

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 780 173**

51 Int. Cl.:

F03D 17/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.06.2011** E 11169777 (7)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.01.2020** EP 2535579

54 Título: **Procedimiento para monitoreo acústico de una turbina eólica, sistema de monitoreo acústico para una turbina eólica y kit de reequipamiento**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
24.08.2020

73 Titular/es:

**SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY A/S
(100.0%)
Borupvej 16
7330 Brande, DK**

72 Inventor/es:

**ANDERSEN, JIMMI;
JENSEN, DENNIS SOEBYE y
EGEDAL, PER**

74 Agente/Representante:

LOZANO GANDIA, José

ES 2 780 173 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para monitoreo acústico de una turbina eólica, sistema de monitoreo acústico para una turbina eólica y kit de reequipamiento

5

Procedimiento para monitoreo acústico de una turbina eólica, sistema de monitoreo acústico para una turbina eólica y kit de reequipamiento

10

La presente invención se refiere a un procedimiento para el monitoreo acústico de una turbina eólica, concretamente para el monitoreo de la existencia de objetos sueltos dentro de la turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 1, mediante el cual se monitorea un sonido generado en una parte giratoria de la turbina eólica durante el funcionamiento de la turbina eólica. También se refiere a un sistema de monitoreo acústico para una turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 13 y un kit de reequipamiento, también llamado modernización, para establecer un sistema de monitoreo acústico para una turbina eólica.

15

Los objetos sueltos, como objetos metálicos sueltos, por ejemplo, pernos, tornillos, placas y otros, pueden causar daños graves dentro de una turbina eólica, en particular a aquellas partes que se mueven durante el funcionamiento de la turbina eólica y/ las partes funcionales eléctricas, electrónicas respectivamente hidráulicas. Dicho objeto suelto será transportado por una parte móvil, en particular por una parte giratoria como el cubo de la turbina eólica. Los objetos sueltos dentro de un cubo se elevan hasta cierta altura y luego se vuelven a caer. Por ejemplo, si un objeto suelto se encuentra en el fondo del cubo cuando el cubo comienza a girar, el objeto será transportado más alto debido al movimiento de rotación del cubo y caerá nuevamente debido a la gravedad. Esto continúa repetidamente durante el funcionamiento de la turbina eólica, de modo que se producen más y más daños, en particular en aquellas regiones en las que los objetos pueden golpear partes particularmente vulnerables.

20

El monitoreo acústico de las centrales de energía eólica puede servir para varios propósitos. El documento US 6785637 B1 y su correspondiente solicitud de patente internacional WO 01/25631 A1 han propuesto un procedimiento de monitoreo acústico de una central de energía eólica para detectar conexiones de tornillo sueltas. El procedimiento que se describe allí incluye que un espectro de frecuencias de sonidos de la turbina eólica realmente adquirido se resta de un espectro de frecuencia de referencia. Este espectro de diferencia resultante se puede inspeccionar más a fondo y se puede activar una alarma en caso de anomalías. En particular, el espectro de diferencia puede ser monitorizado por el personal para descubrir tales anomalías. Está claro que dicho sistema y procedimiento de monitoreo es bastante complejo y requiere grandes recursos de poder computacional y en algunos casos también de mano de obra. Además, la metodología de evaluación de anomalías es bastante vaga, ya que se basa al menos parcialmente en el juicio humano más que en criterios objetivos.

30

La solicitud de patente europea EP 2 026 160 A1 y la solicitud de patente japonesa JP 2010-281279 A también se refieren a procedimientos de monitoreo acústico en el contexto de turbinas eólicas. Además del monitoreo del sonido, la solicitud de patente internacional WO 02/079646 A1 propone utilizar cámaras dentro de la turbina eólica para poder seguir visualmente un sonido problemático detectado por la captación de sonido. La solicitud de patente internacional WO 2010/040832 A1 se refiere a la detección de impactos de aves en una pala de turbina eólica mediante monitoreo de sonido. Sin embargo, ninguno de estos documentos aborda el problema de detectar la presencia de un objeto suelto dentro de una parte giratoria de la turbina eólica.

40

Por lo tanto, el objeto de la invención es proporcionar una posibilidad de cómo controlar el sonido dentro de una turbina eólica de una manera mejorada. Tal mejora es particularmente deseable con respecto a la sencillez de operación y/o menores costos y/o mayor efectividad en la operación y/o efectividad en los resultados, preferentemente en relación con todos estos criterios.

50

Este objetivo se cumple mediante un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, un sistema de monitoreo acústico de acuerdo con la reivindicación 13 y un kit de reequipamiento de acuerdo con la reivindicación 15.

55

En este contexto, el procedimiento mencionado anteriormente se mejora según la invención por el hecho de que el sonido generado por un objeto suelto que cae repetidamente dentro de una parte giratoria de la turbina eólica se analiza con respecto a valores de parámetros específicos del sonido dentro de al menos un rango de frecuencia específico en el que generalmente no se esperan sonidos, y si dichos valores de parámetros específicos se detectan dentro de un rango de frecuencia específico, se genera una señal para posibles acciones adicionales.

60

El sonido que se controla comprende, preferentemente predominantemente, un sonido producido en el interior de la parte giratoria de la turbina eólica. Esto es particularmente importante para el monitoreo de tales problemas causados por el mal funcionamiento interno de la turbina eólica, tal como objetos sueltos. Predominantemente en este contexto significa que se toman medidas para detectar un sonido cuyo al menos el 30%, preferentemente al menos el 50%, lo más preferente al menos el 70% proviene del interior de la parte giratoria de la turbina eólica.

65

Esto puede realizarse, por ejemplo, colocando y/o dirigiendo un componente de conversión de sonido, como un micrófono o similar, dentro de la parte giratoria en cuestión. Otras medidas pueden incluir filtrar o proteger los sonidos provenientes de otros lugares que no sean el interior de la turbina eólica. La parte giratoria puede ser, en particular, el cubo de la turbina eólica, como se describe anteriormente.

5 Por lo tanto, este sonido se analiza con respecto a estos valores de parámetros específicos, lo que significa que estos valores de parámetros se derivan, por ejemplo, del sonido.

10 El término "rangos de frecuencia específicos" se define como rangos de frecuencia seleccionados, es decir, en contraste con el rango de frecuencia total (es decir, general) del sonido, preferentemente del sonido que se controla, se excluyen algunas frecuencias. En otras palabras: si se restan esas frecuencias excluidas del rango de frecuencia total, se llega a los rangos de frecuencia específicos. Los inventores han descubierto que hay ciertos rangos de frecuencia en los que las partes giratorias de la turbina eólica producen sonidos en un modo de funcionamiento normal, es decir, sin distracciones. Por el contrario, existen otros rangos de frecuencia, es decir, 15 los rangos de frecuencia específicos que se controlan en el contexto de la invención, en los que normalmente no se genera o casi no se genera sonido alguno. Por lo tanto, el análisis del sonido se limita a esos rangos de frecuencia muy específicos en los que casi no se esperan sonidos. Por lo tanto, uno puede enfocarse en estos rangos de frecuencia específicos seleccionados para un análisis posterior sin tener en cuenta los otros rangos de frecuencia. Es en estos rangos de frecuencia específicos en los que se pueden esperar señales en el sonido que 20 pueden representar anomalías en el funcionamiento de la parte giratoria de la turbina eólica, en particular, como se describió anteriormente, la existencia de objetos sueltos. El sonido dentro de estos rangos de frecuencia específicos representa un tipo de disonancia representativa de posibles fallas en el funcionamiento de la turbina eólica.

25 Por lo tanto, la invención hace uso de la limitación del enfoque para el monitoreo de solo algunos rangos de frecuencia seleccionados, que de hecho pueden ser rangos bastante pequeños, en lugar de tener en cuenta el rango de sonido completo como en el estado de la técnica. Por lo tanto, en primer lugar, los recursos computacionales se pueden guardar mientras que, en segundo lugar, el claro enfoque en esos rangos de frecuencia específicos limitados también permite un análisis más detallado y sistemático de las frecuencias en 30 cuestión. Por lo tanto, puede esperarse que el procedimiento de acuerdo con la invención pueda ser altamente preciso y muy efectivo al mismo tiempo.

Si se detectan valores de parámetros específicos particulares, tales como las señales de amplitud de un determinado valor, dentro de esos rangos de frecuencia específicos seleccionados, se genera una señal que 35 puede desencadenar acciones adicionales como una verificación cruzada por otros sistemas, una alarma o incluso un completo cierre de la operación de la turbina eólica hasta que el personal haya inspeccionado la turbina eólica en el sitio. Por lo tanto, la señal no necesita automáticamente más acciones, sino que también se puede entregar para su posterior procesamiento y evaluación. Por ejemplo, el personal también puede escuchar una grabación del sonido y/o del rango de frecuencia específico del sonido o convertirla y analizarla más a fondo. De este modo, incluso se puede evaluar qué tipo de objeto suelto, ya sea peligroso para la operación o no, se ha 40 desprendido. De esta manera, es posible tomar diferentes medidas en función de los resultados de dicho análisis adicional.

45 Se define en la reivindicación 13 un sistema de monitoreo acústico del tipo mencionado anteriormente.

De este modo, algunos de estos componentes del sistema de monitoreo acústico pueden realizarse únicamente como componentes de software que se ejecutan en un procesador, así como en hardware puro, pero también como una combinación de ambos. Las soluciones de software pueden realizarse en particular en el contexto de la unidad de análisis y de la unidad de generación, mientras que la unidad de monitoreo de sonido puede 50 comprender una unidad de evaluación basada en software y posibles unidades de hardware que alimentan la unidad de evaluación con señales de sonido. Por lo tanto, la unidad de monitoreo de sonido puede comprender un dispositivo de entrada y una unidad de evaluación, por lo que el dispositivo de entrada puede realizarse, por ejemplo, como un componente de conversión de sonido tal como se mencionó anteriormente.

55 Se puede concluir que el sistema de monitoreo acústico de acuerdo con la invención puede usarse para llevar a cabo el procedimiento de acuerdo con la invención.

60 La invención también se refiere a una turbina eólica con un rotor y un generador y con un sistema de monitoreo acústico de acuerdo con la invención. Se refiere además a un kit de reequipamiento para establecer un sistema de monitoreo acústico para una turbina eólica, en particular para el monitoreo de la existencia de objetos sueltos dentro de la turbina eólica, tal turbina eólica está realizada preferentemente de acuerdo con la invención.

65 Dicho kit de reequipamiento comprende al menos una unidad de análisis que se realiza de tal manera que analiza el sonido con respecto a valores de parámetros específicos del sonido dentro de al menos un rango de frecuencia específico. En otras palabras, el kit de reequipamiento puede ser simplemente una unidad de análisis y no comprender más partes, tal vez aparte de interfaces para conectarse a otras partes como las mencionadas

en el contexto del sistema de monitoreo acústico de acuerdo con la invención. Con este kit de reequipamiento es posible establecer un sistema de monitoreo acústico mediante el uso de componentes de sistemas de monitoreo existentes o, de hecho, de cualquier otro sistema que no esté directamente conectado previamente con el monitoreo acústico.

5

Realizaciones y características de la invención particularmente ventajosas vienen dadas por las reivindicaciones dependientes, como se revela en la siguiente descripción. De este modo, las características reveladas en el contexto del procedimiento de acuerdo con la invención también pueden realizarse en el contexto del sistema de monitoreo acústico y viceversa.

10

Según un modo de realización preferente, las frecuencias dentro de al menos uno de los intervalos de frecuencia específicos se filtran al menos parcialmente. Tal filtrado puede significar que esas frecuencias particulares dentro del rango de frecuencia específico se filtran del sonido general, pero en particular se prefiere filtrar todos los sonidos de otros rangos de frecuencia y luego tener el rango de frecuencia específico en cuestión como resultado. Esto significa que solo se permite más sonido dentro del rango de frecuencia específico para un análisis. Dichos filtros pueden incluir filtros de paso bajo y/o paso de banda y/o de parada de banda. Se prefiere tener un filtro de paso alto, porque los inventores han descubierto que, en particular, los objetos sueltos en las turbinas eólicas producen sonidos de frecuencias bastante altas, es decir, superiores a 1 kHz. Por lo tanto, también se prefiere que al menos un rango de frecuencia específico seleccionado esté por encima de 1 kHz, preferentemente por encima de 1,5 kHz, lo más preferente por encima de 2 kHz. Esto asegura que las altas frecuencias causadas por objetos sueltos se incluirán en el análisis.

15

20

25

30

35

Los rangos de frecuencia específicos y también los valores de parámetros específicos que se buscan pueden derivarse por varios procedimientos. Por ejemplo, es posible derivar al menos un rango de frecuencia específico y/o un valor de parámetro específico de una base de datos. Dicha base de datos puede, por ejemplo, incluir resultados de pruebas anteriores y, por lo tanto, funcionar como una especie de base de conocimiento estandarizada sobre la base de los sonidos que se analizan. Otra posibilidad, que puede usarse como alternativa o como característica adicional, es determinar al menos un rango de frecuencia específico y/o un valor de parámetro específico durante la operación de la turbina eólica y/o de un modelo de turbina eólica representativa de la turbina eólica. Dicho modelo de turbina eólica representativo de la turbina eólica en cuestión puede ser típicamente del mismo tipo, es decir, de la misma marca, de turbina eólica o de un tipo similar de turbina eólica para la cual se esperan valores de parámetros similares y/o un comportamiento de frecuencia similar. En otras palabras, los valores experimentales se derivan en condiciones de la turbina eólica que son al menos muy similares a aquellas en las que se opera la turbina eólica en cuestión, de modo que se garantiza que la exactitud de detección de anomalías sea lo más alta posible.

40

45

50

En este contexto de derivación experimental de valores de parámetros específicos y/o rangos de frecuencia específicos, se puede utilizar un análisis de información de fase relacionada con el sonido de la turbina eólica. Esta información de fase se puede analizar, por ejemplo, mediante el análisis FFT, es decir, el análisis de transformación rápida de Fourier. En este contexto, debe destacarse que dicho análisis no será necesario en una etapa posterior durante la operación del sistema de monitoreo acústico para fines de monitoreo, sino que solo entrega la base de datos para seleccionar los rangos de frecuencia específicos en cuestión y/o el parámetro específico valores que se analizarán por sí solos después.

Se puede esperar que dentro del rango de sonido habrá sonidos en prácticamente cualquier rango de frecuencia del espectro. Por lo tanto, puede ser necesario que la detección del valor del parámetro específico se lleve a cabo solo si el valor del parámetro específico está por encima o por debajo de un cierto valor umbral. Dicho valor umbral puede ser definido por un filtro, pero también puede ser inherente al sistema de monitoreo acústico debido a la sensibilidad de medición de un dispositivo de entrada que convierte el sonido en señales de sonido eléctricas o electrónicas. Al introducir dicho valor umbral o valores umbral, se puede asegurar que no se considera ningún sonido dentro del rango de frecuencia específico, que es solo un tipo de ruido de fondo y, de hecho, no indica ningún tipo de anomalías en el funcionamiento de la turbina eólica.

55

60

Con respecto a los valores de parámetros específicos en cuestión, se prefiere que al menos uno de estos dentro de al menos uno de los rangos de frecuencia específicos represente una amplitud de una o más frecuencias dentro del rango de frecuencia específico. Eso significa que se pueden combinar varias frecuencias dentro del rango de frecuencia específico y tomar sus amplitudes juntas o que se puede considerar cualquier frecuencia particular por sí sola y se puede monitorear su amplitud. Un valor de parámetro que representa una amplitud puede ser un valor de amplitud en sí mismo o un valor del cual se puede derivar directa o indirectamente un valor de amplitud mediante procedimientos de cálculo simples, por lo que no es necesario utilizar mediciones adicionales para llegar al valor de amplitud.

65

El análisis de los valores de parámetros específicos puede comprender el procesamiento digital, pero también puede transferirse simplemente a través de un filtro de umbral como se indicó anteriormente. Si uno analiza la amplitud de las frecuencias dentro del rango de frecuencia específico, indirectamente analizará el volumen del sonido dentro de este rango de frecuencia específico. A cambio, eso significa que cuanto más fuerte es el

sonido, más alarmante puede ser el estado de la turbina eólica. Por ejemplo, si un objeto suelto grande produce sonidos dentro de la turbina eólica, uno puede esperar que el sonido que genera sea mucho más fuerte que el de un objeto suelto más pequeño (siempre que tengan la misma densidad de masa). Un objeto más grande de la misma densidad de masa también significará un mayor peligro para el funcionamiento de la turbina eólica.

Por lo tanto, analizar el sonido dentro del rango de frecuencia específico con respecto a la amplitud de esas frecuencias, también puede dar una indicación indirecta de la gravedad de la anomalía que actualmente ocurre dentro de la parte giratoria de la turbina eólica. Analizar la amplitud es, por lo tanto, un medio muy efectivo y directo de monitoreo del sonido dentro del rango de frecuencia específico.

Generalmente, es posible generar una sola señal en cualquier momento cuando se puede detectar un valor de parámetro específico dentro de cualquiera de los rangos de frecuencia específicos. Preferentemente, se integran un número y/o una duración de ocasiones de detecciones de los valores de parámetros específicos y/o valores que representan un nivel de los valores de parámetros específicos. Eso significa que habrá un contador o un integrador que cuenta con qué frecuencia y/o que integra cuánto tiempo se detectan los valores de parámetros específicos y/o agrega a lo largo del tiempo diferentes niveles de los valores de parámetros específicos. Por ejemplo, si un valor de parámetro específico dentro del rango de frecuencia específico solo se detecta en un instante y nunca más tarde por un tiempo más prolongado, se puede esperar que haya ocurrido alguna influencia en la turbina eólica que no se repita de por sí y que probablemente no representa una amenaza particular para el funcionamiento de la turbina eólica. Por el contrario, si hay una detección constante de valores de parámetros específicos, posiblemente también con una intensidad alta (es decir, un nivel de valor de parámetro alto), esto puede constituir un estado de alarma alta y posiblemente desencadenar una interrupción inmediata del funcionamiento de la turbina eólica para evitar daños mayores. Integrar la duración y/o el número de ocasiones de detecciones de los valores de parámetros específicos dentro de los rangos de frecuencia específicos y/o de valores que representan un nivel de los valores de parámetros específicos es, por lo tanto, un medio eficaz de cómo evaluar la calidad de las anomalías que ocurren dentro de la turbina eólica. Esto puede generarse de forma sorprendentemente fácil mediante un simple contador y/o mecanismo integrador que incluso puede realizarse como un sistema analógico en lugar de uno digital. Sin embargo, también es posible utilizar un sistema digital en lugar de uno analógico.

En este contexto, también es posible generar, en base a dicha integración, diferentes niveles de alarma dependiendo del número y/o la duración de las detecciones y/o valores que representan un nivel de los valores de parámetros específicos. Se prefiere que se active un primer nivel de alarma en un primer nivel de números y/o duraciones de detecciones y/o valores acumulados que representan un nivel de los valores de parámetros específicos y que se active un segundo nivel de alarma en un segundo nivel de tales valores integrados. El primer nivel se puede caracterizar, por ejemplo, al encender una señal de alarma, como una luz de alarma o similar, mientras que en el segundo nivel de alarma, posiblemente, se puede activar una interrupción inmediata de la operación de la turbina eólica activando el sistema de frenado de emergencia de la turbina eólica.

Como se describió anteriormente, se pueden usar diferentes dispositivos de entrada, es decir, componentes de conversión de sonido, para convertir el sonido en señales de sonido eléctricas y/o electrónicas. Por ejemplo, se puede usar un micrófono, es decir, un dispositivo que convierte las vibraciones en el aire (o cualquier gas) en señales eléctricas o electrónicas. Alternativamente, se pueden usar componentes piezoeléctricos, es decir, dispositivos que convierten las vibraciones corporales de cuerpos líquidos o sólidos en señales eléctricas o electrónicas.

En cuanto a la ubicación en la que el sonido se convierte en señales de sonido, de acuerdo con una primera realización de la invención, esto se lleva a cabo en el exterior de la turbina eólica. Esto tiene la ventaja de que se puede generar una impresión general de los sonidos de la turbina eólica, mientras que aún es posible enfocarse en los sonidos del interior de la turbina eólica si se desea. Esto puede realizarse dirigiendo, por ejemplo, el micrófono o cualquier otro dispositivo de entrada en la dirección de la turbina eólica para que el micrófono o similar detecte sonidos desde el interior que sean lo suficientemente fuertes. En este contexto, se prefiere particularmente que el dispositivo de entrada esté protegido de las influencias exteriores, tales influencias exteriores no están directamente conectadas al funcionamiento de la turbina eólica. Tales influencias pueden deberse, por ejemplo, a las condiciones climáticas, en particular a los sonidos del viento o a las gotas de lluvia que caen sobre el dispositivo de entrada.

Según una segunda realización, que puede aplicarse como alternativa a la primera realización o como complemento, el sonido se convierte en señales de sonido en el interior de la turbina eólica, preferentemente dentro de un cubo de la turbina eólica. De esta manera, el dispositivo de entrada está más cerca de la ubicación donde se pueden caer objetos sueltos peligrosos y, por lo tanto, se puede generar una imagen más clara de lo que está sucediendo dentro de la parte giratoria de la turbina eólica. El dispositivo de entrada también puede ubicarse dentro de una parte estacionaria de la turbina eólica, como la góndola (en este contexto, "estacionaria" también se usa para la góndola, aunque gira alrededor de un eje definido por la torre de la turbina eólica; esto se debe al hecho de que la góndola con respecto a otras partes giratorias constituye una especie de sistema de referencia). Desde la góndola, el dispositivo de entrada puede dirigirse hacia o dentro de la parte giratoria de la

turbina eólica. Dicha ubicación hace posible que el dispositivo de entrada no se interponga en el camino de los elementos giratorios de la parte giratoria y su medición también puede verse completamente no influenciada por el movimiento giratorio.

5 Una ventaja de la invención es que el rango de tiempo desde la generación del sonido, por ejemplo por objetos sueltos, hasta su detección es mínimo. Esto es particularmente cierto porque no es necesario consultar al personal para evaluar los sonidos dentro de la turbina eólica. Por lo tanto, se prefiere particularmente que el monitoreo del sonido y el inicio de acciones adicionales se lleve a cabo en tiempo real, es decir, tan pronto como se genere la señal que indica anomalías en el funcionamiento de la turbina eólica, se tomarán las acciones
10 adicionales, preferentemente automáticamente, de forma instantánea. De esta manera, se pueden evitar más daños a la turbina eólica y asegurarse de que se logre el máximo nivel de precaución y seguridad en su funcionamiento.

15 Con respecto al sistema de monitoreo acústico en sí, se realiza un modo de realización preferente si la unidad de monitoreo de sonido contiene y/o está conectada a un convertidor analógico/digital para convertir señales de sonido analógico en señales digitales. Esto significa que las señales de sonido que se procesan posteriormente son señales digitales. Alternativamente, la unidad de monitoreo de sonido es un sistema analógico que en operación procesa directamente señales de sonido analógico. Tal sistema analógico tiene la ventaja de ser a menudo más simple en su fabricación y más fácil de operar o intercambiar total o parcialmente. Esto tiene el
20 efecto de que cualquier turbina eólica existente se puede volver a equipar fácilmente con un sistema de monitoreo acústico de acuerdo con la invención basado en el procesamiento de señales analógicas.

25 Otros objetos y características de la presente invención se harán más evidentes a partir de las siguientes descripciones detalladas, consideradas conjuntamente con los dibujos adjuntos. Se ha de entender, sin embargo, que los dibujos están diseñados solamente para fines de ilustración, y no como una definición de los límites de la invención.

30 En los diagramas, los números similares se refieren a objetos similares en toda la descripción. Los objetos en los diagramas no están necesariamente dibujados a escala.

La Fig. 1 muestra una vista esquemática de una turbina eólica de acuerdo con un primer modo de realización de la invención;

35 la Fig. 2 muestra una vista esquemática de una turbina eólica de acuerdo con el segundo modo de realización de la invención;

la Fig. 3 muestra una vista esquemática de un cubo de una turbina eólica de acuerdo con un tercer modo de realización de la invención;

40 la Fig. 4 muestra una vista en bloques esquemática de un sistema de monitoreo acústico de acuerdo con un modo de realización de la invención como se puede usar en cualquiera de las turbinas eólicas mostradas previamente de acuerdo con las Figs. 1 a 3;

45 la Fig. 5 muestra en un diagrama de bloques esquemático un modo de realización del procedimiento de acuerdo con la invención;

la Fig. 6 muestra en un diagrama de bloques esquemático de una primera solución en el contexto del modo de realización mostrado en la Fig. 5;

50 la Fig. 7 muestra un diagrama de circuito de un sistema de monitoreo acústico de acuerdo con la invención realizado para llevar a cabo un procedimiento de acuerdo con una segunda solución en el contexto del modo de realización mostrado en la Fig. 5;

55 la Fig. 8 muestra dos curvas de sonido que se manejan en el contexto de un modo de realización del procedimiento de acuerdo con la invención.

60 La Figura 1 muestra una turbina eólica 1 que comprende una góndola 7 y un rotor 4 que puede girar conectado a la góndola 7. Además, el rotor 4 comprende un cubo 3 y palas de rotor 5. Cuando llega viento a lo largo de las palas del rotor 5, el cubo 3 se pondrá automáticamente en un movimiento de rotación a lo largo de su eje de rotación. En la góndola 7, un dispositivo de entrada 9a, es decir, un componente de conversión de sonido 9a, en este caso un micrófono 9a, está unido al techo interior. Está conectado a un dispositivo de monitoreo de control de sonido 11. Juntos, el dispositivo de monitoreo de control de sonido 11 y el micrófono 9a constituyen un sistema de monitoreo acústico 33.

65 Si se produce una irregularidad, es decir, una anomalía en el funcionamiento de la turbina eólica 1, en el sentido de que en una parte giratoria, en este caso, por ejemplo, el cubo 3, hay sonidos inusuales, el sonido en la parte

giratoria es convertido por el micrófono 9a en señales de sonido que luego se transfieren al dispositivo de monitoreo de control de sonido 11. Aquí es donde las señales de sonido se procesan adicionalmente utilizando un procedimiento de acuerdo con la invención, que se explicará con ejemplos más adelante.

5 La Fig. 2 muestra un segundo modo de realización de una turbina eólica 1 de acuerdo con la invención. Además de las características ya mencionadas en el contexto de la Fig. 1, el sistema de monitoreo acústico 33 comprende un segundo componente de conversión de sonido 9b, nuevamente un micrófono 9b, que también está conectado al dispositivo de monitoreo de control de sonido 11 pero que está situado fuera del góndola 7 e incluso en el exterior de la turbina eólica 1. En esta disposición, el sonido proveniente del cubo 3 se controlará tanto desde el interior de la góndola 7 como desde el exterior de la turbina eólica 1. Además, los sonidos se pueden monitorear por separado uno del otro. Se puede agregar que ciertamente más de dos dispositivos de entrada 9a, 9b también se pueden usar en caso de que sea necesario para generar una impresión general de los sonidos dentro del cubo 3. Colocar el componente de conversión de sonido 9b fuera de la turbina eólica puede implicar en primer lugar que el componente de conversión de sonido 9b se pueda acercar más al cubo 3 que en el caso del componente de conversión de sonido 9a dentro de la góndola 7. En segundo lugar, el sonido generado en el interior de la turbina eólica 7, tal como los ruidos del generador o los ruidos de una caja de engranajes, que generalmente se disponen dentro de la góndola 7, puede excluirse esencialmente del monitoreo. Además, es posible proteger las influencias del sonido que en gran medida no tienen nada que ver con el funcionamiento de la turbina eólica 1, por ejemplo, las gotas de lluvia que caen sobre el micrófono 9b o el ruido del viento. Para ese propósito, se puede usar un escudo mecánico (no mostrado) y también (alternativamente o adicionalmente), el dispositivo de monitoreo de control de sonido 11 puede comprender filtros, ya sean filtros mecánicos, eléctricos o electrónicos, que filtran esos sonidos provenientes de estas influencias externas.

La Fig. 3 muestra un cubo 3 de una turbina eólica 1 de acuerdo con un tercer modo de realización de la invención. Aquí, un componente de conversión de sonido 9c, nuevamente un micrófono 9c, se coloca dentro del cubo 3 para que esté muy cerca de cualquier causa de sonidos, en particular de sonidos irregulares como los causados por objetos sueltos, en el cubo 3 de la turbina eólica. En tal disposición, generalmente no es necesario proteger los sonidos externos, y otra ventaja es que el micrófono 9c está mucho más cerca de la unidad monitoreada y más alejado de otros componentes de la turbina eólica 1 que podrían causar ruidos, tales como el generador o una caja de engranajes, como se ha mencionado más arriba.

La Fig. 4 muestra en una vista en bloques esquemática de un modo de realización de un sistema de monitoreo acústico 33 de una manera más detallada. El sistema de monitoreo acústico 33 comprende un componente de conversión de sonido 9, y nuevamente un micrófono 9, que está conectado a un dispositivo de monitoreo de control de sonido 11. El dispositivo de monitoreo de control de sonido 11 comprende una interfaz de entrada 25 y una interfaz de salida 31. Entre estas interfaces 25, 31 hay dispuestas una unidad de evaluación 27, una unidad de análisis 29 y una unidad de generación 30. El micrófono 9 junto con la interfaz de entrada 25 y la unidad de evaluación 27 forman juntos una unidad de monitoreo de sonido 35 (que también puede comprender elementos adicionales no mostrados en este contexto). Básicamente, en esta unidad de monitoreo de sonido 35 el sonido se convierte en señales de sonido SoSi por el micrófono 9 y se procesa adicionalmente a través de la interfaz 25 en la unidad de evaluación 27 para que las señales de sonido SoSi puedan procesarse luego a través de las siguientes unidades 29, 30. La unidad de análisis 29 se realiza de tal manera que analiza el sonido, es decir, las señales de sonido SoSi, dentro de al menos un rango de frecuencia específico. Este rango de frecuencia puede haber sido preseleccionado, por ejemplo, prefiltrado, por la unidad de evaluación 27, para lo cual este último puede incluir, por ejemplo, un sistema de filtrado para filtrar rangos de frecuencia específicos. La unidad de análisis analiza dentro de este rango de frecuencia específico los valores de los parámetros y verifica si los valores de parámetros específicos de un tipo preseleccionado pueden detectarse dentro de los valores de los parámetros. Esta información se entrega a la unidad de generación 30 que genera una señal Sig en tal caso. Esta señal Sig se transfiere a través de la interfaz de salida 31 a otras unidades que posiblemente puedan tomar otras medidas, como activar alarmas o interrumpir el funcionamiento de la turbina eólica 1 por completo.

La unidad de análisis 29 también se puede usar como un kit de reequipamiento 37 para reequipar una turbina eólica o un sistema de monitoreo acústico de modo que esta se realice de acuerdo con la invención. Dicho kit de reequipamiento 37 puede comprender unidades adicionales tales como cualquiera que se muestre en el contexto del sistema de monitoreo acústico 33, como unidades individuales o combinadas con otras.

La Fig. 5 muestra un modo de realización del procedimiento de acuerdo con la invención en un diagrama de bloques. Esta realización es un principio más general de la invención. Desde el micrófono 9 las señales de sonido SoSi se amplifican primero en una etapa de amplificación Amp y luego pasan a través de una etapa de interfaz J después del cual las señales de sonido SoSi se filtran en una etapa de filtrado F. A continuación, se detecta la amplitud de las señales de sonido filtradas SoSi en una etapa de detección de amplitud D. Si esta amplitud es mayor que un cierto valor umbral, se generan señales Sig y luego se pasan para procesar la señal S. El parámetro que se inspecciona en este caso es la amplitud de las señales de sonido SoSi que se han filtrado previamente. Esta amplitud es un parámetro que puede analizarse fácilmente de modo que si el valor de la amplitud está por encima de un cierto valor umbral de amplitud, se genera la señal Sig.

La Fig. 6 muestra un modo de realización de la invención que puede considerarse como una subrealización de la que se muestra en la Fig. 5.

Nuevamente, el sonido es convertido por un micrófono 9 y las señales de sonido resultantes SoSi son amplificadas por un amplificador de micrófono en una etapa de amplificación Amp. Esto es seguido por la conversión analógica a digital C, y el procedimiento de interfaz en este caso es un procedimiento de interfaz digital DJ. El filtrado de señal F y la detección de amplitud D como se muestra en la Fig. 5 se llevan a cabo aquí usando el procesamiento de señal digital DPS. Nuevamente, se genera una señal Sig si la amplitud dentro del rango de frecuencia específico seleccionado está por encima de un cierto valor umbral.

La Fig. 7 muestra esquemáticamente un circuito analógico para llevar a cabo un modo de realización del procedimiento de acuerdo con la invención de una manera puramente analógica. Desde el micrófono 9, las señales de sonido SoSi pasan a través de un amplificador de micrófono 13 y luego un filtro de paso alto 15 que solo permite tales rangos de frecuencia por encima de un cierto nivel de umbral, en este caso un nivel de frecuencias por encima de 1 kHz. Las señales de sonido filtradas luego pasan un filtro de umbral 17 que solo dejará pasar señales Sig si la amplitud de las señales de sonido que han pasado el filtro de paso alto 15 excede un cierto valor umbral de amplitud. En otras palabras, las señales Sig son señales que representan la amplitud del sonido dentro del rango de frecuencia seleccionado. Cuanto más fuerte es este sonido, más intensas son las señales Sig. Estas señales Sig se integran luego en un integrador 19 que comprende un condensador y que recoge así las cargas eléctricas de las señales Sig. Cuanto más fuertes sean estas señales y/o sean más duraderas, el condensador recogerá más cargas. Si estas cargas recogidas exceden los niveles umbral, se generan diferentes niveles de alarma: un primer nivel de alarma se activará mediante una señal de alarma 21 en un primer nivel de umbral de las señales integradas Sig y en un segundo nivel más alto, una señal de advertencia 23 se activará, lo que puede dar como resultado, por ejemplo, el cierre completo de la operación de la turbina eólica 1 para evitar casi de inmediato cualquier daño adicional en la misma.

La figura 8 muestra cómo se tratan las señales de sonido en el contexto de la invención. En la parte superior, se representa una primera curva de señal SC_1 . La curva SC_1 muestra la amplitud A del sonido, incluidas todas sus frecuencias F_{all} a lo largo del tiempo t. Ambos ejes no tienen escala, ya que esto es solo como una curva SC_1 esquemática y a modo de ejemplo. De esta primera curva de señal SC_1 se deriva una segunda curva de señal SC_2 de señales de sonido SoSi de un rango de frecuencia específico F_{sel} . Por lo tanto, la amplitud $A(F_{sel})$ de este seleccionado, es decir, el rango de frecuencia específico F_{sel} se representa en el tiempo t, nuevamente sin escalas en ambos ejes por la misma razón que arriba. Si la segunda curva de señal SC_2 excede un cierto primer valor umbral T_1 , es decir, un valor umbral superior T_1 , se generarán señales Sig como se mencionó anteriormente. Lo mismo ocurre si la segunda curva de señal SC_2 cae por debajo de un segundo valor umbral T_2 , es decir, un valor umbral inferior T_2 . Este es el caso en ciertos puntos de tiempo dentro de la curva, es decir, los puntos de tiempo t_1, t_3, t_5 y t_7 , mientras que en otros puntos de tiempo t_2, t_4, t_6 y t_8 la curva SC_2 está entre los dos valores de umbral T_1, T_2 de modo que las señales Sig no se generarán después de que la curva SC_2 haya pasado estos puntos hasta que pase uno de los valores umbral T_1, T_2 nuevamente.

Para concluir, el procedimiento de acuerdo con la invención puede realizarse en algunos circuitos o lógicas que son fáciles de producir e instalar. Se basa en principios que pueden aplicarse fácilmente y, al mismo tiempo, ofrecen un alto grado de precisión. Filtrar las señales de sonido SoSi en particular significa que se ahorra una gran cantidad de energía computacional porque potencialmente una gran parte de los rangos de frecuencia dentro del espectro de sonido se puede cortar de las lógicas de detección.

Por motivos de claridad, debe entenderse que el uso de "un" o "una" en esta solicitud no excluye una pluralidad, y "que comprende" no excluye otras etapas o elementos.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para el monitoreo acústico de la existencia de objetos sueltos dentro de la turbina eólica (1), mediante el cual un sonido generado por un objeto suelto que cae repetidamente dentro de una parte giratoria (3) de la turbina eólica (1) se controla durante el funcionamiento de la turbina eólica (1), tal sonido se analiza con respecto a los valores de parámetros específicos (A) del sonido dentro de al menos un rango de frecuencia específico (F_{sel}) en el que no se esperan sonidos, y si dichos valores de parámetros específicos (A) se detectan dentro de un rango (F_{sel}) o rangos (F_{sel}) de frecuencia específico se genera una señal (Sig) para posibles acciones adicionales, por lo que las frecuencias dentro del rango (F_{sel}) o rangos (F_{sel}) de frecuencia específicos se filtran al menos parcialmente para limitar el análisis a altas frecuencias en el sonido causadas por objetos sueltos que caen dentro de la parte giratoria (3).
- 10 2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que un rango de frecuencia específico (F_{sel}) está por encima de 1 kHz, preferentemente por encima de 1,5 kHz.
- 15 3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, mediante el cual un rango de frecuencia específico (F_{sel}) está por encima de 2 kHz.
- 20 4. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que un rango de frecuencia específico (F_{sel}) y/o un valor de parámetro específico (A) se deriva de una base de datos.
- 25 5. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que se determina un rango de frecuencia específico (F_{sel}) y/o un valor de parámetro específico (A) durante la operación de la turbina eólica (1) y/o de un modelo de turbina eólica representativa de la turbina eólica (1).
- 30 6. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5, en el que el rango de frecuencia específico (F_{sel}) y/o el valor del parámetro específico (A) se determina analizando la información de fase relacionada con el sonido.
- 35 7. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la detección del valor del parámetro específico (A) se lleva a cabo solo si el valor del parámetro específico está por encima o por debajo de un cierto valor umbral (T_1 , T_2).
- 40 8. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el valor del parámetro específico (A) dentro de dicho rango (F_{sel}) o rangos (F_{sel}) de frecuencia específicos representa una amplitud (A) de una o más frecuencias dentro de ese rango de frecuencia específico (F_{sel}) o esos rangos específicos (F_{sel}).
- 45 9. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que se integran o integran un número y/o una duración de ocasiones de detecciones de los valores de parámetros específicos (A) y/o valores que representan un nivel de los valores de parámetros específicos (A).
- 50 10. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 9, mediante el cual se activa un primer nivel de alarma en un primer nivel de números y/o duraciones de detecciones y/o valores que representan un nivel de los valores de parámetros específicos (A) y mediante el cual se activa un segundo nivel de alarma en un segundo nivel de números y/o duraciones de detecciones y/o valores que representan un nivel de los valores de parámetros específicos (A).
- 55 11. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, mediante el cual el sonido se convierte en señales de sonido (SoSi) en el exterior de la turbina eólica (1).
- 60 12. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el sonido se convierte en señales de sonido (SoSi) en el interior de la turbina eólica (1), preferentemente dentro de un núcleo (3) de la turbina eólica (1).
- 65 13. Sistema de monitoreo acústico (33) para monitorear la existencia de objetos sueltos dentro de la turbina eólica (1), que comprende:
 - una unidad de monitoreo de sonido (35) que en funcionamiento monitorea un sonido generado por un objeto suelto que cae repetidamente dentro de una parte giratoria (3) de la turbina eólica (1),
 - una unidad de análisis (29) que se realiza de tal manera que analiza el sonido con respecto a valores de parámetros específicos (A) del sonido dentro de al menos un rango de frecuencia específico (F_{sel}) en el que no se esperan sonidos, por lo que las frecuencias dentro de tal rango (F_{sel}) o rangos (F_{sel}) de frecuencia específicos se filtran al menos parcialmente para limitar el análisis a altas frecuencias en el sonido causado por objetos sueltos que caen dentro de la parte giratoria (3),

- una unidad de generación (30) que en funcionamiento genera una señal (Sig) para posibles acciones adicionales si tales valores de parámetros específicos (A) se detectan dentro de dicho rango (F_{sel}) o rangos (F_{sel}) de frecuencia específicos.

5 **14.** Un sistema de monitoreo acústica de acuerdo con la reivindicación 13, en el que la unidad de análisis (29) se realiza como un kit de reequipamiento (37) para reequipar una turbina eólica (1).

15. Turbina eólica (1) con un rotor (4) y un generador y con un sistema de monitoreo acústico (33) de acuerdo con la reivindicación 13 o la reivindicación 14.

10

FIG 1

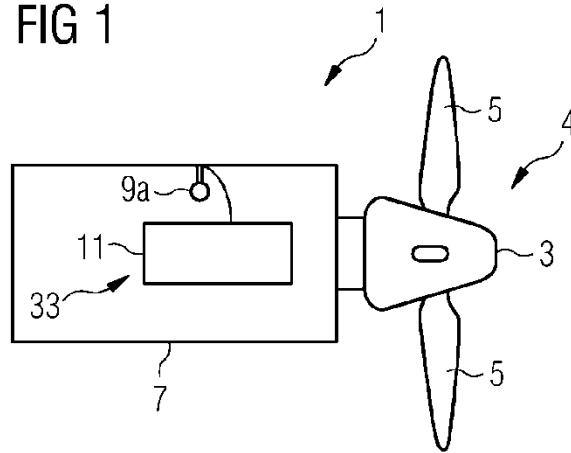


FIG 2

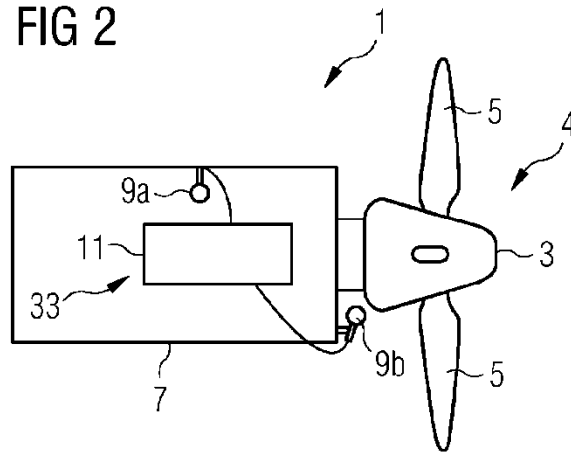


FIG 3

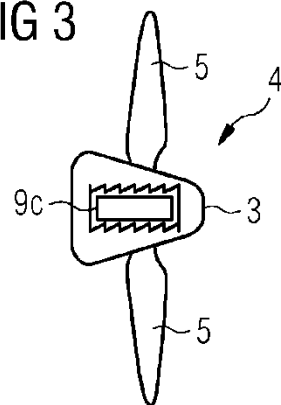


FIG 4

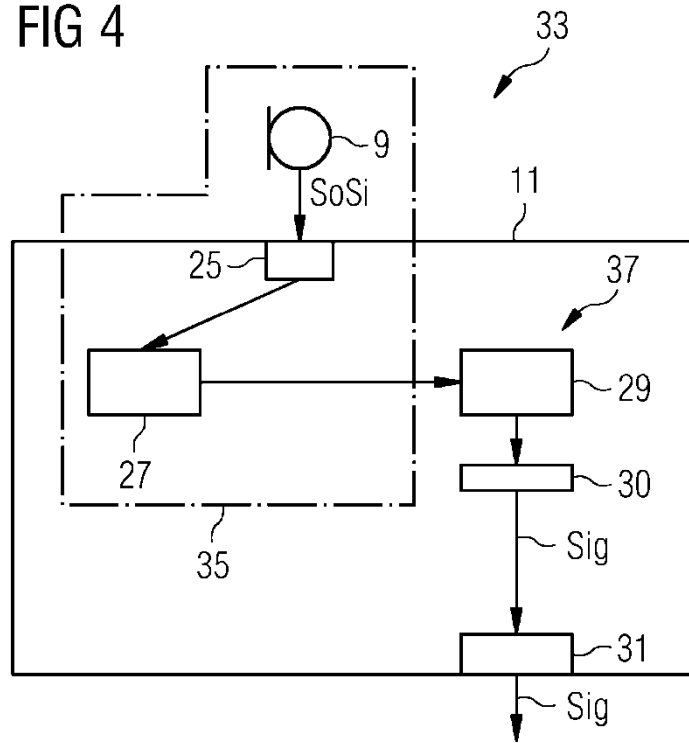


FIG 5

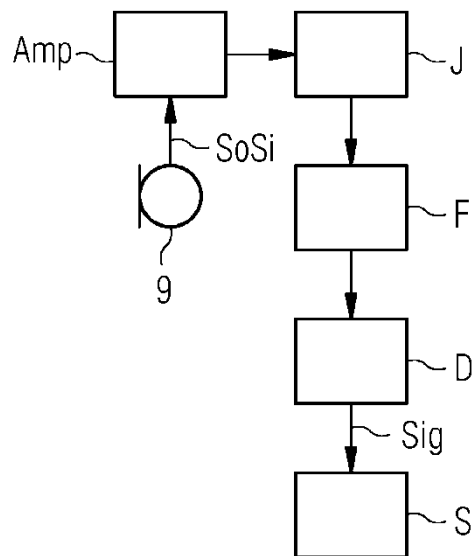


FIG 6

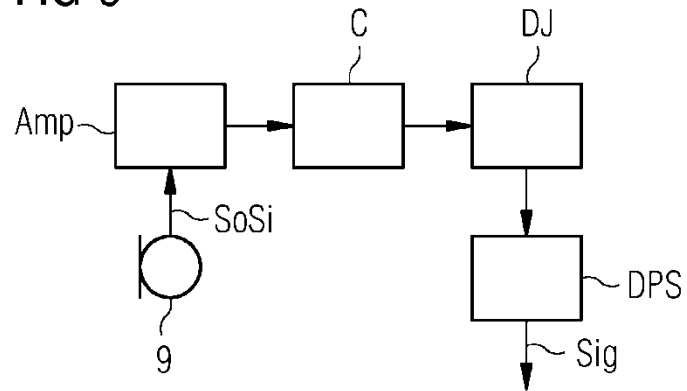


FIG 7

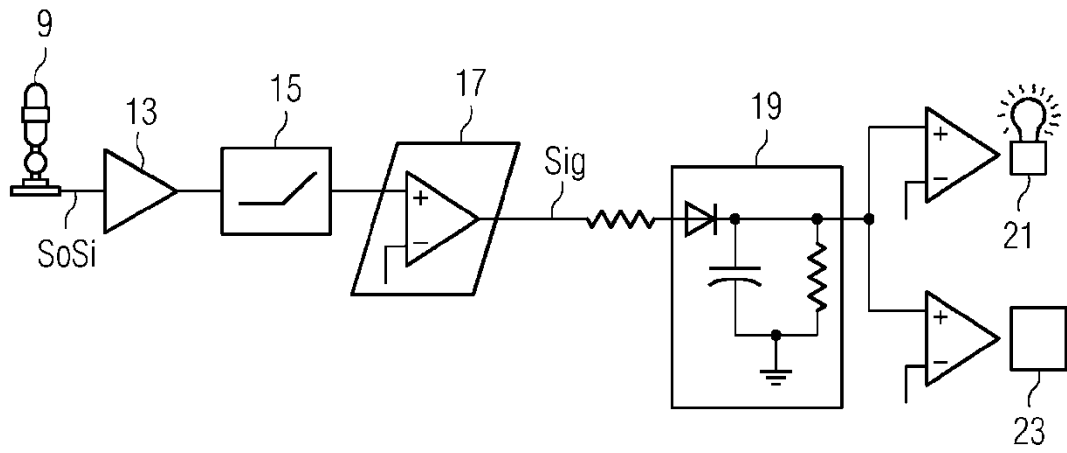


FIG 8

