

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 812 498**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.10.2009** **E 09172615 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.05.2020** **EP 2177755**

54 Título: **Procedimiento y sistema para operar un generador de turbina eólica**

30 Prioridad:

20.10.2008 US 254633

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

17.03.2021

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**BENITO, PEDRO L. y
WANG, JING**

74 Agente/Representante:

CONTRERAS PÉREZ, Yahel

ES 2 812 498 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 y sistema para operar un generador de turbina eólica

5 La materia que se describe en este documento se refiere en general a generadores de turbina eólica y, más en particular, a un procedimiento y sistema para reducir la generación de ruido en generadores de turbina eólica.

10 Al menos algunos generadores de turbina eólica conocidos incluyen un rotor con múltiples palas. El rotor a veces está acoplado a una carcasa, o góndola, que está situada en la parte superior de una base, por ejemplo, una estructura o torre tubular. Al menos algunas turbinas eólicas conocidas para servicios públicos (es decir, turbinas eólicas diseñadas para proporcionar energía eléctrica a una red de servicios públicos) tienen palas de rotor con formas y dimensiones predeterminadas. Las palas de rotor transforman energía mecánica del viento en fuerzas de sustentación inducidas en las palas, que a su vez inducen un par mecánico de rotación que acciona uno o más generadores, generando posteriormente energía eléctrica. Los generadores están a veces, pero no siempre, acoplados de forma rotatoria al rotor a través de una multiplicadora. La multiplicadora aumenta la velocidad de rotación inherentemente baja del rotor de la turbina para que el generador convierta eficazmente la energía mecánica de rotación en energía eléctrica, que es suministrada a la red de suministro eléctrico. También existen generadores de turbina eólica de transmisión directa sin multiplicadora.

25 Durante la operación de dichos generadores de turbina eólica conocidos, el movimiento en rotación de las palas de rotor a través del aire genera emisiones acústicas aerodinámicas, o ruido. Véase el documento WO 2007/110459, por ejemplo. Al menos algunas de esas emisiones acústicas incluyen una amplitud que tiene un nivel de decibelios (dB) que, al menos a veces, se acerca a niveles normativos locales. Por consiguiente, sería conveniente proporcionar un procedimiento y/o un sistema que facilite una reducción en niveles potenciales de dB de emisiones acústicas de manera que las amplitudes de esas emisiones acústicas estén por debajo de unos parámetros de dB predeterminados, manteniendo al mismo tiempo una generación de energía eléctrica predeterminada.

30 Por lo tanto, se proporciona la presente invención según se define en las reivindicaciones anexas.

Ahora se describirán diversos aspectos y formas de realización de la presente invención en conexión con los dibujos adjuntos, en los cuales:

35 La Figura 1 es una vista esquemática de un generador de turbina eólica de ejemplo;

40 La Figura 2 es una vista esquemática en sección transversal de una góndola que se puede utilizar con el generador de turbina eólica que se muestra en la Figura 1;

La Figura 3 es una vista esquemática de un sistema de ejemplo de control de paso de pala que se puede utilizar con el generador de turbina eólica que se muestra en la Figura 1;

45 La Figura 4 es una vista gráfica de un perfil de emisiones acústicas que pueden ser generadas por el generador de turbina eólica que se muestra en la Figura 3;

La Figura 5 es una vista gráfica de una estrategia de ejemplo de control de ángulo de paso para una sola pala que puede ser utilizada con el generador de turbina eólica que se muestra en la Figura 3;

50 La Figura 6 es una vista compuesta gráfica de una parte de la estrategia de control de ángulo de paso de pala que se muestra en la Figura 5 y el perfil de emisiones acústicas que se muestra en la Figura 4;

55 La Figura 7 es una vista gráfica de una estrategia de ejemplo de control de ángulo de paso para tres palas que puede ser utilizada con el generador de turbina eólica que se muestra en la Figura 6;

La Figura 8 es una vista gráfica de un patrón de ejemplo de ángulo de paso para tres palas que puede ser utilizado con el generador de turbina eólica que se muestra en la Figura 6; y

60 La Figura 9 es una vista gráfica de un perfil de ejemplo de generación de energía eléctrica con y sin reducción de emisiones acústicas que se puede utilizar con el generador de turbina eólica que se muestra en la Figura 6.

65 Diversos aspectos de los procedimientos y sistemas que se describen en este documento facilitan la operación de generadores de turbina eólica controlando activamente el paso de pala. Uno de esos procedimientos y sistemas incluye implementar un sistema de control de paso de pala que modula unos ángulos de paso de cada pala de una pluralidad de palas de turbina eólica en función de una posición de las palas a lo largo de un recorrido de rotación acimutal. En concreto, un efecto técnico de modular el paso

de cada pala, y por lo tanto modular la velocidad de punta de pala modulando un área transversal de cada pala expuesta al viento, disminuye un nivel de dB de emisiones acústicas, o ruido, que se genera. Además, en concreto, modulando el paso de las palas dentro de un rango predeterminado facilita la generación de energía eléctrica dentro de un rango predeterminado durante transitorios de paso de pala. Además, en concreto, modulando el paso de las palas dentro de un rango predeterminado facilita la reducción de un potencial de desgaste acelerado de componentes.

La Figura 1 es una vista esquemática de un ejemplo de generador de turbina eólica 100. En la forma de realización de ejemplo, el generador de turbina eólica 100 es una turbina eólica de eje horizontal. Alternativamente, la turbina eólica 100 puede ser una turbina eólica de eje vertical. La turbina eólica 100 tiene una torre 102 que se extiende desde una superficie de soporte 104, una góndola 106 acoplada a la torre 102 y un rotor 108 acoplado a la góndola 106. El rotor 108 tiene un buje rotatorio 110 y una pluralidad de palas de rotor 112 acopladas al buje 110. En la forma de realización de ejemplo, el rotor 108 tiene tres palas de rotor 112. Alternativamente, el rotor 108 tiene cualquier número de palas de rotor 112 que permite que el generador de turbina eólica 100 funcione según se describe en el presente documento. En la forma de realización de ejemplo, la torre 102 está fabricada con acero tubular y tiene una cavidad (que no se muestra en la Figura 1) que se extiende entre la superficie de soporte 104 y la góndola 106. Alternativamente, la torre 102 es cualquier torre que permita que el generador de turbina eólica 100 funcione según se describe en el presente documento, que incluye, pero no se limita a, una torre de celosía. La altura de la torre 102 es cualquier valor que permita que el generador de turbina eólica 100 funcione según se describe en el presente documento.

Las palas 112 están posicionadas alrededor del buje del rotor 110 para facilitar la rotación del rotor 108, transfiriendo de este modo la energía cinética del viento 124 en forma de energía mecánica utilizable, y posteriormente, en forma de energía eléctrica. El rotor 108 y la góndola 106 son rotados alrededor de la torre 102 en un eje de orientación del rotor 116 para controlar la perspectiva de las palas 112 con respecto a la dirección del viento 124. Las palas 112 están acopladas al buje 110 mediante acoplamiento de una parte de raíz de pala 120 al buje 110 en una pluralidad de regiones de transferencia de carga 122. Las regiones de transferencia de carga 122 tienen una región de transferencia de carga del buje y una región de transferencia de carga de pala (ninguna se muestra en la Figura 1). Las cargas inducidas en las palas 112 son transferidas al buje 110 a través de las regiones de transferencia de carga 122. Cada una de las palas 112 también incluye una parte de punta de pala 125.

En la forma de realización de ejemplo, las palas 112 tienen una longitud de entre 50 metros (m) (164 pies) y 100 m (328 pies), sin embargo estos parámetros no constituyen ninguna limitación para la divulgación. Alternativamente, las palas 112 pueden tener cualquier longitud que permita que el generador de turbina eólica funcione según se describe en el presente documento. Cuando el viento 124 impacta en cada una de las palas 112, se inducen unas fuerzas de sustentación en pala (que no se muestran) en cada una de las palas 112 y se induce la rotación del rotor 108 en torno al eje de rotación 114 a medida que se aceleran las partes de punta de pala 125. Un ángulo de paso (que no se muestra) de las palas 112, es decir, un ángulo que determina la perspectiva de cada una de las palas 112 con respecto a la dirección del viento 124, puede ser cambiado por un mecanismo de ajuste de paso de pala (que no se muestra en la Figura 1). En concreto, cuando se aumenta el ángulo de paso de pala 112 se disminuye un porcentaje del área 126 expuesta al viento 124 y, a la inversa, cuando se disminuye el ángulo de paso de pala 112 se aumenta un porcentaje del área 126 expuesta al viento 124.

Por ejemplo, un ángulo de paso de pala de aproximadamente 0 grados (a veces denominado "posición de potencia") expone un porcentaje significativo del área de superficie de pala 126 al viento 124, con lo que se induce un primer valor de fuerzas de sustentación en pala 112. De modo similar, un ángulo de paso de pala de aproximadamente 90 grados (a veces denominado "posición de pluma") expone un porcentaje significativamente menor del área de superficie de pala 126 al viento 124, con lo que se induce un segundo valor de fuerzas de sustentación en pala 112. El primer valor de fuerzas de sustentación inducidas en pala 112 es mayor que el segundo valor de fuerzas de sustentación inducidas en pala 112, de modo que los valores de fuerzas de sustentación son directamente proporcionales al área de superficie de pala 126 expuesta al viento 124. Por lo tanto, los valores de fuerzas de sustentación inducidas en las palas 112 son indirectamente proporcionales a los valores de ángulo de paso de las palas.

Además, por ejemplo, cuando aumentan las fuerzas de sustentación en pala, aumenta una velocidad lineal de una parte de punta de pala 125. Por el contrario, cuando disminuyen las fuerzas de sustentación en pala, disminuye una velocidad lineal de una parte de punta de pala 125. Por lo tanto, los valores de velocidad lineal de una parte de punta de pala 125 son directamente proporcionales a los valores de fuerzas de sustentación inducidas en las palas 112 y se deduce que la velocidad lineal de la parte de punta de pala 125 es indirectamente proporcional al ángulo de paso de pala.

Además, cuando aumenta la velocidad de la parte de punta de pala 125, aumenta una amplitud (que no se muestra) de emisiones acústicas (que no se muestran en la Figura 1) procedentes de las palas 112. Por el contrario, cuando disminuye la velocidad de la parte de punta de pala 125, disminuye una amplitud de

emisiones acústicas procedentes de las palas 112. Por lo tanto, la amplitud de las emisiones acústicas procedentes de las palas 112 es directamente proporcional a una velocidad lineal de las partes de punta de pala 125 y, por lo tanto, la amplitud de las emisiones acústicas procedentes de las palas 112 es indirectamente proporcional al ángulo de paso de pala.

5

Los ángulos de paso de las palas 112 son ajustados en torno a un eje de paso de pala 118 para cada una de las palas 112. En la forma de realización de ejemplo, los ángulos de paso de las palas 112 se controlan individualmente. Alternativamente, el paso de las palas 112 puede ser controlado como un grupo. Aún más alternativamente, el paso de las palas y la velocidad de las palas 112 pueden ser modulados con el fin de reducir emisiones acústicas. Preferiblemente, la turbina eólica 100 puede ser controlada para reducir las emisiones acústicas potenciales por medio de un controlador local (que no se muestra), o de forma remota por medio de un controlador remoto (que no se muestra) para reducir el ruido.

10

La Figura 2 es una vista esquemática en sección transversal de la góndola 106 de la turbina eólica de ejemplo 100. Diversos componentes de la turbina eólica 100 están alojados en la góndola 106 sobre la torre 102 de la turbina eólica 100. La góndola 106 incluye un mecanismo de control de paso 130 que está acoplado a una pala 112 (que se muestra en la Figura 1), en el que el mecanismo 130 modula el paso de la pala asociada 112 a lo largo del eje de paso 118. En la Figura 2 sólo se muestra uno de los tres mecanismos de control de paso 130. En la forma de realización de ejemplo, cada mecanismo de control de paso 130 incluye al menos un motor de control de paso 131, en el que el motor de control de paso 131 es cualquier motor eléctrico accionado por energía eléctrica que permite que el mecanismo 130 funcione según se describe en el presente documento. Alternativamente, mecanismos de control de paso 130 incluyen cualquier estructura, configuración, disposición y/o componentes adecuados tales como, pero no limitados a, cilindros hidráulicos, resortes y servo mecanismos. Además, los mecanismos de control de paso 130 pueden ser accionados por cualquier medio adecuado tal como, pero sin limitarse a, fluido hidráulico y/o energía mecánica, tal como, pero sin limitarse a, fuerzas de resorte y/o fuerzas electromagnéticas inducidas.

15

20

25

La góndola 106 también incluye un rotor 108 que está acoplado de forma rotatoria a un generador eléctrico 132 situado dentro de la góndola 106 a través de un eje de rotor 134 (a veces denominado eje de baja velocidad 134), una multiplicadora 136, un eje de alta velocidad 138 y un acoplamiento 140. La rotación del eje 134 acciona de forma rotatoria la multiplicadora 136 que posteriormente acciona de forma rotatoria el eje 138. El eje 138 acciona de forma rotatoria el generador 132 a través del acoplamiento 140 y la rotación del eje 138 facilita que el generador 132 produzca energía eléctrica. La multiplicadora 136 y el generador 132 están soportados en unos soportes 142 y 144, respectivamente. En la forma de realización de ejemplo, la multiplicadora 136 utiliza una geometría de doble vía para accionar el eje de alta velocidad 138. Alternativamente, el eje de rotor principal 134 está acoplado directamente al generador 132 a través del acoplamiento 140.

30

35

La góndola 106 incluye además un mecanismo de ajuste de orientación del rotor 146 que se puede utilizar para rotar la góndola 106 y el rotor 108 en torno al eje 116 (que se muestra en la Figura 1) para controlar la perspectiva de las palas 112 con respecto a la dirección del viento. La góndola 106 también incluye al menos un mástil meteorológico 148, en el que el mástil 148 incluye una veleta y un anemómetro (que no se muestran en la Figura 2). El mástil 148 proporciona información al sistema de control de la turbina (que no se muestra) que puede incluir la dirección del viento y/o la velocidad del viento. Una parte del sistema de control de la turbina se encuentra dentro de un panel de control 150. La góndola 106 incluye además unos rodamientos de soporte delantero y trasero 152 y 154, respectivamente, en el que los rodamientos 152 y 154 facilitan un soporte radial y una alineación del eje 134.

40

45

El generador de turbina eólica 100 incluye un sistema de control de paso de pala 200, en el que al menos una parte del sistema de control de paso de pala 200 está situada en la góndola 106, o menos preferentemente, fuera de la góndola 106. En concreto, al menos una parte del sistema de control de paso de pala 200 que se describe en el presente documento incluye al menos un procesador 202 y un dispositivo de memoria (que no se muestra), y al menos un conducto de entrada/salida (E/S) 204, en el que el conducto 204 incluye al menos un canal de E/S (que no se muestra). Más en concreto, el procesador 202 está situado dentro del panel de control 150. El sistema de control de paso de pala 200 proporciona sustancialmente un efecto técnico de reducción de ruido en turbinas eólicas según se describe en este documento.

50

55

Según se usa en el presente documento, el término procesador no se limita sólo a aquellos circuitos integrados denominados en la técnica como un dispositivo informático, sino que en general se refiere a un microcontrolador, un micro dispositivo informático, un controlador lógico programable (PLC), un circuito integrado específico de aplicación, y otros circuitos programables, y estos términos se usan indistintamente en el presente documento. En formas de realización que se describen en este documento, la memoria puede incluir, pero no se limita a, un medio legible por dispositivo informático, tal como una memoria de acceso aleatorio (RAM), y un medio no volátil legible por dispositivo informático, tal como una memoria flash. También se puede utilizar un disquete, un disco compacto - memoria de sólo lectura (CD-ROM), un disco magneto-óptico (MOD), y/o un disco versátil digital (DVD). Asimismo, en las formas de realización que se describen en el presente documento, canales de entrada adicionales pueden ser, pero no se limitan a,

60

65

periféricos informáticos asociados con una interfaz de operador tal como un ratón y un teclado. Alternativamente, también se pueden utilizar otros periféricos informáticos que pueden incluir, por ejemplo, pero sin limitarse a, un escáner. Además, en la forma de realización de ejemplo, canales de salida adicionales pueden incluir, pero no se limitan a, un monitor de interfaz de operador.

5

El procesador 202 y otros procesadores (que no se muestran), según se describe en el presente documento, procesan información transmitida desde una pluralidad de dispositivos eléctricos y electrónicos que pueden incluir, pero no se limitan a, dispositivos de retroalimentación de posición de paso de pala 206 (que se describen más adelante) y dispositivos de retroalimentación de generación de energía eléctrica (que no se muestran). La memoria RAM y dispositivos de almacenamiento (que no se muestran) almacenan y transfieren información e instrucciones para su ejecución por parte del procesador 202. La RAM y dispositivos de almacenamiento también se pueden utilizar para almacenar y proporcionar variables temporales, información e instrucciones estáticas (es decir, no cambiantes) u otra información intermedia al procesador 202 durante la ejecución de las instrucciones por parte del procesador 202. Las instrucciones que se ejecutan incluyen, pero no se limitan a, comandos de control del sistema de paso de pala residente 200. La ejecución de secuencias de instrucciones no se limita a ninguna combinación específica de circuitos de hardware e instrucciones de software.

En la forma de realización de ejemplo, al menos una parte del sistema de control de paso de pala 200 incluye, pero no se limita a, un procesador 202 que se encuentra dentro del panel de control 150. Además, el procesador 202 está acoplado a motores de control de paso de pala 131 a través de al menos un conducto de E/S 204. El conducto de E/S 204 incluye cualquier número de canales que tengan cualquier arquitectura que incluye, pero no se limita a, cable Cat 5/6, cableado de par trenzado y características de comunicación inalámbrica. El sistema de control de paso 200 puede incluir arquitecturas de control distribuidas y/o centralizadas, o cualquier combinación de las mismas.

20

El sistema de control de paso de pala 200 también incluye una pluralidad de dispositivos independientes de posición de paso de pala 206 acoplados con el procesador 202 a través de al menos un conducto de E/S 204. En la forma de realización de ejemplo, cada mecanismo de control de paso de pala 130 está asociado con un solo dispositivo de retroalimentación de posición de paso de pala 206. Alternativamente, cualquier número de dispositivos de retroalimentación de posición 206 están asociados con cada mecanismo 130. Por lo tanto, en el ejemplo de forma de realización, el mecanismo 130 y el motor de control de paso asociado 131, así como el dispositivo 206, están incluidos en el sistema 200 según se describe en este documento. Cada dispositivo de retroalimentación de posición 206 mide una posición de paso de cada pala 112, o más específicamente, un ángulo de cada pala 112 con respecto al viento 124 (que se muestra en la Figura 1) y/o con respecto al buje del rotor 110. El dispositivo de retroalimentación de posición 206 es cualquier sensor adecuado que tenga una ubicación apropiada dentro de la turbina eólica 100 o remota con respecto a la turbina eólica 100, tal como, pero sin limitarse a, codificadores ópticos angulares, codificadores rotatorios magnéticos y codificadores incrementales, o alguna combinación de los mismos. Además, el dispositivo de retroalimentación de posición 206 transmite señales de medición de paso (que no se muestran) que son sustancialmente representativas de la posición de paso de la pala asociada 112 al procesador 202 para su procesamiento.

30

35

40

La Figura 3 es una vista esquemática de un ejemplo de sistema de control de paso de pala 200. Además del procesador 202 y los dispositivos de retroalimentación de posición de paso de pala 206, el sistema 200 también incluye un sistema de medición de acimut de pala 208. El sistema de medición de acimut de pala 208 incluye al menos un transpondedor, es decir, una pluralidad de transpondedores de tipo de identificación por radiofrecuencia (tipo RFID) 210, 212 y 214. Cada uno de los transpondedores 210, 212 y 214 está acoplado a una pala 112. El sistema de medición de acimut de pala 208 también incluye una pluralidad de receptores 216, 218 y 220 situados dentro de la torre 102. El transpondedor 210 está adaptado para transmitir una señal predeterminada (que no se muestra) con unos parámetros de señal predeterminados que incluyen, pero no se limitan a, frecuencia y amplitud. El receptor 216 está situado dentro de la torre 102 y está acoplado con, es decir adaptado para recibir señales procedentes de, el transpondedor 210. Los transpondedores 212 y 214 están emparejados de manera similar con los receptores 218 y 220, respectivamente. En la forma de realización de ejemplo, los receptores 216, 218 y 220 están situados a diferentes alturas dentro de la torre 102, en que los transpondedores 210, 212 y 214 están situados en diferentes puntos longitudinales a lo largo de las palas asociadas 112.

45

50

55

Los transpondedores 210, 212 y 214 y los receptores 216, 218 y 220 de posicionamiento, según se ha descrito anteriormente, permiten que el transpondedor 210 y receptor 216 interactúen entre sí al mismo tiempo que proporcionan una separación del transpondedor 210 y receptor 216 con respecto a los receptores 218 y 220 para reducir una posibilidad de interacción del transpondedor 210 con los receptores 218 y 220. De modo similar, dicho posicionamiento permite que el transpondedor 212 y el receptor 218 interactúen entre sí al mismo tiempo que proporcionan una separación del transpondedor 212 y receptor 218 con respecto a los receptores 216 y 220 para reducir una posibilidad de interacción del transpondedor 212 con los receptores 216 y 220. Asimismo, de manera similar, dicho posicionamiento permite que el transpondedor 214 y el receptor 220 interactúen entre sí al mismo tiempo que proporcionan una separación

60

65

del transpondedor 214 y receptor 220 con respecto a los receptores 216 y 218 para reducir una posibilidad de interacción del transpondedor 214 con los receptores 216 y 218. Alternativamente, se reduce aún más una posibilidad de interacción no deseada entre los transpondedores 210, 212 y 214 con los receptores 216, 218 y 220 asignando una separación de frecuencia predeterminada entre dichos transpondedores 210, 212 y 214 y receptores 216, 218 y 220. Cada uno de los receptores 216, 218 y 220 está acoplado al procesador 202 a través del conducto 204, de manera que se forman tres canales individuales (que no se muestran).

En la forma de realización de ejemplo, el efecto técnico de posicionar y/o formar una separación de frecuencia predeterminada de los transpondedores 210, 212 y 214 y los receptores 216, 218 y 220, según se ha descrito anteriormente, es que el movimiento de la pala 112 con el transpondedor 210 acoplado induce una respuesta en el receptor 216 cuando dicha pala 112 y transpondedor 210 rotan por el receptor 216. Dicha respuesta en el receptor 216 genera una señal electrónica (que no se muestra) que es sustancialmente representativa de una posición de la pala 112 con el transpondedor 210. Dicha señal es transmitida al procesador 202, de modo que el procesador 202 recibe dicha señal electrónica. El procesador 202 también incluye suficientes canales de E/S (que no se muestran) dentro del conducto 204, de modo que el procesador 202 recibe una señal electrónica (que no se muestra) que es sustancialmente representativa de una velocidad del rotor 108. Además, el procesador 202 está programado para determinar una posición de la pala 112 con el transpondedor 210 como una función del tiempo de manera sustancialmente continua. Se producen unos efectos técnicos similares a través de los transpondedores 212 y 214 y los receptores 218 y 220.

Alternativamente, se utiliza cualquier orientación y configuración del sistema de medición de acimut de pala 208, cualquier programación del procesador 202 y cualquier configuración del conducto de E/S 204 con respecto al procesador 202 que permitan al sistema 200 funcionar según se describe en el presente documento.

También, alternativamente, se utiliza cualquier tecnología de detección de posición de pala que permita al sistema 200 operar según se describe en el presente documento. Dicha tecnología incluye, pero no se limita a, codificadores ópticos rotatorios o de eje y sensores de proximidad. Por ejemplo, un codificador de eje (que no se muestra) puede estar acoplado al eje de baja velocidad 134 en o cerca de la multiplicadora 136 (ambos mostrados en la Figura 2). Dicho codificador de eje es un dispositivo electromecánico que detecta una posición angular de al menos una parte del eje 134 y genera una señal analógica o digital sustancialmente representativa de dicha posición angular. Para generadores de turbina eólica, tal como la turbina eólica 100 que incluye tres palas 112, tres codificadores de eje pueden estar dispuestos en aproximadamente aquellas partes del eje 134 que se aproximan a una posición sustancialmente similar de las palas 112 en torno al rotor 108.

Además, alternativamente, por ejemplo, un sensor de proximidad (que no se muestra) puede estar acoplado a una parte estacionaria del generador de turbina eólica 100 que al menos parcialmente circunscribe y/o encapsula el eje de baja velocidad 134. Además, hay tres marcas ubicadas en el eje 134 con una separación entre sí de aproximadamente 120° en ambas direcciones de fase, en que cada marca representa sustancialmente una posición de cada pala asociada 112 en torno al rotor 108. Cuando el eje 134 rota, cada marca pasa por delante del sensor de proximidad, en el que un acoplamiento entre cada marca y el sensor genera una señal de reinicio para un algoritmo de posición de pala asociada. El algoritmo incluye al menos una entrada para la velocidad actual del eje y genera una señal de posición como una función de dicha velocidad del eje y del tiempo transcurrido desde el reinicio más reciente. La posición de cada pala 112 se calcula de manera sustancialmente similar.

Además, en la forma de realización de ejemplo, el sistema 200 incluye además al menos un dispositivo externo de medición de sonido, o un micrófono 222 situado a una distancia predeterminada 224 de la torre 102. Alternativamente, el sistema 200 incluye una pluralidad de micrófonos 222 orientados en una disposición predeterminada 226. Además, alternativamente, el sistema 200 incluye cualquier número de micrófonos 222 dispuestos en cualquier orientación que permita al sistema 200 funcionar según se describe en el presente documento. El micrófono 222 está acoplado al procesador 202 a través del conducto de E/S 204 y genera una señal electrónica (que no se muestra) que es sustancialmente representativa de emisiones acústicas (que no se muestran) con origen en cada una de las palas 112 cuando rotan en torno al eje 114.

En la forma de realización de ejemplo, un efecto técnico del micrófono 222 es generar y transmitir señales (que no se muestran) al procesador 202 que son sustancialmente representativas de características de banda ancha y/o banda estrecha de las emisiones acústicas con origen en cada una de las palas 112, que incluyen, pero no se limitan a, valores aproximados de frecuencia y amplitud. Además, en la forma de realización de ejemplo, el procesador 202 asocia dichas señales transmitidas desde el micrófono 222 con una pala apropiada 112, en que el procesador 202 genera un perfil de emisiones acústicas (que no se muestra) para cada una de las palas 112. Además, en la forma de realización de ejemplo, el procesador 202 integra dichos perfiles individuales de pala 112 para generar un perfil de emisiones acústicas de la

turbina eólica (que no se muestra en la Figura 3). Datos adicionales acumulados pueden incluir, pero no se limitan a, una demanda de generación de energía eléctrica y una velocidad y dirección del viento, todo ello como una función del tiempo. Además, en la forma de realización de ejemplo, las señales de emisiones acústicas generadas por el micrófono 222 son utilizadas por el procesador 202 como señales de corte, según se describe más adelante.

La Figura 4 es una vista gráfica de un perfil de emisiones acústicas 300 que puede generar el generador de turbina eólica 100. Se ilustra un recorrido de rotación de la pala de 360°, o acimut de pala 302, que incluye unos valores de rotación angulares de 0°, 90°, 180° y 270°, como referencia. El perfil 300 incluye una envoltura de emisiones acústicas 304 que está al menos parcialmente definida por una primera posición angular 306 que se extiende en el sentido de las agujas del reloj hasta una segunda posición angular 308. La primera posición angular 306 tiene un valor en el rango de aproximadamente 225° hasta aproximadamente 270° y, en la forma de realización de ejemplo, la primera posición angular tiene un valor de aproximadamente 250°. La segunda posición angular 308 tiene un valor en el rango de aproximadamente 180° hasta aproximadamente 225° y, en la forma de realización de ejemplo, la segunda posición angular 308 tiene un valor de aproximadamente 200°.

La envoltura 304 se extiende una distancia radial 310 con respecto al eje de rotación 114. Además, la envoltura 304 representa sustancialmente unos valores de amplitud de emisiones acústicas en unidades de dB por encima de al menos un valor de referencia o línea base. Más en concreto, la envoltura 304 define, al menos parcialmente, un perfil de amplitud de emisiones acústicas 312, en el que los niveles de amplitud de las emisiones acústicas asociadas son una función de parámetros que incluyen, pero no se limitan a, una posición de las palas 112 a lo largo del acimut de pala 302, una posición a lo largo de una distancia radial 310, un espectro de frecuencia considerado, unos valores de emisiones acústicas de referencia o línea base, una velocidad lineal de partes de punta de pala 125, unos valores de desplazamiento Doppler y un porcentaje del área de superficie de las palas 126 expuesta al viento 124 (que se muestra en la Figura 1).

Además, en general, las emisiones acústicas generadas por el generador de turbina eólica 100 se asocian principalmente con la rotación de las palas 112 a través del viento 124 (según se muestra en la Figura 1). Específicamente las emisiones acústicas son dominadas por una parte externa (que no se muestra) de las palas 112 que se aproxima a las partes de punta de pala 125. Además, las palas 112 que se están moviendo hacia abajo son dominantes con respecto a las emisiones acústicas para todas las frecuencias. En concreto, las amplitudes de las emisiones acústicas generadas por las palas 112 entre las posiciones correspondientes a 0° y a 180° a lo largo del acimut de pala 302 son mayores que las amplitudes de las emisiones acústicas generadas entre las posiciones correspondientes a 180° y a 0°. Más en concreto, cuando cada pala 112 rota moviéndose hacia abajo desde el valor de posición angular correspondiente a 0° hasta el valor de posición angular correspondiente a 180° a lo largo del acimut de pala 302, las emisiones acústicas medidas son aproximadamente 1dB hasta aproximadamente 2dB mayores que las emisiones acústicas medidas registradas cuando cada pala rota moviéndose hacia arriba desde el valor de posición angular correspondiente a 180° hasta el valor correspondiente a 0°. El predominio de dichas emisiones acústicas se debe fundamentalmente a que los micrófonos externos 222 están situados en una superficie de soporte de la torre 104 (ambos mostrados en la Figura 3) y de tal manera que las palas 112 se acercan al, y posteriormente se alejan del, micrófono 222 (según se muestra en la Figura 3).

En la forma de realización de ejemplo, un efecto técnico del sistema 200 es modular un ángulo de paso de las palas 112 en torno al eje de paso de pala 118, modulando con ello un porcentaje del área de superficie de pala 126 expuesta al viento 124, modulando posteriormente las fuerzas de sustentación inducidas en las palas 112 y una velocidad de rotación del rotor 108, modulando con ello una velocidad lineal de las partes de punta de pala 125 y, en última instancia, modulando un nivel de amplitud de las emisiones acústicas.

En la forma de realización de ejemplo, el perfil de amplitud de emisiones acústicas 312 incluye una primera región 314 que se extiende desde aproximadamente la posición correspondiente a 250° hasta aproximadamente la posición correspondiente a 0° a lo largo del acimut de pala 302. La primera región 314 incluye la primera posición angular 306. Además, en la forma de realización de ejemplo, la primera región 314 representa sustancialmente un nivel de amplitud de emisiones acústicas en aumento que se encuentra en el rango de aproximadamente 0 dB hasta aproximadamente 2 dB por encima de un valor de referencia predeterminado cuando las palas 112 rotan moviéndose hacia arriba desde aproximadamente la posición correspondiente a 250° en el sentido de las agujas del reloj hasta aproximadamente la posición correspondiente a 0° a lo largo del acimut de pala 302. A continuación, análisis con respecto a niveles de dB asociados con emisiones acústicas de turbina eólica representan sustancialmente aquellos asociados con el generador de turbina eólica de ejemplo 100. Alternativamente, en función del modelo de generador de turbina eólica que se utilice, dichas emisiones acústicas dentro de la primera región 314 pueden variar aproximadamente de 0 dB a 3 dB por encima de los valores de referencia. Asimismo, alternativamente, en función del modelo de generador de turbina eólica que se utilice, unos niveles similares de dB pueden

superar los indicados para la forma de realización de ejemplo en 1dB a 2dB, o más. Sin embargo, estos niveles de dB no constituyen ninguna limitación a la presente divulgación.

5 Además, en la forma de realización de ejemplo, el perfil 312 incluye una segunda región 316 que se extiende desde aproximadamente la posición correspondiente a 0° hasta aproximadamente la posición correspondiente a 90° a lo largo del acimut de pala 302. La segunda región 316 representa sustancialmente un nivel de amplitud de emisiones acústicas en aumento que se encuentra en el rango de aproximadamente 2dB hasta aproximadamente 5dB por encima de un valor de referencia predeterminado, cuando las palas 112 rotan moviéndose hacia abajo desde aproximadamente la posición correspondiente a 0° hasta 10 aproximadamente la posición correspondiente a 90° a lo largo del acimut de pala 302.

15 Además, en la forma de realización de ejemplo, el perfil 312 incluye una tercera región 318 que se extiende desde aproximadamente la posición correspondiente a 90° hasta aproximadamente la posición correspondiente a 180° a lo largo del acimut de pala 302. La tercera región 318 representa sustancialmente un nivel de amplitud de emisiones acústicas en disminución que se encuentra en el rango de aproximadamente 5dB hasta aproximadamente 2dB por encima de un valor de referencia predeterminado, cuando las palas 112 rotan moviéndose hacia abajo desde aproximadamente la posición correspondiente a 90° hasta aproximadamente la posición correspondiente a 180° a lo largo del acimut de pala 302. La 20 segunda región 316 y la tercera región 318 cooperan para definir una cuarta región 320. La cuarta región 320 representa sustancialmente unos valores máximos de amplitud de emisiones acústicas que están en el rango de aproximadamente 4dB hasta aproximadamente 5dB por encima de un valor de referencia o línea base predeterminado cuando las palas 112 rotan moviéndose hacia abajo desde aproximadamente la posición correspondiente a 45° hasta aproximadamente la posición correspondiente a 135° a lo largo del acimut de pala 302.

25 Además, en la forma de realización de ejemplo, el perfil 312 incluye una quinta región 322 que se extiende desde aproximadamente la posición correspondiente a 180° hasta aproximadamente la posición correspondiente a 200° a lo largo del acimut de pala 302. La quinta región 322 representa sustancialmente un nivel de amplitud de emisiones acústicas en disminución que se encuentra en el rango de aproximadamente 2dB hasta aproximadamente 0dB por encima de un valor de referencia predeterminado, cuando las palas 112 rotan moviéndose hacia arriba desde aproximadamente la posición correspondiente a 180° en el sentido de las agujas del reloj hasta aproximadamente la posición correspondiente a 200° a lo 30 largo del acimut de pala 302. La quinta región 322 incluye una segunda posición angular 308. La primera 306 y la segunda 308 posiciones angulares definen una sexta región 324 del acimut de pala 302 que representa sustancialmente un nivel de amplitud de emisiones acústicas que está aproximadamente 0dB por encima de un valor de referencia predeterminado cuando las palas 112 rotan moviéndose hacia arriba desde aproximadamente la posición correspondiente a 200° en el sentido de las agujas del reloj hasta aproximadamente la posición correspondiente a 250° a lo largo del acimut de pala 302.

40 La Figura 5 es una vista gráfica, o gráfico 400 de una estrategia de ejemplo de control de ángulo de paso para una sola pala que se puede utilizar con el generador de turbina eólica 100 (que se muestra en la Figura 3). El gráfico 400 incluye una ordenada o eje y 402, siendo el eje y 402 sustancialmente representativo de una compensación de ángulo de paso de pala 112 y se divide en unidades de grados angulares, o °, en 45 incrementos de 0,35° desde +1,75° hasta -1,75°. El gráfico 400 también incluye una abscisa o eje x 404, siendo el eje x 404 sustancialmente representativo del acimut de pala 302 y se divide en unidades de grados angulares, o °, en incrementos de 60° desde 0° hasta 360°. El gráfico 400 incluye además una pluralidad de líneas punteadas verticales 401 que corresponden a una pluralidad de puntos incrementales 403 asociados con el acimut de pala 302. En la Figura 5, por razones de perspectiva, el acimut de pala 302 está orientado sustancialmente recto y vertical en contraste con una orientación sustancialmente circular según se muestra en la Figura 4.

55 El gráfico 400 incluye además una curva de compensación de ángulo de paso de pala 406. En la forma de realización de ejemplo, la curva de compensación de ángulo de paso de pala 406 representa sustancialmente una programación de ejemplo de una pluralidad de señales de comando de compensación de ángulo de paso de pala (que no se muestran) dentro del procesador 202 (que se muestra en la Figura 2), en el que dichas señales son transmitidas desde el procesador 202 al motor de control de paso de pala 131 a través de una parte del conducto de E/S 204 (ambos mostrados en la Figura 2). De forma similar, la curva 406 también representa sustancialmente un posicionamiento compensatorio de pala 112 con un valor de compensación de ángulo de paso de pala predeterminado, según se describe más adelante.

60 Además, en la forma de realización de ejemplo, dichas señales de comando de compensación de ángulo de paso de pala se combinan con otras señales de comando de paso de pala (que no se muestran) para desplazar un ángulo de paso (que no se muestra) de la pala 112 a una posición predeterminada, facilitando con ello la inducción de fuerzas de sustentación en pala predeterminadas en función del viento 124 (que se muestra en la Figura 1). Más en concreto, el procesador 202 genera y transmite señales electrónicas que 65 representan sustancialmente un comando para un ángulo de paso predeterminado y fuerzas inducidas en pala en función de una pluralidad de señales de entrada al procesador 202 que incluyen, pero no se limitan

a, demandas de generación de energía eléctrica y limitaciones de velocidad de rotación del rotor 108. Por lo tanto, el procesador 202 combina señales de comando de compensación de ángulo de paso de pala, representadas por la curva 406, con todas las demás señales de comando de paso de pala para posicionar las palas 112 en torno al eje 118.

5

La curva de compensación de ángulo de paso de pala 406 incluye una primera parte 408 que se define entre un primer rango de acimut 410 de aproximadamente 350° hasta aproximadamente 10° a lo largo del acimut de pala 302. La primera parte 408 representa sustancialmente una compensación de ángulo de paso de pala de aproximadamente 0° en torno al eje de paso de pala 118 (que se muestra en la Figura 4). Es decir, el procesador 202 genera y transmite una señal de comando de paso de pala al motor 131 que representa sustancialmente una salida en respuesta a una pluralidad de entradas que incluyen, pero no se limitan a, demandas de generación de energía eléctrica y restricciones de velocidad de rotación del rotor 108, cuando la pala 112 rota entre aproximadamente 350° y aproximadamente 10° a lo largo del acimut de pala 302.

10

15

La curva de compensación de ángulo de paso de pala 406 también incluye una segunda parte 412 que se define entre un segundo rango de acimut 414 de aproximadamente 10° hasta aproximadamente 85° a lo largo del acimut de pala 302. La segunda parte 412 representa sustancialmente un cambio de la señal de comando de compensación de ángulo de paso de pala, en el que dicho cambio corresponde a un aumento del ángulo de paso de pala de aproximadamente 1,4° con respecto a un ángulo de paso anterior. Dicho cambio del ángulo de paso se produce en todo el rango 414 del recorrido de rotación de la pala 112 a lo largo del acimut de pala 302 entre aproximadamente 10° y aproximadamente 85°. Es decir, el procesador 202 genera y transmite una señal de comando de ángulo de paso de pala al motor 131 que representa sustancialmente un comando de ángulo de paso de pala en respuesta a una pluralidad de entradas que incluyen la segunda parte 412 así como, pero sin limitarse a, demandas de generación de energía eléctrica y restricciones de velocidad rotacional del rotor 108. En concreto, cuando la pala 112 rota desde aproximadamente 10° hasta 85° a lo largo del acimut de pala 302, la pala 112 aumenta un ángulo de paso en aproximadamente 1,4° con respecto a un ángulo de paso anterior que existía cuando la pala 112 rotaba entre aproximadamente 350° y aproximadamente 10° a lo largo del acimut de pala 302.

20

25

30

La curva de compensación de ángulo de paso de pala 406 incluye además una tercera parte 416 que se define entre un tercer rango de acimut 418 de aproximadamente 85° hasta aproximadamente 155° a lo largo del acimut de pala 302. La tercera parte 416 representa sustancialmente un cambio de la señal de comando de compensación de ángulo de paso de pala que corresponde a una disminución del ángulo de paso de pala de aproximadamente 1,4° en el rango 418 a lo largo del acimut de pala 302 entre aproximadamente 85° y aproximadamente 155°. En concreto, cuando la pala 112 rota desde aproximadamente 85° hasta aproximadamente 155° a lo largo del acimut de pala 302, la pala 112 disminuye el ángulo de paso en aproximadamente 1,4°, de modo que se alcanza sustancialmente un ángulo de paso que existía cuando la pala 112 rotaba entre aproximadamente 350° y aproximadamente 10° a lo largo del acimut de pala 302.

35

40

La curva de compensación de ángulo de paso de pala 406 también incluye una cuarta parte 420 que se define entre un cuarto rango de acimut 422 de aproximadamente 155° hasta aproximadamente 180° a lo largo del acimut de pala 302. La cuarta parte 420 representa sustancialmente una compensación de ángulo de paso de pala de aproximadamente 0° en torno al eje de paso de pala 118. Es decir, el procesador 202 genera y transmite una señal de comando de paso de pala al motor 131 que es sustancialmente similar a la descrita anteriormente para la primera parte 408.

45

La curva de compensación de ángulo de paso de pala 406 incluye además una quinta parte 424 que se define entre un quinto rango de acimut 426 de aproximadamente 180° hasta aproximadamente 225° a lo largo del acimut de pala 302. La quinta parte 424 representa sustancialmente un cambio de la señal de comando de compensación de ángulo de paso de pala, en el que dicho cambio corresponde inicialmente a una disminución del ángulo de paso de pala de aproximadamente 1,0° con respecto a un valor anterior del ángulo de paso de pala, cuando la pala 112 rota en el rango 426 a lo largo del acimut de pala 302 entre aproximadamente 180° y aproximadamente 225°. Es decir, el procesador 202 genera y transmite una señal de comando de paso de pala al motor 131 que representa sustancialmente un comando de ángulo de paso de pala en respuesta a una pluralidad de entradas que incluyen la quinta parte 424 así como, pero sin limitarse a, demandas de generación de energía eléctrica y restricciones de velocidad de rotación del rotor 108. En concreto, cuando la pala 112 rota desde aproximadamente 180° hasta aproximadamente 225° a lo largo del acimut de pala 302, la pala 112 disminuye un ángulo de paso en aproximadamente 1,0° con respecto a un ángulo de paso anterior que existía cuando la pala 112 rotaba entre aproximadamente 155° y aproximadamente 180° a lo largo del acimut de pala 302.

50

55

60

La curva de compensación de ángulo de paso de pala 406 también incluye una sexta parte 428 que se define entre un sexto rango de acimut 430 de aproximadamente 225° hasta aproximadamente 270° a lo largo del acimut de pala 302. La sexta parte 428 representa sustancialmente un cambio de la señal de comando de compensación de ángulo de paso de pala, en el que dicho cambio corresponde inicialmente a un aumento del ángulo de paso de pala de aproximadamente 0,1° con respecto a un valor anterior del

65

ángulo de paso de pala, cuando la pala 112 rota en el rango 430 a lo largo del acimut de pala 302 entre aproximadamente 225° y aproximadamente 270°. Es decir, el procesador 202 genera y transmite una señal de comando de ángulo de paso de pala al motor 131 que representa sustancialmente un comando de ángulo de paso de pala en respuesta a una pluralidad de entradas que incluyen la sexta parte 428, así como, pero sin limitarse a, demandas de generación de energía eléctrica y restricciones de velocidad de rotación del rotor 108. En concreto, cuando la pala 112 rota desde aproximadamente 225° hasta aproximadamente 270° a lo largo del acimut de pala 302, la pala 112 aumenta un ángulo de paso en aproximadamente 0,1° con respecto a un ángulo de paso anterior que existía cuando la pala 112 rotaba por aproximadamente 225° a lo largo del acimut de pala 302.

La curva de compensación de ángulo de paso de pala 406 incluye además una séptima parte 432 que se define entre un séptimo rango de acimut 434 de aproximadamente 270° hasta aproximadamente 315° a lo largo del acimut de pala 302. La séptima parte 432 representa sustancialmente un cambio de la señal de comando de compensación de ángulo de paso de pala, en el que dicho cambio corresponde inicialmente a una disminución del ángulo de paso de pala de aproximadamente 0,1° con respecto a un valor anterior del ángulo de paso de pala, cuando la pala 112 rota en el rango 434 a lo largo del acimut de pala 302 entre aproximadamente 270° y aproximadamente 315°. Es decir, el procesador 202 genera y transmite una señal de comando de paso de pala al motor 131 que representa sustancialmente un comando de ángulo de paso de pala en respuesta a una pluralidad de entradas que incluyen la séptima parte 432, así como, pero sin limitarse a, demandas de generación de energía eléctrica y restricciones de velocidad de rotación del rotor 108. En concreto, cuando la pala 112 rota desde aproximadamente 270° hasta aproximadamente 315° a lo largo del acimut de pala 302, la pala 112 disminuye un ángulo de paso en aproximadamente 0,1° con respecto a un ángulo de paso anterior que existía cuando la pala 112 rotaba por aproximadamente 270° a lo largo del acimut de pala 302.

La curva de compensación de ángulo de paso de pala 406 incluye además una octava parte 436 que se define entre un octavo rango de acimut 438 de aproximadamente 315° hasta aproximadamente 350° a lo largo del acimut de pala 302. La octava parte 436 representa sustancialmente un cambio de la señal de comando de compensación de ángulo de paso de pala que corresponde a un aumento del ángulo de paso de pala de aproximadamente 1,0° con respecto a un ángulo de paso de pala anterior, cuando la pala 112 rota a través del rango 438 a lo largo del acimut de pala 302 entre aproximadamente 315° y aproximadamente 350°. En concreto, cuando la pala 112 rota desde aproximadamente 315° hasta 350° a lo largo del acimut de pala 302, la pala 112 aumenta el ángulo de paso en aproximadamente 1,0°, de modo que se alcanza sustancialmente el ángulo de paso que existía en aproximadamente 155° y aproximadamente 180° a lo largo del acimut de pala 302.

Anteriormente se han proporcionado valores de ejemplo de compensación de ángulo de paso de pala en función de una posición de rotación de la pala 112. Alternativamente, se utilizan los valores de compensación de ángulo de paso de pala para cualquier posición acimutal de la pala 112 que permitan que el sistema de control de ángulo de pala 200 funcione según se describe en el presente documento.

En la forma de realización de ejemplo, se aplican consistentemente unos ajustes del ángulo de paso de pala definidos por la curva de compensación de ángulo de paso de pala 406 a una primera pala 112, cuando la primera pala 112 se mueve a través de un recorrido de rotación de 360° definido por el acimut de pala 302. Además, dichos ajustes de paso de pala se aplican a un resto de las palas 112, en el que, en la forma de realización de ejemplo, hay dos palas adicionales 112 dispuestas separadas entre ellas y la primera pala 112 por un arco de aproximadamente 120° a lo largo del rotor 108 y el acimut de pala 302. Por lo tanto, cada pala 112 cambia el ángulo de paso según la curva 406 con un desfase de 120° con respecto a cualquier pala adyacente 112. Alternativamente, cada pala 112 tiene un único conjunto de valores de compensación de ángulo de paso de pala 112 que permite que el sistema de control de ángulo de paso de pala 200 funcione según se describe en el presente documento.

Un procedimiento de ejemplo de operación del generador de turbina eólica 100 incluye aumentar el ángulo de paso de pala de la turbina eólica 112, cuando la pala de la turbina eólica 112 rota a través del rango 414 de valores de acimut de pala 302, reduciendo con ello las emisiones acústicas generadas por el generador de turbina eólica 100. El procedimiento también incluye disminuir el ángulo de paso de pala de la turbina eólica 112, cuando la pala de la turbina eólica 112 rota en el rango 430 de valores de acimut de pala 302, aumentando con ello la energía eléctrica generada por el generador de turbina eólica 100.

La Figura 6 es una vista compuesta gráfica 439 de una parte de la estrategia de control de ángulo de paso de pala 400 y del perfil de emisiones acústicas 300, en el que el perfil de amplitud de emisiones acústicas 312 está asociado con la curva de compensación de ángulo de paso de pala 406 (que se muestra en la Figura 5). En concreto, la Figura 6 ilustra una relación entre el perfil de amplitud de emisiones acústicas 312 y la curva de compensación de ángulo de paso de pala 406 (que se muestra en la Figura 5). Más en concreto, la Figura 6 ilustra una relación entre las regiones 314, 316, 318, 320, 322, y 324 del perfil 312 con las partes 408, 412, 416, 420, 424, 428, 432, y 436 de la curva 406 (que se muestra en la Figura 5) y los rangos de acimut asociados 410, 414, 418, 422, 426, 430, 434, y 438, respectivamente.

En la forma de realización de ejemplo, las velocidades del viento de aproximadamente 3 metros por segundo (m/s) (6,7 millas por hora (mph)) hasta aproximadamente 25 m/s (55,9 mph) están asociadas con unos valores de generación de energía eléctrica de aproximadamente 0 megavatios (MW) y aproximadamente 1,5 MW. Alternativamente, cualquier velocidad del viento y cualquier rango de generación de energía eléctrica están asociados con cualquier generador de turbina eólica que permita la operación del sistema de control de paso de pala 200 según se describe en este documento.

Durante la operación, el viento 124 (que se muestra en la Figura 1) impacta en cada una de las palas 440, 442 y 444 a lo largo del área de superficie de las palas 126 (que se muestra en la Figura 1), en el que cada una de las palas 440, 442 y 444 son sustancialmente similares a las palas 112 (mostradas en las figuras 1, 3 y 4). A continuación, a menos que se indique lo contrario, se analiza la operación de la pala 440, en el que la operación de las palas 442 y 444 son sustancialmente similares. Dicho impacto induce unas fuerzas de rotación en cada una de las palas 112, en que dichas fuerzas de rotación son transferidas al rotor 108. El rotor 108 acciona el generador 132 para generar energía eléctrica. La velocidad de rotación del rotor 108 y la generación de energía eléctrica del generador 132 son proporcionales a las fuerzas de sustentación inducidas en pala en función del viento 124. Cuando aumentan las fuerzas de sustentación inducidas en pala, se inducen mayores fuerzas de rotación a través de la pala 440 y el rotor 108 acelera y/o aumenta la producción de energía eléctrica a través del generador 132. Las fuerzas de sustentación inducidas en las palas se modulan ajustando un ángulo de paso (que no se muestra) de la pala 440, en el que al disminuir el ángulo de paso de pala 440 se incrementan las fuerzas de sustentación inducidas en la pala. Por el contrario, al aumentar el ángulo de paso de pala 440 se reducen las fuerzas de sustentación inducidas en la pala, lo que facilita la desaceleración de la pala 440 y/o la reducción de la producción de energía eléctrica a través del generador 132.

Además, durante la operación, la rotación de la pala 440 induce la formación del perfil 300 de emisiones acústicas que se ha descrito anteriormente, en que el perfil 300 incluye el perfil 312 de amplitud de emisiones acústicas, que incluye además unas amplitudes de emisiones acústicas entre 0 dB y 5 dB por encima de un valor de referencia predeterminado. En general, aumentando los ángulos de paso de la pala 440 y la consiguiente disminución de las fuerzas de sustentación inducidas en la pala facilitan una reducción de la amplitud de emisiones acústicas.

Además, durante la operación, un efecto técnico del uso del sistema de control de paso de pala 200 incluye la modulación de un ángulo de paso de la pala 440 según se define en el presente documento. La modulación de un ángulo de paso según se describe en el presente documento modula las fuerzas de sustentación inducidas en la pala 440. La modulación de las fuerzas de sustentación inducidas en pala, según se describe en el presente documento, disminuye eficazmente un nivel de dB de emisiones acústicas, o ruido, que se genera mientras se facilita la generación de energía eléctrica dentro de un rango predeterminado.

Además, durante la operación, el procesador 202 (que se muestra en la Figura 2) recibe una pluralidad de señales de entrada (que no se muestran) procedentes de dispositivos que incluyen, pero no se limitan a, dispositivos de generación de energía eléctrica (que no se muestran), dispositivos de medición de velocidad del rotor (que no se muestran), dispositivos de retroalimentación de la posición de paso de las palas 206, sistema de medición de acimut de pala 208 y el micrófono externo 222 (que se muestran todos en la Figura 3). Una programación predeterminada dentro del procesador 202 coopera con el sistema de medición de acimut de pala 208 y los dispositivos de medición de velocidad del rotor para determinar una posición de la pala 440 dentro del acimut de pala 302. Además, una programación predeterminada adicional dentro del procesador 202, que incluye, pero no se limita a, la curva de compensación de ángulo de paso de pala 406, coopera con los motores de control de paso de pala 131 (que se muestran en la Figura 2) y los dispositivos de retroalimentación de posición de pala 206 para modular un ángulo de paso de pala 440, modulando con ello un porcentaje del área 126 de la pala 440 expuesta al viento 124, y modulando además una velocidad de rotación del rotor 108 y/o la generación de energía eléctrica del generador 132. El micrófono externo 222 recibe emisiones acústicas procedentes de la turbina eólica 100 y genera una señal de corte (que no se muestra y se describe más adelante) que facilita un aumento o una disminución de los valores de compensación de paso de pala aplicados a la pala 440.

Además, durante la operación, la pala 440 rota moviéndose en sentido horario en torno al acimut de pala 302. El sistema de control de paso de pala 200 posiciona la pala 440 con un ángulo de paso predeterminado que facilita una pluralidad de parámetros operativos predeterminados que incluyen, pero no se limitan a, un rango predeterminado de generación de energía eléctrica. Cuando la pala 440 rota desde aproximadamente la posición correspondiente a 350° y pasa por el primer rango de acimut 410 hasta aproximadamente la posición correspondiente a 10°, el procesador 202 genera una señal de comando de ángulo de paso según la primera parte 408 de la curva de compensación de ángulo de paso de pala 406 (que se muestra en la Figura 5) que es sustancialmente representativa de un valor de compensación de ángulo de paso de aproximadamente 0°. La primera parte 408 corresponde a una parte de la primera región 314 y una parte de la región 316 del perfil 312 de emisiones acústicas, en el que las amplitudes de las emisiones acústicas

5 aumentan desde aproximadamente 1dB hasta aproximadamente 3dB. Por lo tanto, en la forma de realización de ejemplo, el sistema 200 no utiliza una compensación positiva del ángulo de paso de pala para emisiones acústicas con amplitudes inferiores a aproximadamente 3 dB, en el que se sabe que dichas amplitudes se generan normalmente para un conjunto determinado de parámetros predeterminados que incluyen, pero no se limitan a, una velocidad lineal de parte de punta de pala 125, condiciones del viento y generación de energía eléctrica.

10 Como ya se ha comentado anteriormente, el micrófono 222 (que se muestra en la Figura 3) recibe las emisiones acústicas generadas por el generador de turbina eólica 100. El micrófono 222 genera posteriormente señales electrónicas y las transmite al procesador 202, en que dichas señales son sustancialmente representativas de las amplitudes de dichas emisiones acústicas. Las señales de emisiones acústicas generadas por el micrófono 222 son utilizadas por el procesador 202 para generar señales de corte, en que dichas señales se utilizan para ajustar los valores de compensación de ángulo de paso de pala según se describe en el presente documento. A modo de ejemplo, pero sin limitación, para 15 las emisiones acústicas con amplitudes superiores a un valor de umbral, se aumenta la compensación de ángulos de paso de las palas de 1,4° a 2,0°. Del mismo modo, para las emisiones acústicas con amplitudes inferiores a un valor de umbral, se reduce la compensación de ángulos de paso de las palas desde 1,4° hasta un valor inferior predeterminado. Por lo tanto, el micrófono 222, junto con el procesador 202, facilitan el control in situ en tiempo real de las emisiones acústicas generadas por el generador de turbina eólica 20 100. Este uso de señales de corte se puede aplicar a lo largo del recorrido de la pala 440 en torno al acimut de pala 302, según se describe en el presente documento.

25 Además, durante la operación, la pala 440 rota desde aproximadamente la posición correspondiente a 10° y pasa por el segundo rango de acimut 414 hasta aproximadamente la posición correspondiente a 85°, en que el procesador 202 genera una señal de comando de ángulo de paso según la segunda parte 412 de la curva 406 que es sustancialmente representativa de un valor de compensación de ángulo de paso que cambia desde aproximadamente 0° hasta aproximadamente +1,4°. Cuando el ángulo de paso de pala 440 aumenta en 1,4°, las fuerzas de sustentación inducidas en pala 440 disminuyen, y la parte de punta de pala 125 se desacelera. La segunda parte 412 corresponde a una parte de la segunda región 316 y a una parte 30 de la región 320 del perfil de emisiones acústicas 312, en el que las amplitudes de las emisiones acústicas aumentan desde aproximadamente 3dB hasta aproximadamente 5dB y dichas amplitudes de las emisiones acústicas son sustancialmente constantes en aproximadamente 5dB. Por lo tanto, en la forma de realización de ejemplo, el sistema 200 no utiliza la compensación de ángulo de paso de pala para las emisiones acústicas con valores de amplitud de umbral inferiores a aproximadamente 3 dB. Alternativamente, se 35 utilizan cualesquiera valores de amplitud de umbral que permiten al sistema 200 funcionar según se describe en el presente documento. Se pueden utilizar señales de corte según se ha descrito anteriormente.

40 En la forma de realización de ejemplo, cuando el ángulo de paso de pala se desplaza un +1,4° adicional, la parte de punta de pala 125 desacelera lo suficiente para facilitar una disminución de la amplitud de emisiones acústicas en un rango de aproximadamente 1,5dB hasta 2,0dB. Dicha desaceleración también facilita una disminución de la transferencia de energía del viento en forma de energía eléctrica, según se ha descrito anteriormente, asociada a la pala 440 que está asociada al cambio del ángulo de paso de pala según se ha descrito anteriormente. En la forma de realización de ejemplo, la generación total de energía eléctrica por parte del generador de turbina eólica 100 se mantiene en un rango predeterminado durante 45 los cambios de compensación de ángulo de paso de pala según se describe en el presente documento. Además, en la forma de realización de ejemplo, el procesador 202 está programado para reducir las emisiones acústicas como una prioridad máxima escalonada y para generar energía eléctrica como una prioridad inferior escalonada. Alternativamente, el procesador 202 está programado para facilitar el mantenimiento de la generación de energía eléctrica sustancialmente cercana a la demanda de energía eléctrica y para reducir las emisiones acústicas como prioridad inferior escalonada. 50

55 Además, durante la operación, la pala 440 rota desde aproximadamente la posición correspondiente a 85° y pasa por el tercer rango de acimut 418 hasta aproximadamente la posición correspondiente a 155°, el procesador 202 genera una señal de comando de ángulo de paso según la tercera parte 416 de la curva 406 que es sustancialmente representativa de un valor de compensación de ángulo de paso que cambia desde aproximadamente +1,4° hasta aproximadamente 0°. Cuando el ángulo de paso de pala 440 disminuye en 1,4°, las fuerzas de sustentación inducidas en la pala 440 comienzan a aumentar, y la parte de punta de pala 125 comienza a acelerar. La tercera parte 416 corresponde a una parte de la segunda 60 región 316, la tercera región 318, y la cuarta región 320 del perfil de emisiones acústicas 312, en el que las amplitudes de las emisiones acústicas son sustancialmente constantes hasta aproximadamente 5dB y luego dichas amplitudes de emisiones acústicas disminuyen desde aproximadamente 5dB hasta aproximadamente 3dB. Se pueden utilizar señales de corte según se ha descrito anteriormente.

65 Además, durante la operación, la pala 440 rota desde aproximadamente la posición correspondiente a 155° y pasa por el cuarto rango de acimut 422 hasta aproximadamente la posición correspondiente a 180°, el procesador 202 genera una señal de comando de ángulo de paso según la cuarta parte 420 de la curva 406 que es sustancialmente representativa de un valor de compensación de ángulo de paso de

aproximadamente 0°. La cuarta parte 420 corresponde a una parte de la tercera región 318 del perfil 312 de emisiones acústicas, en el que las amplitudes de emisiones acústicas disminuyen desde aproximadamente 3dB hasta aproximadamente 2dB. Se pueden utilizar señales corte según se ha descrito anteriormente.

5

Además, durante la operación, la pala 440 rota desde aproximadamente la posición correspondiente a 180° y pasa por el quinto rango de acimut 426 hasta aproximadamente la posición correspondiente a 225°, el procesador 202 genera una señal de comando de ángulo de paso según la quinta parte 424 de la curva de compensación de ángulo de paso de pala 406 que es sustancialmente representativa de un valor de compensación de ángulo de paso que pasa desde aproximadamente 0° hasta aproximadamente -1,0°. Cuando el ángulo de paso de pala 440 disminuye en 1,0°, las fuerzas de sustentación inducidas en la pala 440 comienzan a aumentar, y la parte de punta de pala 125 comienza a acelerar. La quinta parte 424 corresponde a la quinta región 322 y al menos una parte de la sexta región 324 del perfil de emisiones acústicas 312, en el que las amplitudes de las emisiones acústicas disminuyen desde aproximadamente 2dB hasta aproximadamente 0dB. Se pueden utilizar señales de corte según se ha descrito anteriormente.

10

15

Además, durante la operación, la pala 440 rota desde aproximadamente la posición correspondiente a 225° y pasa por el sexto rango de acimut 430 hasta aproximadamente la posición correspondiente a 270°, el procesador 202 genera una señal de comando de ángulo de paso según la sexta parte 428 de la curva 406 que es sustancialmente representativa de un valor de compensación de ángulo de paso que cambia desde aproximadamente -1,0° hasta aproximadamente -0,9°. Cuando el ángulo de paso de pala 440 aumenta en 0,1°, las fuerzas de sustentación inducidas en la pala 440 disminuyen, y la parte de punta de pala 125 se desacelera. La sexta parte 428 corresponde a una parte de la sexta región 324 del perfil 312 de emisiones acústicas, en el que las amplitudes de las emisiones acústicas se mantienen sustancialmente constantes en aproximadamente 0dB y luego comienzan a aumentar hasta 1dB. Se pueden utilizar señales de corte según se ha descrito anteriormente.

20

25

Además, durante la operación, la pala 440 rota desde aproximadamente la posición correspondiente a 270° y pasa por el séptimo rango de acimut 434 hasta aproximadamente la posición correspondiente a 315°, el procesador 202 genera una señal de comando de ángulo de paso según la séptima parte 432 de la curva 406 que es sustancialmente representativa de un valor de compensación de ángulo de paso que cambia desde aproximadamente -0,9° hasta aproximadamente -1,0°. Cuando el ángulo de paso de pala 440 disminuye en 0,1°, las fuerzas de sustentación inducidas en la pala 440 aumentan, y la parte de punta de pala 125 se acelera. La séptima parte 432 corresponde a una parte de la primera región 314 del perfil 312 de emisiones acústicas, en el que las amplitudes de las emisiones acústicas aumentan desde aproximadamente 1dB hasta 2dB. Se pueden utilizar señales corte según se ha descrito anteriormente.

30

35

Además, durante la operación, la pala 440 rota desde aproximadamente la posición correspondiente a 315° y pasa por el octavo rango de acimut 438 hasta aproximadamente la posición correspondiente a 350°, el procesador 202 genera una señal de comando de ángulo de paso según la octava parte 436 de la curva 406 que es sustancialmente representativa de un valor de compensación de ángulo de paso que cambia desde aproximadamente -1,0° hasta aproximadamente 0°. Cuando el ángulo de paso de pala 440 aumenta en 1,0°, las fuerzas de sustentación inducidas en la pala 440 disminuyen, y la parte de punta de pala 125 se desacelera. La octava parte 436 corresponde a una parte de la primera región 314 del perfil 312 de emisiones acústicas, en el que las amplitudes de las emisiones acústicas disminuyen desde aproximadamente 2dB hasta aproximadamente 1dB y se mantienen sustancialmente constantes en aproximadamente 1dB. Se pueden utilizar señales de corte según se ha descrito anteriormente.

40

45

En la forma de realización de ejemplo, la estrategia de control de ángulo de paso de pala, el perfil de emisiones acústicas y los valores de compensación de ángulo de paso para las palas 442 y 444 son sustancialmente similares a los asociados con la pala 440, con la excepción de que las palas 442 y 444 están desfasadas 120° con respecto a la pala 440. Alternativamente, cada una de las palas 442 y 444 tienen un único conjunto de estrategia de control de ángulo de paso de pala, perfil de emisiones acústicas y valores de compensación de ángulo de paso de pala que permitan que el sistema de control de ángulo de paso de pala 200 funcione según se describe en el presente documento.

50

55

La Figura 7 es una vista gráfica, o gráfico 450 de una estrategia de ejemplo de control de ángulo de paso para tres palas 440, 442 y 444 que se puede utilizar con el generador de turbina eólica 100 (que se muestra en la Figura 3). El gráfico 450 incluye el eje y 402 y el eje x 404 según se muestra en la Figura 5. Además, el gráfico 450 incluye la curva de compensación de ángulo de paso de pala programado para la pala 440. Además, el gráfico 450 incluye una curva de compensación de ángulo de paso de pala programado para la pala 442. Además, el gráfico 450 incluye una curva de compensación de ángulo de paso de pala programado para la pala 444.

60

65

En la forma de realización de ejemplo, las curvas 452 y 454 son sustancialmente similares a la curva 406, con la excepción de que las curvas 452 y 454 están desfasadas 120° con respecto a la curva 406. Por otra parte, cada una de las curvas 406, 452 y 454 tiene un único conjunto de valores de compensación de paso de pala para las posiciones de rotación de las palas 440, 442 y 444, respectivamente, que permite que el sistema de control del paso de pala 200 funcione según se describe en el presente documento.

La Figura 8 es una vista gráfica, o gráfico 500 de un patrón de ejemplo de ángulo de paso para las tres palas 440, 442 y 444 que se pueden utilizar con el generador de turbina eólica 100 (que se muestra en la Figura 3). El gráfico 500 incluye una ordenada o eje y 502, siendo el eje y 502 sustancialmente representativo de una medición real del ángulo de paso de cada una de las palas 440, 442 y 444, y se divide en unidades de grados angulares, o °, en incrementos de 0,5° desde +1,5° hasta +4,0°. El gráfico 500 también incluye una abscisa o eje x 504, siendo el eje x 504 sustancialmente representativo del acimut de pala 302 (que se muestra en la Figura 4) y se divide en unidades de grados angulares, o °, en incrementos de 60° desde 0° hasta 360° de una manera sustancialmente similar a la del eje x 404 (que se muestra en la Figura 5). Es decir, en la Figura 8, por razones de perspectiva, el acimut de pala 302 está orientado sustancialmente recto y vertical en contraste con una orientación sustancialmente circular según se muestra en la Figura 4.

El gráfico 500 representa sustancialmente mediciones reales de ángulo de paso de una de cada una de las palas 440, 442 y 444 en relación con la de cada una de las otras palas como una función de la posición de cada una de las palas 440, 442 y 444 en torno al acimut de pala 302. El gráfico 500 incluye una primera curva de patrón de ángulo de paso de pala 506 que es sustancialmente representativa de una señal de retroalimentación de posición real de pala (que no se muestra) asociada con la pala 440. En concreto, durante la operación, la pala 440 cambia su ángulo de paso desde un valor de aproximadamente 2,6° en un acimut de aproximadamente 0° hasta un valor de ángulo de paso de aproximadamente 4° cuando se aplica la señal de compensación de ángulo de paso de 1,4° (que no se muestra) entre unos valores de acimut de aproximadamente 10° hasta 85°.

Posteriormente, durante la operación, la pala 440 cambia su ángulo de paso desde un valor aproximado de 4° en un acimut de aproximadamente 85° hasta un valor de ángulo de paso de aproximadamente 1,8° en un acimut de aproximadamente 225° cuando se reduce la señal de compensación de ángulo de paso desde 1,4° hasta 0° entre unos valores de acimut de aproximadamente 85° hasta 155°, y mientras la señal de compensación de ángulo de paso se mantiene en un valor aproximado de 0° entre unos valores de acimut de aproximadamente 155° y aproximadamente 180°, y cuando se reduce aún más la señal de compensación de ángulo de paso hasta un rango de valores de aproximadamente -1,0° hasta -0,9° entre unos valores de acimut de aproximadamente 180° hasta aproximadamente 225°. Además, posteriormente, durante la operación, la pala 440 mantiene un ángulo de paso dentro de un rango de valores de aproximadamente 1,7° hasta 1,8°, cuando se mantiene el valor de compensación de ángulo de paso en un rango de valores de aproximadamente -1,0° hasta -0,9° entre unos valores de acimut de aproximadamente 180° hasta aproximadamente 225°.

Además, durante la operación, la pala 440 cambia su ángulo de paso desde un valor aproximado de 1,8° en un acimut de aproximadamente 315° hasta un valor de ángulo de paso de aproximadamente 2,6° en un acimut de aproximadamente 350° cuando se aumenta la señal de compensación de ángulo de paso desde aproximadamente -1,0° hasta aproximadamente 0° entre unos valores de acimut de aproximadamente 315° hasta 350°. Además, durante la operación, la pala 440 mantiene su ángulo de paso en el valor aproximado de 2,6° entre un acimut de aproximadamente 350° hasta aproximadamente 10° cuando se aplica una señal de compensación de ángulo de paso de 0° entre unos valores de acimut de aproximadamente 350° hasta 10°. En la forma de realización de ejemplo, las curvas 452 y 454 son sustancialmente similares a la curva 406, con la excepción de que las curvas 452 y 454 están desfasadas 120° con respecto a la curva 406.

El gráfico 500 también incluye una segunda curva de patrón de ángulo de paso de pala 508 y una tercera curva de patrón de ángulo de paso de pala 510 que son sustancialmente representativas de una señal de retroalimentación de posición real de pala (que no se muestra) asociada con las palas 442 y 444, respectivamente. En la forma de realización de ejemplo, las curvas 508 y 510 son sustancialmente similares a la curva 506, con la excepción de que las curvas 508 y 510 están desfasadas 120° en cada dirección con respecto a la curva 506. Por otra parte, cada una de las curvas 506, 508 y 510 tiene un patrón único de ángulo de paso para las palas 440, 442 y 444, respectivamente, que permite que el sistema de control de paso de pala 200 funcione según se describe en el presente documento.

Las curvas 506, 508 y 510 tienen formas similares, pero no sustancialmente similares, a las curvas 406, 452 y 454 (mostradas todas en la Figura 7). Este efecto técnico se debe principalmente a que las señales de compensación de ángulo de paso de pala, representadas por las curvas 406, 452 y 454, son combinadas con otras señales de comando de ángulo de paso de pala y el efecto de suavizado que proporcionan los dispositivos electromecánicos de control de ángulo de paso de acción más lenta, ambos descritos anteriormente.

ES 2 812 498 T3

Durante la operación, según se ilustra en las figuras 7 y 8, por ejemplo, y sin limitación, las palas 444 y 442 siguen transitorios similares de paso de pala de 120° y 240° , respectivamente, desfasadas con respecto a la pala 440. Por ejemplo, cuando la pala 440 pasa por aproximadamente la posición correspondiente a 90° a lo largo del acimut de pala 302 con un valor de compensación de paso de pala de aproximadamente $1,3^\circ$ y una posición medida de paso de pala de aproximadamente $4,0^\circ$, la pala 442 pasa por aproximadamente una posición correspondiente a 330° a lo largo del acimut de pala 302 con un valor de compensación de paso de pala de aproximadamente $-0,8^\circ$ y una posición medida de paso de pala de aproximadamente $2,0^\circ$. Del mismo modo, la pala 444 pasa por una posición de aproximadamente 120° a lo largo del acimut de pala 302 con un valor de compensación de paso de pala de aproximadamente $-0,8^\circ$ y una posición medida de paso de pala de aproximadamente $2,2^\circ$. En resumen, para al menos una de las palas 440, 442 y 444 que tiene un ángulo de paso relativamente mayor para reducir la generación de ruido, al menos una de las otras palas 440, 442 y 444 tiene un ángulo de paso relativamente menor para aumentar la generación de energía.

Por consiguiente, la modulación de los valores de paso de las palas 440, 442 y 444 en cooperación entre sí como una función de su posición en torno al acimut de pala 302 facilita el control de la velocidad de rotación del rotor 108 y, por consiguiente, el control de las velocidades lineales de las partes de punta de pala 125 para facilitar reducciones en las amplitudes de emisiones acústicas en un rango de 1dB hasta 3dB, incluyendo una reducción total promedio de 2,5dB, al mismo tiempo que se reduce un potencial de reducciones en la generación de energía eléctrica, según se describe más adelante. Dichas reducciones en emisiones acústicas facilitan el mantenimiento de emisiones acústicas generadas por el generador de turbina eólica 100 por debajo de niveles normativos locales.

La Figura 9 es una vista gráfica, o gráfico 600 de un perfil de ejemplo de generación de energía eléctrica con y sin reducción de emisiones acústicas que se puede utilizar con el generador de turbina eólica 100 (que se muestra en la Figura 3). El gráfico 900 incluye una ordenada o eje y 602, siendo el eje y 602 sustancialmente representativo de valores de medición reales de generación de energía eléctrica y se divide en unidades de kilovatios (kw) en incrementos de 250 kw desde 0 kw hasta 1500 kw. El gráfico 600 también incluye una abscisa o eje x 604, siendo el eje x 604 sustancialmente representativo de la velocidad del viento y se divide en unidades de metros por segundo (m/s) en incrementos de 5 m/s (11,2 mph) desde 0 m/s (0 mph) hasta 30 m/s (67,1 mph).

El gráfico 600 incluye además una curva de generación de energía eléctrica medida 606 que representa sustancialmente la generación de energía eléctrica del generador de turbina eólica 100 (que se muestra en las figuras 1, 2, 3, 4 y 6) sin el sistema de control de paso de pala 200 (que se muestra en las figuras 2 y 3) en servicio. El gráfico 600 también incluye una curva de generación de energía eléctrica medida 608 que representa sustancialmente la generación de energía eléctrica del generador de turbina eólica 100 con el sistema de control de paso de pala 200 en servicio. En concreto, en la forma de realización de ejemplo, ambos gráficos 606 y 608 ilustran unos promedios de diez minutos de valores medidos de generación de energía y valores de velocidad del viento.

En la forma de realización de ejemplo, ambos gráficos 606 y 608 ilustran que no hay generación de energía por debajo de velocidades del viento de aproximadamente 3 m/s (6,7 mph). Además, ambos gráficos 606 y 608 ilustran un aumento sustancialmente lineal en la generación de energía desde aproximadamente 0 kw hasta aproximadamente 1250 kw entre velocidades de viento de aproximadamente 3 m/s (6,7 mph) y 10 m/s (22,4 mph). Además, ambos gráficos ilustran una velocidad decreciente de aumento en la generación de energía como una función de una velocidad del viento creciente, es decir, entre velocidades del viento de aproximadamente 10 m/s (22,4 mph) y 13 m/s (29,1 mph) la generación de energía aumenta más lentamente desde aproximadamente 1.250 kw hasta aproximadamente 1.500 kw. Para velocidades del viento superiores a aproximadamente 15 m/s (33,5 mph) hasta aproximadamente 25 m/s (55,6 mph), la generación de energía permanece sustancialmente constante en aproximadamente 1500 kw. Alternativamente, se utiliza cualquier relación entre la velocidad del viento y la generación de energía eléctrica para cualquier marca y/o modelo de generador de turbina eólica 100 que permita la operación del sistema de control de paso de pala 200 según se describe en el presente documento.

Durante la operación, según se ha descrito anteriormente y se ilustra en las figuras 7 y 8, las palas 440, 442 y 444 ajustan sus ángulos de paso asociados en función de la posición en torno al acimut de pala 302. En la forma de realización de ejemplo, el sistema de control de ángulo de paso de pala 200 (que se muestra en las figuras 2 y 3) es activado automáticamente cuando se satisface una pluralidad de condiciones. Una primera condición, en la forma de realización de ejemplo, es que el promedio de diez minutos de operación del paso de pala medido sea inferior a un rango de aproximadamente 5° hasta 6° . Alternativamente, se utiliza cualquier rango de valores medidos de paso de pala para cualquier marca y/o modelo de generador de turbina eólica 100 que permita la operación del sistema de control de paso de pala 200 según se describe en el presente documento.

Una segunda condición, en la forma de realización de ejemplo, es que el promedio de diez minutos de operación de la generación de energía eléctrica esté en un rango de aproximadamente 75% hasta 80% de generación de energía nominal, es decir, en un rango de aproximadamente 1125 kw hasta 1200 kw. Un

rango de velocidad del viento de aproximadamente 9,0 m/s (20,1 mph) hasta 9,5 m/s (21,2 mph) corresponde sustancialmente al rango de generación de energía de aproximadamente 1125 kw hasta 1200 kw. Alternativamente, se utiliza cualquier relación entre la velocidad del viento y la generación de energía eléctrica para cualquier marca y/o modelo de generador de turbina eólica 100 que permita la operación del sistema de control de paso de pala 200 según se describe en el presente documento.

Un primer efecto técnico de dichas condiciones de parámetros de paso de pala y de generación de energía incluye la activación automática del sistema de control de paso de pala 200 cuando un promedio de diez minutos de operación de la generación de energía eléctrica es igual o mayor que un rango de 1125 kw y 1200 kw y un promedio de diez minutos de operación del paso de pala medido es menor que un rango de aproximadamente 5° hasta 6°. En el caso de que el promedio de diez minutos de operación de la generación de energía eléctrica disminuya por debajo del rango de 1125 kw y 1200 kw o que el promedio de diez minutos de operación del paso de pala medido sea igual o mayor que un rango de aproximadamente 5° hasta 6°, se desactiva el sistema de control del paso de pala 200.

Un segundo efecto técnico de dichas condiciones de parámetros de paso de pala y de generación de energía es facilitar el mantenimiento de la carga y el desgaste de componentes de la turbina eólica dentro de unos parámetros predeterminados. En concreto, la carga operativa de la multiplicadora 136, las palas 112, la torre 102 y la góndola 106 (mostradas todas en la Figura 1) se mantienen sustancialmente inalteradas con el sistema de control de paso de pala 200 en servicio o fuera de servicio según se describe en el presente documento.

Un tercer efecto técnico de dichas condiciones de parámetros de paso de pala y de generación de energía incluye la reducción sustancial y simultánea de las emisiones de ruido con poco o ningún impacto negativo en la generación de energía eléctrica. La Figura 9 ilustra las curvas 606 y 608 en estrecha proximidad entre sí, en que las curvas 606 y 608 se superponen sustancialmente entre sí, sin embargo se ilustra una pequeña separación exagerada para proporcionar cierta perspectiva.

Por consiguiente, los efectos técnicos de la modulación de valores de paso de pala 440, 442 y 444 en cooperación entre sí como una función de su posición en torno al acimut de pala 302 incluyen facilitar el control de velocidades lineales de partes de punta de pala 125 para facilitar unas reducciones en las amplitudes de las emisiones acústicas en un rango de 1dB hasta 3dB, incluyendo una reducción total promedio de 2,5dB, al mismo tiempo que se reduce un potencial de reducciones en la generación de energía eléctrica, y se reduce un potencial de desgaste acelerado de componentes.

En la forma de realización de ejemplo, el generador de turbina eólica 100, que incluye específicamente el sistema de control de paso de pala 200, es operado con los parámetros comentados anteriormente. Alternativamente, se utilizan cualesquiera parámetros de operación que permitan que el sistema 200 y el generador de turbina eólica 100 funcionen según se describe en el presente documento.

Además, en la forma de realización de ejemplo, se determinan unos valores de compensación de paso de pala a través de al menos un algoritmo almacenado electrónicamente de forma estática dentro de una tabla (que no se muestra) que se mantiene dentro del procesador 202 (que se muestra en las figuras 2 y 3). Alternativamente, se determinan dinámicamente unos valores de compensación de paso de pala utilizando al menos un algoritmo programado dentro del procesador 202.

Además, en la forma de realización de ejemplo, cuando el sistema de control de paso de pala 200 está en servicio según se ha descrito anteriormente, el sistema 200 se puede utilizar para facilitar la determinación de una velocidad del viento actual. En concreto, en la forma de realización de ejemplo, hay una relación predeterminada entre la generación de energía eléctrica y la velocidad del viento, según se ilustra en la Figura 9. Por lo tanto, para un determinado valor de generación de energía, existe una correspondiente velocidad del viento. En la forma de realización de ejemplo, dicha relación se determina entre aproximadamente 9 m/s (20,1 mph) y 12 m/s (26,8 mph). Alternativamente, se puede determinar cualquier rango de valores de velocidad del viento cuando el sistema 200 está en servicio. También, en concreto, en la forma de realización de ejemplo, se determina una relación similar entre la velocidad del viento y el ángulo de paso de las palas para el sistema 200, de manera que para un determinado ángulo de paso de las palas se puede generar un valor calculado de velocidad del viento cuando el sistema 200 está en servicio. Además, en concreto, se utiliza cualquier combinación de rangos de valores de ángulo de paso de pala y rangos de valores de generación de energía eléctrica para facilitar el cálculo de una velocidad del viento existente.

El sistema y el procedimiento que se han descrito anteriormente facilitan la operación de generadores de turbina eólica controlando activamente el paso de las palas. Dicho procedimiento y sistema incluye implementar un sistema de control de paso de pala que modula los ángulos de paso de cada una de una pluralidad de palas de la turbina eólica en función de la posición de las palas a lo largo de un recorrido de rotación acimutal. En concreto, un efecto técnico de la modulación del paso de cada pala, y por lo tanto de la modulación de la velocidad de punta de pala mediante la modulación de un área transversal de cada pala

expuesta al viento, disminuye un nivel de dB en las emisiones acústicas, o ruido, que se generan. Además, en concreto, modular el paso de las palas dentro de un rango predeterminado facilita la generación de energía eléctrica dentro de un rango predeterminado durante transitorios del paso de las palas. Además, en concreto, modular el paso de las palas dentro de un rango predeterminado facilita la reducción de un potencial de desgaste acelerado de componentes.

5

Anteriormente se han descrito en detalle ejemplos de procedimientos y sistemas para operar generadores de turbina eólica. Los procedimientos y sistemas no se limitan a las formas de realización específicas que se describen en el presente documento, sino que componentes de los sistemas y/o etapas de los procedimientos se pueden utilizar independientemente y por separado de otros componentes y/o etapas que se describen en este documento. Por ejemplo, los procedimientos también se pueden utilizar en combinación con otros generadores de turbina eólica, y no se limitan a la práctica con sólo el generador de turbina eólica según se describe en el presente documento. Más bien, la forma de realización de ejemplo puede ser implementada y utilizada en conexión con muchas otras aplicaciones de generadores de turbina eólica.

10

15

Si bien la invención se ha descrito en términos de diversas formas de realización específicas, los expertos en la materia reconocerán que la invención puede ponerse en práctica con modificaciones dentro del alcance de las reivindicaciones.

20

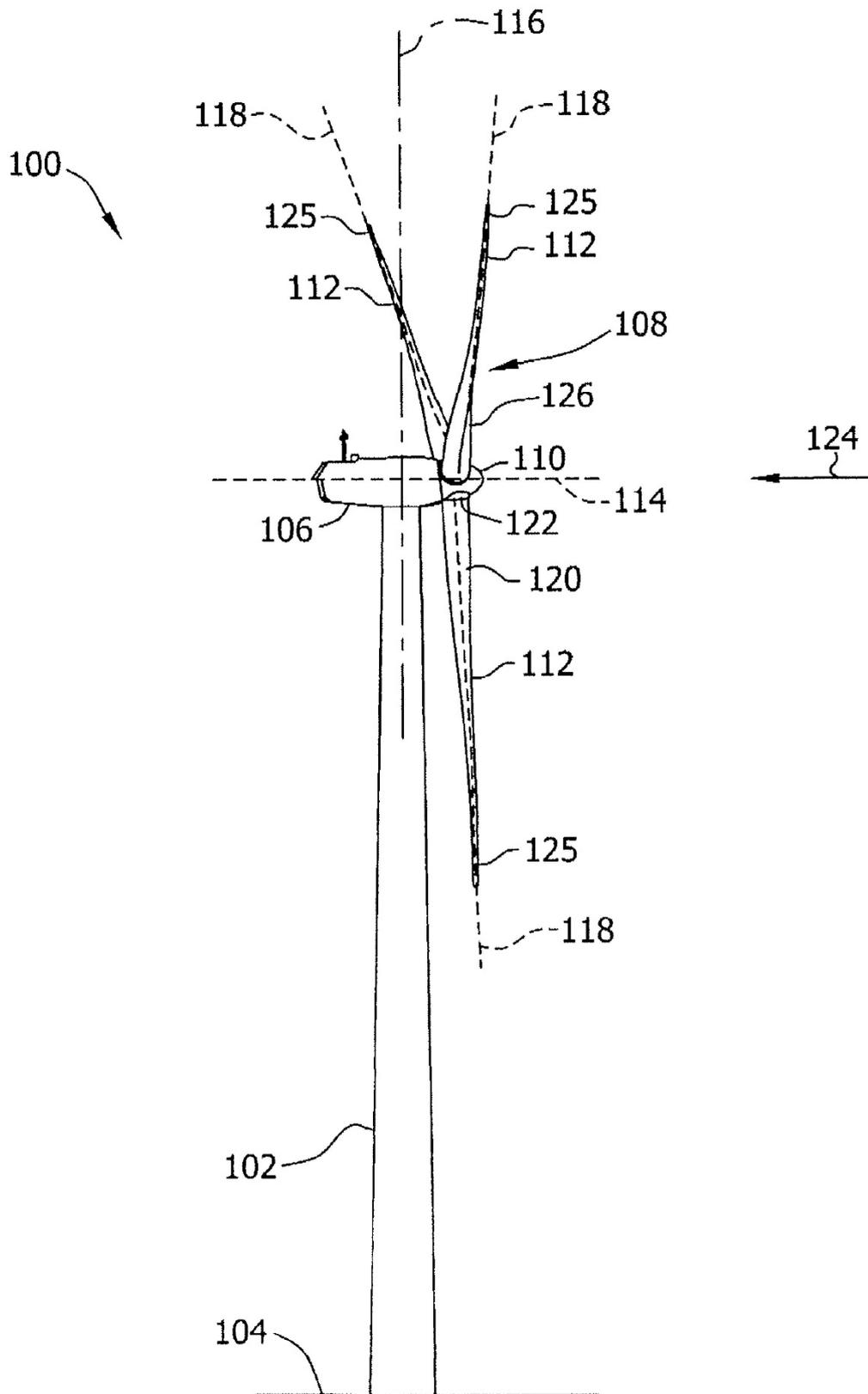
Esta descripción escrita utiliza ejemplos para divulgar la invención, que incluyen la modalidad preferida, y también para permitir a cualquier persona experta en la materia poner en práctica la invención, incluyendo la fabricación y el uso de cualquier dispositivo o sistema y la realización de cualquier procedimiento incorporado. El alcance patentable de la invención está definido por las reivindicaciones, y puede incluir otros ejemplos que se les ocurran a los expertos en la materia. Se pretende que dichos otros ejemplos estén dentro del alcance de las reivindicaciones si tienen elementos estructurales que no difieren del lenguaje literal de las reivindicaciones, o si incluyen elementos estructurales equivalentes con diferencias insustanciales con respecto a los lenguajes literales de las reivindicaciones.

25

REIVINDICACIONES

1. Un generador de turbina eólica (100) que comprende:
al menos una pala de turbina eólica (112); y
5 un sistema de control de paso de pala (200) que comprende:
al menos un mecanismo de control de paso de pala (130) acoplado a dicha al menos una pala de turbina eólica (112);
al menos un dispositivo de medición de sonido que comprende al menos un micrófono (222) orientado para recibir al menos una parte de las emisiones acústicas generadas por dicho generador eólico (100);
10 al menos un procesador (202) acoplado a dicho al menos un mecanismo de control de paso de pala, en el que dicho procesador está programado para:
aumentar el ángulo de paso de una primera pala de turbina eólica (440) cuando dicha primera pala rota a través de una primera parte (414, 438) de un recorrido de rotación de pala de 360° (302), facilitando con ello una reducción de emisiones acústicas generadas por dicho generador de turbina eólica (100); y
15 disminuir sustancialmente simultáneamente un ángulo de paso de una segunda pala de turbina eólica (442) cuando dicha segunda pala de turbina eólica rota a través de una segunda parte (418, 426) del recorrido de rotación de pala de 360°, facilitando con ello un aumento en la potencia generada por dicho generador de turbina eólica, en el que dicho al menos un micrófono (222) coopera con dicho al menos un procesador (202) para generar al menos una señal de retroalimentación que modifica el ángulo de paso de la al menos una pala de turbina eólica (112).
20
2. Un generador de turbina eólica (100) según la reivindicación 1 en el que dicho al menos un procesador (202) está acoplado además a al menos uno de entre:
al menos un sistema sensor de posición de recorrido de rotación de pala (208);
25 al menos un mecanismo de retroalimentación de posición de paso de pala (206).
3. Un generador de turbina eólica (100) según la reivindicación 1, en el que dicho al menos un micrófono (222) comprende una pluralidad de micrófonos orientados en un conjunto predeterminado (226).
- 30 4. Un generador de turbina eólica (100) según la reivindicación 2 o cualquier reivindicación cuando depende de la misma, en el que dicho al menos un sistema sensor de posición de recorrido de rotación de pala (208) comprende:
al menos un transpondedor (210, 212, 214); y
al menos un receptor (216, 218, 220) acoplado con dicho al menos un transpondedor.
35
5. Un generador de turbina eólica (100) según la reivindicación 4, en el que dicho al menos un transpondedor (210, 212, 214) comprende al menos un transpondedor de tipo identificación por radiofrecuencia (tipo RFID) (210, 212, 214) acoplado a la al menos a una pala de turbina eólica (112).

FIG. 1



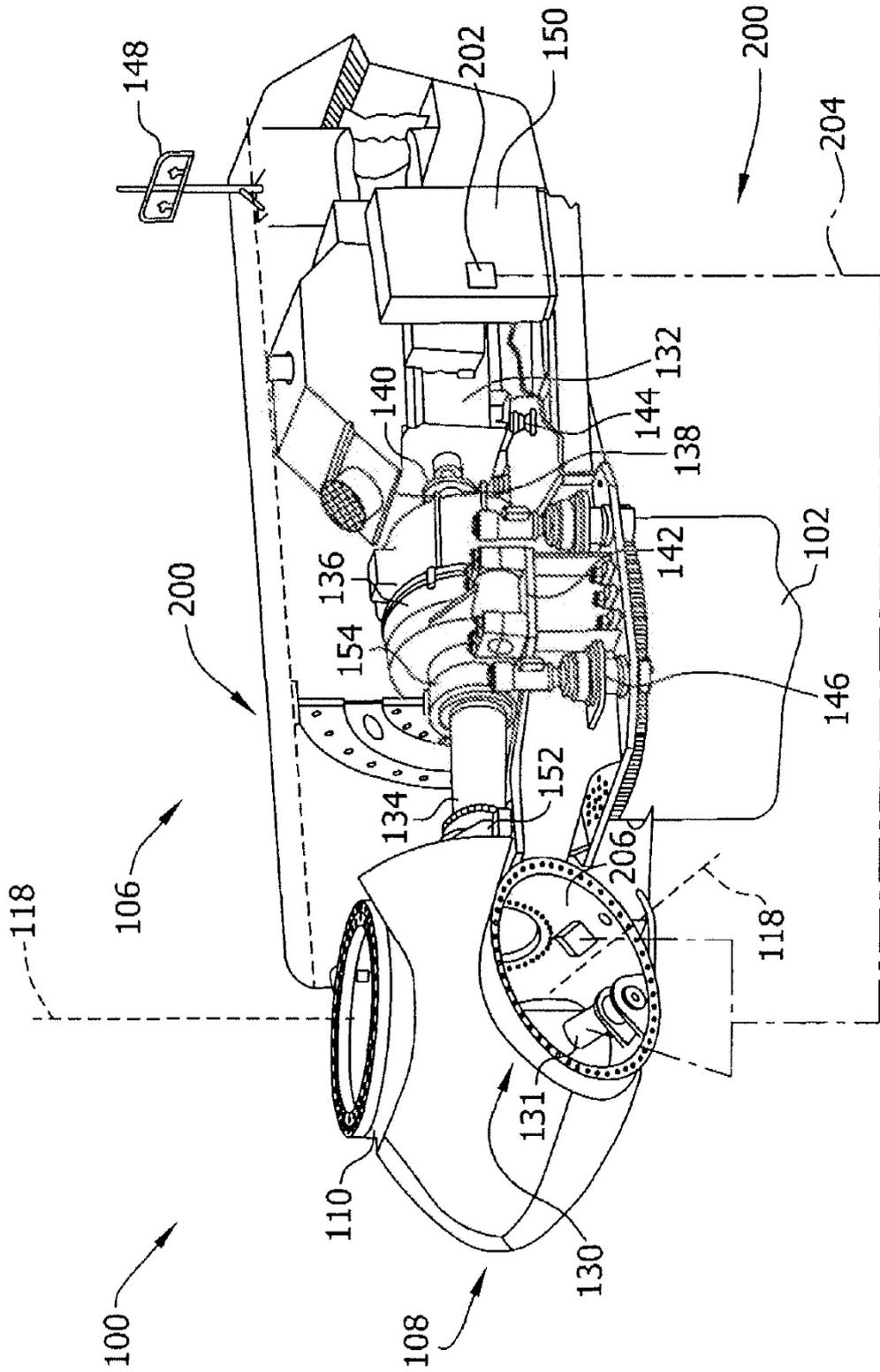


FIG. 2

FIG. 3

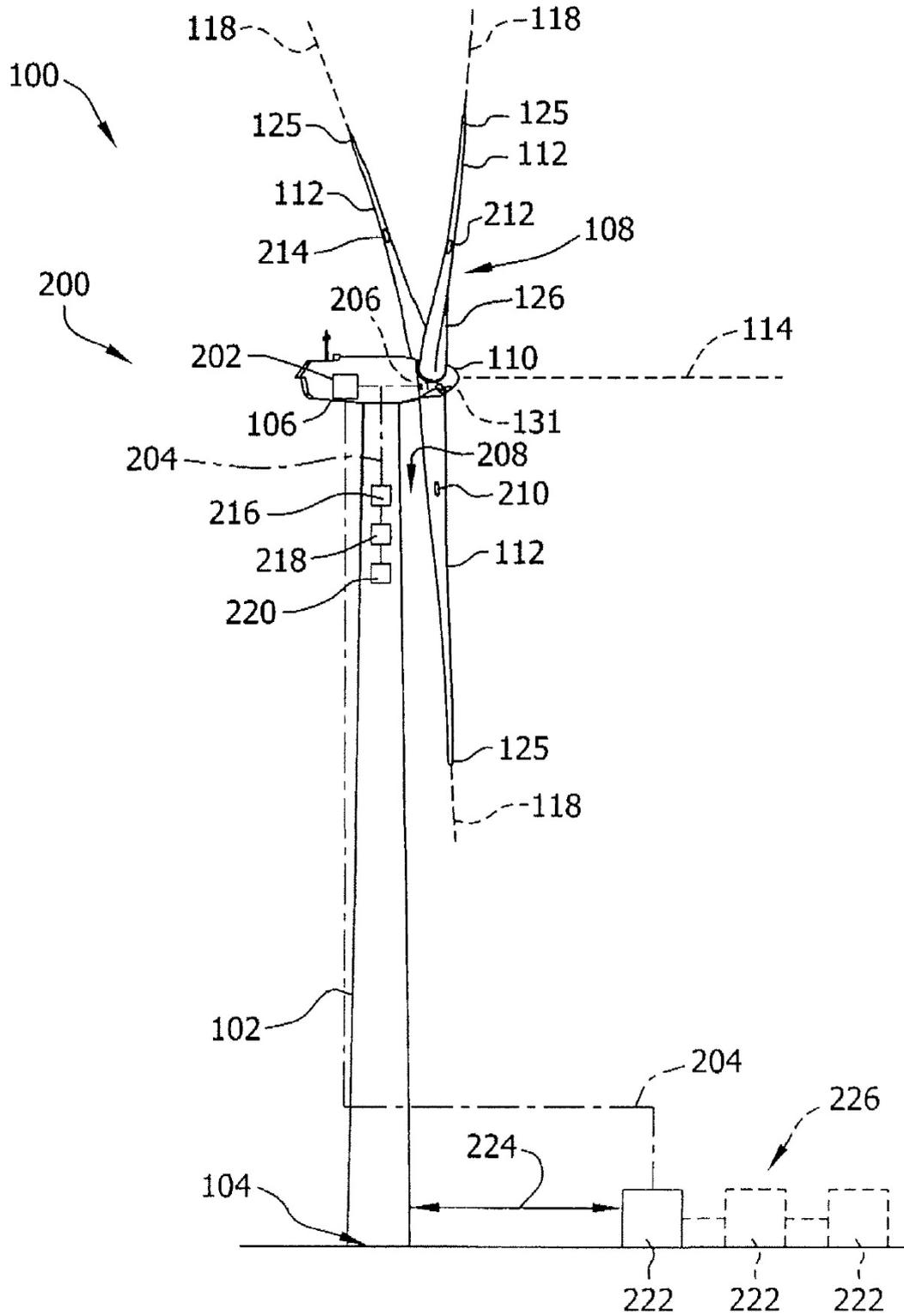


FIG. 4

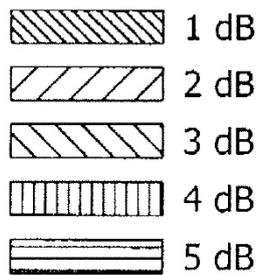
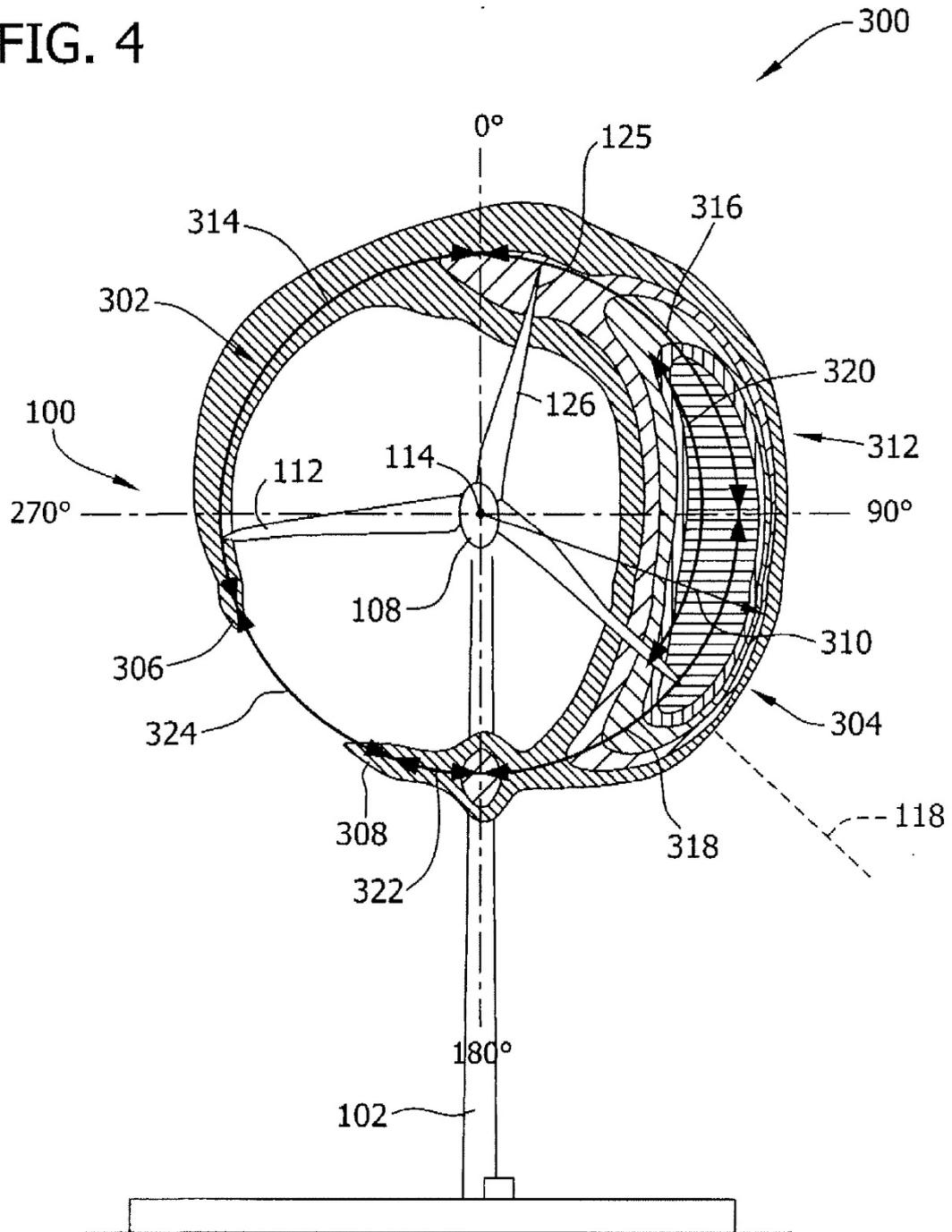


FIG. 5

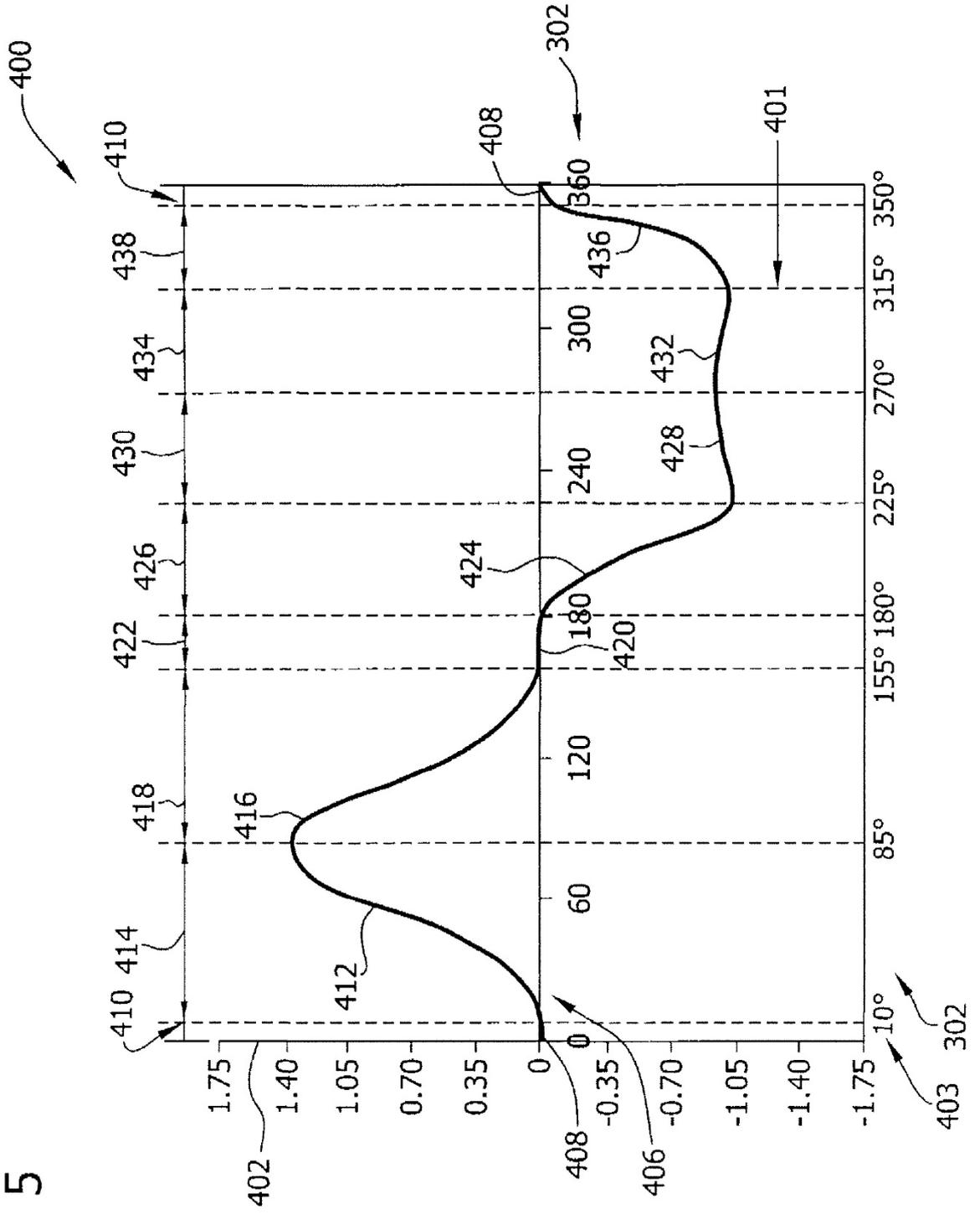
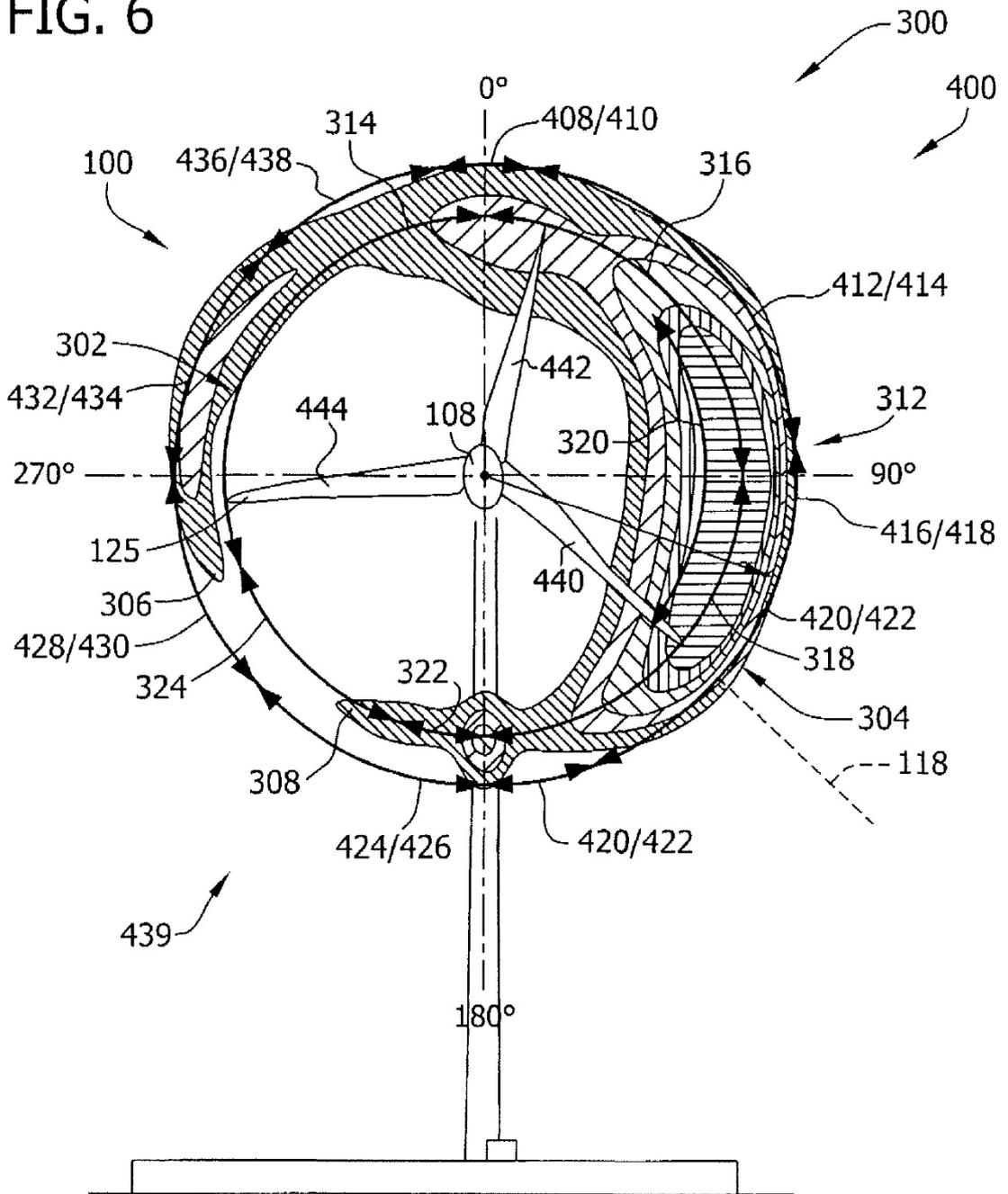


FIG. 6



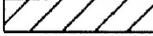
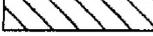
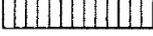
-  1 dB
-  2 dB
-  3 dB
-  4 dB
-  5 dB

FIG. 7

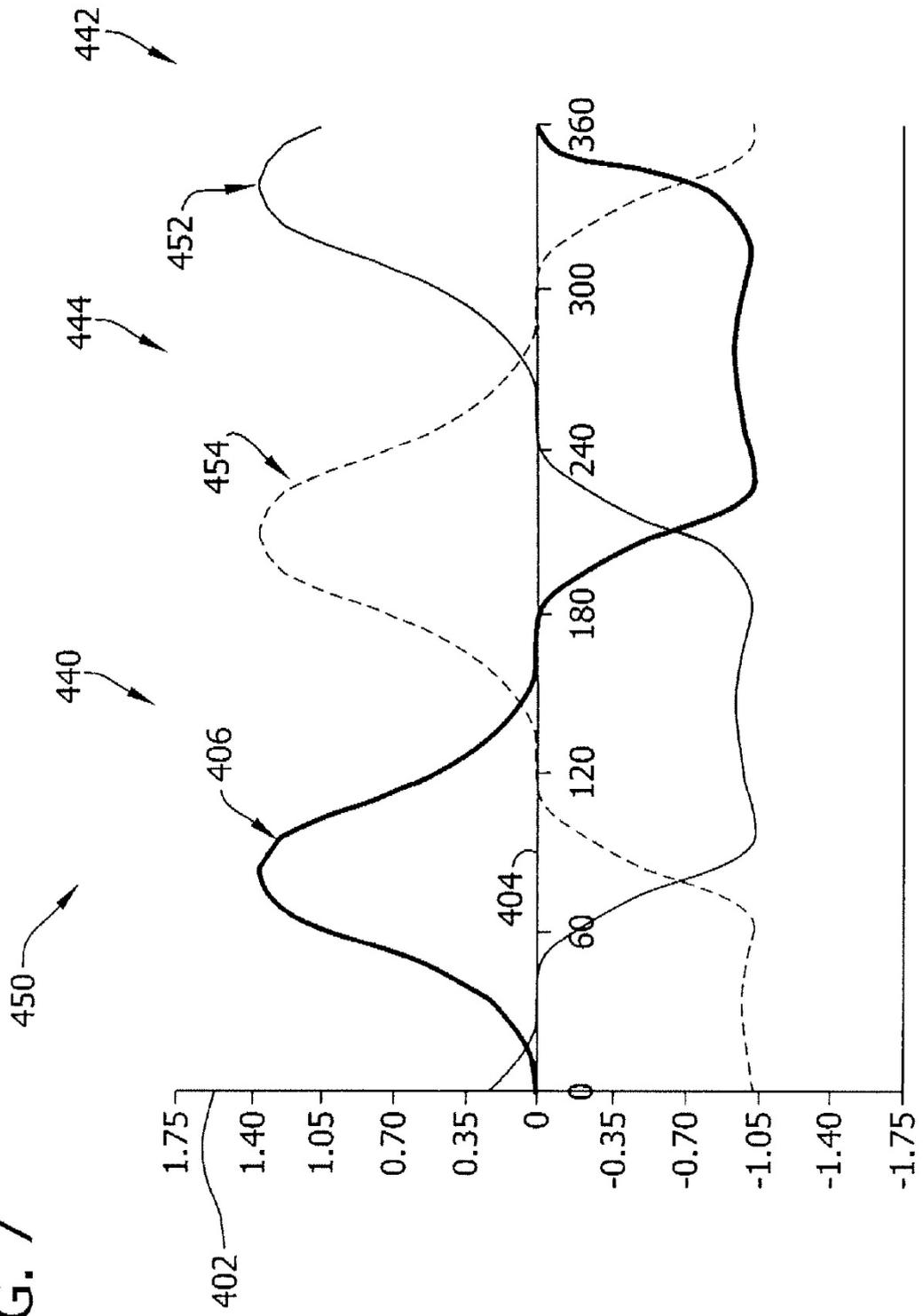


FIG. 8

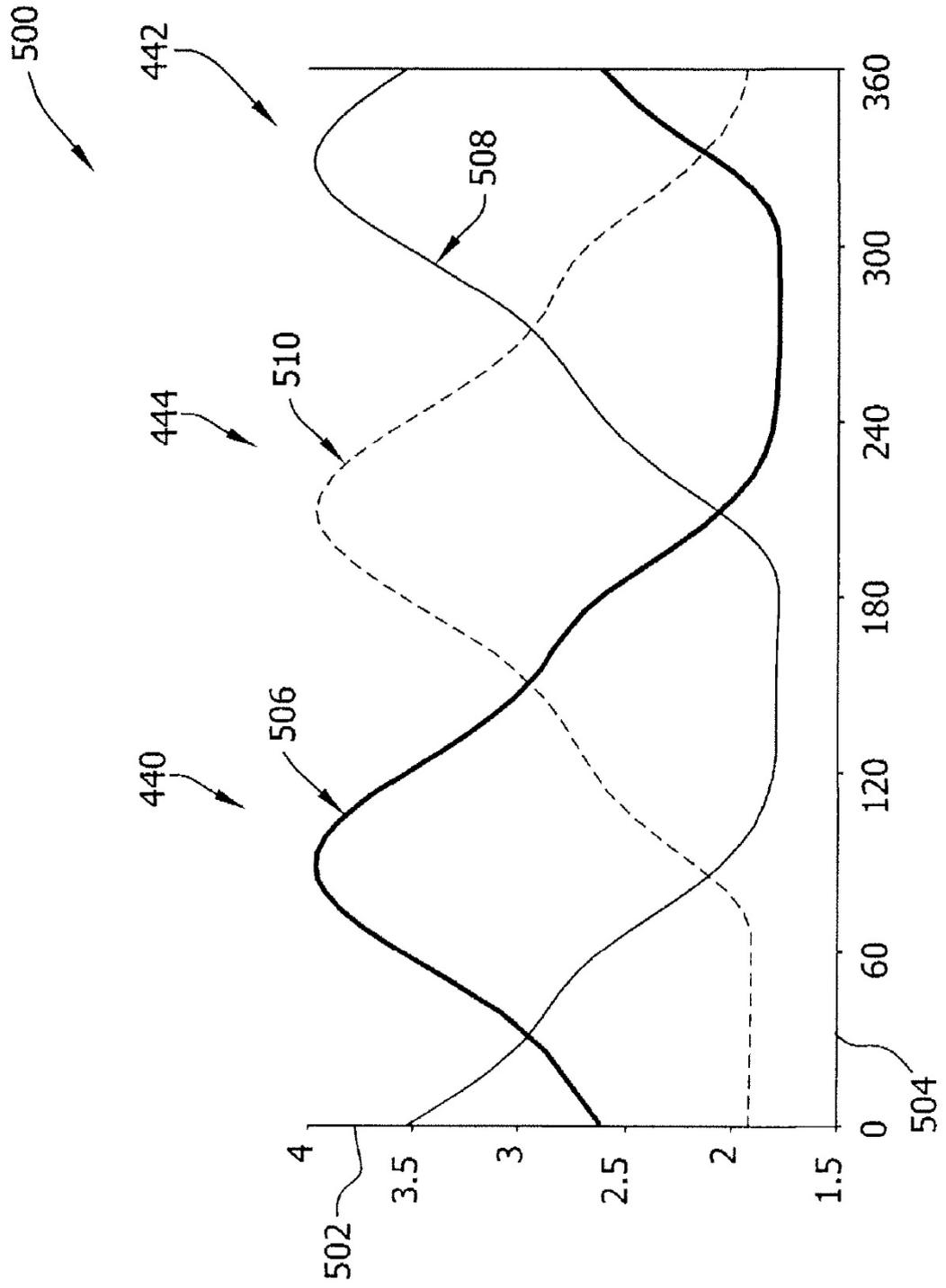


FIG. 9

