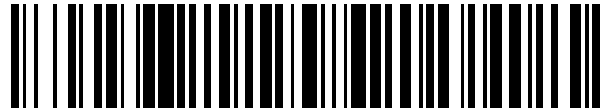


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 427 862**

51 Int. Cl.:

G01N 22/02 (2006.01)

G01S 13/90 (2006.01)

F03D 1/00 (2006.01)

G01S 13/34 (2006.01)

G01S 13/88 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.11.2011 E 11188743 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.07.2013 EP 2458402**

54 Título: **Sistema y procedimiento para inspeccionar un aspa de una turbina eólica**

30 Prioridad:

30.11.2010 US 956212

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

04.11.2013

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**TRALSHAWALA, NILESH y
FAIDI, WASEEM IBRAHIM**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 427 862 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

Sistema y procedimiento para inspeccionar un aspa de una turbina eólica

La invención se refiere en general a las turbinas eólicas y, más particularmente, a un sistema y a un procedimiento de inspección de un aspa de una turbina eólica.

5 El documento US 2005/0139006 se refiere a un procedimiento de ultrasonidos para la detección de defectos en materiales anisótropos.

Las turbinas eólicas generan electricidad a partir de la energía cinética del viento. Cada turbina eólica incluye tres componentes principales: un componente de soporte estructural, un componente generador, y un componente de rotor. El componente de rotor incluye además aspas de turbina eólica que se emplean para convertir la energía cinética del viento en energía mecánica, que luego se convierte en electricidad mediante el componente generador.

10 El documento WO 2010/063656 describe un sistema de vigilancia que comprende una antena de radar montada sobre un aspa de un molino de viento.

La inspección de las aspas de una turbina eólica es importante para la operación en curso de las turbinas eólicas. Un procedimiento para inspeccionar un aspa de turbina eólica incluye el uso de una sonda de ultrasonidos para escanear las superficies del aspa de turbina eólica. El uso de la sonda sobre las superficies de la aspa de la turbina eólica para medir los defectos es un proceso de escaneado complejo, ya que la sonda tiene que seguir el contorno de la superficie de la aspa de la turbina eólica y se requiere un elemento de acoplamiento para la medición de ultrasonidos del aspa de la turbina eólica. Por otra parte, cada superficie tiene que ser inspeccionada por separado, lo que resulta en más tiempo y costes de inspección.

20 Por lo tanto, hay una necesidad de un sistema de inspección de aspas de turbina eólica mejorado.

En consecuencia, se proporcionan diversos aspectos y realizaciones de la presente invención, tal como se define mediante las reivindicaciones adjuntas.

Varias características, aspectos y ventajas de la presente invención se entenderán mejor cuando la siguiente descripción detallada se lea con referencia a los dibujos adjuntos, en los que caracteres similares representan partes similares en todos los dibujos, en los que:

25

La figura 1 es una representación esquemática de una turbina eólica.

La figura 2 es una representación en diagrama de bloques de un sistema de inspección de un aspa de una turbina eólica que incluye un sistema de inspección de microondas de acuerdo con una realización de la invención.

30 La figura 3 es una ilustración gráfica de un modelo de variación de una resolución de profundidad en una fibra de vidrio con relación a un ancho de banda de las señales de radar de onda continua de frecuencia modulada transmitido a un aspa de una turbina eólica de la figura 1 de acuerdo con una realización de la invención.

35 La figura 4 es una representación esquemática de un sistema de inspección de un aspa de una turbina eólica que incluye un rastreador de torre montado con el sistema de inspección de microondas de la figura 2 de acuerdo con una realización de la invención.

La figura 5 es una representación esquemática de un modelo de una exploración espiral del sistema de inspección de microondas de la figura 2, de acuerdo con una realización de la invención.

40 La figura 6 es una ilustración esquemática de un sistema de inspección de un aspa de una turbina eólica que incluye el sistema de inspección de microondas de la figura 2 montado en un vehículo aéreo para la inspección de la aspa de una turbina eólica de acuerdo con una realización de ejemplo de la invención.

La figura 7 y la figura 8 son representaciones esquemáticas de un sistema de inspección de un aspa de una turbina eólica con base en tierra configurado para inspeccionar el aspa de una turbina eólica de acuerdo con otra realización de la invención.

45 La figura 9 es una representación esquemática de la antena de microondas de giro, inclinación y zoom que incluye la lente dieléctrica adaptativa de banda ancha para la colimación y el enfoque de señales de microondas de referencia en el aspa de una turbina eólica de acuerdo con una realización de la invención.

50 La figura 10 es una representación gráfica de los datos del radar de onda continua de frecuencia modulada recogidos desde una medición que representa características que se pueden atribuir a un lado de presión mayor (lado de presión) y un lado presión menor (lado de aspiración) del aspa de una turbina eólica de acuerdo con una realización de la invención.

La figura 11 es una representación esquemática de una imagen tridimensional generada de acuerdo con una realización de la invención.

Las realizaciones de la presente invención incluyen un sistema de inspección de un aspa de una turbina eólica. El sistema de inspección de un aspa de una turbina eólica incluye un sistema de radar de onda continua de frecuencia modulada (FMCW) y un procesador. El sistema de radar FMCW está configurado para ser móvil respecto a un aspa de una turbina eólica, mientras que transmite señales de microondas de referencia y recibe señales de microondas reflejadas. El sistema de radar FMCW puede ser móvil porque está situado dentro de una carcasa móvil. Adicional o alternativamente, el propio sistema de radar FMCW puede ser móvil dentro de una carcasa. En una realización, el sistema de radar FMCW se mueve en al menos una dirección vertical cuando la aspa de una turbina eólica gira mientras transmite las señales de microondas de referencia y recibe las señales de microondas reflejadas. En otra realización que es particularmente útil, mientras se inspecciona un aspa de una turbina eólica estacionaria, el sistema de radar FMCW se mueve en al menos dos direcciones (a través del movimiento físico de un alojamiento y/o cambiando un ángulo de dirección del sistema de inspección dentro de la carcasa, por ejemplo), mientras se transmiten las señales de microondas de referencia y se reciben las señales de microondas reflejadas. El procesador puede estar situado en la posición del sistema de radar FMCW o de forma remota y está configurado para el uso de una técnica de análisis de abertura sintética para obtener una imagen enfocada de al menos una región de la aspa de una turbina eólica sobre la base de las señales de microondas reflejadas. Como se usa en este documento, los términos "un" y "una" no indican una limitación de cantidad, sino más bien indican la presencia de al menos uno de los elemento de referencia.

La figura 1 es una representación esquemática de una turbina eólica 10. La turbina eólica 10 incluye una torre 12 que se extiende desde un sistema de soporte 14, una góndola 16 montada en la torre 12, y un rotor 18 que está acoplado a la góndola 16. El rotor 18 incluye un buje giratorio 20 y al menos un aspa 22 de la turbina eólica acoplada al buje 20, y que se extiende hacia fuera desde el mismo. En una realización de ejemplo, el rotor 18 tiene tres aspas 22 de turbina eólica. Las aspas 22 de la turbina eólica están acopladas al buje 20 mediante el acoplamiento de las aspas 22 de la turbina eólica en el buje 20 en una pluralidad de raíces 26. Las cargas inducidas a las aspas 22 de la turbina eólica se transfieren al buje 20 a través de la pluralidad de raíces 26. En una realización, las aspas 22 de la turbina eólica tienen una longitud que varía desde aproximadamente 15 metros (m) a aproximadamente 91 m.

El viento golpea el aspa 22 de la turbina eólica desde una dirección 28 que hace que el rotor 18 gire alrededor de un eje de rotación 30. El aspa 22 de la turbina eólica incluye una punta 32. Un borde del aspa 22 de la turbina eólica que está encarada con el viento y es un borde frontal a lo largo de la dirección de rotación 30 del aspa 22 de la turbina eólica se conoce como el borde de ataque 34, y un borde del aspa de la turbina eólica que sigue el borde de ataque es conocido como el borde de salida 36. Una superficie del aspa 22 de la turbina eólica a presiones más altas (principalmente hacia el viento 28) se conoce como un lado de presión 37, y una superficie del aspa 22 de la turbina eólica expuesta a presiones más bajas se conoce como un lado de succión 38. Las aspas 22 de la turbina eólica están sujetas a daños durante el funcionamiento debido al uso y al desgaste en las condiciones normales de funcionamiento, así como daños debido a condiciones ambientales inusuales.

La figura 2 es una representación en diagrama de bloques de un sistema de inspección 40 de un aspa de turbina eólica para la inspección del aspa de turbina eólica de la figura 1 de acuerdo con una realización de la invención. El sistema de inspección 40 del aspa de la turbina eólica incluye un sistema de inspección de microondas 42. El sistema de inspección de microondas 42 está configurado para ser móvil, mientras transmite señales de microondas de referencia y recibe señales de microondas reflejadas. El sistema de inspección de microondas 42 está montado en una carcasa en la que se representa como un sistema de suministro de inspección 44. Ejemplos de realización de sistemas de suministro de inspección 44 incluyen un rastreador de torre, un vehículo aéreo, y un sistema con base en tierra. El sistema de inspección de microondas 42 incluye un sistema de radar 46 de onda continua de frecuencia modulada (FMCW) configurado para transmitir señales de microondas de referencia hacia el aspa de la turbina eólica (figura 1) sobre un ancho de banda de frecuencia ancha. Cualquier ancho de banda deseado capaz de proporcionar la resolución deseada se puede utilizar con mayores anchos de banda, que son útiles para proporcionar una resolución más alta. La resolución deseada y el ancho de banda relacionado para obtener esa resolución dependen, al menos en parte, del material específico del aspa de la turbina eólica. En una realización de un aspa de la turbina eólica que comprende material de fibra de vidrio, por ejemplo, el ancho de banda de frecuencia puede comprender al menos 7 GHz que puede comenzar a cualquier frecuencia deseada. En una realización más específica, se utiliza un ancho de banda de frecuencia de 20 GHz. El sistema de radar FMCW 46 transmite ondas continuas hacia el aspa de la turbina eólica giratoria mientras se barre la frecuencia de las ondas continuas sobre el ancho de banda de frecuencia. Las ondas continuas transmitidas se reflejan de vuelta desde el aspa de la turbina eólica y son recibidas por el sistema de radar FMCW 46. Al asegurar que hay un movimiento relativo entre el sistema de radar FMCW 46 y el aspa de la turbina eólica (figura 1), se pueden emplear algoritmos de focalización de abertura sintética para mejorar la resolución espacial de las imágenes.

Generalmente, las técnicas de radar de abertura sintética (SAR) se basan en el hecho de que un movimiento relativo entre un sistema de inspección y su objetivo proporciona variaciones de señales coherentes distintivas que pueden explotarse para obtener una resolución espacial más fina que la posible con los medios de escaneado de haz convencionales. Las formas de onda recibidas sucesivamente en las diferentes posiciones de inspección pueden detectarse, almacenarse, y procesarse coherentemente en conjunto para resolver los elementos de una imagen de

la región objetivo. En un sistema de radar que incluye una antena de microondas, por ejemplo, la resolución espacial SAR está relacionada con el tamaño de la abertura de la antena de microondas mediante la siguiente ecuación (ecuación 1) $\delta_{xy} = \lambda_c/4 \text{sen}(\theta_b/2)$, donde λ_c es la longitud de onda a la frecuencia del radar FMCW central y el ángulo de la anchura del haz $\theta_b = \lambda_c/D$, donde D es la abertura de la antena. Por otra parte, una resolución de profundidad se determina mediante el ancho de banda (B) del sistema de radar FMCW y la constante dieléctrica ϵ del material del aspa de la turbina eólica tal como se muestra mediante la siguiente ecuación (ecuación 2), $\delta_z = c/2B\sqrt{\epsilon}$, donde c es la velocidad de la luz en el vacío. Esta técnica permite la creación de una imagen en tres dimensiones y, por lo tanto, a veces también se conoce como "creación de imágenes holográficas SAR" en la literatura de radar.

La figura 3 es una ilustración gráfica 50 de un modelo de variación de la resolución de profundidad en el material de fibra de vidrio en relación con el ancho de banda de las señales de radar FMCW transmitidas al material de fibra de vidrio. El eje X 52 representa el ancho de banda del sistema de radar FMCW en gigahercios. El eje Y 54 representa una resolución de profundidad en la fibra de vidrio en milímetros. La curva 56 representa la variación de la resolución de profundidad relativa al ancho de banda de las señales de microondas de referencia. Como se observa, la resolución de profundidad disminuye desde aproximadamente 18 mm a 4 mm, con un aumento en el ancho de banda de las señales de microondas de referencia, respectivamente.

La figura 4 es una representación esquemática de un sistema de inspección 60 de un aspa de una turbina eólica que incluye un rastreador 62 de torre montado con el sistema de inspección de microondas 42 de la figura 2 de acuerdo con una realización de la invención. El rastreador 62 de torre se mueve hacia arriba y hacia abajo en la torre 12 de la turbina eólica y alcanza una altura equivalente al aspa 22 de la turbina eólica. En una realización, el rastreador 62 de torre puede estar unido a una cuerda de tracción (no mostrada) para ayudar al rastreador 62 de torre a arrastrarse a lo largo de la torre 12 de la turbina eólica como se describe en la solicitud de patente US 12/823525, presentada el 25 de junio de 2010 a nombre del mismo solicitante.

Mientras está a la altura de la torre de la turbina eólica, donde el rastreador 62 de torre está enfrentado al aspa 22 de la turbina eólica, el sistema de radar FMCW (figura 2) transmite las señales de microondas 66 de referencia hacia el aspa 22 giratoria de la turbina eólica y se mueve en una dirección vertical 68 a lo largo de la torre 12 de la turbina eólica. En la realización del rastreador de torre, las limitaciones mecánicas sobre la distancia entre la torre y el rastreador 62 de torre pueden afectar a la distancia a la que se puede colocar el sistema de radar FMCW respecto al aspa. En una realización de ejemplo, la distancia de separación 70 entre el rastreador 62 de torre y el aspa 22 de la turbina eólica puede variar y ser tan cercana como 2 metros a tan lejana como 10 metros, por ejemplo. Por otra parte, simultáneamente con la rotación del aspa 22 de la turbina eólica y moviendo el sistema de radar FMCW en una dirección vertical respecto al aspa 22 de la turbina eólica, permite que el sistema de inspección de microondas (figura 2) obtenga escaneados en espiral (figura 5) del aspa de la turbina eólica. Los escaneados en espiral se utilizan por el procesador para inspeccionar simultáneamente el lado de presión (figura 1) y el lado de succión (figura 1) del aspa de la turbina eólica para los potenciales defectos de la superficie y por debajo de la superficie 64. Por otra parte, los escaneados en espiral se procesan utilizando la técnica de análisis de abertura sintética para obtener una imagen enfocada (por ejemplo, una imagen del tipo mostrado en la figura 11) de al menos una región del aspa 22 de la turbina eólica sobre la base de las señales de microondas reflejadas. El sistema de inspección de microondas se mueve continuamente para obtener una imagen de toda el aspa 22 de la turbina eólica a través de la repetición de las etapas mencionadas anteriormente. En algunas realizaciones, para obtener una mejor visión de los bordes del aspa de la turbina eólica, se puede utilizar una inclinación selectiva de las aspas de la turbina eólica durante el proceso de inspección. Una elección de un ángulo de inclinación apropiado también puede ser útil para proporcionar una mejor inspección (y acceso para la inspección) de posiciones estructurales más complicadas dentro del aspa en algunas realizaciones.

La figura 5 es una representación esquemática de un modelo de un escaneado en espiral 80 del sistema de inspección de microondas de la figura 2 de acuerdo con una realización de la invención. Como se muestra, el sistema de inspección de microondas está configurado para escanear el aspa 22 de la turbina eólica a través de una trayectoria 82 atravesada por el sistema de radar FMCW en un marco de referencia 84 del aspa 22 de la turbina eólica.

La figura 6 es una ilustración esquemática de un sistema de inspección 90 de un aspa de turbina eólica que incluye el sistema de inspección de microondas 42 de la figura 2 montado en un vehículo aéreo 92 para la inspección del aspa 22 de la turbina eólica de acuerdo con una realización de ejemplo de la invención. El vehículo aéreo 92 se controla a distancia para llegar al aspa 22 de la turbina eólica a una distancia de separación 94 del aspa 22 de la turbina eólica y ser desplazable en una dirección vertical a lo largo del aspa 22 de la turbina eólica para inspeccionar el aspa 22 de la turbina eólica en busca de defectos 64 con el sistema de inspección de microondas (figura 2) como se ha descrito anteriormente respecto a la figura 3. Existe una mayor flexibilidad en la realización del vehículo aéreo 92 respecto a la distancia de separación 94. La distancia de separación 94 es programable para ser cualquier valor que permita la adquisición de los datos óptimos del radar sin interferir o colisionar con el aspa 22 de la turbina eólica. Las distancias de separación 94 típicamente, pero no necesariamente, estarán en el intervalo de 10 cm a 10 m.

En una versión de la realización del vehículo aéreo, el aspa gira mientras el vehículo aéreo se mueve al menos en una dirección vertical para obtener escaneados en espiral del tipo descrito anteriormente. Si se desea, en la realización del aspa de viento giratoria, además de moverse en una dirección vertical, el vehículo aéreo puede

también moverse horizontalmente para recoger más fácilmente los datos de los bordes del aspa de viento y/o las aspas pueden inclinarse selectivamente como se describió anteriormente. En otra versión de la realización del vehículo aéreo, el aspa de viento no tiene que girar, y el vehículo aéreo se mueve en al menos dos direcciones (tales como, por ejemplo, en una trayectoria en espiral o en las direcciones vertical y horizontal), mientras transmite señales de microondas de referencia y recibe las señales de microondas reflejadas.

La figura 7 y la figura 8 son representaciones esquemáticas 100 y 105, respectivamente, de un sistema de inspección con base en tierra 102 configurado para inspeccionar el aspa 22 de la turbina eólica de acuerdo con otra realización de la invención. En una realización con base en tierra, el sistema de radar FMCW (figura 2) está montado sobre un sistema de inspección con base en tierra estacionario 102 configurado para la inclinación continua de múltiples ejes (como se muestra mediante los ejes A y B) durante el proceso de inspección. En otra realización con base en tierra, el sistema de inspección con base en tierra 102 puede ser móvil sobre el suelo en una dirección (tal como se muestra mediante la dirección C) e inclinarse en otra dirección (tal como se muestra mediante la dirección B). En otra realización con base en tierra, el sistema de inspección con base en tierra 102 se mueve en al menos dos direcciones y no se requiere ninguna inclinación. La angulación del aspa, además, puede utilizarse en cualquiera de estas realizaciones, si se desea.

En las realizaciones con base en tierra, las aspas 22 de la turbina eólica pueden moverse secuencialmente a las posiciones horarias de 9:00 o 3:00 y, opcionalmente, inclinarse en varios ángulos (siendo más común a 90 grados, pero otros ángulos podrían ayudar con la inspección del borde de ataque 34 u otras posiciones estructurales) y se mantienen constantes durante el proceso de inspección. Típicamente, la distancia de separación 104 en las realizaciones con base en tierra será más larga que cualquiera de las otras realizaciones, y en un ejemplo es aproximadamente la altura de la torre 12 de la turbina eólica, que es típicamente en cualquier posición desde 80 m hasta 120 m de altura. La obtención de suficiente resolución y precisión puede ser más que un desafío en las realizaciones con base en tierra. En una realización, la potencia de microondas para las señales de referencia 106 es mayor que la potencia de microondas que se usa para inspeccionar las aspas de la turbina eólica en el rastreador de torre y realizaciones de vehículos aéreos. En una realización específica para aumentar la resolución, el sistema de inspección de microondas (figura 2) incluye una antena de microondas de giro, inclinación y zoom que incluye una lente dieléctrica adaptativa banda configurada para hacer zoom en el aspa 22 de la turbina eólica para proporcionar una mejor colimación y enfoque de la energía de microondas en el aspa 22 de la turbina eólica. Si se desea, este tipo de antena puede ser utilizado en el rastreador de torre y también en realizaciones de vehículos aéreos.

La figura 9 es una representación esquemática 110 de la antena de microondas de giro, inclinación y zoom 112 que incluye la lente dieléctrica adaptativa de banda ancha 114 para la colimación y el enfoque de señales de microondas de referencia en el aspa de la turbina eólica de acuerdo con una realización de la invención. La lente dieléctrica adaptativa de banda ancha 114 dirige la mayor parte de la energía de microondas a una pequeña región 116 del aspa de la turbina eólica (figura 1) que es particularmente útil en el caso de que se requieran mayores distancias de separación. La lente dieléctrica adaptativa de banda ancha 114 enfoca y colima la energía de microondas para realizar la función de zoom de la antena de microondas de giro, inclinación y zoom 112. Además, la función de giro e inclinación se proporciona mediante la inclinación o la rotación de las antenas de la antena de microondas de giro, inclinación y zoom 112.

También se proporciona un procedimiento para la inspección de un aspa de turbina eólica. El procedimiento incluye la transmisión de señales de microondas de referencia hacia el aspa de la turbina eólica mientras se mueve un sistema de inspección respecto al aspa de la turbina eólica. El procedimiento también incluye la recepción de señales de microondas reflejadas por el aspa de la turbina eólica mientras el sistema de inspección se mueve respecto al aspa de la turbina eólica. En una realización, el sistema de inspección se mueve en al menos una dirección vertical cuando el aspa de la turbina eólica gira mientras transmite las señales de microondas de referencia y recibe las señales de microondas reflejadas. En otra realización, el sistema de inspección se mueve en al menos dos direcciones cuando el aspa de la turbina eólica está estacionaria mientras transmite las señales de microondas de referencia y recibe las señales de microondas reflejadas. En una realización particular, la transmisión de las señales de microondas de referencia incluye la transmisión de las señales de microondas de referencia desde una distancia de separación de aproximadamente 2 metros a aproximadamente 10 metros. El procedimiento incluye además la obtención de una imagen enfocada de al menos una región del aspa de la turbina eólica sobre la base de las señales de microondas de referencia y las señales de microondas reflejadas utilizando una técnica de análisis de abertura sintética. En una realización, la imagen enfocada se obtiene mediante la inspección de forma simultánea de un lado de presión y un lado de succión del aspa de la turbina eólica. El lado de presión y el lado de succión se inspeccionan en busca de defectos de la superficie y por debajo de la superficie. La inspección de defectos de la superficie y por debajo de la superficie puede incluir la detección de huecos, la falta de adherencia y exfoliaciones del aspa de la turbina eólica. En una realización, el lado de presión y el lado de succión se inspeccionan en busca de defectos de la superficie y por debajo de la superficie mediante la recogida de múltiples exploraciones en espiral del aspa de la turbina eólica. Los múltiples escaneados en espiral generan la imagen enfocada. En una realización, la imagen enfocada es una imagen tridimensional.

Ejemplos

- La figura 10 es una representación gráfica de los datos de radar FMCW recogidos a partir de una medición que representa características que se pueden atribuir al lado de presión y al lado de succión del aspa de la turbina eólica (figura 1) de acuerdo con una realización de la invención. Los datos de radar FMCW se recogieron a partir de una sola medición en una prueba a escala de laboratorio, donde un segmento del aspa de viento se mantuvo estacionario y una antena se movió a lo largo de la envergadura y de la cuerda del segmento de aspa de turbina eólica. La única medición muestra las características que se pueden atribuir al lado de presión y al lado de succión del aspa de la turbina eólica. El eje X 122 representa el tiempo de vuelo de la energía de microondas en nanosegundos. El eje Y 124 representa el coeficiente de reflexión de la energía de microondas. La curva 126 representa la variación de la energía de microondas reflejada como una función del tiempo de desplazamiento. Este tiempo de desplazamiento, o tiempo de vuelo, puede convertirse en la distancia entre el sistema de inspección de microondas y las características del aspa de la turbina eólica mediante el uso de la velocidad de la luz en el aire y en diferentes materiales a través de los cuales pueden desplazarse las microondas. La distancia representa la profundidad o información del intervalo. Por lo tanto, la región 128 de la curva 126 se puede atribuir a la porción del aspa más cercana a la antena, mientras que la región 130 de la curva 126 se puede atribuir a la porción del aspa más alejada de la antena. Cuando el sistema de inspección de microondas está situado en la torre (figura 4), la región más cercana es probable que esté situada en el lado de succión (figura 1) del aspa de la turbina eólica, mientras que cuando el sistema de inspección de microondas es en una realización aérea (figura 6), la región más cercana es más probable que esté en el lado de presión (figura 1) del aspa de la turbina eólica, por ejemplo.
- La figura 11 es una representación esquemática de una imagen tridimensional 140 generada por el sistema de inspección del aspa de la turbina eólica de una placa 142 de fibra de vidrio con los defectos conocidos de acuerdo con una realización de la invención. El sistema de inspección del aspa de la turbina eólica incluye una antena que se ha movido a una pluralidad de posiciones a lo largo de una longitud y una anchura de un lado 144 de la placa de fibra de vidrio 142 que tiene un espesor de 12 milímetros. La información espacial recogida de este modo se utilizó para generar la imagen tridimensional 140. Más específicamente, el sistema de inspección de microondas se utilizó para generar una pluralidad de imágenes de escaneado de dos dimensiones B y de escaneado C que luego se utilizaron para generar la imagen tridimensional 140. La imagen tridimensional 140 incluye los defectos de la superficie y por debajo de la superficie en el aspa de la turbina eólica, con los defectos por debajo de la superficie que se ilustran mediante 146, 148 y 150 que tienen diámetros de 75 mm, 125 mm y 50 mm, respectivamente.
- Las diversas realizaciones del sistema de inspección y del procedimiento para inspeccionar un aspa de una turbina eólica que se han descrito anteriormente son útiles y rentables, ya que estas realizaciones no requieren el aspa de viento se ponga fuera de servicio y tampoco requieren el uso de un elemento de acoplamiento.
- El experto en la técnica reconocerá la capacidad de intercambio de varias características de diferentes realizaciones. Por ejemplo, una antena de microondas de giro, inclinación y zoom respecto a una realización se puede adaptar para su uso respecto a otra realización de la invención para proporcionar un sistema de inspección para inspeccionar el aspa de la turbina eólica. Del mismo modo, las diversas características descritas, así como otros equivalentes conocidos para cada característica, pueden mezclarse y emparejarse por parte de un experto normal en la técnica para construir sistemas y técnicas adicionales de acuerdo con los principios de la presente divulgación.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de inspección (40) de aspas de turbinas eólicas **caracterizado por:**
 - 5 un sistema de radar de onda continua de frecuencia modulada (46) configurado para ser móvil respecto a un aspa (22) de la turbina eólica, mientras transmite señales de microondas de referencia (66) y recibe señales de microondas reflejadas; y
 - un procesador (42) configurado para el uso de una técnica de análisis de abertura sintética para obtener una imagen enfocada de al menos una región (116) del aspa (22) de la turbina eólica sobre la base de las señales de microondas reflejadas.
- 10 2. Sistema de inspección (40) de aspas de turbinas eólicas de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el sistema de radar de onda continua de frecuencia modulada (46) está configurado para ser móvil en al menos una dirección vertical (68) cuando el aspa (22) de la turbina eólica gira mientras transmite señales de microondas de referencia (66) y recibe las señales de microondas reflejadas.
- 15 3. Sistema de inspección (40) de aspas de turbinas eólicas de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que el sistema de radar de onda continua de frecuencia modulada (46) está configurado para ser móvil en al menos dos direcciones cuando el aspa (22) de la turbina eólica está estacionaria, mientras transmite las señales de microondas de referencia (66) y recibe las señales de microondas reflejadas.
- 20 4. Sistema de inspección (40) de aspas de turbinas eólicas de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que el sistema de radar de onda continua de frecuencia modulada (46) está incorporado en un vehículo aéreo (92).
5. Sistema de inspección (40) de aspas de turbinas eólicas de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que el sistema de inspección (40) de aspas de turbinas eólicas es capaz de inspeccionar simultáneamente un lado de presión (37) y un lado de succión (38) del aspa (22) de la turbina eólica en busca de defectos en la superficie y por debajo de la superficie (146, 148, 150).
- 25 6. Sistema de inspección (40) de aspas de turbinas eólicas de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que un ancho de banda de frecuencia del sistema de radar de onda continua de frecuencia modulada (46) comprende un ancho de banda de al menos siete gigahercios.
7. Procedimiento para la inspección de un aspa (22) de una turbina eólica **caracterizado por:**
 - 30 usar un sistema de inspección (40) para la transmisión de señales de microondas de referencia (66) hacia el aspa (22) de la turbina eólica y recibir señales de microondas reflejadas desde el aspa (22) de la turbina eólica mientras se mueve el sistema de inspección (40) respecto al aspa (22) de la turbina eólica;
 - obtener una imagen enfocada de al menos una región (116) del aspa (22) de la turbina eólica sobre la base de las señales de microondas reflejadas utilizando una técnica de análisis de abertura sintética.
- 35 8. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 7, en el que el movimiento del sistema de inspección (40) comprende mover el sistema de inspección (40) en al menos una dirección vertical (68) cuando el aspa (22) de la turbina eólica gira mientras transmite las señales de microondas de referencia (66) y recibe las señales de microondas reflejadas.
9. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 7 o la reivindicación 8, en el que el movimiento del sistema de inspección (40) comprende mover el sistema de inspección (40) en al menos dos direcciones cuando el aspa (22) de la turbina eólica está estacionaria, mientras transmite las señales de microondas de referencia (66) y recibe las señales de microondas reflejadas.
- 40 10. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, en el que la transmisión de las señales de microondas de referencia (66) comprende la transmisión de las señales de microondas de referencia (66) desde una distancia de separación (94, 104) de aproximadamente 2 metros a aproximadamente 10 metros.

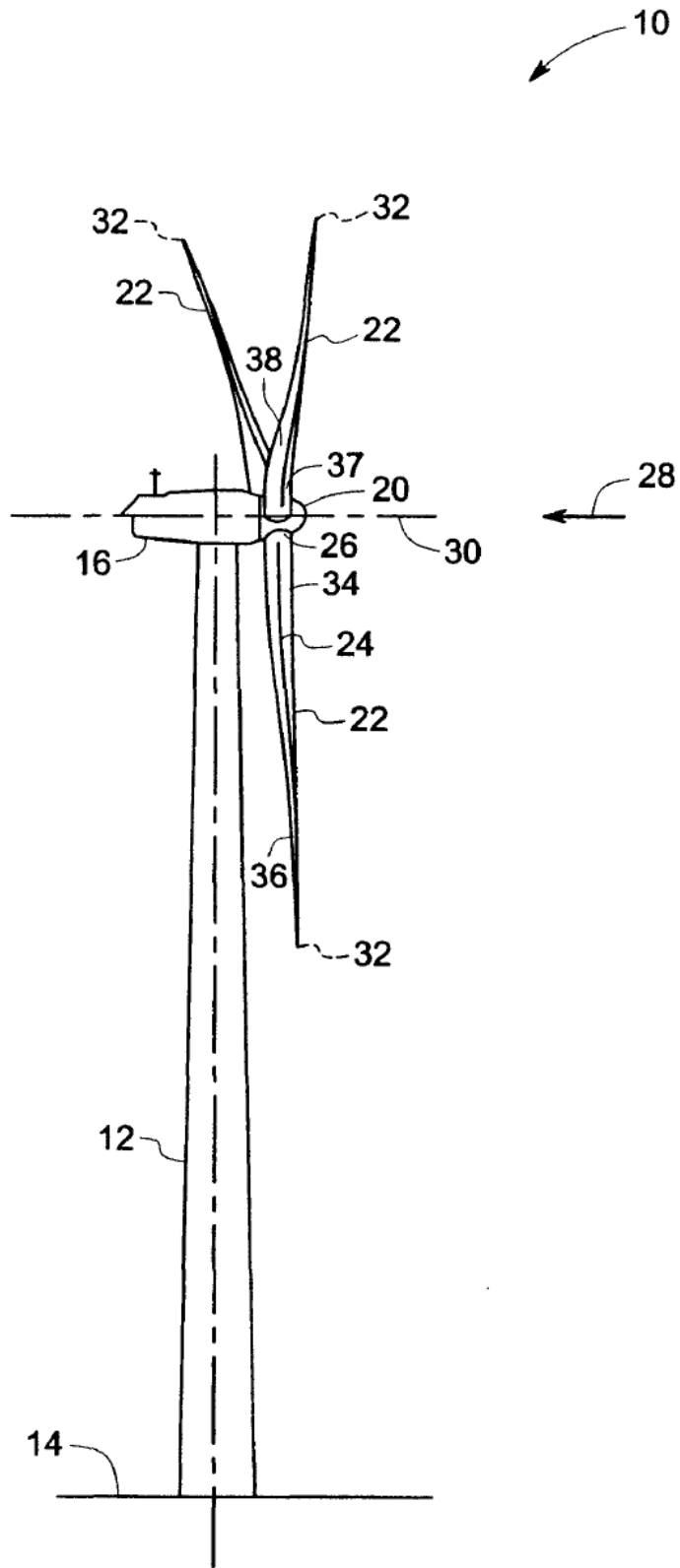


FIG. 1

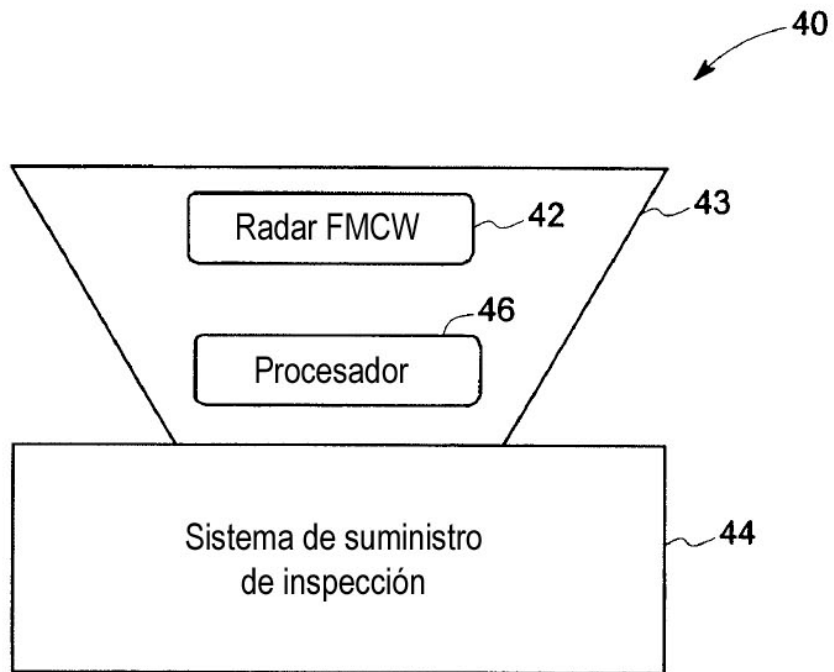


FIG. 2

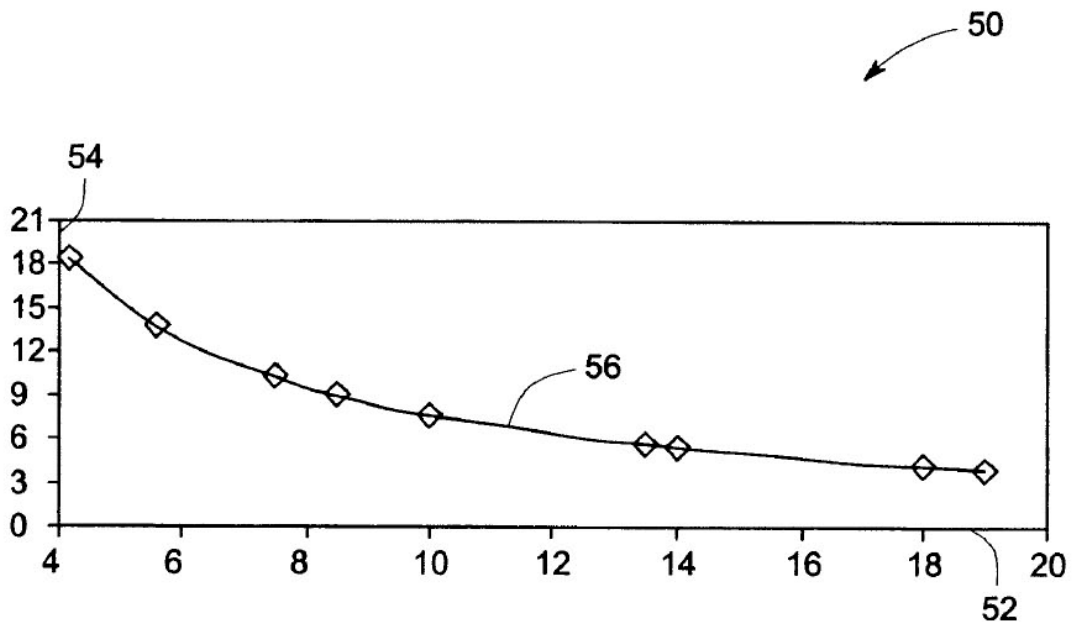


FIG. 3

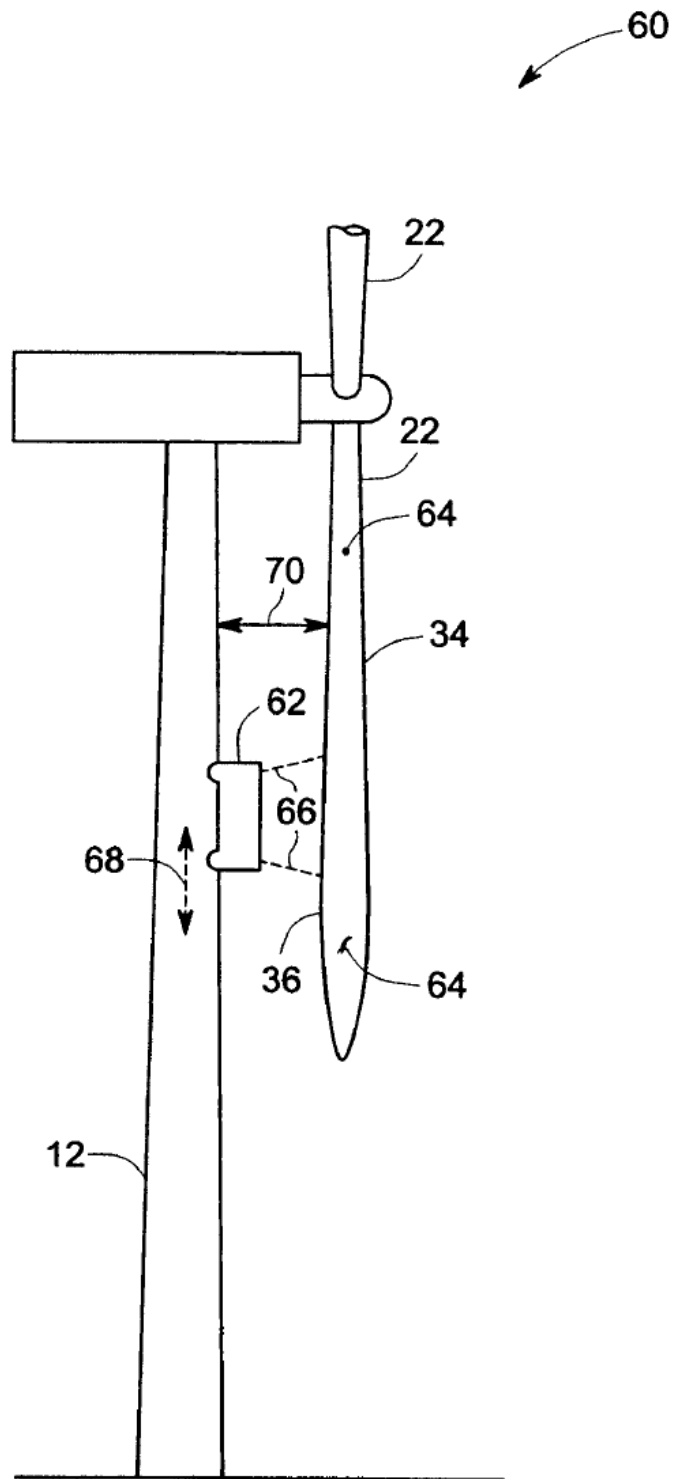


FIG. 4

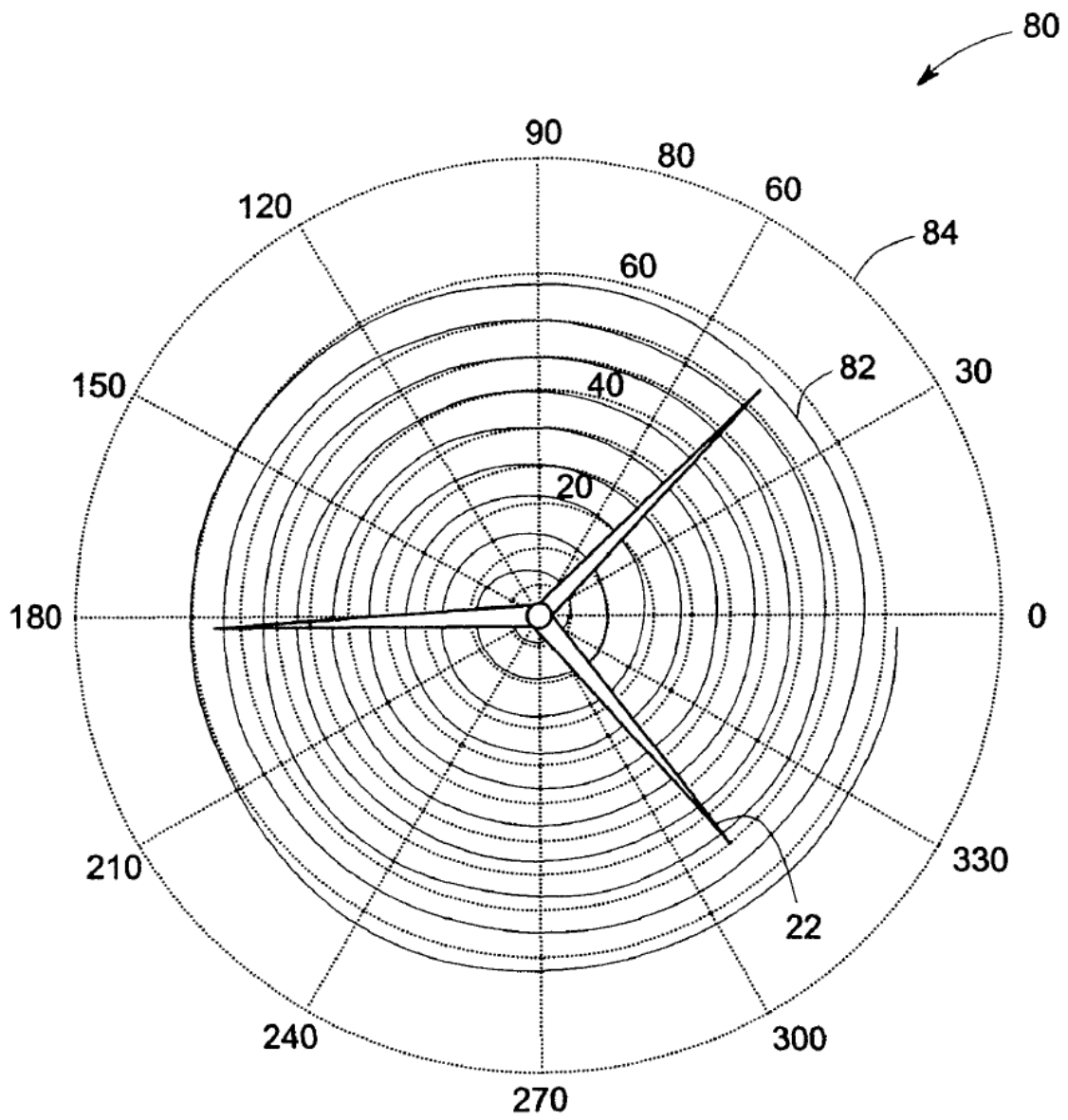


FIG. 5

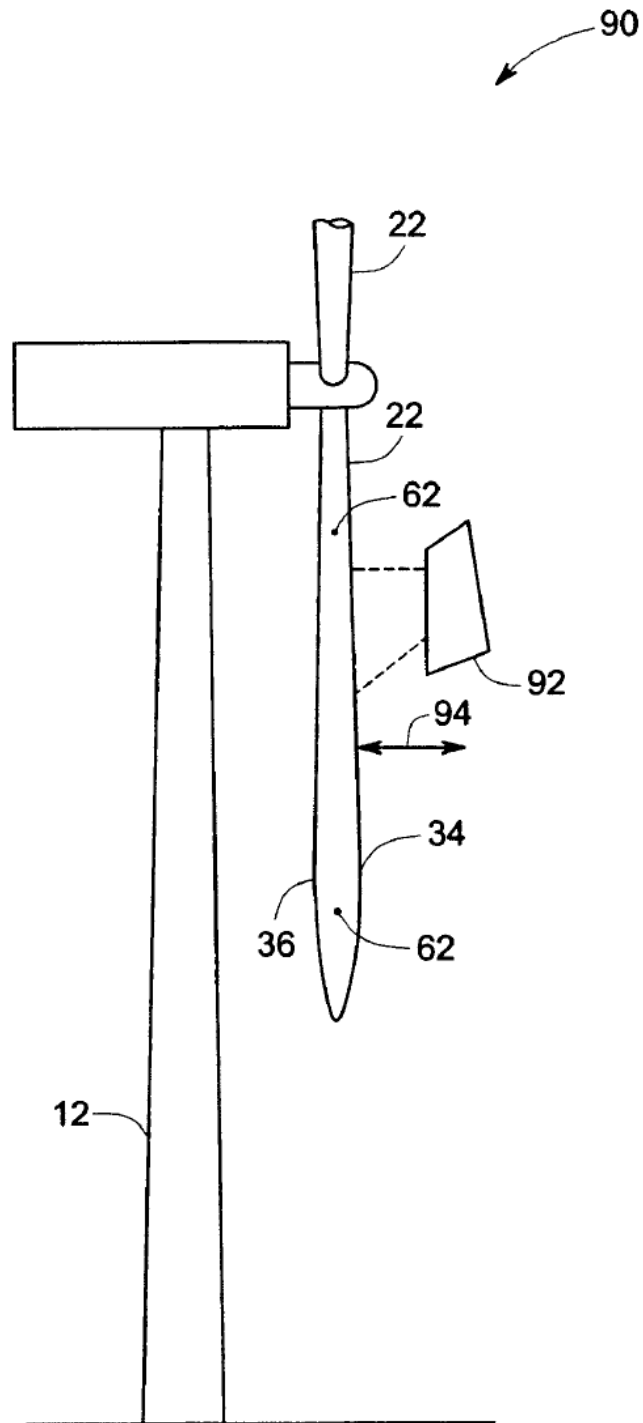


FIG. 6

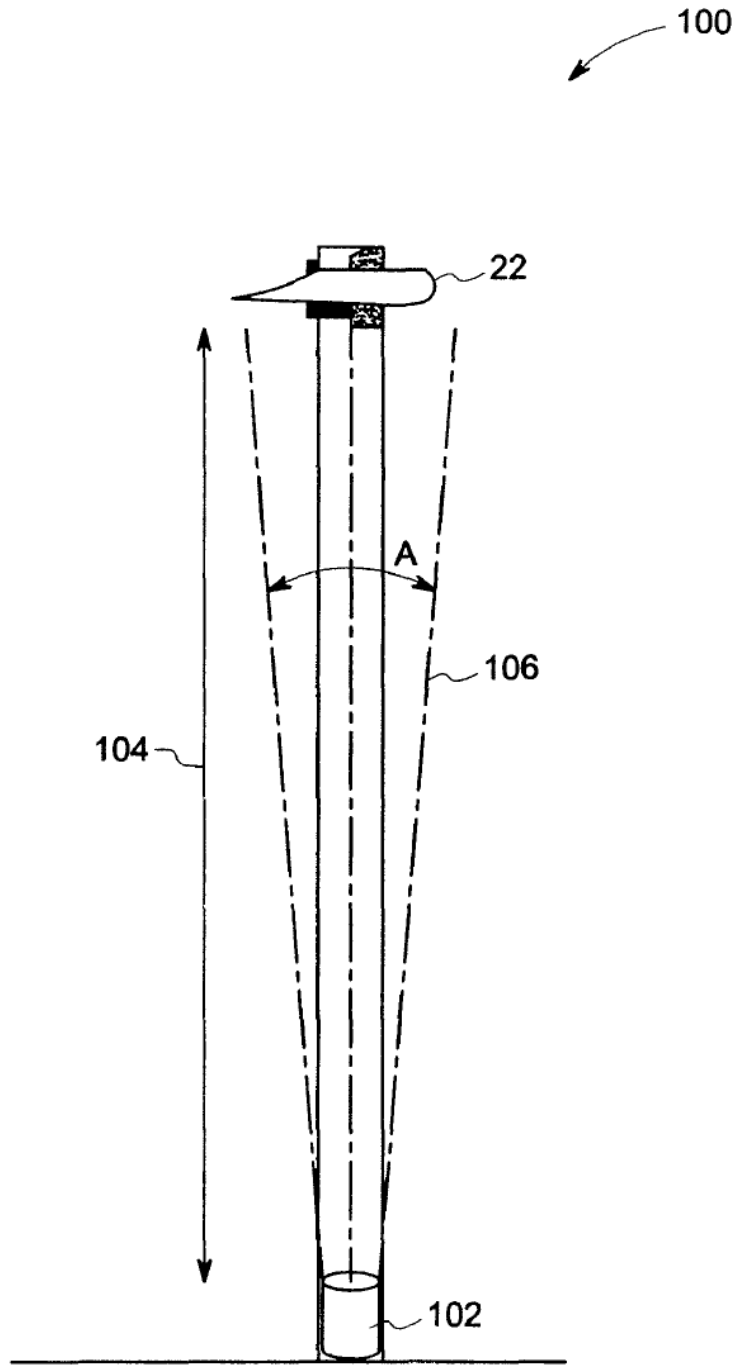


FIG. 7

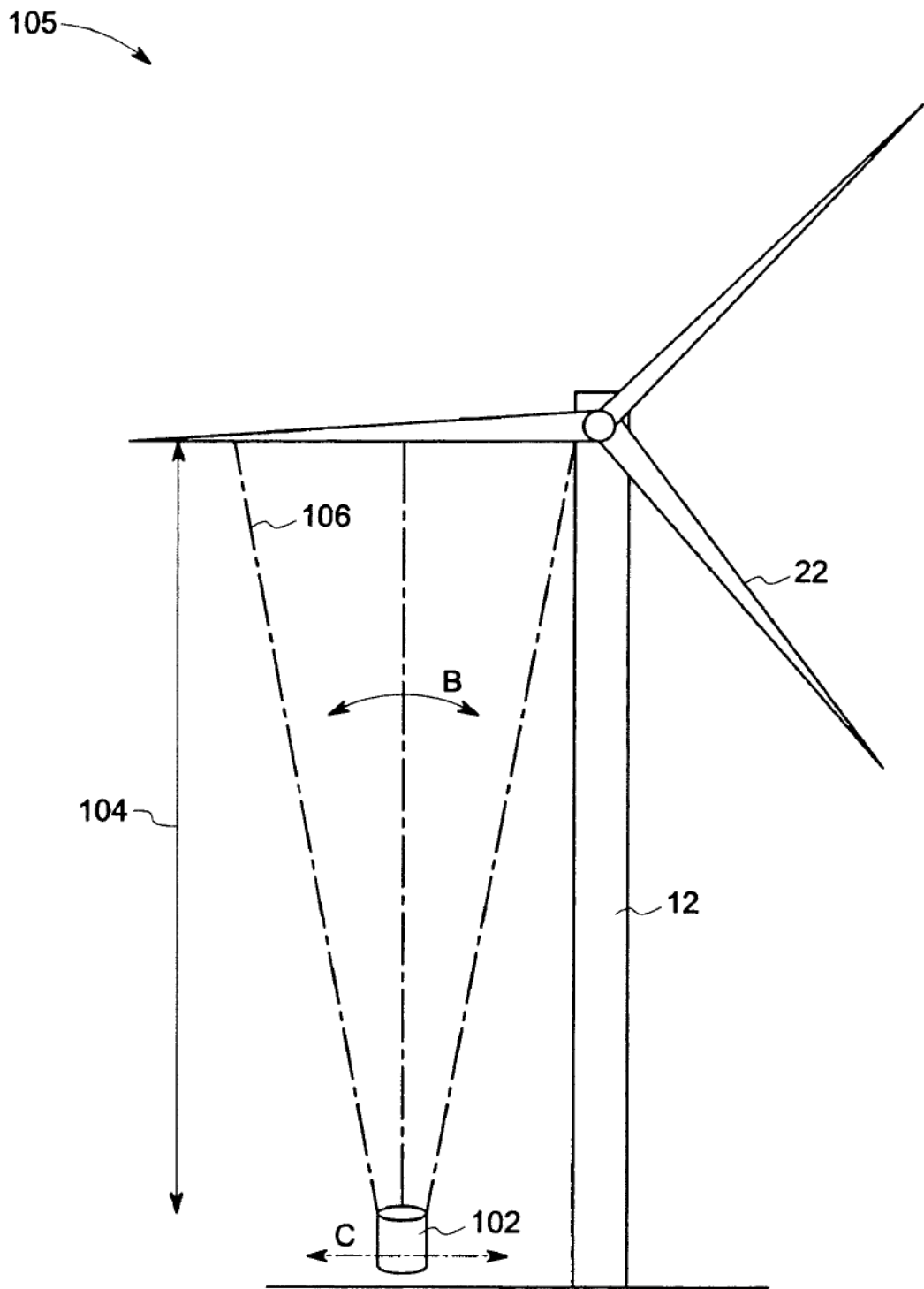


FIG. 8

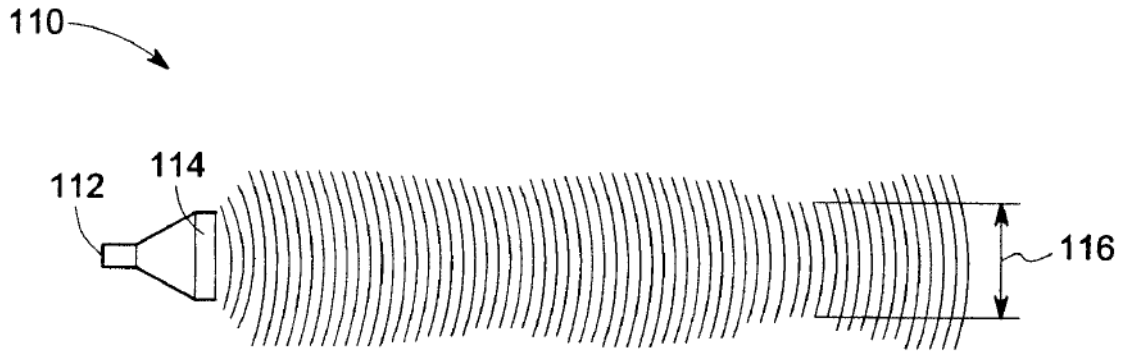


FIG. 9

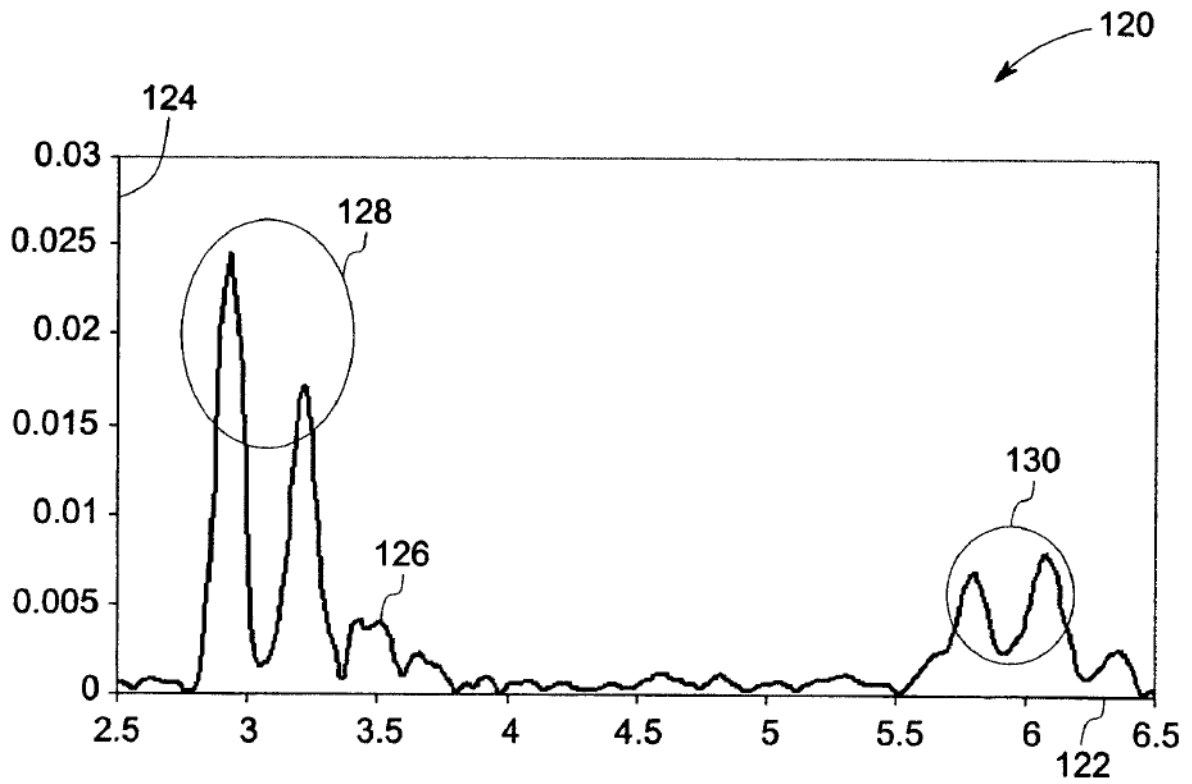


FIG. 10

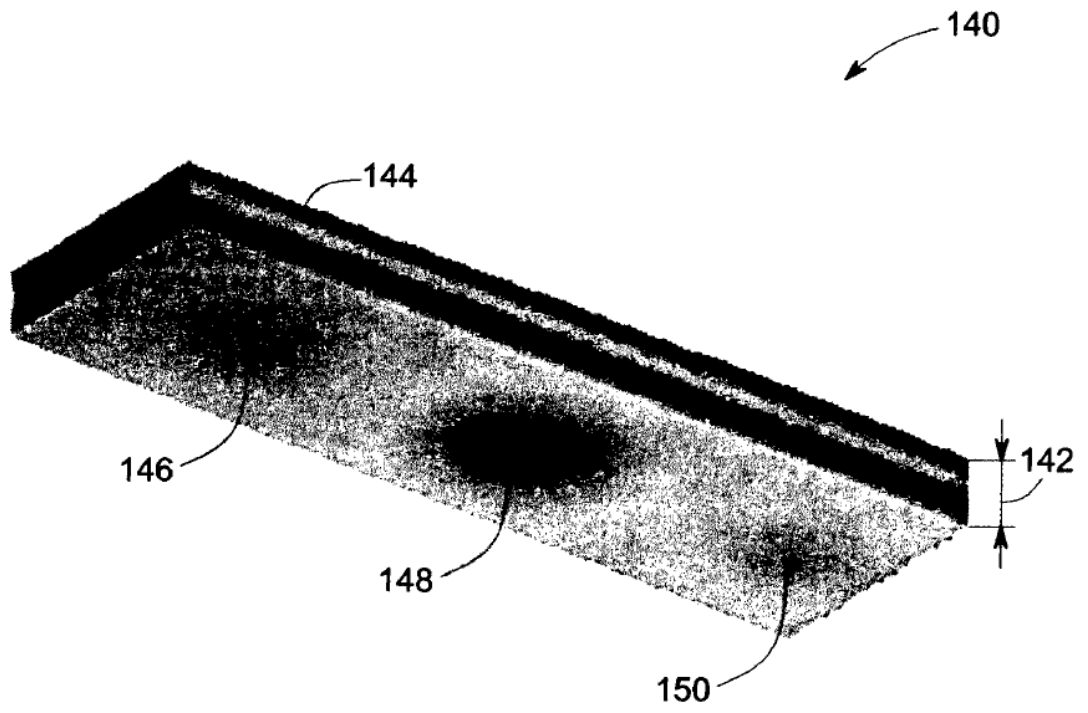


FIG. 11