

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 534 103**

51 Int. Cl.:

F03D 9/00 (2006.01)
G01J 1/04 (2006.01)
F03D 11/00 (2006.01)
G01M 5/00 (2006.01)
G01D 5/353 (2006.01)
G01M 11/08 (2006.01)
H02K 9/24 (2006.01)
H02K 11/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.11.2011 E 11790557 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.03.2015 EP 2643663**

54 Título: **Sistema de sensor de fibra óptica larga en un componente de una turbina eólica**

30 Prioridad:

24.11.2010 GB 201019956
29.11.2010 US 417690 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
17.04.2015

73 Titular/es:

VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)
Hedeager 44
8200 Aarhus N, DK

72 Inventor/es:

GLAVIND, LARS;
HJORT, THOMAS y
OLESEN, IB SVEND

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 534 103 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 de sensor de fibra óptica larga en un componente de una turbina eólica.

5 La invención se refiere a un sistema de sensor de fibra óptica para un componente de una turbina eólica, y en concreto a un sistema para detectar variaciones en un parámetro de funcionamiento del componente a lo largo de una trayectoria extendida.

10 Se conoce utilizar sensores ópticos de fibra para medir las propiedades de funcionamiento de componentes de turbinas eólicas. Habitualmente, tales sensores miden la tensión o deformación de un componente de la turbina eólica, o temperaturas de funcionamiento, presiones, y flujos magnéticos, por ejemplo.

15 Aunque tales sensores pueden funcionar utilizando técnicas de detección basadas en interferometría, muchos sensores ópticos de fibra se basan en redes de Bragg de fibra (FBGs). Las FBGs son variaciones periódicas en el índice de refracción de la fibra que, dependiendo del periodo, reflejan luz de una cierta longitud de onda y permiten que otras longitudes de onda de la luz pasen.

20 Las FBGs se forman tradicionalmente exponiendo la región de la fibra a un láser que escribe la red directamente en el material de la fibra. La red se fabrica bien mediante la interferencia de dos de tales haces, o utilizando un único haz y una fotomáscara. Las técnicas de fabricación típicas limitan por lo tanto la longitud de la red al diámetro del haz de láser de grabado, o a la longitud de la fotomáscara correspondiente. En muchos casos, la longitud de la FBG resultante está limitada a alrededor de 15 cm.

25 En un sistema de sensor, las FBGs se sitúan de tal modo que variaciones en la temperatura, tensión o presión en el sistema que se está monitorizando den como resultado un cambio en el periodo de la red, y un cambio detectable en la longitud de onda de la luz que es reflejada por la FBG. Detectando o bien la luz reflejada o la luz transmitida, el sistema de sensor puede deducir así la magnitud del cambio en el parámetro detectado.

30 Una fibra individual puede contener múltiples FBGs cada una situada en una posición diferente en el sistema. Las FBGs pueden ser direccionadas individualmente a continuación utilizando señales luminosas multiplexadas por división de tiempo TDM, o construyendo las FBGs para que tengan diferentes periodos de red, y utilizando luz de distintas longitudes de onda. Esto se conoce como multiplexado por división de longitud de onda (WDM).

35 Sin embargo, los sistemas de TDM, por ejemplo, pueden requerir un espaciado de 2 metros o más entre FBGs con el fin de proporcionar una resolución aceptable de la señal, lo que reduce el número de FBGs que se pueden utilizar de modo práctico en una fibra individual. Para los casos de WDM, el número de FBGs con distintos periodos que se pueden instalar en una fibra individual está limitado típicamente asimismo a entre 10 y 20, debido a limitaciones en el análisis espectral.

40 Sistemas de sensor basados en FBGs como los descritos anteriormente son útiles, pero pueden ser difíciles de implementar en sistemas más complicados. En primer lugar, como las FBGs son discretas, se tiene que situar una FBG en cada posición de interés. Esto significa que los ingenieros de instalación del sensor deben típicamente aventurar previamente dónde están las posiciones de interés, tales como puntos calientes de temperatura en un generador, por ejemplo, y asegurar que se instala debidamente un sensor de FBG. Como a menudo no es práctico
45 situar FBGs en todos sitios, esto conduce a una carencia de datos para posiciones intermedias entre las ubicaciones del sensor de FBG, y puede significar que simplemente no se dispone de datos importantes.

50 Además, como cada FBG tiene un periodo de red por defecto, la FBG tiene un intervalo de detección óptimo, basado en el periodo de red, y la cantidad que es esperable que cambie el periodo de red bajo la influencia de variaciones en el parámetro medido localmente. Así pues, puede ser difícil de detectar con precisión grandes variaciones de temperaturas, por ejemplo, utilizando FBGs.

55 La góndola de una turbina eólica, por ejemplo, contiene equipo de generación eléctrica y detección calibrado cuidadosamente. Tal equipo genera calor durante su funcionamiento y debe ser monitorizado cuidadosamente y controlado para mantener su funcionamiento dentro de parámetros de funcionamiento definidos. Actualmente es difícil monitorizar tal equipo adecuadamente, debido a limitaciones físicas tales como espacio limitado, y en muchos casos debido a la complejidad estructural del componente, y la gran variación posible en temperaturas de funcionamiento a lo largo de la estructura del componente.

60 Sería deseable, por ejemplo, monitorizar las temperaturas de funcionamiento del generador en la góndola, pero debido a la complejidad del diseño del rotor y el estator y los devanados asociados, esto no se consigue fácilmente.

Hemos apreciado que sería deseable proporcionar un sistema de sensor más flexible que pueda proporcionar información a lo largo de un amplio intervalo de temperaturas u otros parámetros de funcionamiento y operar a lo

largo de un área extendida sin requerir una complejidad de instalación indebida. Hemos apreciado que se pueden utilizar redes de Bragg de fibra larga para abordar este problema.

Sumario de la invención

5 La invención se define en las reivindicaciones independientes a las cuales se debe hacer referencia a continuación. Características ventajosas se establecen en las reivindicaciones dependientes.

10 De acuerdo con un modo de realización ejemplar de la invención, se proporciona una turbina eólica que tiene un sistema de sensor de fibra óptica para medir un parámetro de funcionamiento de un componente de la turbina eólica, comprendiendo el sistema de sensor de fibra óptica: una fuente luminosa para emitir luz en un intervalo predeterminado de longitudes de onda; una fibra óptica que comprende una red de Bragg de fibra larga, teniendo la red de Bragg de fibra larga una red con un periodo de red predeterminado que se extiende continuamente a lo largo de una longitud de la fibra óptica para proporcionar una región de medición continua en la fibra óptica, en donde la fibra óptica se acopla al componente de la turbina eólica de tal modo que la región de medición continua se sitúe en una región del componente de la turbina eólica que se va a detectar, y de tal modo que el periodo de red en cada posición en el periodo de medición continua dependa del valor del parámetro de funcionamiento en esa posición; un detector de luz para recibir luz de la fibra óptica, y para proporcionar una señal de salida al controlador que indica la intensidad y longitud de onda de la luz recibida; un controlador acoplado al detector de luz para determinar, basándose en la luz detectada, un valor para el parámetro de funcionamiento.

25 La fibra óptica larga provista de una FBG proporciona una región de medición continua extendida. Además, el parámetro de funcionamiento a lo largo de toda la región se puede detectar sin que sea necesario proporcionar una pluralidad de FBGs cortas discretas en cada posición de interés. En concreto, esto significa que en un sistema de detección de temperatura, por ejemplo, no es necesario predecir con anterioridad dónde estarán los puntos calientes del componente, ya que se puede detectar la temperatura a lo largo de toda la longitud de la FBG. Para otros parámetros de funcionamiento que se vayan a medir, se aplican las mismas ventajas.

30 Por el contrario, un sistema basado en una pluralidad de FBGs cortas sería más complejo de implementar en términos de la necesaria separación de señales adicionales, bien utilizando multiplexado por división de tiempo o de longitud de onda, y menos útil, debido a la necesidad de predecir con anterioridad dónde se deberían localizar los sensores de FBGs cortas. La FBG larga hace posible igualmente como mínimo extraer información acerca de los valores máximo y mínimo del parámetro, como una característica de la propia FBG.

35 En un modo de realización, la red de la red de Bragg de fibra larga se construye para reflejar una máxima cantidad de luz a lo largo de una pequeña fracción de la longitud de la red. Esto permite representar cada valor del parámetro mediante un valor de intensidad asociado, proporcionando más información acerca de la distribución de valores del parámetro lo largo de la región de medición.

40 Ventajosamente, el punto en el cual se refleja la máxima luz de entrada en la primera longitud de onda es igual a la longitud de la región de medición continua. Esto significa que toda la luz introducida en la fibra óptica se puede reflejar de vuelta potencialmente dentro de la región de medición, aumentando la intensidad de la señal.

45 Por consiguiente, el controlador puede ser operable por lo tanto para determinar un intervalo de valores para el parámetro de funcionamiento y un valor que indica cómo de frecuente es la ocurrencia de ese valor en la región de medición continua. Así pues, la fibra óptica individual puede proporcionar al menos valores máximo y mínimo, así como un valor modal.

50 En un modo de realización alternativo, la red de la red de Bragg de fibra larga se construye para reflejar luz que tiene una primera longitud de onda tal que la cantidad de luz reflejada es independiente de la distancia que la luz ha viajado en la fibra. De este modo, sustancialmente toda la luz introducida en la fibra se refleja por cualquier parte de la red que tenga el periodo adecuado, y la señal recibida del sensor es más fuerte.

55 Por consiguiente, el controlador puede ser operable para determinar un valor máximo y mínimo para el intervalo de parámetros de funcionamiento que tiene lugar en la región de medición continua.

60 La fibra óptica puede comprender una segunda red de Bragg de fibra larga, que proporciona una segunda región de medición continua en la fibra óptica. Además, la segunda red de Bragg de fibra larga se puede situar en una parte de la fibra óptica diferente de la primera red de Bragg de fibra larga. Esto permite realizar una pluralidad de mediciones en diferentes posiciones con una única fibra.

La segunda red de Bragg de fibra larga puede tener asimismo un periodo de red predeterminado diferente al de la primera. Esto permite que la segunda red de Bragg de fibra larga se utilice para detectar un parámetro diferente al de la primera, o un intervalo diferente del mismo parámetro.

5 En un modo de realización ejemplar adicional, el periodo de red de la red de Bragg de fibra larga alterna periódicamente entre dos valores a lo largo de la longitud de la región de medición continua. Esto permite utilizar dos redes de Bragg dentro de la misma región de la fibra, y permite realizar dos mediciones separadas en la misma posición de fibra.

10 En un ejemplo específico, la región de medición continua de la fibra óptica está dispuesta en las ranuras del estator o devanados de la bobina de un generador para medir al menos la temperatura a través de una región de la ranura o del devanado. Esto se puede utilizar en parte de un sistema de vigilancia del generador que puede mejorar el diseño del generador y aumentar su vida.

15 La fibra óptica puede comprender asimismo una o más redes de Bragg de fibra corta en puntos en la óptica fuera de las regiones de medición continuas. En concreto, la región de medición continua de la fibra óptica se puede disponer en las ranuras del estator o devanados de la bobina de un generador para medir al menos la temperatura a través de una región de la ranura o del devanado, y las redes de Bragg de fibra corta se sitúan fuera de los devanados de la bobina o ranuras del estator.

Se proporciona igualmente un procedimiento correspondiente.

20 Breve descripción de los dibujos

A continuación se describirán, a modo de ejemplo, y con referencia a los dibujos, modos de realización preferidos de la invención, en los cuales:

25 la figura 1 es una vista esquemática en sección transversal de un generador, tal como el utilizado en una góndola de una turbina eólica;

la figura 2 es una vista esquemática en alzado del generador de la figura 1;

30 la figura 3 ilustra un modo de realización ejemplar de un sistema de sensor de acuerdo con la invención;

la figura 4 es una ilustración esquemática de un generador en el que se ha instalado el componente de fibra óptica del sistema de sensor mostrado en la figura 3; y

35 la figura 5 es una ilustración esquemática de la salida recibida del sistema de sensor mostrado en la figura 3 para una FBG larga a una temperatura uniforme;

la figura 6 es una ilustración esquemática de la salida recibida del sistema de sensor mostrado en la figura 3 para una FBG larga que indica solo dos valores de temperatura;

40 la figura 7 es una ilustración esquemática de la salida recibida del sistema de sensor mostrado en la figura 3 para una FBG larga que indica un intervalo de temperaturas;

45 la figura 8 es una ilustración esquemática de la salida recibida del sistema de sensor mostrado en la figura 3 para una FBG larga que indica solo dos valores de temperatura, en donde las señales luminosas correspondientes tienen intensidades variables;

50 la figura 9 es una ilustración esquemática de la salida recibida del sistema de sensor mostrado en la figura 3 para una FBG larga que indica un intervalo de temperaturas, en donde las señales luminosas correspondientes tienen intensidades variables; y

la figura 10 es una ilustración esquemática de un modo alternativo de realización, en el cual se utilizan una pluralidad de diferentes sensores de FBG en una fibra individual.

55 Descripción detallada de modos de realización preferidos

60 Las FBGs tradicionales, del tipo descrito en la introducción anterior, se pueden considerar como redes cortas, en el sentido de que el tamaño de la FBG está limitado por el diámetro del láser de grabado, y por lo tanto solo ocupan una sección corta de la longitud de la fibra.

65 Son conocidas técnicas para aumentar la longitud de la fibra en la que se forma la FBG conectando entre sí redes discretas. Esencialmente, se graba una primera red en la fibra, a continuación la fibra se traslada en un periodo de red y se escribe una red adicional que solapa parcialmente con la primera. De este modo, se han fabricado redes de hasta 3 m de longitud. Sin embargo, la longitud de funcionamiento de la red está limitada por la precisión de la técnica de fabricación, y hasta recientemente no era posible construir redes más largas utilizando esta técnica.

Recientes desarrollos han hecho posible sin embargo fabricar FBGs que se extienden a lo largo de la longitud de la fibra óptica hasta 10 m. No es sorprendente que tales FBGs se denominen redes de Bragg "largas" o incluso "muy largas". Un procedimiento de construcción de una FBG muy larga se discute en la publicación de Krister Fröjd, titulada "Manufacture of Very Long Fiber Bragg for Dispersion Compensation Applications", publicada en 2010 por la Optical Society of America, en la cual secciones más cortas de red de alrededor de 350 mm se unían entre sí en un conjunto más largo.

En otros procedimientos de fabricación, una fibra óptica se puede trasladar a lo largo del patrón de interferencia del haz de láser de grabado. Asumiendo que la perturbación inducida por el índice de refracción de la fibra es proporcional a la intensidad de la radiación del láser, entonces el periodo de la red escrita dependerá tanto de la velocidad a la cual se traslada la fibra como de la longitud de onda del patrón de interferencia. Esto significa que se puede fabricar una red de Bragg de fibra de casi cualquier longitud cambiando la frecuencia de la modulación de amplitud de luz o la velocidad de la fibra.

Un primer modo de realización de la invención se describirá a continuación con referencia a las figuras 1 y 2.

La figura 1 ilustra esquemáticamente el generador de una góndola de una turbina eólica en una sección transversal. El generador 10 comprende un estator 11 que tiene una pluralidad de ranuras 12 del estator, con devanados 13 del bobinado. Situado dentro del estator se encuentra un rotor 14 portado sobre un árbol 15. En el rotor, se proporciona una pluralidad de conjuntos de imanes 16 (mostrados en la figura 2) para crear un flujo magnético. El árbol 15 se conecta al buje del rotor de la turbina eólica y a las palas, de modo que cuando las palas de la turbina eólica giran, el flujo magnético creado por los conjuntos de imanes 16 gira con el estator e induce una corriente en los devanados 13 del bobinado.

El generador 10 se muestra en una vista esquemática en alzado en la figura 2. En esta vista, el árbol 15 se ha omitido para evitar oscurecer los detalles del rotor y el estator. El alojamiento del generador y las conexiones con el equipamiento de acondicionamiento eléctrico, tal como transformadores, convertidores, y líneas de transmisión, no se muestra en las figuras 1 o 2.

Un modo de realización ejemplar de un sistema de sensor de acuerdo con la invención se describirá a continuación con referencia a la figura 3.

El sensor comprende un dispositivo emisor de luz de banda ancha 31, tal como un LED o SLED (LED superluminiscente), un láser sintonizable, una fuente de halógeno o haluro metálico, un divisor óptico 32, y una fibra óptica 33 acoplada al divisor óptico 32 para recibir luz del dispositivo emisor de luz 31. Parte de la longitud de la fibra óptica 33 comprende una red de Bragg de fibra larga 34 que forma una región de medición 34. Como se indicó en la descripción anterior, la longitud de la red de Bragg de fibra larga, y por lo tanto la longitud de la región de medición 34, puede ser cualquiera entre uno y varios metros de largo.

Un dispositivo colector de luz 35, tal como un fotodiodo, fototransistor, o dispositivo, tal como un interrogador, se conecta igualmente al divisor óptico 32 para recibir luz reflejada de la región de medición de la FBG larga 34. Un controlador 36 se conecta tanto al dispositivo emisor de luz 31 como a los dispositivos colectores de luz 35, mediante conexiones 37 y 38, tales como hilos o cables. Uno o todos de los componentes 31, 32, 35, 36, y las conexiones 37 y 38 se pueden alojar en una caja de montaje 39 para su fácil instalación en el interior de una góndola de la turbina eólica, por ejemplo. La caja de montaje 39 puede proporcionar aislamiento eléctrico para los componentes si es necesario.

En un modo de realización alternativo, el divisor óptico 32 se puede omitir y la fibra óptica 33 se puede doblar hacia atrás tras la región de medición 34 de la FBG larga, para conectarse al dispositivo colector de luz 35. De este modo, la luz no reflejada transmitida por la región de medición 34 de la FBG larga se puede detectar igualmente. En la figura 3, ambas posibilidades se ilustran de modo que el dispositivo colector de luz 35 recibirá tanto la luz reflejada como la transmitida por la región de medición 34 de la FBG larga. En la práctica, modos de realización ejemplares de la invención pueden funcionar basándose en una o en ambas de las señales luminosas reflejada y transmitida.

El controlador 36 controla el dispositivo emisor de luz 31 para introducir señales luminosas en la fibra óptica 33, opcionalmente de acuerdo a un esquema de multiplexado por división de tiempo o de longitud de onda cuando esto se desee. El controlador 36 actúa asimismo para analizar los datos recibidos del dispositivo colector de luz 35 como se describirá a continuación.

En uso, la fibra óptica 33 se instala en el componente de la turbina eólica cuyo parámetro de funcionamiento se va a detectar. La fibra óptica 33 se dispone concretamente de modo que la región de medición 34 de la FBG larga de la fibra óptica 33 se sitúe en la región de interés del componente de la turbina eólica.

Por ejemplo, con referencia al generador de la turbina eólica mostrado en las figuras 1 y 2, hemos apreciado que

sería útil poder detectar de modo fiable la temperatura de los devanados 13 del generador eléctrico. En funcionamiento, los devanados eléctricos 13 del estator 11 se calentarán cuando conduzcan la corriente eléctrica inducida por el campo magnético cambiante del rotor 14. Sin embargo, con el fin de que el generador quede certificado como seguro para su funcionamiento es necesario asegurar que la temperatura de los devanados 13 no supera parámetros de seguridad predeterminados. Hasta la fecha, como no existe un modo práctico de monitorizar en tiempo real la temperatura de funcionamiento de los devanados, ha sido necesario incorporar en el generador márgenes de diseño de seguridad, tales como una separación y espaciado aumentados entre los devanados 13 y otros componentes, y umbrales de corte o desconexión menores para los circuitos eléctricos del generador cuando las corrientes eléctricas se vuelven grandes.

En un modo de realización ejemplar de la invención, por lo tanto, la región de medición 34 de FBG larga de la fibra óptica se inserta en las ranuras 12 del estator del generador de modo que se instale a lo largo de la longitud de los devanados de la bobina en la ranura 12. Una única fibra óptica se puede instalar en una pluralidad de ranuras, simplemente enrollándola hacia delante y hacia atrás alrededor del alojamiento del estator 11, como se muestra en la figura 4 para una vista en sección transversal de un generador y alojamiento.

De este modo, no es necesario aventurar previamente qué partes de los devanados es más probable que se calienten, ya que, en efecto, se puede medir la temperatura a lo largo de todo o a lo largo de una parte sustancial del devanado. Además, las partes de la región de medición de la FBG larga que están fuera de las ranuras del estator cerrado se pueden utilizar igualmente para detectar las temperaturas de otras partes del estator y de la estructura del generador utilizando una única fibra. En modos de realización alternativos, se podría utilizar más de una única fibra óptica si se deseara, tal como una única fibra óptica 33 y una única región de medición 34 de la FBG larga por ranura 12 del estator.

El funcionamiento del sistema de detección para detectar temperatura se describirá a continuación en más detalle con respecto a la figura 5, que muestra a modo de ejemplo una salida potencial del sistema de sensor.

En la figura 5, se asume que la región de medición 34 de la FBG larga de la fibra óptica 33 se instala a lo largo de una trayectoria de medición extendida, tal como alrededor de los devanados del estator de un generador, o en los propios devanados de la bobina, y que un intervalo de temperaturas se encuentra a lo largo de la longitud de esa trayectoria de medición. Tal situación se ilustra en la figura 4.

Para modos de realización del sensor que se configuran para detectar temperaturas del generador, por ejemplo, es ventajoso utilizar luz con una longitud de onda en el intervalo de 1520 nm a 1580 nm. La luz de 1550 nm, por ejemplo, corresponde a una red de, aproximadamente, 500 nm. Para otras implementaciones, pueden ser adecuados diferentes longitudes de onda de luz y periodos de red, como sería aparente para el experto en la técnica.

Asumiremos que la región de medición 34 de la FBG larga es una FBG que tiene un periodo de red por defecto de d_{def} , y que el dispositivo emisor de luz 31 introduce luz con una variedad de longitudes de onda en la fibra óptica 33. Si la temperatura de la fibra óptica en cada posición x en la región de medición de la FBG larga es la misma, entonces el periodo de la red d_x de la FBG larga en cada punto será uniforme. Dicho de otro modo, d_x será esencialmente dependiente de la temperatura pero tendrá un único valor. Bajo este régimen de temperatura, si se inserta luz en la fibra óptica, entonces se reflejará luz de una única longitud de onda λ_{dx} por la FBG y se detectará en el dispositivo colector de luz 35, ya sea como un pico en la luz reflejada, o como una banda oscura en el espectro de longitudes de onda de luz transmitida por la fibra.

A continuación, consideremos el caso en el que la temperatura de la región de medición 34 de la FBG larga varía a lo largo de su longitud x , como sería el caso cuando se utiliza la fibra óptica para medir la temperatura a lo largo de una trayectoria extendida en la que se encontrará con un intervalo de temperaturas. En este caso, habrá necesariamente una o más posiciones en la región de medición de la FBG larga en la que se encuentra la temperatura más baja T_{min} en el intervalo, y una o más posiciones en la que se encuentra la temperatura más alta T_{max} . En lo que sigue, se asumirá que no hay temperaturas intermedias, y que la temperatura simplemente será una u otra de T_{min} o T_{max} . En este caso, solo aquellas longitudes de onda de luz que corresponden a T_{min} o T_{max} , que podríamos denominar como λ_{min} o λ_{max} serán reflejadas por la FBG larga y detectadas en el dispositivo colector de luz 35, ya sea como un pico en la luz reflejada, o como una banda oscura en el espectro de longitudes de onda de la luz transmitida por la fibra. Esta situación se muestra en la ilustración esquemática de la figura 6 para la intensidad de luz reflejada. En este ejemplo, como asumimos que la red está escrita fuertemente en la fibra, y que tenemos una reflexión perfecta de la luz para una longitud de onda de Bragg dada, los picos mostrados en la figura tienen esencialmente la misma altura.

Los términos redes escritas “fuertemente” y “suavemente” se entenderán como referidos al resultado de exponer la fibra a la escritura por láser durante diferentes periodos de tiempo para ajustar así el índice de refracción y la reflectividad de la red fabricada.

En la práctica, por supuesto, es probable que el periodo de medición 34 de la FBG larga de la fibra óptica encuentre un intervalo continuo de temperaturas entre T_{min} y T_{max} . En este caso, el periodo de red de la FBG adoptará, para por lo menos una posición en la región de medición 34, un periodo de red que corresponde a una longitud de onda de la luz entre λ_{min} y λ_{max} . El diagrama de intensidad correspondiente para la luz reflejada será por lo tanto como el mostrado en la figura 7, es decir, una distribución con una parte superior plana en la cual todas las longitudes de onda intermedias de la luz son interceptadas por regiones de la red de FBG a temperaturas intermedias entre T_{min} y T_{max} . Por supuesto, si cualquier temperatura dentro del intervalo de T_{min} y T_{max} no se encuentra en la región de medición 34 de la FBG larga de la fibra 33, entonces estas aparecerán en la figura 7 como hendiduras o valles (del mismo modo que para la figura 6).

En un modo de realización alternativo, la fibra óptica podría estar escrita suavemente, de modo que no tiene lugar una reflexión de Bragg perfecta. En este caso, asumimos que, para una región de medición 34 de la FBG larga que tiene una temperatura uniforme, toda la luz introducida a una longitud de onda que corresponde al periodo de red de la FBG se reflejará de vuelta tras una longitud l . Si la longitud l se hace que sea aproximadamente igual a la longitud de la región de medición 34, entonces el gráfico de intensidad para una fibra a una temperatura uniforme será similar al gráfico mostrado en la figura 5.

Cuando la temperatura varía a lo largo de la longitud l de la región de medición 34, entonces como antes, las diferentes regiones de la FBG larga que han adoptado un periodo de red diferente debido a la temperatura local diferente reflejarán diferentes longitudes de onda de la luz. Sin embargo, en este caso, la reflexión no será perfecta, y la cantidad de luz reflejada para una longitud de onda concreta dependerá de la distancia que la luz de esa longitud de onda tiene que viajar a través de la red con una longitud de onda de Bragg correspondiente. Esto se ilustra en la figura 8 a la cual se debe hacer referencia a continuación.

La situación ilustrada en la figura 8 es similar a la de la figura 6, en que asumimos que la región de medición de la FBG larga está expuesta a solo dos temperaturas etiquetadas T_{min} y T_{max} . En este ejemplo, sin embargo, sabemos además que la FBG larga 34 experimenta una temperatura T_{min} solo durante una distancia m a lo largo de la longitud l , y experimenta una temperatura T_{max} solo durante una distancia n a lo largo de la longitud l , donde $l = m + n$ y $m > n$. En este caso, se refleja más luz por la red de fibra de FBG larga en la región m que para la región n , y el pico correspondiente del diagrama de intensidad de luz reflejada para la longitud de onda λ_{max} es por lo tanto menor que para el pico en la longitud de onda λ_{min} .

Si asumimos ahora que las temperaturas experimentadas por la región de medición de la FBG larga caen en un intervalo, entonces el dispositivo colector de luz 35 recibirá luz de acuerdo con un gráfico de intensidad similar al ilustrado en la figura 9. En este gráfico, los picos tienen alturas que dependen de la cantidad de luz reflejada procedente de la red a la temperatura correspondiente, que a su vez depende de la longitud de la FBG larga respuesta a esa temperatura.

El pico central en el gráfico λ_{moda} corresponde por lo tanto a la temperatura que tiene lugar más frecuentemente en la longitud de la región de medición de la FBG larga, es decir, la moda en la distribución. En este caso, sin embargo, los valores de las temperaturas máxima y mínima T_{min} y T_{max} pueden ser más difíciles de identificar a partir de los resultados de los datos, en virtud de su menor probabilidad de ocurrencia que la moda, y por lo tanto aparecen como valores menores en el diagrama de intensidad.

Esta implementación de un sistema de sensor proporciona por lo tanto más información acerca de la distribución de los valores de temperatura que la implementación del sistema de sensor descrita con referencia a la figura 7. Sin embargo, en la disposición de la figura 7, T_{min} y T_{max} son más fáciles de detectar, en virtud de la señal más intensa proporcionada.

Basándose en las señales luminosas recibidas de la fibra óptica 33, el controlador 36 puede deducir por lo tanto el valor del parámetro que se está midiendo. Esto se consigue simplemente calibrando el periodo de red por defecto de la FBG con un parámetro conocido, tal como una temperatura o tensión de referencia, y deduciendo la cantidad de variación del periodo de la red en funcionamiento. Este aspecto del funcionamiento de sensores de FBG es bien conocido en la técnica y no se describirá en detalle aquí.

Como se describió anteriormente, es posible utilizar una única fibra óptica para detectar las temperaturas de funcionamiento del generador. En este caso, la fibra óptica 33 pasa hacia atrás y hacia delante a través de todas las regiones de interés, tales como las ranuras 13 del estator en el estator. En concreto, esto permite que el sistema de sensor detecte parámetros de funcionamiento problemático a lo largo de toda la longitud de la trayectoria del sensor 34, no tan solo en las posiciones concretas en las que se han instalado FBGs cortas como con el estado de la técnica anterior. Alternativamente, cuando se necesita una monitorización más exacta, es posible igualmente utilizar una pluralidad de fibras ópticas 33, e instalar un cable de fibra óptica con un periodo de medición de la FBG larga en cada región de interés. En este caso, se puede utilizar una fibra en una ranura 12 del estator, por ejemplo, o un devanado 13 del bobinado.

En un modo de realización alternativo es posible igualmente variar los tipos de regiones de FBG de medida incorporadas en una fibra óptica de FBG individual, con el fin de aceptar diferentes tipos de regímenes de medición.

5 La figura 10 muestra, por ejemplo, un modo de realización alternativo en el que se proporciona la fibra óptica 33 con una pluralidad de diferentes implementaciones de FBGs. En un primer tramo de la fibra, se proporcionan regiones de medición de FBG larga primera 101 y segunda 102 separadas. Cada una de las regiones 101 y 102 se puede dotar de FBGs largas de diferente periodo de red inicial (F1 y F2), lo que permite que la combinación mida diferentes intervalos de la misma variable, o incluso parámetros físicos completamente diferentes.

10 En un segundo tramo de la fibra óptica 33, se proporcionan FBGs largas F1 y F2 en la región 103 en un patrón alternado de periodos de red F1 y F2. Esta disposición proporciona la misma flexibilidad de medición descrita para el primer tramo de fibra, pero significa que no hay separación física entre las diferentes FBGs largas F1 y F2. Esto permite que ambas FBGs largas tomen mediciones en la misma posición en la fibra.

15 En una tercera región 104 de la figura, se proporciona una FBG larga F1 contigua a una o más FBGs cortas F3, F4, F5 y F6. Como se indicó anteriormente, en este contexto una FBG corta pretende significar una FBG convencional que ocupa una posición localizada en la fibra. Dicho de otro modo, una FBG para la cual la longitud no es una característica material de su funcionamiento. Se pueden instalar FBGs largas y cortas para monitorizar diferentes parámetros, asumiendo que los periodos de red se seleccionan de modo de una red se puede distinguir de otra, o asumiendo que las señales luminosas introducidas están multiplexadas por división de tiempo en la fibra, y se pueden distinguir entre sí por su momento de recepción en el colector.

20 Adicionalmente, la fibra 33 puede contener una o más pausas, esto es, regiones en las que no se instalan FBGs, ya sean largas o cortas.

25 En el ejemplo del generador discutido anteriormente, la fibra óptica 33 mostrada en la figura 10 permitiría utilizar la región de medición de la FBG larga en partes seleccionadas del generador, tales como en las ranuras 12 o los devanados 13, con las pausas y FBGs cortas opcionales situadas en otros sitios, tales como en el cableado final del estator y el anillo.

30 Son posibles muchos otros esquemas de instalación. En cada caso, solo es necesario disponer la FBG adecuada en la posición de interés, y utilizar multiplexado por división de tiempo o de longitud de onda como sea adecuado para distinguir las señales.

35 Aunque se han ofrecido modos de realización ejemplares en los cuales el sistema de sensor se instala en un generador para detectar temperaturas de funcionamiento, se apreciará que se podría utilizar en otro equipo para detectar otros parámetros. El sistema podría instalarse de modo útil en la góndola, en armarios de equipo eléctrico concreto para detectar temperatura, corriente, o humedad, o eventos de arco, por ejemplo. Se podría instalar asimismo en componentes estructurales de la turbina, tales como las palas de la turbina, para detectar tensión o deformación.

40 Utilizando el sistema descrito anteriormente, los parámetros de funcionamiento de un aparato se pueden medir en tiempo real. Además, el sistema proporciona una distribución de valores. Esta información más detallada puede ser particularmente útil cuando ha ocurrido un fallo del aparato. El sensor puede ofrecer asimismo una mejor vigilancia, ya que es capaz de detectar cambios en el parámetro a lo largo de toda la longitud de la trayectoria de medición.

45 Utilizando el sistema de sensor en sistemas de control para un aparato, en donde se combina con una memoria y una herramienta de diagnóstico o pronóstico, se puede proporcionar una predicción temprana de fallos y por lo tanto una vida útil de funcionamiento más larga del aparato.

50 En el caso de un sistema de monitorización de estado (CMS) o un sistema de medición de temperatura, por ejemplo, el sistema de sensor permitiría operar la turbina eólica en respuesta a la temperatura máxima medida de uno de los componentes o dispositivos de la turbina eólica sin que exista una necesidad de incorporar un margen de seguridad operacional para tener en cuenta incógnitas de funcionamiento. Así pues, la turbina eólica se puede operar incluso cuando el parámetro medido supera los márgenes de seguridad actuales, asumiendo que se implementan procedimientos de seguridad cuando la temperatura máxima detectada supera un valor umbral que indica que ahora es necesario un apagado. Una temperatura no uniforme o una temperatura que supera un valor esperado, por ejemplo, podrían ser indicativos de un fallo.

55 El sistema podría utilizarse asimismo ventajosamente con sistemas de refrigeración para mejorar el rendimiento. En concreto, como el sistema de sensor proporciona información en tiempo real relativa a temperaturas de funcionamiento, el caudal y temperatura del fluido refrigerante se pueden regular de acuerdo con las necesidades, en lugar de más generalmente basándose en márgenes de seguridad menos precisos.

La invención se ha descrito con referencia a implementaciones ejemplares, meramente con fines ilustrativos. La invención no se limita a estos, ya que muchas modificaciones y variaciones se le podrían ocurrir al experto en la técnica. La invención debe ser entendida a partir de las reivindicaciones que siguen.

5

REIVINDICACIONES

1. Una turbina eólica que tiene un sistema de sensor de fibra óptica para medir un parámetro de funcionamiento de un componente de la turbina eólica, comprendiendo el sistema de sensor de fibra óptica:
- 5 una fuente de iluminación para emitir luz en un intervalo predeterminado de longitudes de onda;
- una fibra óptica que comprende una red de Bragg de fibra larga, teniendo la red de Bragg de fibra larga una red de un periodo de red predeterminado que se extiende continuamente a lo largo de una longitud de la fibra óptica para
- 10 proporcionar una región de medición continua en la fibra óptica,
- en la que la fibra óptica se acopla al componente de la turbina eólica de tal modo que la región de medición continua se sitúa en una región del componente de la turbina eólica que va a ser detectada, y de tal modo que el periodo de red en cada posición en la región de medición continua depende del valor del parámetro de funcionamiento en esa
- 15 posición;
- un detector de luz para recibir luz de la fibra óptica, y para proporcionar una señal de salida al controlador que indica la intensidad y longitud de onda de la luz recibida;
- 20 un controlador acoplado al detector de luz para determinar, basándose en la luz detectada, un valor del parámetro de funcionamiento.
2. La turbina eólica de la reivindicación 1, en la que la red de la red de Bragg de fibra larga se escribe suavemente para reflejar luz que tiene una primera longitud de onda tal que la cantidad de luz reflejada es proporcional a la
- 25 distancia que la luz ha viajado en la red.
3. La turbina eólica de la reivindicación 2, en la que el punto en el cual se refleja la luz introducida máxima a la primera longitud de onda es igual a la longitud de la región de medición continua.
- 30 4. La turbina eólica de la reivindicación 2 o 3, en la que el controlador es operable para determinar un intervalo de valores para el parámetro de funcionamiento y un valor que indica con qué frecuencia ocurre ese valor en la región de medición continua.
5. La turbina eólica de la reivindicación 1, en la que la red de la red de Bragg de fibra larga se escribe fuertemente para reflejar una cantidad máxima de luz a lo largo de una fracción pequeña de la longitud de la red.
- 35 6. La turbina eólica de la reivindicación 5, en la que el controlador es operable para determinar un valor máximo y uno mínimo para el intervalo de parámetros de funcionamiento que tiene lugar en la región de medición continua.
- 40 7. La turbina eólica de cualquier reivindicación anterior, en la que la fibra óptica comprende una segunda red de Bragg de fibra larga, que proporciona una segunda región de medición continua en la fibra óptica.
8. La turbina eólica de la reivindicación 7, en la que la segunda red de Bragg de fibra larga se sitúa en una parte de la fibra óptica diferente de la primera red de Bragg de fibra larga.
- 45 9. La turbina eólica de la reivindicación 8, en la que la segunda red de Bragg de fibra larga tiene un periodo de red predeterminado diferente del de la primera.
10. La turbina eólica de cualquier reivindicación anterior, en la que un periodo de red de la red de Bragg de fibra larga alterna periódicamente entre dos valores a lo largo de la longitud de la región de medición continua.
- 50 11. La turbina eólica de cualquier reivindicación anterior, en la que la región de medición continua de la fibra óptica está dispuesta en las ranuras del estator o devanados de la bobina de un generador para medir por lo menos la temperatura a través de una región de la ranura o del devanado.
- 55 12. La turbina eólica de cualquier reivindicación anterior, en la que la fibra óptica comprende una o más redes de Bragg de fibra corta en puntos en el exterior óptico de las regiones de medición continua.
- 60 13. La turbina eólica de la reivindicación 12, en la que la región de medición continua de la fibra óptica está dispuesta en ranuras del estator o devanados de la bobina de un generador para medir por lo menos la temperatura a través de una región de la ranura o del bobinado, y las redes de Bragg de fibra cortas se sitúan fuera de los devanados de la bobina o ranuras del estator.
- 65 14. La turbina eólica de cualquier reivindicación anterior, en la que el parámetro de funcionamiento es uno o más de tensión, temperatura, presión, o flujo magnético.

15. Un procedimiento para determinar un parámetro de funcionamiento de un componente de una turbina eólica, comprendiendo el procedimiento:

5 acoplar una fibra óptica al componente de la turbina eólica, en donde la fibra óptica comprende una red de Bragg de fibra larga que tiene una red de un periodo predeterminado que se extiende continuamente a lo largo de una longitud de la fibra óptica para proporcionar así una región de medición continua en la fibra óptica, y en donde la región de medición continua se sitúa en una región del componente de la turbina eólica que va a ser detectada de tal modo que el periodo de red en cada posición en la región de medición continua depende del valor del parámetro de funcionamiento en esa posición;

10 introducir luz en un intervalo predeterminado de longitudes de onda en la fibra óptica;

15 recibir una salida de luz de la fibra óptica, y proporcionar una señal de salida que indica la intensidad de la luz recibida;

determinar, basándose en la luz detectada, qué longitudes de onda de la luz introducida interaccionan con el periodo de red.

20 16. El procedimiento de la reivindicación 15, en el que la etapa de determinación comprende:

determinar el intervalo de longitudes de onda presentes en la luz que interacciona con el periodo de red.

25 17. El procedimiento de la reivindicación 15, en el que la etapa de determinación comprende determinar una intensidad para cada longitud de onda de luz que interacciona con el periodo de red y determinar qué longitud de onda de la luz tiene la intensidad máxima.

30 18. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 15 a 17, en el que la etapa de acoplamiento comprende proporcionar la región de medición continua de la fibra óptica en las ranuras del estator o devanados de la bobina de un generador para medir por lo menos la temperatura a través de una región de la ranura o del devanado.

19. El procedimiento de la reivindicación 15 a 17, en el que la fibra óptica comprende una o más redes de Bragg de fibra corta en puntos en el exterior óptico de las regiones de medición continuas.

35 20. El procedimiento de la reivindicación 19, en el que la etapa de acoplamiento comprende proporcionar la región de medición continua de la fibra óptica en las ranuras del estator o los devanados de la bobina de un generador para medir por lo menos la temperatura a través de una región de la ranura o del devanado, y las redes de Bragg de fibra corta se sitúan fuera de los devanados de la bobina o las ranuras del estator.

40

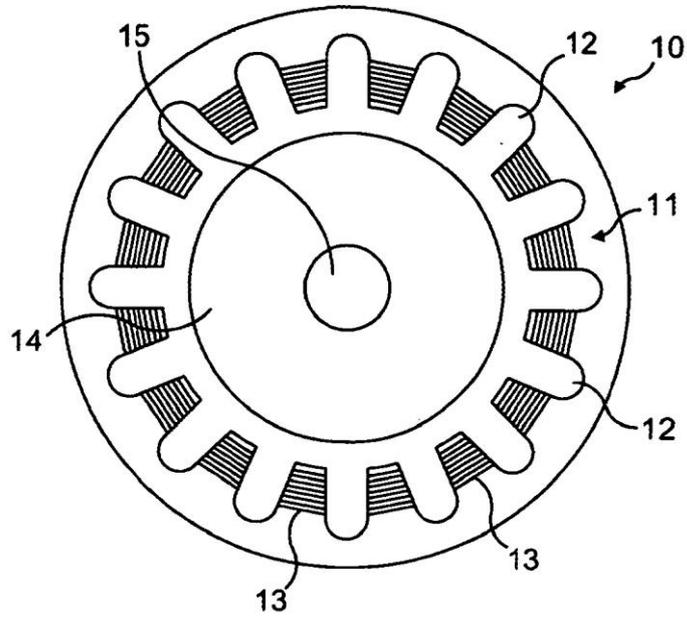


FIG. 1

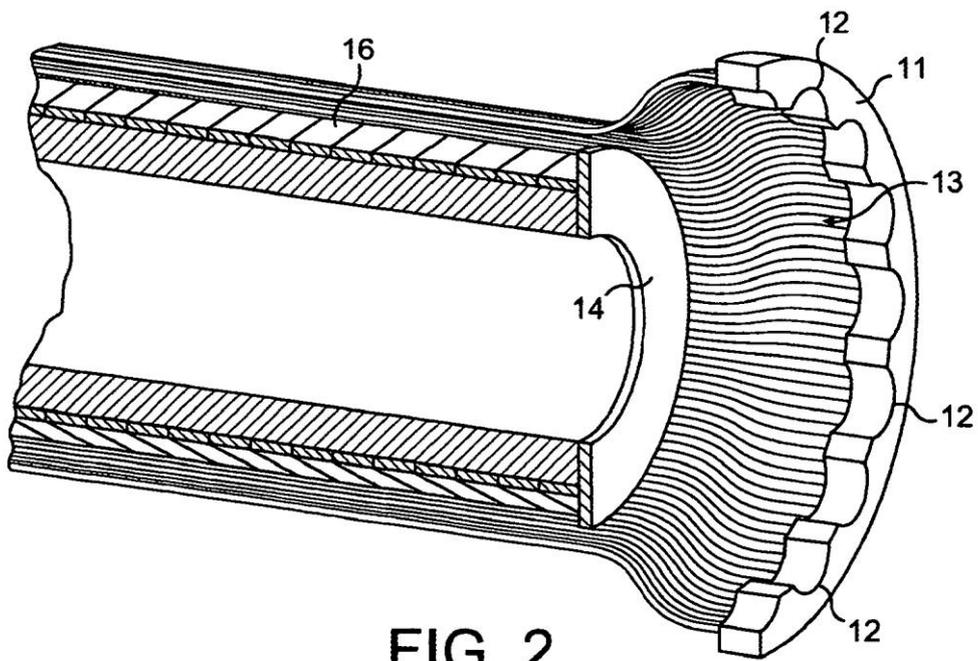


FIG. 2

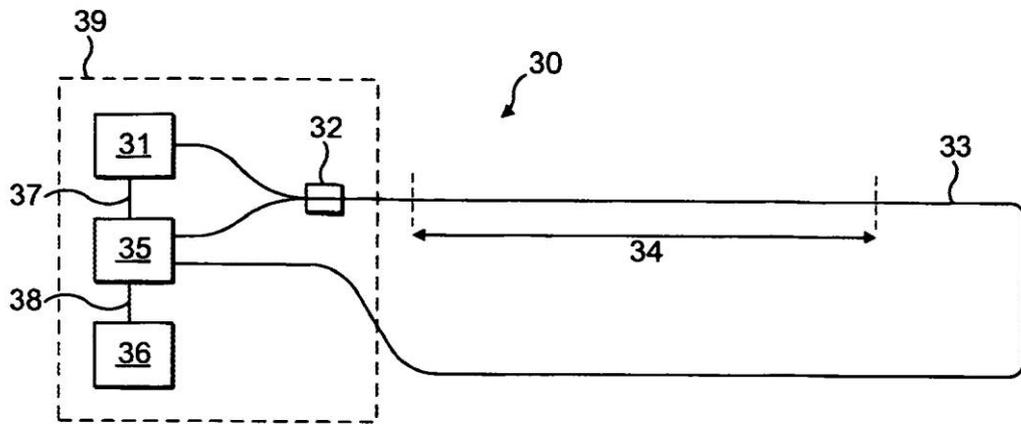


FIG. 3

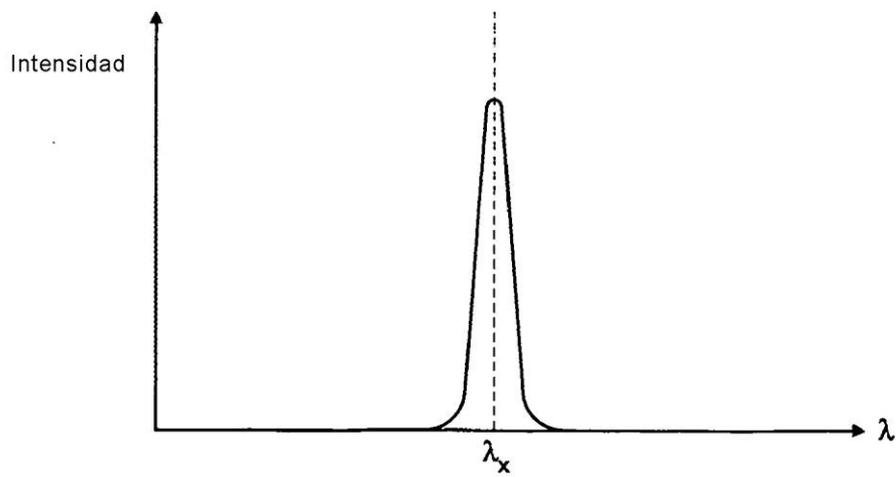


FIG. 5

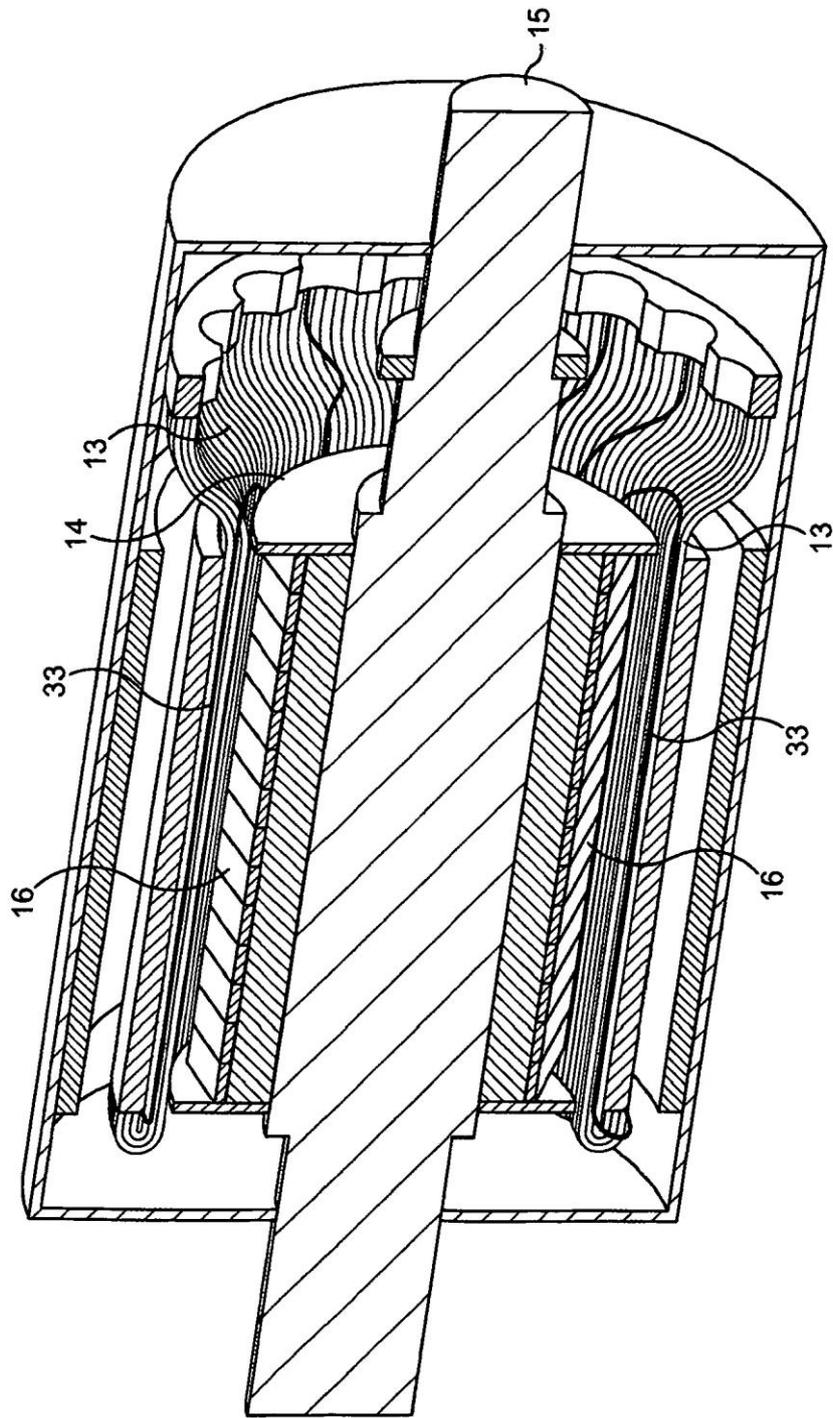


FIG. 4

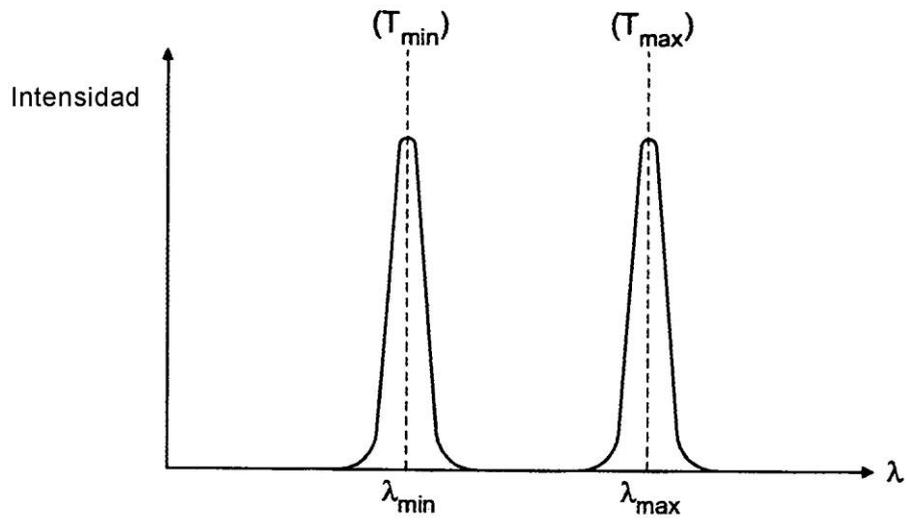


FIG. 6

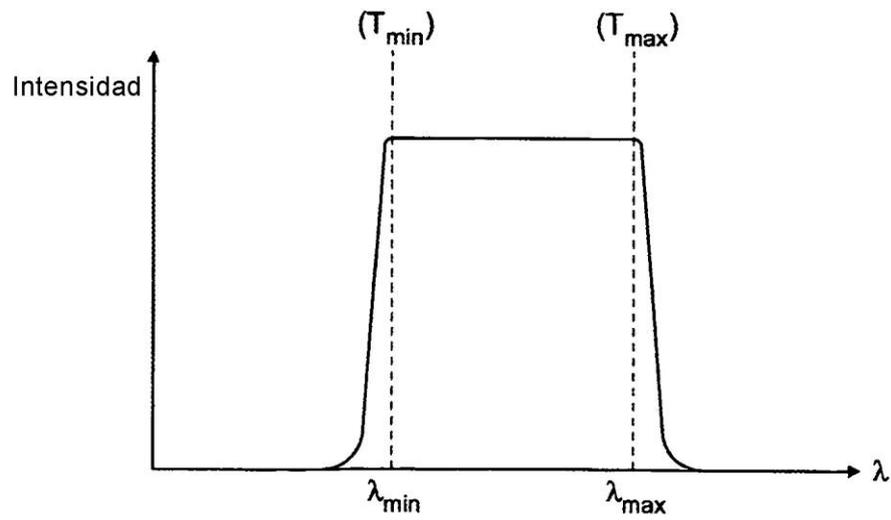


FIG. 7

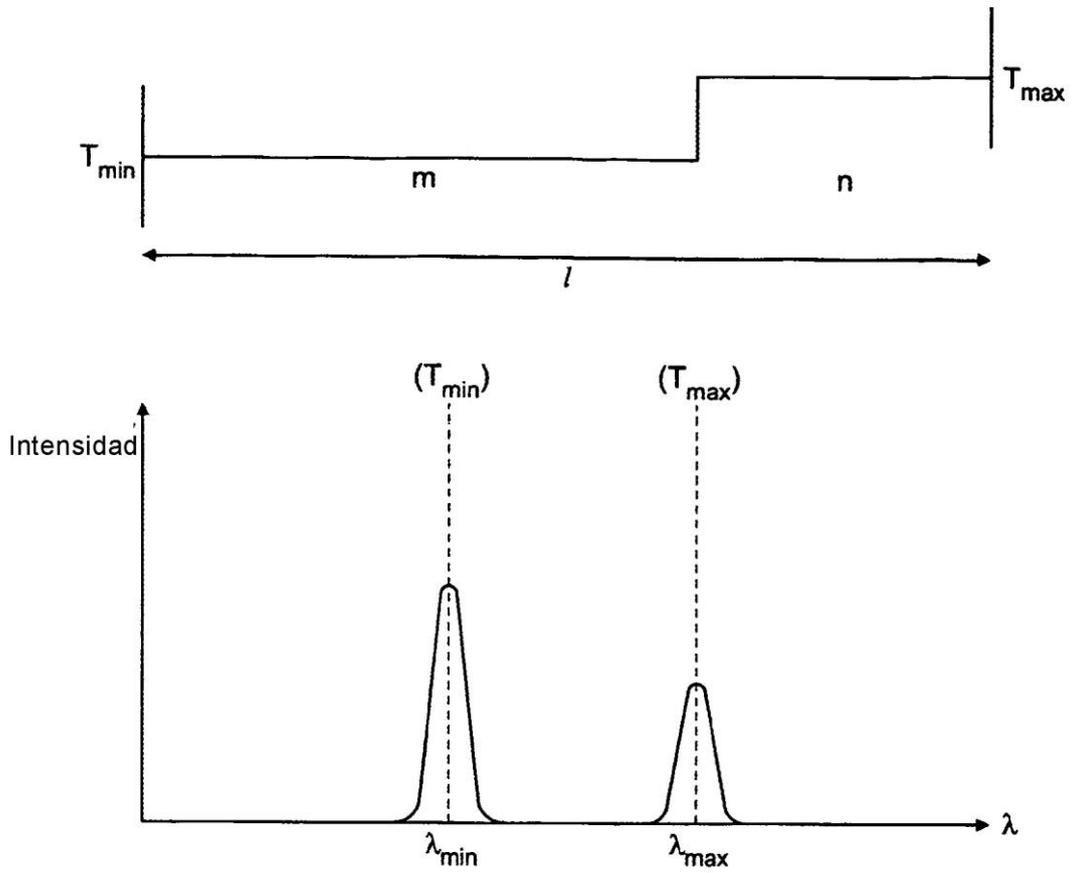


FIG. 8

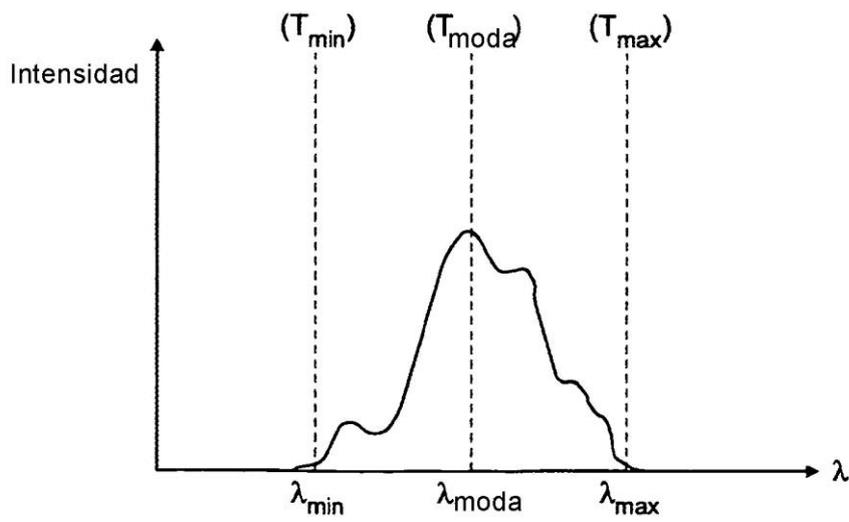


FIG. 9

