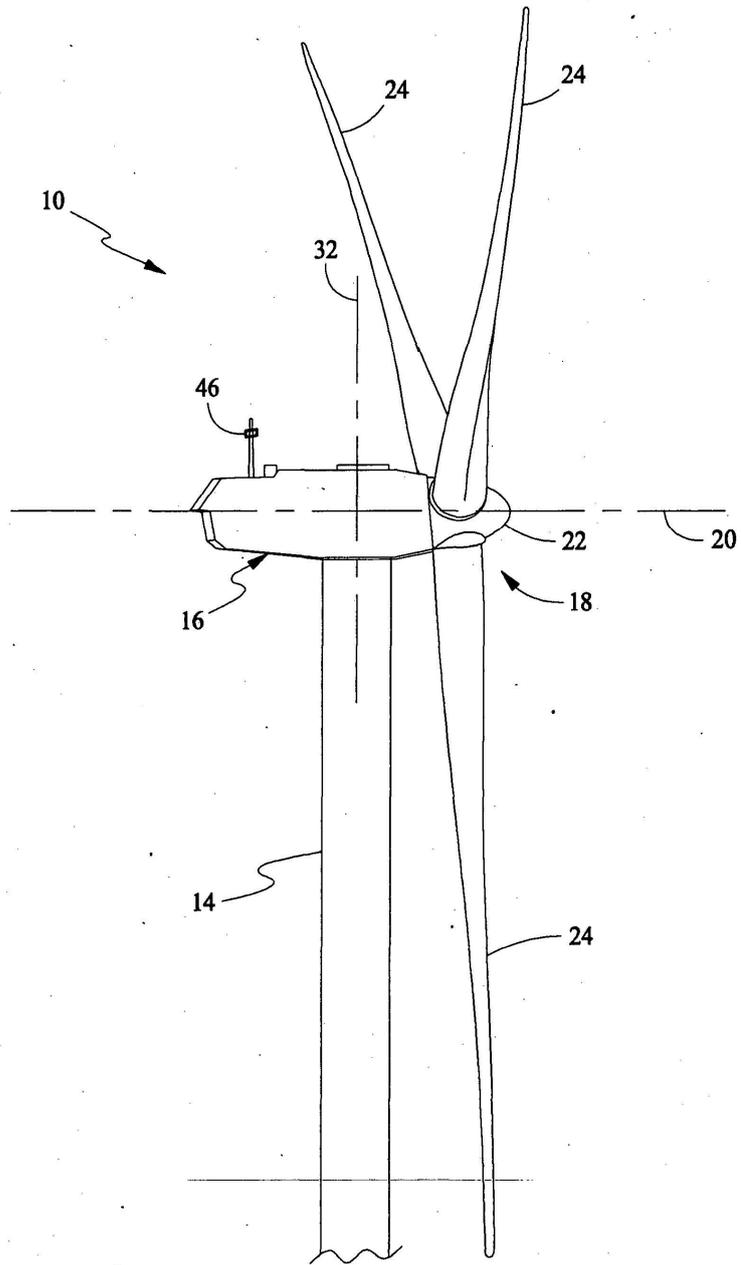


FIG. 1

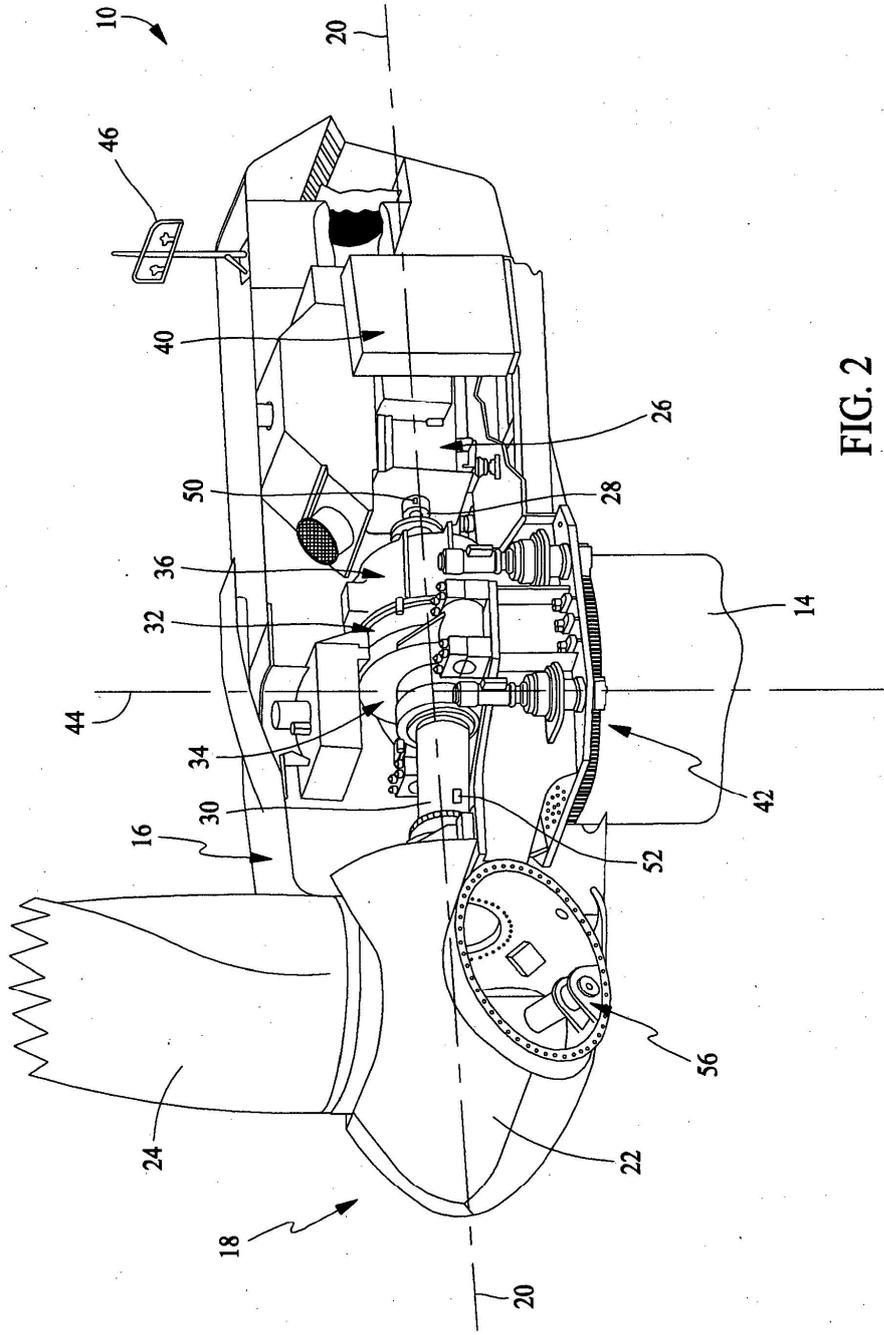
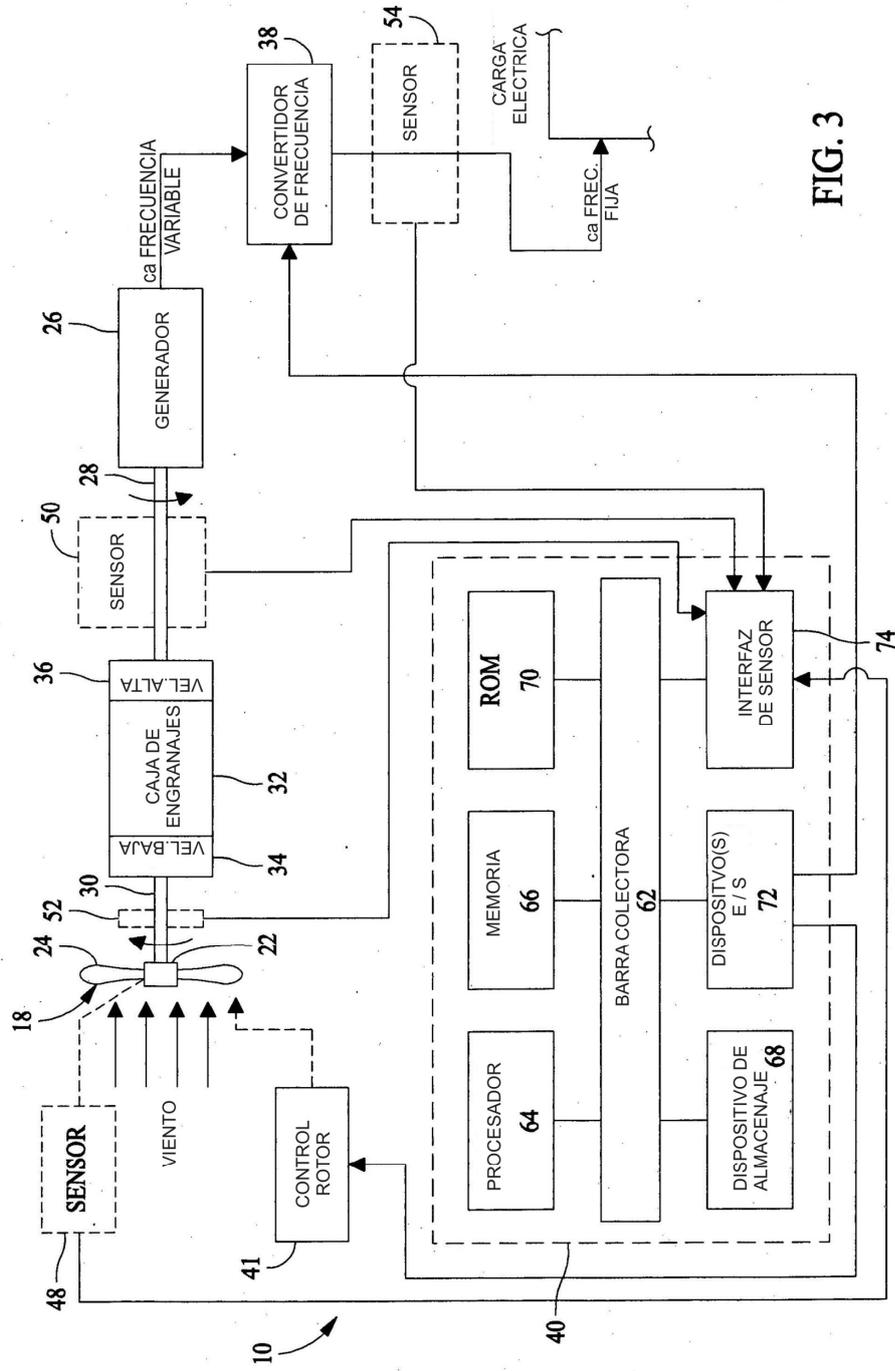


FIG. 2



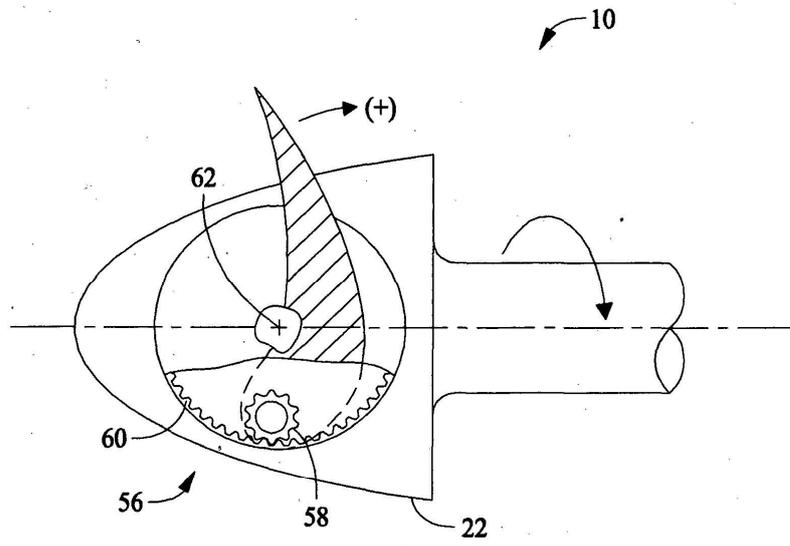


FIG. 4

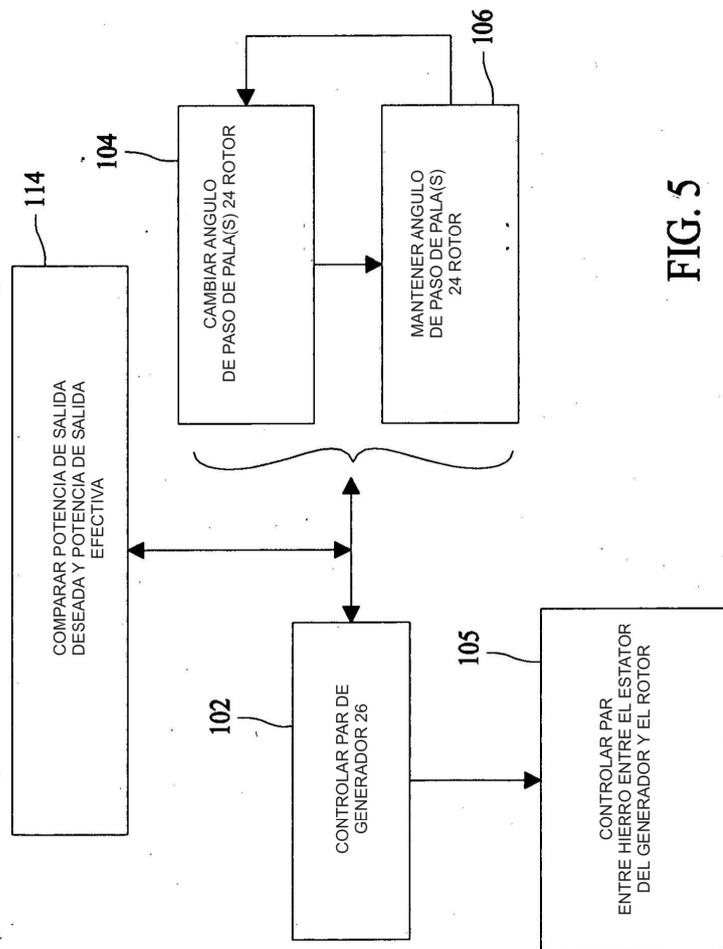


FIG. 5

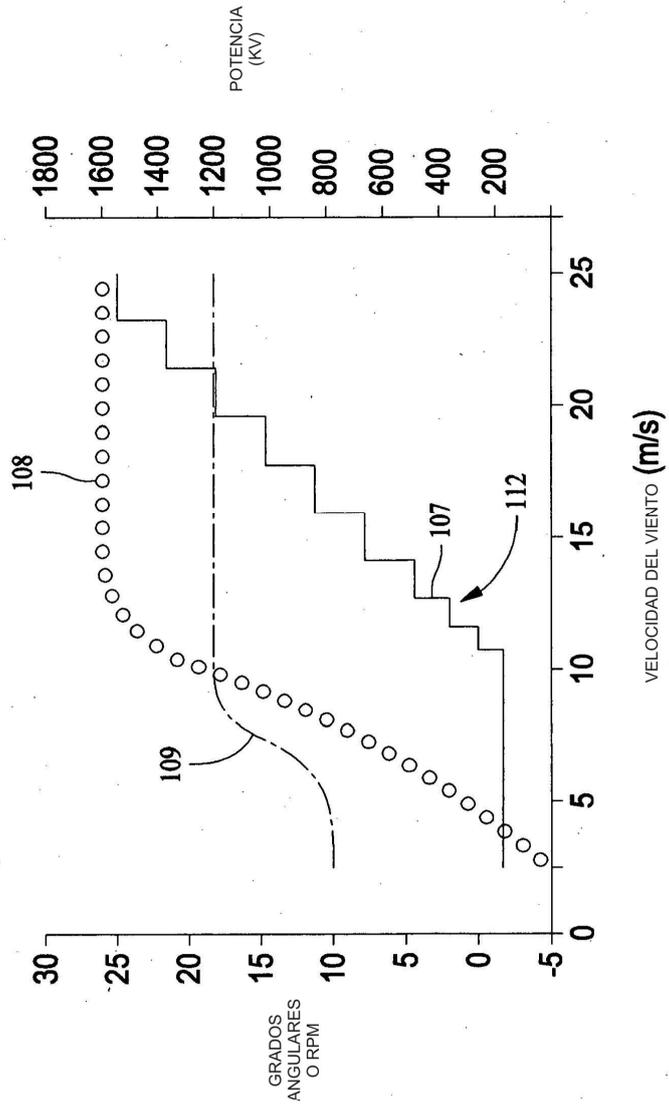


FIG. 6