

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 368 187**

51 Int. Cl.:
G05B 19/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **08250035 .6**
96 Fecha de presentación: **04.01.2008**
97 Número de publicación de la solicitud: **1944667**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **16.07.2008**

54 Título: **CONTROL DE EMISIÓN TONAL PARA TURBINAS EÓLICAS.**

30 Prioridad:
05.01.2007 US 620065

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
15.11.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
15.11.2011

73 Titular/es:
GENERAL ELECTRIC COMPANY
1 River Road
Schenectady, NY 12345, US

72 Inventor/es:
Kerber, Lutz

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

ES 2 368 187 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

Control de emisión tonal para turbinas eólicas

La presente invención se refiere en general a un sistema para el control de las emisiones de ruido tonal en turbinas eólicas. La presente invención se refiere además en general a un sistema de energía eólica que incluye al mismo.

5 Los sistemas de energía eólica han ganado más y más importancia como fuente de energía en los últimos años. Debido a que las áreas adecuadas para su económico funcionamiento son relativamente poco comunes en un número de países, un número en crecimiento de sistemas de energía eólica se ubica cerca de áreas pobladas. Debido a que el funcionamiento de las turbinas eólicas en sistemas de energía eólica da lugar a ruido, esto conduce a diversos problemas, tales como la reticencia por parte de los vecindarios y similares. Una diversidad de factores contribuye a la emisión global de ruido de tales sistemas, uno de los cuales es la emisión tonal producida por partes mecánicas en movimiento. Estas partes pueden ser, por ejemplo, el generador u otras partes del tren de transmisión que tienden a resonar a frecuencias de resonancia. Una fuente bien conocida de emisiones tonales son las cajas de cambios, lo que se debe principalmente a la aparición de frecuencias de engrane de los engranajes. El comportamiento de emisión tonal de las partes mecánicas en el tren de transmisión depende de una diversidad de factores, sobre algunos de los cuales apenas tiene influencia el fabricante. A menudo, la única posibilidad para mejorar las características de emisión tonal de una turbina eólica es intercambiar las partes de generación de ruido, por ejemplo una caja de cambios o un generador: Sin embargo, esto da lugar a unos costes elevados para el propietario debido al período de interrupción del servicio, a los costes de intercambio y a los costes del nuevo equipo. Por lo tanto, lo que se necesita son medidas rentables para reducir las emisiones tonales producidas por un sistema de energía eólica.

Los procedimientos para la reducción de las emisiones de ruido de los sistemas de energía eólica han sido objeto de discusión durante largo tiempo. Por ejemplo, se ha propuesto la reducción del ruido aerodinámico producido por los álabes a través de un control de velocidad/ par motor del sistema con el fin de mantener la velocidad de la turbina baja durante unos intervalos de tiempo determinados, por ejemplo durante la noche. Otros han propuesto la reducción de la velocidad/ par motor de las turbinas eólicas en un parque eólico de forma individual con el fin de obtener un rendimiento global máximo del sistema a la vez que se evita que una parte de las turbinas eólicas funcione a unas velocidades significativamente más altas que la velocidad promedio del conjunto de las turbinas. Otro ejemplo para la aplicación de un control de velocidad/ par motor, que no se refiere sin embargo a la reducción de ruido, es la propuesta de guiar rápidamente una turbina eólica a través de unos intervalos de velocidad del rotor que habitualmente dan lugar a unas resonancias de baja frecuencia de la torre de turbina eólica para evitar un daño estructural.

En el documento DE-A-19926553 se describe un procedimiento de funcionamiento de un parque eólico que comprende un número de turbinas eólicas, en el que las turbinas eólicas se controlan para mantener el ruido emitido por el parque eólico por debajo de un nivel predeterminado en una posición en el exterior del parque eólico.

En vista de lo anterior, según varios aspectos de la presente invención, se prevé un sistema para la reducción de la emisión de ruido tonal de turbinas eólicas.

En un primer aspecto de la presente invención, se prevé un sistema para la reducción de ruido de una turbina eólica, que comprende:

al menos un sensor acústico que proporciona una señal;
una unidad de detección; y
una unidad de control; caracterizado porque

dicho sensor acústico está acoplado a la turbina eólica; dicha unidad de detección está adaptada para recibir una señal de sensor y para detectar una componente tonal en dicha señal; y dicha unidad de control está adaptada para recibir una entrada a partir de dicha unidad de detección, y para controlar al menos un parámetro de control de turbina eólica en función de una amplitud de dicha componente tonal con el fin de reducir dicha amplitud.

A continuación en el presente documento, la expresión "emisión tonal" o "componente tonal" se usa para emisiones acústicas que pueden habitualmente caracterizarse por el hecho de que consisten sustancialmente en una o unas pocas frecuencias fundamentales. Además, a diferencia del ruido estático, las componentes tonales exhiben un comportamiento sustancialmente periódico. Pueden caracterizarse por su frecuencia fundamental. Las emisiones o componentes tonales se producen principalmente por unas oscilaciones o interacciones periódicas en sistemas mecánicos. Diversas realizaciones de la presente invención permiten evitar de forma efectiva las emisiones tonales producidas por una turbina eólica. Es particularmente útil reducir las emisiones tonales producidas por los efectos de engrane de los engranajes de las cajas de cambios. Por lo tanto, es posible minimizar las emisiones tonales producidas por un tren de transmisión, o particularmente por una caja de cambios, sin la necesidad de unas manipulaciones costosas y/o que conllevan mucho tiempo del sistema tal como un intercambio de una caja de cambios, un generador o similares.

En un aspecto adicional de la presente invención, se prevé un procedimiento para reducir las emisiones de ruido

tonal de una turbina eólica, que comprende las etapas de:

- 5 supervisar una emisión acústica de dicha turbina eólica; caracterizado por detectar una componente tonal en dicha emisión acústica, estando dicha emisión acústica supervisada mediante un sensor acústico acoplado a la turbina eólica; y
 si una amplitud de dicha componente tonal excede un nivel predefinido, controlar al menos un parámetro de control de dicha turbina eólica con el fin de reducir dicha amplitud de dicha componente tonal.

Aspectos adicionales, ventajas y características de la presente invención son evidentes a partir de las reivindicaciones dependientes, la descripción y los dibujos adjuntos.

- 10 Es posible usar determinadas realizaciones de sistema de la presente invención en cualquier sistema de energía eólica.

Varios aspectos y realizaciones de la presente invención se exponen más particularmente en el resto de la memoria descriptiva, incluyendo la referencia a las figuras que la acompañan en las que:

la figura 1 es una vista esquemática de un tipo de una turbina eólica.

- 15 La figura 2 es una vista esquemática de un sistema para la reducción de las emisiones tonales de una turbina eólica según una realización de la invención.

La figura 3 es una vista esquemática de un sistema para la reducción de las emisiones tonales de una turbina eólica según otra realización de la invención.

La figura 4 es un diagrama de un procedimiento para la reducción de las emisiones tonales de una turbina eólica según una realización de la invención.

- 20 Ahora se hará referencia en detalle a las diversas realizaciones de la invención, uno o más ejemplos de las cuales se ilustran en las figuras. Cada ejemplo se prevé a modo de explicación de la invención, y no se pretende que se entienda como una limitación de la invención. Por ejemplo, las características que se ilustran o describen como parte de una realización pueden usarse en o junto con otras realizaciones para rendir una realización adicional más. Se pretende que la presente invención incluya tales modificaciones y variaciones.

- 25 La figura 1 es una vista esquemática de una turbina eólica típica. La turbina 100 eólica incluye una torre 110 en la que se monta en su extremo superior una máquina 115 de góndola. La góndola alberga un tren de transmisión al que se conecta una caja 120 de cambios de velocidades. La salida de la caja de cambios se conecta a un generador 125 eléctrico de alimentación. Un buje 130 que soporta tres álabes del rotor 140 se monta en un extremo lateral de la góndola 115 de máquina. Los álabes del rotor 140 pueden ajustarse mediante un mecanismo 150 de control de paso que se ubica habitualmente en el interior del buje 130. La turbina 100 eólica incluye además un sensor 200.

- 30 La figura 2 muestra una vista esquemática de una realización de la presente invención. Se prevé un sensor 200 para detectar vibraciones acústicas o sonido en la torre de turbina eólica o en las proximidades de o directamente en una caja 125 de cambios de velocidades o un generador 120 alojado en una góndola 115 de máquina de una turbina eólica. El sensor puede ser un vibrosensor acústico para medir la velocidad de vibración, un micrófono, o cualquier tipo de sensor conocido a partir de la técnica que sea adecuado para la detección de vibraciones y/o de sonido. El sensor puede disponerse teniendo una conexión mecánica con la caja 125 de cambios de velocidades, en una ubicación en sus proximidades o en cualquier ubicación adecuada en la góndola o la torre 110 de turbina eólica. Una unidad 250 de detección se conecta para recibir una señal de salida del sensor. La unidad de detección analiza continua o intermitentemente la señal de sensor con respecto a su espectro de frecuencia a través de un algoritmo de detección, tal como una transformada rápida de Fourier (FFT) o una transformada discreta de Fourier (DFT). Algoritmos y técnicas adecuados para este fin se conocen bien por los expertos en la técnica. La unidad de detección está adaptada habitualmente para comparar unos niveles de señal a unas frecuencias o a unos intervalos de frecuencias determinados con unos umbrales o valores límite predefinidos para las frecuencias o intervalos respectivos. Los valores umbral se almacenan en una unidad 260 de memoria de datos de referencia. La misma incluye unos datos para los valores umbral de la señal de sensor para una pluralidad de frecuencias de referencia. Habitualmente, un intervalo de frecuencias de 40 a 1.800 Hercios se divide en unos canales de una anchura de 2 Hercios cada uno. Para cada canal, por ejemplo de 420 a 422 Hercios, la unidad de memoria comprende un valor umbral. Habitualmente, la anchura de los canales de frecuencia para los que se almacenan en la unidad de memoria unos límites de amplitud se corresponden con los intervalos de frecuencias que se supervisan mediante la unidad 50 250 de detección.

- La unidad 250 de detección se acopla a una unidad 270 de control. La unidad de control puede ser una parte del sistema de control de la turbina eólica o estar acoplada a la misma. Ésta está adaptada para recibir señales a partir de la unidad 250 de detección. Cuando la unidad de detección indica la cantidad en la que se excede un valor umbral para una o más frecuencias o intervalos de frecuencias, la unidad de control reacciona alterando al menos un parámetro de control de la turbina eólica, habitualmente el par motor del generador. Unos parámetros adecuados también incluyen la velocidad del rotor y el ángulo de paso de los álabes del rotor. El valor umbral para la frecuencia 55

o el intervalo de frecuencias respectivos se almacena en la unidad 260 de memoria de datos de referencia. Al menos un parámetro de funcionamiento de la turbina eólica se controla/se cambia mediante la unidad 270 de control hasta que la amplitud de la componente tonal se ha disminuido suficientemente. Los valores umbral permitidos almacenados en la unidad de memoria de datos de referencia se determinan habitualmente según el comportamiento de emisión deseado de la turbina eólica individual y la configuración individual del sistema, por ejemplo de la ubicación y del tipo del sensores. Por lo tanto, los valores umbral pueden variar significativamente dependiendo del entorno en el que se aplica la invención. Por consiguiente, todos los números que se proporcionan a continuación han de considerarse sólo como ejemplos, que no limitan el alcance de la invención.

Los inventores han llevado a cabo pruebas con turbinas eólicas midiendo las emisiones tonales de cajas de cambios. En el entorno de pruebas, se encontró que las amplitudes típicas de las emisiones tonales en un intervalo de 50 Hz a 1.800 Hz estaban en un intervalo de 0,1 mm/s a 2,0 mm/s (de 66 a 92 dB) al realizarse la medición con un vibrosensor acústico ubicado en una caja de cambios. Intervalos similares (de 0,04 a 0,8 mPa (de 66 a 92 dB)) pueden aplicarse a las mediciones con un micrófono en la góndola.

Un escenario que muestra el uso del sistema según una realización de la presente invención es tal como sigue. Durante un aumento en la velocidad del viento, la turbina eólica aumenta la velocidad del rotor con un par motor constante y aumenta el par motor cuando las desviaciones con respecto a una curva de velocidad/par motor predeterminada se han hecho demasiado grandes. Durante el aumento de la velocidad del rotor, la unidad 250 de detección detecta un aumento en la amplitud a 131 Hz en la señal del micrófono, por ejemplo en el canal que cubre el intervalo de 130 Hz a 132 Hz. La amplitud tiene un valor de 250 mPa tal como se mide mediante el micrófono en la torre 110. En la unidad de detección, este valor se compara con el valor umbral para esta frecuencia almacenada en la unidad de memoria de datos de referencia, que se encuentra que es de 200 mPa. Por consiguiente, el algoritmo en la unidad de detección decide que la emisión tonal ha excedido el límite permitido e indica este hecho a la unidad 270 de control. La unidad de control decide acerca de la estrategia para reducir la amplitud dependiendo de los parámetros de funcionamiento actuales. En este caso, la unidad de control decide mantener el par motor del generador por debajo de la curva de par motor/velocidad óptima con el fin de acelerar el aumento en la velocidad del rotor adicionalmente, con el objeto de guiar la turbina fuera del intervalo de velocidad en el que el pico de emisión tiene lugar de forma tan rápida como sea posible. Durante el aumento de velocidad del rotor, la frecuencia de emisión de la componente tonal aumenta al mismo ritmo que la velocidad, debido a que se produce por unos efectos mecánicos que se relacionan con velocidad del tren de transmisión. Por consiguiente, como la velocidad del rotor aumenta, la unidad de control detecta una amplitud en un canal próximo con la frecuencia más alta de 135 Hz y una amplitud de 150 mPa. A 135 Hz, el valor umbral almacenado en la unidad de memoria es de 210 mPa. Debido a que la amplitud de 150 mPa se calcula mediante la unidad de detección para ser un 28 % más baja que el valor umbral respectivo, la unidad de detección indica a la unidad de control que ha dejado de existir una cantidad en la que se excede un umbral. Por consiguiente, la unidad de control aumenta entonces el par motor a una velocidad ahora constante con el fin de volver a la proporción de par motor/velocidad óptima.

En otra realización, la velocidad del rotor se cambia mediante el control del par motor del generador hasta que una amplitud detectada de una componente tonal ha caído a un porcentaje determinado del valor umbral para la frecuencia respectiva. Se define habitualmente que este porcentaje está en un intervalo de entre un 5 % y un 99 %, más habitualmente de entre un 30 y un 90 %, por ejemplo de un 50 %.

En otra realización, la velocidad del rotor se cambia mediante un porcentaje predefinido cuando se detecta una emisión tonal. El cambio de velocidad se logra habitual, pero no necesariamente mediante el control del par motor del generador. La mayoría de las emisiones tonales se produce por efectos que se relacionan con las partes en movimiento del tren de transmisión y tienen lugar sólo a frecuencias determinadas. Debido a que alterando la velocidad del rotor también se cambia la velocidad de la caja de cambios, del generador y de otras partes en movimiento del tren de transmisión, puede verse influenciado su comportamiento de emisión. A modo de ejemplo, un cambio de velocidad del rotor en un intervalo de un 1 a un 6 % puede ser suficiente para reducir la amplitud de unas emisiones tonales inducidas por resonancia en más de un 50 %. Más habitualmente, el intervalo es de un 2 a un 4 %, por ejemplo de un 3 %.

En un escenario, una emisión tonal tiene lugar a una frecuencia de 262 Hz a una velocidad del rotor de 13,3 rpm. El vibrosensor 200 acústico ubicado en la góndola 115 entrega una señal a la unidad 250 de detección que es equivalente a una velocidad de vibración de 0,25 mm/s o a 74 dB. La unidad de detección detecta el pico de emisión a 262 Hz y compara la amplitud de 0,25 mm/s con el valor umbral almacenado en la unidad 260 de memoria de datos de referencia para esta frecuencia, que es de 0,1 mm/s. Por consiguiente, la unidad de detección decide que la señal excede el valor permitido y entrega una señal respectiva a la unidad 270 de control. La unidad de control reduce o aumenta entonces la velocidad del rotor en el porcentaje predefinido de un 3 %. Si la velocidad se reduce o se aumenta depende de una diversidad de factores que incluyen las condiciones actuales del viento, los parámetros de funcionamiento de la turbina eólica y similares.

Es obvio para el experto en la técnica que los detalles de control de una turbina eólica con el fin de reducir las emisiones tonales dependen de una diversidad de factores. Por consiguiente, los diversos procedimientos de control que se describen anteriormente pueden modificarse o combinarse dependiendo del caso de uso real y aún así se considera que caen dentro del alcance de la presente invención.

La figura 3 muestra otra realización de la presente invención, según la cual el sensor 200 se acopla a una unidad 230 de preamplificación. La unidad de preamplificación está acompañada habitualmente por una unidad 240 de filtro. El sensor puede también estar integrado con la unidad de preamplificación y/o la unidad de filtro. La unidad de filtro sirve para reducir el ancho de banda de la señal recibida a partir de la unidad de preamplificación a un intervalo de frecuencias de interés, que es habitualmente de entre 30 y 2.000 Hercios. El sistema además comprende una segunda unidad 280 de memoria adaptada para almacenar unos datos que se relacionan con los parámetros de funcionamiento de la turbina eólica y unos datos que se relacionan con unas componentes tonales detectadas previamente. La segunda unidad de memoria puede servir como fuente para unos datos anteriores en unas emisiones tonales a diversas velocidades de rotación de la turbina eólica. Los datos típicos almacenados son la frecuencia y la amplitud de la emisión tonal así como la velocidad del rotor y el par motor en el instante de la aparición. En el caso de un fallo del sensor 200 o del sistema 250 de detección, la segunda unidad 280 de memoria proporciona unos datos de referencia a la unidad 270 de control como un sistema de reserva. En este caso, la unidad de control recibe información a partir de la segunda unidad de memoria. Si los datos recibidos indican que las emisiones tonales que excedieron los valores límite tuvieron lugar durante un funcionamiento en un instante anterior con los parámetros de funcionamiento actuales como la velocidad del rotor y/o el par motor del generador, la unidad de control puede alterar al menos uno de los parámetros de funcionamiento según uno de los procedimientos de control descritos anteriormente.

La figura 4 muestra un diagrama del procedimiento usado para la reducción de las emisiones tonales según una realización de la presente invención. En una primera etapa 300, las emisiones acústicas de la turbina eólica se supervisan mediante un sensor. En una segunda etapa 310, la señal de sensor se amplifica y opcionalmente se filtra. Entonces, la señal se transfiere a una unidad de detección, en la que un algoritmo de detección detecta unos picos de emisión y sus frecuencias en una etapa 320. Habitualmente, el algoritmo se implementa como unos medios de hardware o de software. El algoritmo está adaptado para decidir si una amplitud de una componente tonal excede un nivel predefinido. Si se detecta o se mide una cantidad en exceso, esta información se transfiere a una unidad de control, que inicia un cambio de al menos un parámetro de control para reducir la amplitud de la emisión tonal en una etapa 330. Esto incluye habitualmente el control de uno o de una pluralidad de entre de los parámetros de funcionamiento del par motor del generador, la velocidad del rotor y del paso de los álabes del rotor. Es obvio para un experto en la técnica que el procedimiento descrito anteriormente puede llevarse a cabo y modificarse de una diversidad de formas que aún quedan dentro del alcance de la presente invención. Además, es obvio que las etapas del procedimiento pueden llevarse a cabo después de unos intervalos de tiempo elegidos de forma adecuada, habitualmente de 5 a 2.000 milisegundos, más habitualmente de 50 a 1.000 milisegundos, por ejemplo de 200 milisegundos o repetirse de forma continua. Un experto en la técnica conoce un procedimiento típico para llevar a cabo las mediciones como la superposición a 2/3. A modo de ejemplo, en este caso un espectro que se basa en una muestra de tiempo de por ejemplo 500 ms se calcula cada 166,6 ms.

En otra realización de la invención, el ritmo de cambio de la velocidad de rotación se aumenta a través de un cambio de un parámetro de control cuando se detecta un aumento de una componente tonal durante un cambio de velocidad de rotación del rotor. Alternativamente, se reduce el ritmo de cambio de la velocidad de rotación cuando se detecta un aumento de una componente tonal durante un cambio de velocidad de rotación del rotor. Ambas alternativas se implementan habitualmente en un algoritmo que se usa para el control de los parámetros de funcionamiento y que se implementa en la unidad de control. Habitualmente, el ritmo de cambio de la velocidad de rotación se potencia si se reconoce que la amplitud de una emisión tonal excede un valor umbral. El objeto es el guiado de la turbina eólica fuera del intervalo de frecuencias en las que la emisión tiene lugar. No obstante, si las condiciones del viento son demasiado fuertes, puede ser más apropiada una reducción de la velocidad del rotor con el fin de no dar lugar a una sobrecarga de la turbina eólica.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema para la reducción de ruido de una turbina (100) eólica, que comprende:
- 5 al menos un sensor (200) acústico que proporciona una señal;
 una unidad (250) de detección; y
 una unidad (270) de control; **caracterizado porque**
 dicho sensor acústico está acoplado a la turbina eólica; dicha unidad (250) de detección está adaptada para recibir una señal de sensor y para detectar una componente tonal en dicha señal; y dicha unidad de control está adaptada para recibir una entrada a partir de dicha unidad (250) de detección, y para controlar al menos un parámetro de control de turbina eólica en función de una amplitud de dicha componente tonal con el fin de reducir dicha amplitud.
- 10
2. El sistema según la reivindicación 1, en el que dicho parámetro de funcionamiento de la turbina (100) eólica se elige a partir del grupo que consiste en el par motor, la velocidad de rotación del rotor y el ángulo de paso de los álabes (140) del rotor.
3. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en el que dicho sensor (200) se prevé en una góndola de dicha turbina (100) eólica.
- 15
4. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en el que dicho sensor (200) se elige a partir del grupo que consiste en un micrófono, y un sensor de vibración.
5. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en el que dicha unidad (250) de detección está adaptada para detectar una componente tonal en un intervalo de frecuencias de entre 30 Hercios y 2.000 Hercios.
- 20
6. El sistema de cualquier reivindicación anterior, que además comprende una unidad (260) de memoria de datos de referencia que almacena al menos un valor umbral para la amplitud de al menos una componente tonal de una frecuencia específica.
7. Un procedimiento para reducir las emisiones de ruido tonal de una turbina (100) eólica, que comprende las etapas de:
- 25 supervisar una emisión acústica de dicha turbina eólica; **caracterizado por**
 detectar una componente tonal en dicha emisión acústica, estando dicha emisión acústica supervisada mediante un sensor acústico acoplado a la turbina eólica; y
 si una amplitud de dicha componente tonal excede un nivel predefinido, controlar al menos un parámetro de control de dicha turbina (100) eólica con el fin de reducir dicha amplitud de dicha componente tonal.
- 30
8. El procedimiento según la reivindicación 7, en el que el al menos un parámetro de funcionamiento se elige a partir del grupo que consiste en el par motor, la velocidad del rotor y el paso de los álabes (140) del rotor.
9. El procedimiento según la reivindicación 7 o la reivindicación 8, en el que dicho al menos un parámetro de control se controla hasta que una amplitud de dicha componente tonal se ha disminuido por debajo de un valor umbral predefinido.
- 35
10. El procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, en el que dicho al menos un parámetro de control se controla con el fin de cambiar la velocidad del rotor alrededor de un porcentaje predefinido.

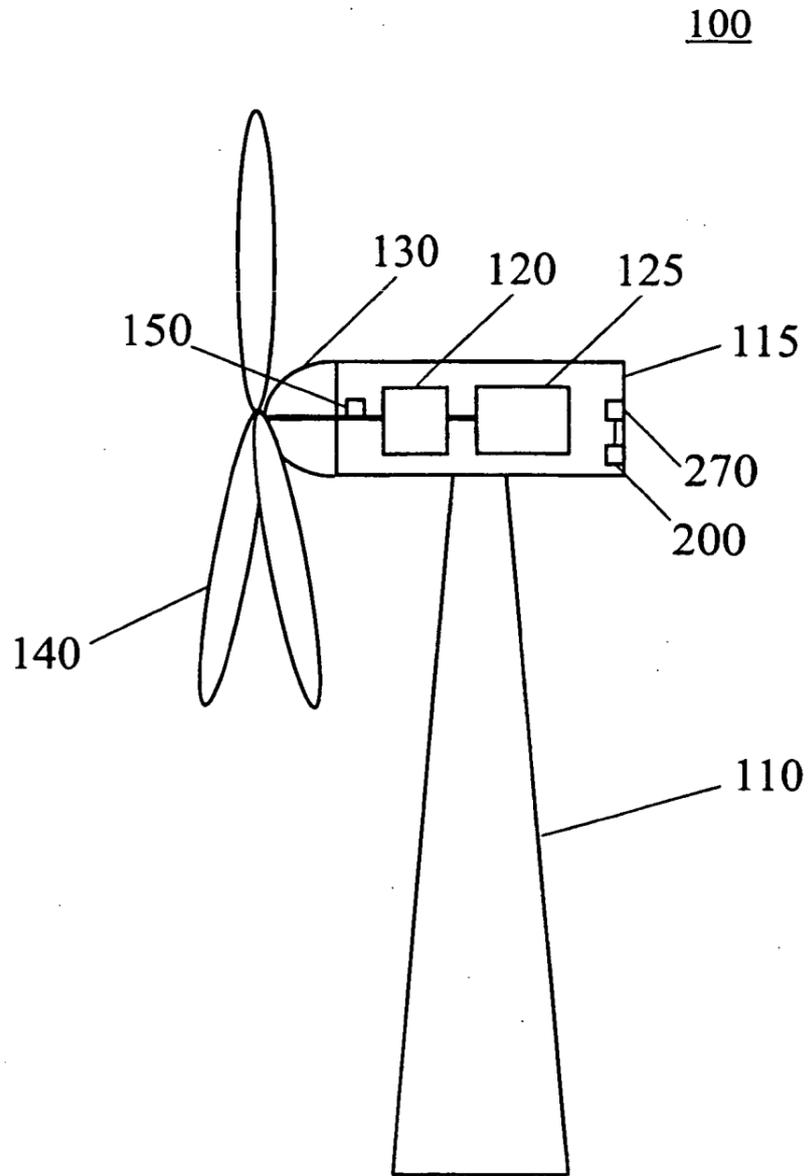


Fig. 1

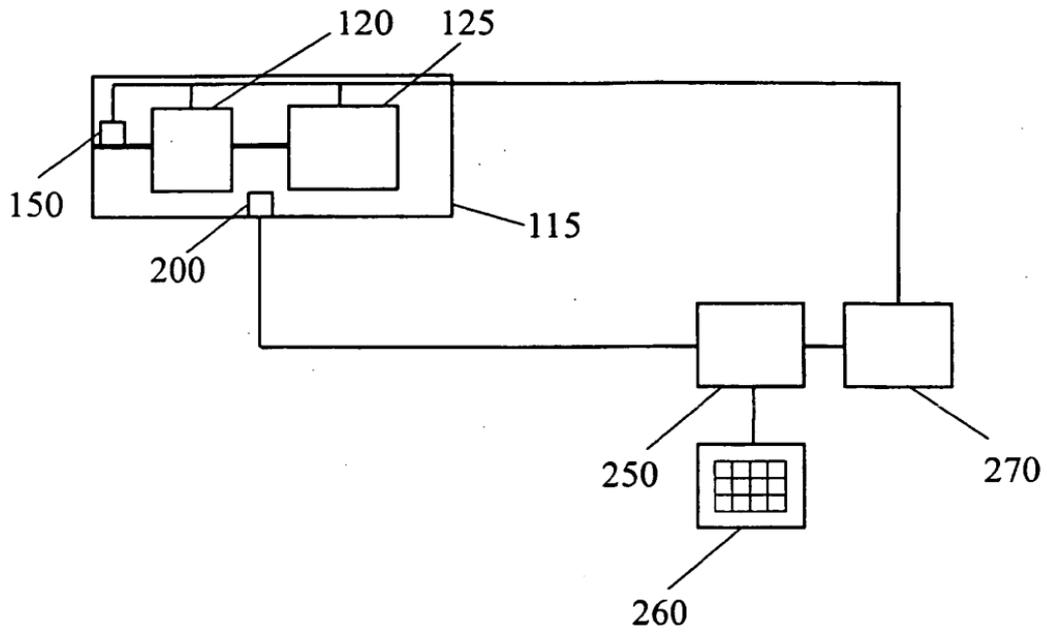


Fig. 2

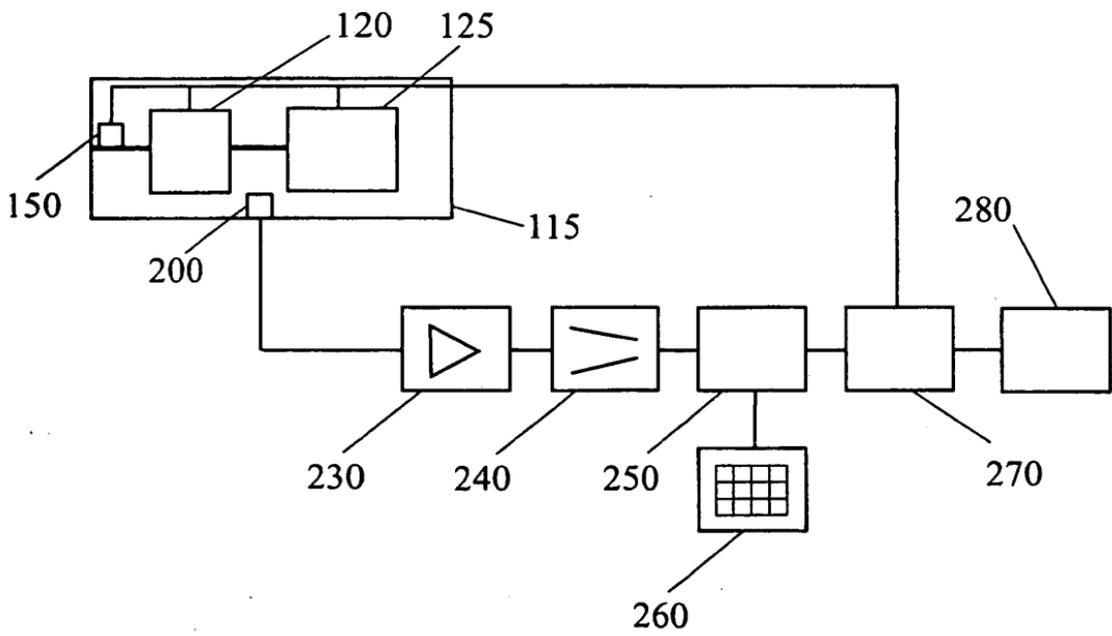


Fig. 3

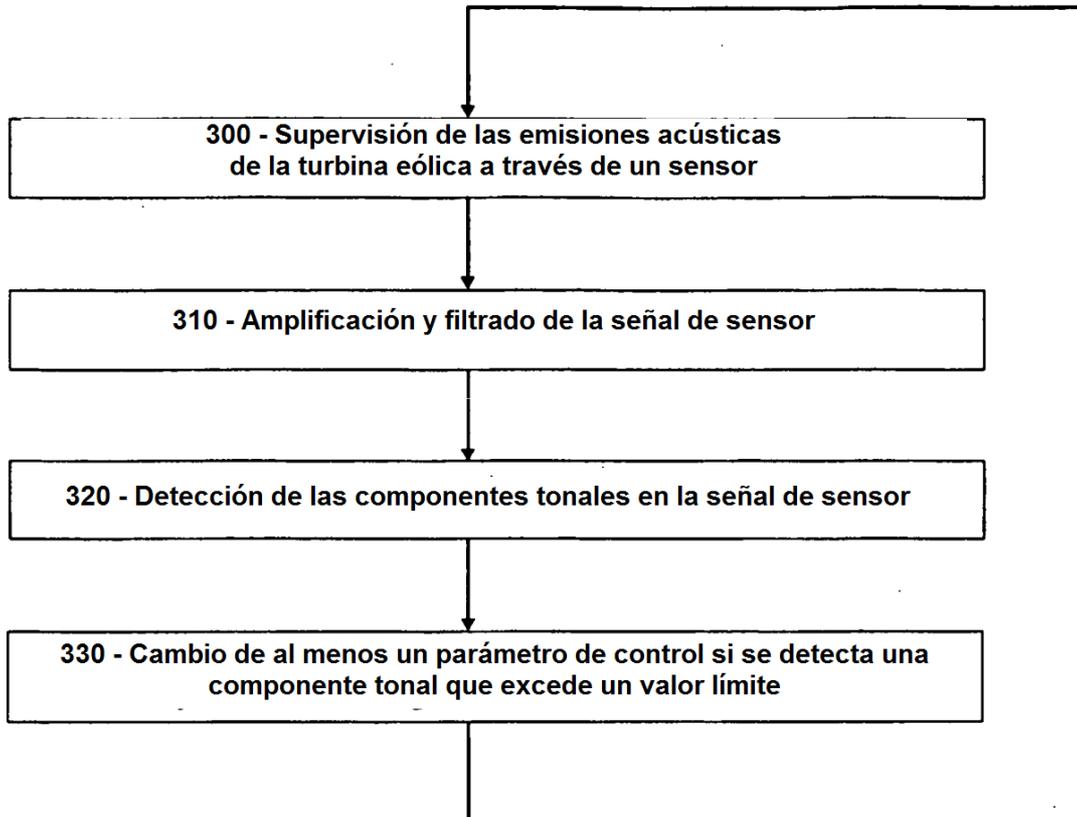


Fig. 4