

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 683 069**

51 Int. Cl.:

F03D 80/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.09.2007 PCT/EP2007/007683**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.03.2009 WO09030252**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.09.2007 E 07802098 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.07.2018 EP 2183481**

54 Título: **Control de sombra de turbinas eólicas**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
24.09.2018

73 Titular/es:
**VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)
Hedeager 42
8200 Aarhus N, DK**

72 Inventor/es:
**SORENSEN, LINDY, B.;
CHRISTENSEN, BO, HEFTHOLM y
MATHIASSEN, BRUNO, LUND**

74 Agente/Representante:
ARIAS SANZ, Juan

ES 2 683 069 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 sombra de turbinas eólicas

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere en general a controles de sombra de turbinas eólicas y, por ejemplo, a un sistema de control de sombra de una turbina eólica, en el que la turbina eólica tiene un rotor que, cuando rota y cuando el sol está en una cierta posición, puede proyectar una sombra intermitente sobre un objeto en la proximidad de la turbina; el sistema de control de sombra se dispone para hacer que la turbina eólica se detenga, basándose en una condición de parada relacionada con la sombra, de modo que no se proyecte una sombra intermitente sobre el objeto.

Antecedentes de la invención

El rotor de una turbina eólica, cuando rota, puede proyectar una sombra intermitente sobre un área del terreno adyacente. Los residentes que viven en esta área perciben frecuentemente dicha sombra intermitente como una molestia. Este problema podría dificultar construir u operar turbinas eólicas próximas a objetos que son "sensibles" a una sombra intermitente, tales como viviendas ocupadas.

En este contexto, se propuso en el documento DE 199 28 048 A1 que se detuviera una turbina eólica cuando un objeto sensible a la sombra (por ejemplo, una vivienda) próximo a la turbina eólica pueda quedar sometido a la sombra intermitente producida por el rotor de la turbina eólica. La condición de parada está comprendida en dos subcondiciones lógicamente combinadas por una Y: una primera subcondición es que la posición actual del sol sea tal que la sombra pueda proyectarse teóricamente sobre el objeto. La segunda subcondición pertenece a la "calidad y cantidad" de la sombra, es decir si la radiación de luz del sol es tal que tendrá lugar realmente una sombra. La segunda subcondición se basa en una medición de las intensidades de luz directa e indirecta y que un resultado de una comparación de estas intensidades esté por encima de un umbral dado.

Un control de sombra similar se describe en el documento US 6.661.111. La condición de parada se basa, sin embargo, solamente en la medición de una luz directa, y si la intensidad de luz directa medida está por encima de un umbral. Cuando se satisface la condición mencionada, la turbina no se para instantáneamente, sino solamente después de un retardo de, por ejemplo, cinco minutos (dicho retardo podría considerarse como una tercera subcondición que se combina en "Y" con las otras subcondiciones mencionadas). Si la turbina se ha detenido, pero la condición de parada ya no se satisface (por ejemplo debido a que se ha movido al sol de modo que ya no puede proyectar su sombra sobre el objeto, o la intensidad medida ha caído por debajo del umbral), se reanuda la operación de la turbina eólica. De nuevo, la operación no se reanuda instantáneamente, sino solamente después de un retardo de, por ejemplo, dos minutos. Los retardos impiden que la turbina sea arrancada y parada demasiado frecuentemente, por ejemplo si la intensidad de la luz fluctúa alrededor del umbral.

El documento US 2006/0267347 A1 pertenece a un sistema de control de sombra similar al del documento DE 199 28 048 A1. Para medir las intensidades de luz directa e indirecta, se proporcionan tres sensores de luz. Se disponen con ángulos relativos de 120°, y su ángulo de apertura (es decir su ángulo de apertura sensible a la luz) es de al menos 120° para asegurar que siempre al menos uno de los sensores siempre recoge los rayos directos de luz solar y al menos otro no está expuesto a los rayos directos de luz solar.

El documento de E. Verkuijlen et al., Shadow Hindrance by Wind Turbines, European Wind Energy Conference, Hamburgo, Alemania, 22-26 de octubre de 1984, págs. 356 - 361, describe la obstrucción de la sombra por turbinas eólicas en general, y concluye que siempre que la sombra de una turbina eólica provoca molestias la turbina eólica debería detenerse.

Sumario de la invención

La invención se dirige a un sistema de control de sombra de una turbina eólica de acuerdo con las características de la reivindicación 1, teniendo la turbina eólica un rotor que, cuando rota y cuando el sol está en una cierta posición, puede proyectar una sombra intermitente sobre un objeto en la proximidad de la turbina. El sistema de control de sombra se dispone para hacer que la turbina eólica se detenga, basándose en una condición de parada relacionada con la sombra, de modo que no se proyecte una sombra intermitente sobre el objeto. La condición de parada comprende una determinación de si la sombra puede proyectarse teóricamente sobre el objeto a la hora actual del día. La condición de parada también comprende un resultado de una comparación entre una intensidad de luz directa y una intensidad de luz indirecta que esté más allá de un umbral de luz directa a indirecta. El control de sombra comprende adicionalmente un conjunto de sensores de luz para proporcionar intensidades de luz directa e indirecta medidas para la finalidad de comparación, siendo capaces los sensores de luz de medir la intensidad de luz directa cuando son irradiados por el sol y la intensidad de luz indirecta cuando no están irradiados por el sol. El conjunto de sensores de luz que proporciona intensidades de luz directa e indirecta medidas para la comparación tiene solamente dos sensores de luz, un sensor de luz orientado hacia el este y un sensor de luz orientado hacia el

oeste.

5 En algunas realizaciones el sistema de control de sombra se dispone también para hacer que se reanude la operación de la turbina eólica, basándose en una condición de reanudación de la operación relacionada con la sombra. La condición de parada comprende que un resultado de medición de luz esté más allá de un primer umbral, y la condición de reanudación de la operación comprende que un resultado de medición de luz vuelva a un segundo umbral. Hay una histéresis en los umbrales de modo que el resultado de medición de la luz que provoca la parada no es suficiente para hacer que se reanude la operación.

10 En algunas realizaciones la respuesta del sensor de luz depende de la temperatura. El sistema de control de sombra comprende al menos un dispositivo de medición de la temperatura, o se dispone para recibir una señal de medición de temperatura. La señal del sensor de luz se compensa en temperatura, basándose en la temperatura medida.

15 De acuerdo con otra realización los sensores de luz están equipados con un dispositivo de calentamiento para mantener al sensor libre de hielo.

Otras características son inherentes en los métodos y productos divulgados o serán evidentes para los expertos en la materia a partir de la descripción detallada a continuación de realizaciones y sus dibujos adjuntos.

20 Breve descripción de los dibujos

A continuación, se describirán las realizaciones de la invención, a modo de ejemplo, y con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

25 la Fig. 1 es una ilustración de la situación global de la distribución de sombra por una turbina eólica durante un día;
 la Fig. 2 es una vista lateral de un conjunto sensor de luz montado sobre un poste;
 la Fig. 3 es una vista superior del conjunto sensor de luz de la Fig. 2;
 30 la Fig. 4 es una vista superior de otra realización similar a la Fig. 3, pero con una orientación diferente de los sensores de luz;
 la Fig. 5 es un diagrama funcional de un sistema de control de sombra que ilustra el procesamiento de señal hasta la generación de una señal de parada;
 la Fig. 6 es un diagrama funcional parcial análogo a la Fig. 5, pero ilustrando la generación de una señal de reanudación de la operación;
 35 la Fig. 7 es un diagrama que ilustra una realización con funcionalidad de histéresis;
 la Fig. 8 ilustra una dependencia de la temperatura de un sensor de luz;
 la Fig. 9 ilustra una realización con compensación de temperatura de la medición de intensidad de luz;
 la Fig. 10 es una sección transversal esquemática de una realización de un sensor de luz calentado.

40 Los dibujos y la descripción de los dibujos son de realizaciones de la invención y no la invención en sí.

Descripción de las realizaciones preferidas

45 La Fig. 1 es una ilustración de la situación global de la distribución de sombra por una turbina eólica. Antes de proceder adicionalmente con la descripción detallada de la Fig. 1, sin embargo, se explicarán algunos pocos apartados de las realizaciones.

50 Las realizaciones pertenecen a turbinas eólicas que tienen un rotor que, cuando rota y cuando el sol está en una cierta posición, puede proyectar una sombra intermitente sobre un objeto en la proximidad de la turbina. Las turbinas eólicas están equipadas con un sistema de control de sombra dispuesto para hacer que las turbinas se detengan, basándose en una condición de parada relacionada con la sombra, de modo que no se proyecte dicha sombra intermitente sobre el objeto. La condición de parada puede componerse de una combinación lógica de una pluralidad de subcondiciones. En algunas de las realizaciones, la primera subcondición es si la posición actual del sol es tal que puede proyectarse teóricamente sombra sobre el objeto "sensible a la sombra". En algunas realizaciones, esto
 55 se determina como resultado de un cálculo sobre la marcha de la posición actual del sol y si el rotor de la turbina proyectará sombra y si esta sombra se proyectará sobre el objeto sensible a la sombra. En otras realizaciones, la posición del sol, o la posición de la sombra del rotor producida, se predetermina (por ejemplo, se precalcula) y se almacena en una tabla en función de la fecha y hora, y se lee desde la tabla en lugar de ser calculada sobre la marcha. En aún realizaciones adicionales, el resultado de la comparación, es decir si se proyecta una sombra
 60 intermitente sobre el objeto sensible a la sombra, o no, se predetermina (por ejemplo se precalcula) y almacena en una tabla en función de la fecha y hora. En las últimas realizaciones, por ejemplo, el controlador de la sombra lee periódicamente el valor "sí/no" (o "verdadero/falso") almacenado en la tabla que se relaciona con la fecha y hora actual.

65 Una subcondición pertenece a la calidad y cantidad de la sombra, es decir si la radiación solar actual es tal que tendrá lugar realmente una sombra. Por ejemplo, cuando el clima es nublado o con niebla, la radiación solar será

difusa (es decir la luz procederá de diferentes direcciones), de modo que el rotor no producirá una sombra pronunciada. Dicha "semisombra" no es, o no muy claramente, visible, de modo que en general no se requiere la parada de la turbina eólica en dichas circunstancias. La calidad y cantidad de la sombra pueden cuantificarse mediante una comparación de las intensidades de luz directa e indirecta: si son muy diferentes, habrá una sombra pronunciada, pero si son similares, no habrá sombra, o solo semisombra. En las realizaciones, una segunda condición de parada se basa por lo tanto en una medición de las intensidades de luz directa y luz indirecta, y si el resultado de una comparación de ellas está más allá de un umbral de luz directa a indirecta. Si se satisfacen ambas subcondiciones, el sistema de control de sombra hace que la turbina eólica se pare. Las dos subcondiciones mencionadas no son exclusivas; por ejemplo, en algunas realizaciones una tercera subcondición adicional es el resultado de que la intensidad de luz directa esté por encima de un umbral de luz directa. Asimismo, en algunas realizaciones, hay un retardo relacionado con las condiciones, es decir la parada no se inicia instantáneamente si se satisfacen las otras condiciones, sino solo después de un cierto retardo.

Hay diferentes realizaciones de cómo se realiza la comparación de las intensidades de luz directa e indirecta: en algunas realizaciones, la "comparación" consiste en (o comprende) determinar la diferencia entre la intensidad de luz directa y la intensidad de luz indirecta, lo que da como resultado normalmente un valor positivo. Alternativamente, la "comparación" consiste en (o comprende) determinar la diferencia invertida (es decir la diferencia entre las intensidades de luz indirecta y la directa), lo que da como resultado normalmente un valor negativo. En otras realizaciones, la "comparación" consiste en (o comprende) determinar la relación entre la intensidad de luz directa y la intensidad de luz indirecta, dando como resultado normalmente un valor positivo mayor que o igual a 1 o, a la inversa, la relación entre la intensidad de luz indirecta y la directa, dando como resultado normalmente un valor positivo menor que o igual a 1.

La magnitud y la naturaleza del umbral de luz directa a indirecta (es decir el significado de "más allá del umbral") se adapta a la forma en la que se comparan las intensidades de luz directa e indirecta: en el primer caso mencionado (diferencia entre intensidad de luz directa e indirecta), la turbina se parará si el resultado es mayor que el umbral (siempre que, naturalmente, se satisfaga(n) la(s) otra(s) subcondición(es). En el segundo caso mencionado (diferencia entre intensidad de luz indirecta y directa) la turbina se para si el valor del resultado (negativo) cae por debajo del umbral. En el tercer caso mencionado (relación entre intensidad de luz directa e indirecta), se para la turbina si la relación está por encima de un cierto umbral (positivo). Finalmente, en el cuarto caso (relación entre intensidad de luz indirecta y directa) la turbina se para si el resultado cae por debajo de un umbral (positivo). En un día claro la intensidad de luz directa puede ir hasta aproximadamente 100.000 lx (dependiendo, naturalmente, de ciertos parámetros, tales como la latitud de la posición de la turbina, la estación del año, etc.), y en un día nuboso típicamente podría ir solamente hasta aproximadamente 20.000 lx. Una intensidad de luz de sombra típica puede ser de 10.000 lx. los valores de ejemplo del umbral de luz directa a indirecta pueden ser, para el primer caso: 5000 lx, para el segundo caso: -5.000 lx, para el tercer caso: 1,33, y para el cuarto caso: 0,75 (naturalmente, estos valores de umbral son solo ilustrativos, realmente la elección de un valor de umbral específico dependerá también de la latitud de la posición de la turbina, de regulaciones administrativas y legales, de acuerdos entre los propietarios de la turbina eólica y los residentes que pueden estar sometidos a la sombra intermitente, etc.).

En algunas de las realizaciones, los sensores de luz, aunque midan entidades diferentes (la intensidad de luz directa o indirecta), tienen realmente la misma configuración y tipo de sensor, y cada uno de ellos puede medir la intensidad de luz directa cuando mira al sol (y por lo tanto está irradiado por el sol) o la intensidad de luz indirecta cuando no está mirando al sol (y por lo tanto no está irradiado por el sol). Dado que el sol se mueve, los dos sensores pueden intercambiar sus papeles: a una cierta hora del día, por ejemplo, un primer sensor estará mirando al sol y asumirá el papel de sensor de luz directa, mientras un segundo sensor no estará mirando entonces al sol asumirá el papel de sensor de luz indirecta; en una hora posterior del día, cuando se ha movido sol, el segundo sensor puede estar mirando al sol y asumiendo entonces el papel de sensor de luz directa, mientras el primer sensor —que ya no está mirando al sol— asumirá entonces el papel de sensor de luz indirecta.

Normalmente, los objetos sensibles a la sombra no se posicionan a de una distancia mínima de la turbina eólica. En consecuencia, la sombra intermitente del rotor solo incidirá típicamente sobre objetos sensibles a la sombra cuando el ángulo de elevación del sol es pequeño. Se ha identificado que la sombra perturbadora solo incidirá típicamente en objetos sensibles a la sombra en las mañanas o tardes (debido que solo en estos momentos el ángulo de elevación del sol es pequeño). Basándose en eso, se ha identificado adicionalmente que no es necesario tener una cobertura de sensor completa extendida sobre 360° (ni 180°), sino que es suficiente una cobertura de sensor consistente en dos sectores, un sector este y un sector oeste. En la mañana, el sensor Este estará mirando al sol y asumirá el papel de sensor de luz directa, mientras que el segundo sensor no estará mirando entonces al sol asumirá el papel de sensor de luz indirecta; en la tarde, estos papeles se invierten. En otras horas del día, esta "reducida" disposición de sensores no sería capaz de determinar la cantidad y calidad de la sombra pero, dado que no estarán afectados objetos sensibles a la sombra, realmente no se requiere dicha determinación en estas horas. Por consiguiente, en las realizaciones, se proporciona un conjunto de sensores de luz para medir las intensidades de luz directa e indirecta para comparación de las intensidades, que tiene solo dos sensores, un sensor orientado hacia el este y un sensor orientado hacia el oeste. Solo en circunstancias especiales esta disposición reducida de sensores no será suficiente para determinar siempre la calidad y cantidad de sombra, cuando es necesario, por ejemplo en el caso de una turbina eólica a una latitud alta en el norte, durante el invierno, el ángulo de elevación del

sol más grande puede ser tan pequeño que puede producirse también una sombra perturbadora cuando el sol está en el sur. Para dichos casos específicos, puede proporcionarse un tercer sensor (por ejemplo puede proporcionarse un sensor hacia el sur, cuando la turbina eólica está en el hemisferio norte). Esto no es, sin embargo, el sujeto de la presente solicitud y no está cubierto por alcance de las presentes reivindicaciones.

5 En algunas realizaciones, la asignación de papeles a los sensores de luz es explícita, por ejemplo correspondiente a la hora del día actual. En las mañanas, la señal proporcionada por el sensor orientado hacia el este se considerará como representativa de la intensidad de luz directa, y la del sensor orientado hacia el oeste como representativa de la intensidad de luz indirecta; en las tardes, se invertirá esta asignación. En otras realizaciones, sin embargo, hay
10 una clase de asignación dinámica implícita, simplemente basándose en los resultados de la medición: la señal de intensidad mayor se considera que es representativa de la intensidad de luz directa, y la señal más pequeña se considera que es representativa de la intensidad de luz indirecta, independientemente de la hora del día, o de otros parámetros. Como se explicará a continuación, esto puede manejarse en una forma matemáticamente simple mediante el cálculo del valor absoluto de la diferencia de las dos señales.

15 Los sensores de luz tienen un ángulo de apertura (es decir son sensibles a fuentes de luz que se originan desde un cierto intervalo angular). En algunas realizaciones, los sensores de luz están orientados de modo que las direcciones hacia el este y el oeste están dentro del ángulo de apertura de los sensores de luz orientados hacia el este y hacia el oeste, respectivamente.

20 En algunas realizaciones, los ejes de los sensores de luz están alineados directamente al este y oeste. En realizaciones alternativas, los ejes están alienados hacia el este y el oeste, sin embargo, con un componente hacia la dirección sur (esto se aplica, por ejemplo, a turbinas eólicas instaladas en el hemisferio norte —si la turbina se instala en el hemisferio sur, en las realizaciones alternativas mencionadas los ejes se alinean hacia el este y el
25 oeste—, sin embargo, con un componente hacia la dirección norte). Aunque no sea obligatorio, los ejes de los sensores de luz se orientan preferentemente de modo simétrico con respecto a la dirección sur/norte.

Dado que se ha reconocido que es frecuentemente suficiente realizar un control de sombra de esta clase solamente en las mañanas y las tardes, no se requiere realmente una cobertura de 180° (este-sur-oeste en el hemisferio norte, o este-norte-oeste en el hemisferio sur). Por el contrario, en algunas realizaciones, los sensores de luz tienen un
30 ángulo de apertura más pequeño de 90°, y los sensores de luz se orientan de modo que su ángulo de apertura combinado no cubra completamente el intervalo angular entre ellos que incluye la dirección sur (en el hemisferio norte; este intervalo se denomina también el "intervalo que incluye el sur"), o la dirección norte (en el hemisferio sur; este intervalo se denomina también en "intervalo que incluye el norte").

35 En una forma simple de un sistema de control de sombra para turbinas eólicas (que no estaría de acuerdo con la presente invención) podría montarse un sensor de luz en cada objeto sensible a la sombra, y si uno de los sensores detectara sombra intermitente podría provocar que la turbina eólica se parara. Sin embargo, esto requeriría que se montaran sensores en todos los objetos sensibles a la sombra, y conectarse a lo largo de distancias considerables a un controlador de la turbina eólica central.

40 Por el contrario, el sistema de control de sombra "centralizado" de acuerdo con la invención obvia la necesidad de tener un sensor para cada objeto y líneas de señal relativamente largas para transmitir todas las señales de sensores. El conjunto de sensores "centralizado" (consistente en sensores orientados hacia el este y hacia el oeste)
45 pueden montarse en cualquier localización que sea representativa de las condiciones de luz en la posición de la turbina eólica (es decir no demasiado lejos de la turbina eólica) y que no haya otros objetos que proyecten sombras sobre él (por ejemplo, el conjunto de sensores no debería montarse hacia el oeste o el este de un objeto que pudiera proyectar sombra sobre el conjunto de sensores en las mañanas o tardes). Por ejemplo, en algunas de las realizaciones, el conjunto de sensores se monta sobre un poste de unos pocos metros de altura y unos pocos
50 metros hacia el sur (en el hemisferio norte) o hacia el norte (en el hemisferio sur) de la torre de la turbina eólica.

55 En otras realizaciones, el conjunto de sensores se monta directamente sobre la torre de la turbina eólica, por ejemplo a una altura de unos pocos metros, en donde el rotor no puede proyectar sombra sobre la torre. Los sensores orientados hacia el este y orientados hacia el oeste se montan sobre el lado este y el lado oeste de la torre, respectivamente.

Hoy en día, se agrupan frecuentemente un cierto número de turbinas eólicas juntas para formar un parque eólico, por ejemplo que tenga un punto común de acoplamiento a la red eléctrica; algunas de las funciones de control de las turbinas eólicas también se centralizan normalmente y se asumen por la instalación de control del parque eólico. En
60 algunas realizaciones, el sistema de control de sombra —aunque eventualmente provoque que se detenga o reanude la operación de turbinas eólicas individuales— está parcial o completamente centralizado para todo el parque eólico, o para un subconjunto de turbinas en el parque eólico. Por ejemplo, puede proporcionarse solamente un sensor de luz centralizado para el conjunto del parque eólico. En principio, puede concebirse que todas las turbinas del parque eólico pudieran parar al unísono, si una de las turbinas proyecta sombra sobre un objeto sensible
65 a la sombra. Sin embargo, incluso si el control de la sombra se basa en un único conjunto de sensores de luz instalado en el parque eólico, se prefiere desde un punto de vista económico que las turbinas individuales de un

parque eólico, se paren y vuelvan a arrancar individualmente, solo si la turbina individual en cuestión proyecta sombra sobre un objeto sensible a la sombra en su proximidad.

El procesamiento de las señales de sensores de luz puede implementarse de forma analógica y/o digital; una implementación digital puede, por ejemplo, basarse en un procesador de señal digital. En algunas realizaciones, el sistema de control de sombra es parte integral del control principal de la turbina eólica responsable de las funciones de control principales de la turbina. En otras realizaciones, el sistema de control de sombra es un módulo separado que solo se vincula al controlador de la turbina eólica mediante la comunicación de unas pocas señales, tales como las señales de parada y reanudación de la operación relacionadas con la sombra.

Los pasos adoptados para detener realmente la turbina eólica tras la recepción de dicha señal de parada se controlan por el control principal de la turbina eólica de la manera usual, es decir, mediante el cambio de la orientación de las palas a la posición neutra, frenando el rotor hasta el reposo, y girando la góndola con el rotor no en la dirección del viento; durante ese proceso, la conexión eléctrica a la red eléctrica normalmente también se interrumpe. Tras la recepción de una señal de reanudación de la operación, el control principal de la turbina eólica, en principio, realiza los mismos pasos en el orden inverso (la reconexión a la red eléctrica es, sin embargo, más compleja debido a que ha de realizarse la sincronización, etc.).

Tal y como se ha mencionado, la decisión de parada se basa en un resultado de una comparación entre la intensidad de luz directa y la indirecta que esté más allá de un umbral de luz directa a indirecta. Dependiendo del ajuste de umbral particular elegido por el operador, el umbral de luz directa a indirecta implica también un umbral de luz directa (esto es debido a que si el umbral de luz directa a indirecta se fija con un valor relativamente grande, solo puede excederse si la magnitud de la intensidad de luz directa es suficiente). Sin embargo, si el operador fija el umbral de luz directa a indirecta a un valor relativamente pequeño, este umbral podría excederse también cuando la intensidad de luz absoluta es pequeña, aunque la sombra entonces proyectada pudiera ser aceptable. Por ello, en algunas realizaciones, se añade una condición adicional a las subcondiciones mencionadas hasta el momento, concretamente que el resultado de una medición de la intensidad de luz directa esté por encima de un umbral de luz directa. La intensidad de luz directa puede deducirse también del conjunto de dos sensores; por ejemplo, es el máximo de las dos señales de intensidad de luz proporcionadas por los dos sensores (alternativamente, es posible también proporcionar un tercer sensor adicional para medir la intensidad de luz directa por separado; sin embargo, dicho tercer sensor podría no considerarse parte del conjunto de sensores que proporciona las señales para la comparación de las intensidades de luz directa e indirecta).

Como se ha mencionado al principio, es conocido en la técnica anterior que pueden introducirse retardos de parada y reanudación de la operación para hacer al control de sombra menos "nervioso" y evitar cambios de operación demasiado frecuentes. Por consiguiente, en algunas de las realizaciones se usan dichos retardos (lo que puede considerarse como una subcondición adicional, como se ha explicado anteriormente).

En otras realizaciones, sin embargo, los umbrales para la parada y reanudación de la operación de la turbina eólica no son idénticos; por el contrario, hay una histéresis en estos umbrales de modo que el valor de la intensidad de luz directa a indirecta que justamente provoca la parada no es suficiente para hacer que se reanude la operación; por el contrario, la intensidad de luz directa a indirecta ha de ser mayor o más pequeña (dependiendo de la forma particular en la que se define matemáticamente la intensidad de luz directa a indirecta) para hacer que la operación se reanude. Por ejemplo, si la intensidad de luz directa a indirecta se define como la diferencia entre las intensidades de luz directa e indirecta medidas, y el umbral de luz directa a indirecta correspondiente para la parada es de 5000 lx, el umbral correspondiente para la reanudación de la operación es más pequeño para proporcionar la función de histéresis, por ejemplo 2500 lx. Esto significa, por ejemplo, en un día nublado con gran cantidad de luz difusa, si el umbral se excede una vez por la intensidad de luz directa a indirecta y la turbina se para en consecuencia, y si la luz se convierte en un poco más difusa, y la intensidad de luz directa a indirecta en consecuencia desciende un poco, digamos a 4000 lx, la operación no se reanuda. Por el contrario, el incremento de la difusión ha de ser más significativo, por ejemplo, tal como que la intensidad de luz directa a indirecta caiga por debajo del umbral de 2500 lx.

El efecto de esta solución de histéresis es que el control de sombra es también menos nervioso, pero las características son diferentes respecto a la solución conocida de retardo: mientras que los retardos son siempre los mismos, independientemente de cómo de significativamente hayan cambiado las condiciones de luz, la solución de histéresis tiene esto en cuenta. Si, por ejemplo, un cambio en las condiciones de intensidad de luz es insignificante, la operación actual de la turbina eólica no se cambia en absoluto, lo que podría corresponder a un retardo muy largo (incluso infinito). Si, sin embargo, un cambio en las condiciones de intensidad de luz es significativo (por ejemplo, debido a que una nube oscurece el sol, o similares) el tiempo de retardo efectivo es muy corto (puede ser virtualmente cero). En consecuencia, aunque ambas soluciones son similares, la solución de histéresis se considera ventajosa sobre la solución de retardo dado que tiene en cuenta la significancia del cambio en intensidad.

Por tanto, la solución de histéresis es una invención por su propio derecho, independientemente de si las decisiones se basan en mediciones de intensidad relativa o absoluta, o de cómo se configura(n) y orienta(n) el (los) sensor(es) de luz. Por consiguiente, la solución de histéresis también se reivindica como una reivindicación independiente y no

incluye ciertas definiciones de la reivindicación 1 y en particular las definiciones que pertenecen a la naturaleza de las mediciones de intensidad realizadas y al número y orientación de los sensores de luz.

5 En algunas de las realizaciones, se combinan la solución de histéresis y la solución de retardo, es decir los umbrales para parada y reanudación de la operación son diferentes, y por encima de ello se aplica un retardo a una parada y/o reanudación de la operación. Esto significa que un cambio en las condiciones de intensidad de luz no debe ser solamente significativo, sino también persistir durante un tiempo (por ejemplo, si la turbina se ha parado, una pequeña nube que pase rápidamente por el sol podría no hacer que la operación se reanudara).

10 Otros aspectos pertenecen a la dependencia de la temperatura de las mediciones de intensidad de luz. Algunos componentes fotosensibles conocidos, tales como fotodiodos y fototransistores presentan dependencia de la temperatura no significativa. Otros componentes fotosensibles, tales como resistencias dependientes de la luz (LDR), sin embargo, presentan una dependencia de la temperatura significativa. Por ejemplo, los electrones en una LDR no solo son liberados por la luz, sino también por el calor. Por tanto, la resistencia de una LDR normalmente disminuye con el incremento de la temperatura (en otras palabras, una LDR tiene normalmente un coeficiente de temperatura negativo). En algunas realizaciones en las que los sensores de temperatura se basan, por ejemplo, en unas LDR, esta dependencia de la temperatura es compensada en temperatura. Con este fin, el sistema de control de sombra comprende el menos un dispositivo de medición de la temperatura, que mide la temperatura que predomina en el (los) sensor(es) de luz. En otras realizaciones el dispositivo de medición de la temperatura no es una parte del sistema de control de sombra, sino que es por el contrario externo al sistema de control de sombra; el sistema de control de sombra se dispone entonces para recibir una señal de medición de la temperatura desde el dispositivo de medición de la temperatura externo. Dicha señal externa puede representar aproximadamente la temperatura en el (los) sensor(es) de luz. La(s) señal(es) de sensor de luz se compensa(n) en temperatura, basándose en la temperatura medida. En algunas realizaciones, esta compensación de temperatura se implementa mediante un circuito analógico al nivel del componente-sensor, de modo que la señal sea entregada por el sensor con este circuito de compensación de la temperatura sea esencialmente independiente de la temperatura. En otras realizaciones la compensación de temperatura se implementa de forma digital, por ejemplo en la forma de tablas de búsqueda en las que se almacenan valores de compensación de la temperatura. Una temperatura medida y la intensidad de luz medida son variables de índice para leer los valores de intensidad de luz compensados en temperatura respectivos, o factores de corrección a ser multiplicados por la señal de intensidad medida, desde la tabla de búsqueda.

De nuevo, el aspecto de compensación de temperatura es ventajoso por sí mismo dado que incrementa la fiabilidad de las decisiones de parada y reanudación de la operación. Por tanto, este aspecto también se reivindica en una reivindicación independiente que no incluye ciertas particularidades de la reivindicación 1; por ejemplo, no incluye definiciones que pertenecen al número y orientación de sensores de luz, o de si y cómo se realiza la comparación entre mediciones de intensidad de luz diferentes.

Otro aspecto pertenece al deshielo de los sensores de luz. Por ejemplo, en invierno, el hielo y la nieve podrían cubrir el área activa del sensor, o una ventana a través de la que la luz puede entrar en el sensor. Esto podría distorsionar la medición de intensidad de luz. Para evitar dicha distorsión, en algunas realizaciones los sensores de luz están equipados con un dispositivo de calefacción dispuesto para mantener al sensor libre de hielo y nieve, cuando se calienta. Por ejemplo, el dispositivo de calefacción se dimensiona de modo que mantenga la superficie o ventana del sensor a un mínimo de +5 °C cuando se calienta.

De nuevo, esta medida mejora la fiabilidad de las mediciones de intensidad de luz y, en consecuencia, las decisiones de parada y reanudación de la operación. Por tanto, Este aspecto también se reivindica en una reivindicación independiente adicional que no contiene ciertas particularidades de la reivindicación 1, análogamente a lo que se dijo anteriormente en conexión con la compensación de temperatura de los sensores de luz.

50 Volviendo ahora a la Fig. 1, que es una ilustración de la situación global de la proyección de sombra 5 por un rotor 2 de una turbina eólica 1 en el hemisferio norte durante un día (la siguiente descripción detallada se aplica de modo análogo a una turbina eólica instalada en el hemisferio sur si los papeles de "sur" y "norte" se intercambian). El sol 3 se mueve a lo largo de la trayectoria 4 sobre el horizonte durante el día. La proyección del rotor 2, vista desde el sol 1 en su posición actual, sobre el terreno define la posición de la sombra 5 proyectada por el rotor 2. Cuando el sol 3 se mueve sobre el horizonte, la sombra 5 proyectada por el rotor 2 también se moverá; la trayectoria de la sombra 5 en movimiento sobre el terreno debido al movimiento del sol es lo que se llama la trayectoria 6 de la sombra. Cuando la posición del sol es baja en las mañanas y tardes (cuando la luz solar procede desde la dirección este y oeste, respectivamente) y está alta a mediodía (cuando procede desde la dirección sur), la trayectoria 6 de la sombra 5 sobre el terreno forma una sección de una elipse. La distancia D desde la turbina 1 a la trayectoria 6 de sombra es mucho mayor en las direcciones este y oeste que la distancia correspondiente d en la dirección norte. Se muestran tres objetos sensibles a la sombra 7 a una distancia de aproximadamente D desde la turbina 1. El objeto 7O (hacia el este de la turbina 1) y 7E (hacia el oeste de la turbina 1) están sobre la trayectoria 6 de la sombra y por lo tanto sometidos a sombra intermitente en las tardes (cuando el sol está en 3O) o las mañanas (cuando está en 3E), respectivamente, Mientras el objeto 7S (hacia el norte de la turbina 1) no es incidido por ninguna sombra debido al que a mediodía la sombra del rotor está mucho más cercana a la turbina eólica 1.

Se monta un conjunto de sensores de luz 8 sobre un poste 10, colocado, por ejemplo, al sur de la turbina eólica 1. En otras realizaciones, el conjunto de sensores de luz 8 se monta directamente sobre la torre 10a de la turbina eólica 1 unos pocos metros por encima del terreno, en donde las palas del rotor 2 no pueden cubrir los sensores de luz 9E, 9O.

5 Aunque solo se muestra una turbina eólica 1 en la Fig. 1, frecuentemente se agrupan una pluralidad de turbinas eólicas 1 para formar un parque eólico. Habría de dibujarse para cada turbina del parque eólico una figura análoga a la Fig. 1 (con la turbina correspondientemente desplazada). Sin embargo, ciertos elementos, por ejemplo el conjunto de sensores de luz 8, pueden usarse en común para todo el parque eólico, o para un subgrupo de turbinas eólicas en un parque eólico.

10 La Fig. 2 muestra el conjunto de sensores de luz 8 montados sobre el poste 10 con más detalle. El conjunto 8 consiste en dos sensores de luz 9, un sensor de luz 9E orientado hacia el este y un sensor de luz 9O orientado hacia el oeste. Los sensores de luz 9 tienen un componente fotosensible 11 (por ejemplo una LDR, un fotodiodo o un fototransistor) en una carcasa de sensor 12 que tiene una ventana transparente 13 opuesta a la superficie fotosensible del componente fotosensible 11. En otras realizaciones el mástil 10 es realmente la parte más baja de la torre 10a de la turbina eólica. En algunas realizaciones, los sensores 9E, 9O están ligeramente inclinados en una dirección hacia arriba. La sensibilidad espectral de los sensores 9E, 9O es similar a la del ojo humano.

20 La Fig. 3 es una vista superior del conjunto de sensores de luz 8. Cada uno de los sensores de luz 9 tiene un ángulo de apertura 14 que, por ejemplo, se define por el tamaño de la ventana 13 (debido a que el borde periférico de la ventana 13 forma una apertura para los rayos de luz incidente en la carcasa del sensor 12) el tamaño de la superficie fotosensible del componente 11, así como por la distancia entre la ventana 13 y la superficie fotosensible. Por ejemplo, el ángulo de apertura 14 puede ser de 30°. Los ejes del sensor 15 están en la parte media de los ángulos de apertura 14. En la realización de la Fig. 3, los sensores 9E, 9O se orientan en la dirección este y oeste, indicadas por E y O, respectivamente. En la realización alternativa de la Fig. 4, los sensores 9E, 9O se giran hacia el sur de modo que los ejes de sensor 15 tienen un componente hacia el sur.

30 En ambas realizaciones de las Figs. 3 y 4 las direcciones este y oeste están dentro de los ángulos de apertura 14; en la Fig. 3, las direcciones este y oeste reposan en el centro de los ángulos de apertura, mientras que en la Fig. 4 están en la periferia de los ángulos de apertura.

Puede definirse un "ángulo que incluye el sur" 16 virtual: comienza en los límites exteriores del ángulo de apertura 14 del sensor 9E orientado hacia el este y se extiende a través del sur hasta el límite exterior del ángulo de apertura 14 del sensor de luz 9O orientado hacia el oeste. Puede verse que, en ambas Figs. 3 y 4, los ángulos de apertura 14 combinados no cubren todo el "intervalo que incluye el sur" 16. Por el contrario, permanece un intervalo 17 que no está cubierto, que es de aproximadamente 60° en el ejemplo de la Fig. 3 y de aproximadamente 30° en el ejemplo de la Fig. 4 (suponiendo un ángulo de apertura de ejemplo 14 de 30°). En otras palabras, las disposiciones de sensor de las Figs. 3 y 4 no serían capaces de medir intensidades de luz directa a mediodía.

40 La Fig. 5 es un diagrama funcional de un sistema de control de sombra 18 que ilustra el procesamiento de señal hasta la generación de una señal de parada 32off provocada por la sombra. Se compone del conjunto de sensores de luz 8 para la producción de señales que representan intensidades de luz medida (IE, IO) y un controlador de la sombra 19 para procesamiento de estas señales. El controlador de la sombra 19, por ejemplo, es un procesador de señal digital. Sin embargo, la modelización mostrada en la Fig. 5 es solo de ejemplo, dado que realmente no tiene significancia funcional particular. Por ejemplo, en lugar de ser un controlador separado puede ser una parte integrada de un controlador de la turbina eólica que controla las funciones principales de la turbina eólica, tal como la regulación del paso de las palas, el seguimiento del viento de la góndola de la turbina eólica, frenado, etc. Por otro lado, en algunas realizaciones, algunas de las funciones mostradas en la Fig. 5 como funciones del controlador de la sombra se realizan directamente en el conjunto de sensores de luz 8; dichas funciones podrían, por ejemplo, ser la digitalización de las señales de sensor y/o determinación de ciertas entidades directamente basándose en las señales de sensor medidas, tales como la diferencia entre las intensidades medidas por los sensores orientados hacia el este y hacia el oeste 9E, 9O, y/o el máximo de estas dos intensidades, etc.

55 El controlador de la sombra 19 tiene diversas ramificaciones. La primera ramificación es responsable de la determinación de si la sombra 5 (Fig. 1) puede proyectarse teóricamente sobre un objeto 7 sensible a la sombra (Fig. 1) en la hora actual del día. Con este fin, el controlador de la sombra 19 tiene un reloj 21 (o se dispone para recibir una señal de reloj externo correspondiente) que produce la salida de la hora actual del día. El reloj tiene también una función calendario, es decir también produce la salida de la fecha actual del año (día y mes). Se almacena una tabla 22 con contenido predeterminado en el controlador de la sombra 19 que indica, para cada corto intervalo de tiempo durante un año (por ejemplo intervalos de tiempo de un minuto) si el rotor 2 de la turbina eólica (Fig. 1) puede proyectar teóricamente sombra 5 sobre cualquiera de los objetos 7 sensibles a la sombra (Fig. 1) en la proximidad de la turbina 1. Las alturas y extensiones de los objetos 7 son también tenidas en cuenta. La forma en la que se calcula la posibilidad de aparición de dicha sombra, por ejemplo, se describe en el documento DE 199 28 048 A1. En otras realizaciones, la tabla 22 no se predetermina; por el contrario, la cuestión de si la sombra 5 puede proyectarse sobre un objeto 7 sensible a la sombra se calcula sobre la marcha, basándose en la fecha y hora actual e

información almacenada acerca de la localización de los objetos sensibles a la sombra, y, si es necesario, sus alturas y extensiones (detalles de dicha alternativa de implementación sobre la marcha pueden tomarse también del documento DE 199 28 048 A1). La salida de reloj 21 direcciona la tabla 22, que a su vez produce la salida de un valor lógico (ilustrado como sí/no en la Fig. 5) que es una primera subcondición 3, SC1. La subcondición SC1 se introduce en un combinador lógico que determina una condición de parada 24off.

La segunda rama del controlador de la sombra 19 pertenece al procesamiento de la intensidad de luz relativa recibida como una entrada, las señales IE e IO que representan la intensidad de luz hacia el este y la intensidad de luz hacia el oeste medidas desde los sensores de luz orientados hacia el este y hacia el oeste 9E, 9O. En esta fase, se deja abierto cuál de los dos sensores de luz 9E, 9O mide actualmente la intensidad de luz directa y cual la intensidad de luz indirecta. Esta ambigüedad se maneja en las dos etapas posteriores: en 25, se calcula la diferencia ΔI entre las dos señales de sensor IE e IO. El resultado puede ser negativo o positivo, dependiendo de cuál de los dos sensores está jugando actualmente el papel de sensor de luz directa. En 26, se calcula el valor absoluto de ΔI ; el resultado $|\Delta I|$ es independiente de la asignación de papeles de los sensores. En 27off, se realiza la prueba de si $|\Delta I|$ es mayor que un umbral de parada para la intensidad de luz directa a indirecta, T1off (en otras realizaciones, se realiza una prueba de si el valor absoluto de ΔI es mayor que o igual a T1off). La señal lógica resultante es la segunda subcondición, SC2off, que se introduce también dentro de la condición de parada 24off.

Las mismas señales de entrada que se suministran a la segunda rama se introducen también en la tercera rama que pertenece al procesamiento de la intensidad de luz absoluta (sin comparación de la intensidad de luz directa con la intensidad de luz indirecta). Como con la segunda rama, se deja abierto al comienzo cuál de las dos señales de sensor IE, IO es la señal de intensidad de luz directa. Con este fin, en 29, se determina al máximo de IE e IO. En 30off, se realiza una prueba de si el máximo es mayor (en otras realizaciones: mayor que o igual a) un segundo umbral de parada T2off. El resultado es una tercera su condición, SC3off, que es la entrada en la condición de parada 24off.

La condición de parada 24off forma una Y lógica de las tres subcondiciones SC1, SC2off y SC3off. El resultado es una señal de parada lógica 32off. Esto significa que la señal de parada resultante 32off es VERDADERO, solo si las tres subcondiciones SC1, SC2, SC3 son VERDADERO. La señal 32off se envía al controlador de la turbina para hacerle parar la turbina eólica 1.

La Fig. 6 es un diagrama funcional parcial que ilustra la generación de una señal de reanudación de la operación relacionada con la sombra. No repiten todos los elementos de la Fig. 5, sino que muestra solamente lo que es diferente respecto a la Fig. 5.

En la segunda rama, se realiza una prueba en 27on de si la señal procedente de 26 (Fig. 5) es menor que (en algunas realizaciones: menor que o igual a) un primer umbral de reanudación de la operación T1on. En la tercera rama, se realiza una prueba en 30on de si la señal procedente de 29 (Fig. 5) es menor que (en algunas realizaciones: menor que o igual a) un segundo umbral de reanudación de la operación T2on. Las subcondiciones resultantes SC2on, SC3on (y SC1, como en la Fig. 5) se introducen en una condición de reanudación de la operación 24on. En 24on, se determina la negación de cada una de las SC1, SC2on, SC3on, y NO (SC1), NO (SC2on), NO (SC3on), se combinan en O. Esto significa que la señal de reanudación de la operación resultante 32on es VERDADERO, si una cualquiera de las condiciones SC1, SC2on, SC3on no es VERDADERO. La señal de reanudación de la operación 32on se transmite al controlador de la turbina que, a su vez, hace que la turbina eólica reanude la operación (naturalmente, la operación solo se reanudará si no hay otras condiciones que controlen la turbina eólica para que no opere, tales como condiciones de viento inapropiadas, un fallo de la red eléctrica, etc.; en tal caso, la turbina eólica no comenzará a operar solamente basándose en la señal de reanudación de la operación 32on).

La Fig. 7 es un diagrama que ilustra la funcionalidad de histéresis en el procesamiento de intensidad relativo de la segunda rama. En otras realizaciones, se usa una histéresis similar en el marco del procesamiento de intensidad absoluta en la tercera rama de las Figs. 5 y 6, además de la histéresis en la segunda rama; otras realizaciones con histéresis solo se basan en el procesamiento de intensidad absoluta (es decir no tienen la segunda rama). La Fig. 7 muestra un desarrollo de ejemplo del valor absoluto $|\Delta I|$ de la diferencia de intensidad de luz medida (calculada en 26 en la Fig. 5) respecto al tiempo. También se indican los dos umbrales T1off (Fig. 5) y T1on (Fig. 6). Se supone que la turbina eólica está en operación en t_0 , y que las subcondiciones de las otras ramas, SC1 y SC3, son VERDADERO, es decir que el arranque y parada de la turbina están aquí gobernados solamente por la subcondición SC2off/SC2on de la segunda rama.

El umbral de reanudación de la operación T1on está por debajo del umbral de parada T1off; esto produce una histéresis 33 entre las intensidades de parada y de reanudación de la operación. Por ejemplo, en la Fig. 7, $|\Delta I|$ comienza a incrementarse desde valores pequeños por debajo de ambos umbrales y supera el umbral de reanudación de la operación T1on. Esto no tiene efecto sobre el estado operacional actual. Solamente cuando $|\Delta I|$ excede el umbral de parada T1off (en t_1), el sistema de control de sombra 18 hace que la turbina eólica se pare. Entonces, después de t_1 , $|\Delta I|$ disminuye de nuevo, y cae por debajo del umbral de parada T1off de nuevo. Sin embargo, debido a la histéresis 33 esto no hace que el sistema de control de sombra 18 produzca la señal de

reanudación de la operación 32on. Por ello, la turbina eólica 1 permanece inoperativa. Solamente cuando $|\Delta I|$ también cae bajo el umbral de reanudación de la operación T1on (en t2) se arranca de nuevo la turbina eólica. En el ejemplo de la Fig. 7, $|\Delta I|$ sobrepasa y no llega a los umbrales varias veces —lo que daría como resultado una función nerviosa si siempre se activara una acción correspondiente de parada o de reanudación de la operación—.

5 Sin embargo, como consecuencia de la histéresis 33, la "nerviosidad" se calma y la turbina eólica se para y arranca solamente una vez.

10 La Fig. 8 ilustra la dependencia de la temperatura de la señal de intensidad de luz producida por un componente fotosensible de ejemplo, en este caso una LDR. En la Fig. 8, se supone que la señal de intensidad de luz se relaciona inversamente con la resistencia de la LDR. En una LDR, los electrones no son liberados solamente por la luz, sino que también se liberan por el calor. Por ello, la resistencia de la LDR disminuye con el incremento de la temperatura. Como consecuencia, la señal de intensidad de luz no es constante, sino que se incrementa con la temperatura. Más aún, este efecto puede ser más pronunciado con bajas intensidades de luz que con altas intensidades de luz, de modo que una familia de curvas describe la dependencia de la temperatura de la señal de intensidad de luz, como se muestra en la Fig. 8. Sin embargo, lo que se desea realmente es una señal de sensor compensada en temperatura que no muestre dicha dependencia de la temperatura, sino que se muestre constantemente en la Fig. 8 por una línea discontinua.

20 En algunas realizaciones, la compensación de temperatura correspondiente se aplica a la señal de intensidad de luz IE, IO a partir del (de los) sensor(es) de luz 9, un ejemplo de los cuales se muestra en la Fig. 9. Con este fin, se proporciona un sensor de temperatura 34. Por ejemplo, el sensor de temperatura 34 puede estar en contacto térmico con el sensor de luz 9 correspondiente. En otras realizaciones, se supone que el sensor de luz 34 tiene aproximadamente la temperatura del aire ambiente; en consecuencia, la señal de temperatura puede proporcionarse también por un sensor de temperatura del aire que no necesita estar en contacto térmico con el sensor de luz 9. Un compensador de temperatura 35 —que puede ser parte integral del controlador de la sombra 19 o puede unirse al sensor de luz 9 o puede ser un módulo separado— recibe la señal de temperatura desde 34 y la señal de intensidad de luz desde el sensor de luz 9 como entradas. En una implementación digital de ejemplo mostrada en la Fig. 9, el compensador de temperatura 35 almacena una tabla 36 predeterminada bidimensional que mapea estos valores de entrada a un factor de compensación que, cuando se multiplica por una señal de intensidad de luz no compensada en 37 proporciona una señal de intensidad de luz corregida en temperatura, como se ilustra por la línea discontinua en la Fig. 8. Esta señal puede usarse entonces, por ejemplo, como una señal de entrada a las cajas 25 y 29 en la Fig. 5.

35 La Fig. 10 es una vista en sección transversal esquemática de una realización de un sensor 9 equipado con calefacción para mantener la ventana de apertura 13 libre de hielo y nieve. Un panel de vidrio 37 cubre la ventana de apertura 13 en una forma transparente a la luz. El panel de vidrio 37 está en contacto térmico con un calentador 38 de resistencia eléctrica. Por ejemplo, el calentador 38 se dispone en la circunferencia del panel de vidrio 37. En otras realizaciones, se fijan líneas de tiras eléctricas en el lado interior del panel de vidrio 37; el ancho y paso de las líneas de tiras es suficientemente pequeño de modo que la transparencia del panel 37 no se reduzca significativamente. Se proporciona una fuente de alimentación que es capaz de suministrar corriente con una tensión adecuada al calentador 38 de modo que la temperatura del panel de vidrio 37 pueda mantenerse por encima, por ejemplo, de 5 °C. Esto asegura que el hielo y la nieve sobre el panel de vidrio, que obstruirían la entrada de luz a ser medida y de ese modo impedirían el funcionamiento apropiado del sensor 9, se funden continuamente, de modo que la ventana de apertura 13 se mantiene libre. En algunas realizaciones, el control del calentador 38 tiene en cuenta la temperatura ambiente. Por ejemplo, el calentador 37 no se alimenta si la temperatura ambiente está por encima de 5 °C.

Por ello, las realizaciones descritas proporcionan un sistema de control de sombra fiable.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de control de sombra (18) de una turbina eólica (1), teniendo la turbina eólica (1) un rotor (2) que, cuando rota y cuando el sol (3) está en una cierta posición (3E, 3O), puede proyectar una sombra intermitente (5E, 5O) sobre un objeto (7E, 7O) en la proximidad de la turbina (1),
 5 disponiéndose el sistema de control de sombra (18) para hacer que la turbina eólica (1) se pare, basándose en una condición de parada relacionada con la sombra (24off), de modo que no se proyecte una sombra intermitente (5E, 5O) sobre el objeto (7E, 7O),
 en el que la condición de parada (24off) comprende una determinación de si la sombra (5E, 5O) puede proyectarse
 10 teóricamente sobre el objeto (7E, 7O) en la hora del día actual,
 en el que la condición de parada (24off) comprende un resultado (26) de una comparación entre una intensidad de luz directa (IE, IO) y una intensidad de luz indirecta (IO, IE) está más allá de un umbral de luz directa a indirecta (31off), y
 en el que el sistema de control de sombra (18) comprende un conjunto (8) de sensores de luz (9E, 9O) para
 15 proporcionar intensidades de luz directa e indirecta medidas (IE, IO) para la comparación, siendo capaces los sensores de luz (9E, 9O) de medir la intensidad de luz directa (IE o IO) cuando son irradiados por el sol (3) y la intensidad de luz indirecta (IO o IE) cuando no son irradiados por el sol (3),
caracterizado por que
 el conjunto (8) de sensores de luz (9E, 9O) para proporcionar intensidades de luz directa e indirecta medidas (IE, IO)
 20 para la comparación tiene solo dos sensores de luz, un sensor de luz orientado hacia el este (9E) y un sensor de luz orientado hacia el oeste (9O).
2. El sistema de control de sombra (18) de la reivindicación 1, en el que los sensores de luz (9E, 9O) tienen un ángulo de apertura (14), y en el que los sensores de luz (9E, 9O) se orientan de modo que las direcciones hacia el
 25 este y el oeste (E, O) están dentro del ángulo de apertura (14) de los sensores de luz orientados hacia el este y hacia el oeste (9E, 9O), respectivamente.
3. El sistema de control de sombra (18) de la reivindicación 2, en el que los sensores de luz (9E, 9O) tienen un eje (15) y un ángulo de apertura (14), y el eje (15) se alinea hacia el este y hacia el oeste, con un componente en la
 30 dirección hacia el sur o hacia el norte, y en el que los sensores de luz (9E, 9O) se orientan de modo que las direcciones este y oeste (E, O) están dentro del ángulo de apertura (14) de los sensores de luz orientados hacia el este y hacia el oeste (9E, 9O), respectivamente.
4. El sistema de control de sombra (18) de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que los sensores de luz (9E, 9O) tienen un eje (15), y en el que los ejes (15) de los sensores de luz (9E, 9O) se orientan simétricamente
 35 con respecto a la dirección hacia el sur (S).
5. El sistema de control de sombra (18) de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que los sensores de luz (9E, 9O) tienen un ángulo de apertura (14) más pequeño de 90° y definen un intervalo angular (16) entre ellos
 40 que incluye la dirección hacia el sur (S), llamado un "intervalo que incluye el sur", o que incluye la dirección norte, llamado un "intervalo que incluye el norte", y en el que los sensores de luz (9E, 9O) se orientan de modo que sus aperturas (14) combinadas no cubren completamente el intervalo que incluye el sur (16), o el intervalo que incluye el norte, respectivamente.
- 45 6. El sistema de control de sombra (18) de una cualquiera de las reivindicaciones 1, 2 o 4, en el que los sensores de luz (9E, 9O) tienen un eje (15), y el eje (15) se alinea al este (E) y al oeste (O).
7. El sistema de control de sombra (18) de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que los sensores de luz orientados hacia el este y hacia el oeste (9E, 9O) se montan sobre un poste (10).
 50
8. El sistema de control de sombra (18) de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que la condición de parada (24off) comprende adicionalmente que un resultado de una medición de intensidad de luz directa esté por encima de un umbral de luz directa (30off).
- 55 9. El sistema de control de sombra (18) de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, disponiéndose también el sistema de control de sombra (18) para hacer que la operación de la turbina eólica (1) se reanude, basándose en una condición de reanudación de la operación relacionada con la sombra (24on),
 en el que la condición de reanudación de la operación (24on) comprende el resultado de la comparación entre la intensidad de luz directa y la intensidad de luz indirecta (IE, IO) volviendo a un segundo umbral de luz directa a indirecta (T1on),
 60 en el que hay una histéresis (33) en los umbrales (T1off, T1on) de modo que la intensidad de luz directa a indirecta (26) que produce la parada no es suficiente para hacer que se reanude la operación.
10. El sistema de control de sombra (18) de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que
 65 la respuesta de los sensores de luz depende de la temperatura,
 el sistema de control de sombra (18) comprende al menos un dispositivo de medición de la temperatura (34), o se

dispone para recibir un resultado de medición de la temperatura,
las señales de los sensores de luz (E, O) se compensan en temperatura, basándose en la temperatura medida.

5 11. El sistema de control de sombra de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que los sensores de luz están equipados con un dispositivo de calefacción para mantener los sensores libres de hielo.

12. Una turbina eólica (1) o parque eólico equipado con un sistema de control de sombra (18) de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11.

Fig. 2

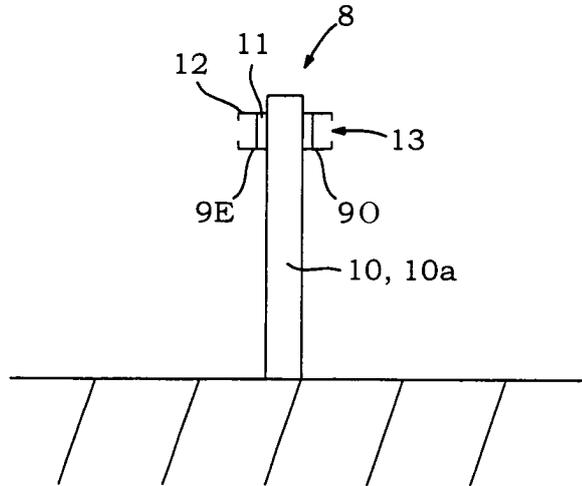


Fig. 3

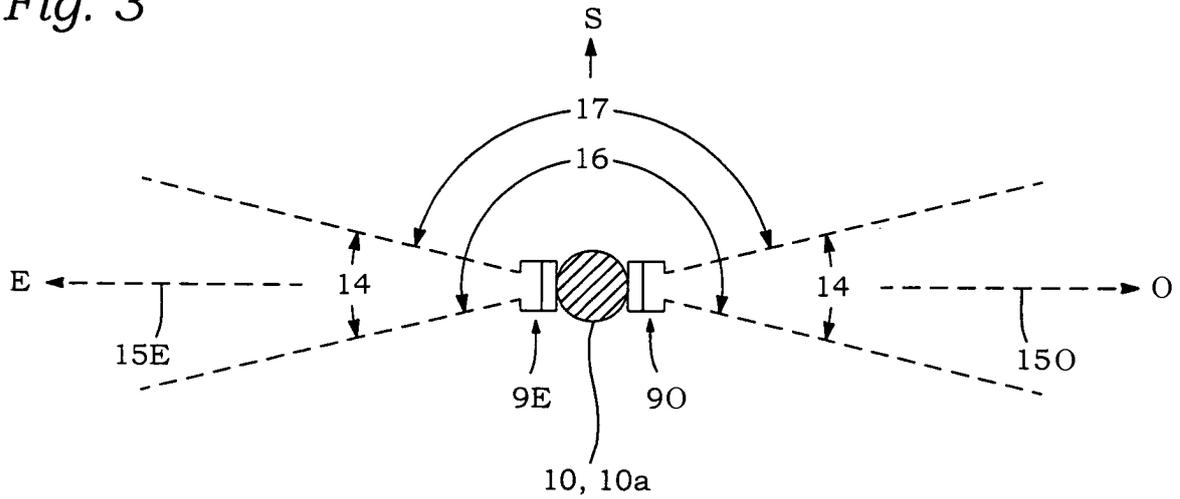


Fig. 4

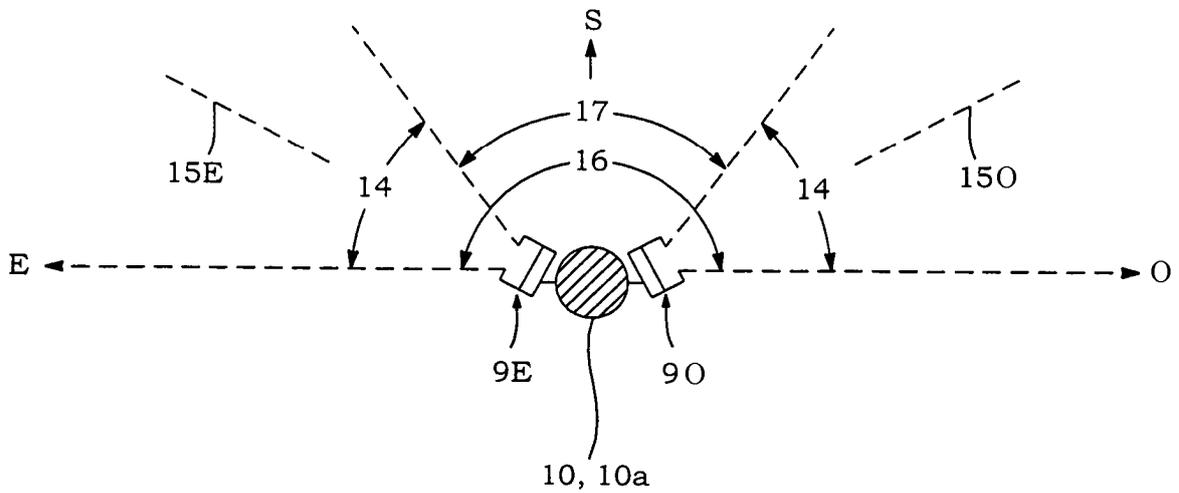


Fig. 5

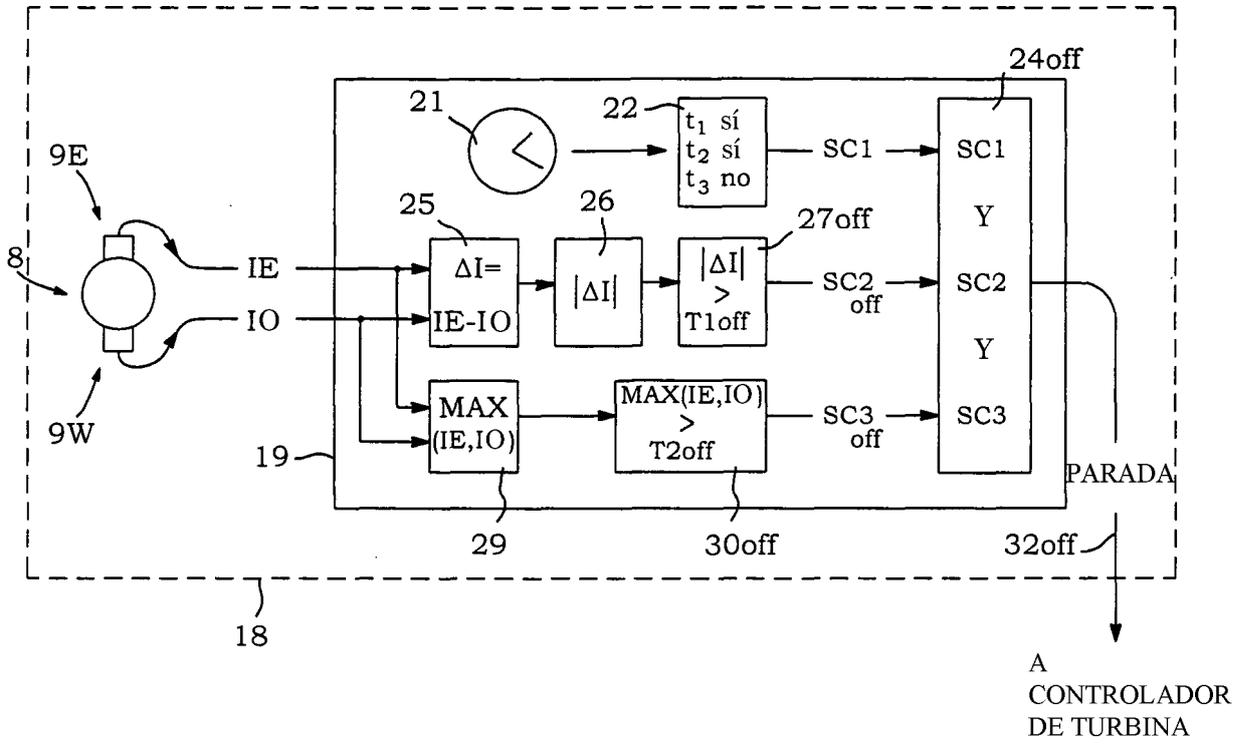


Fig. 6

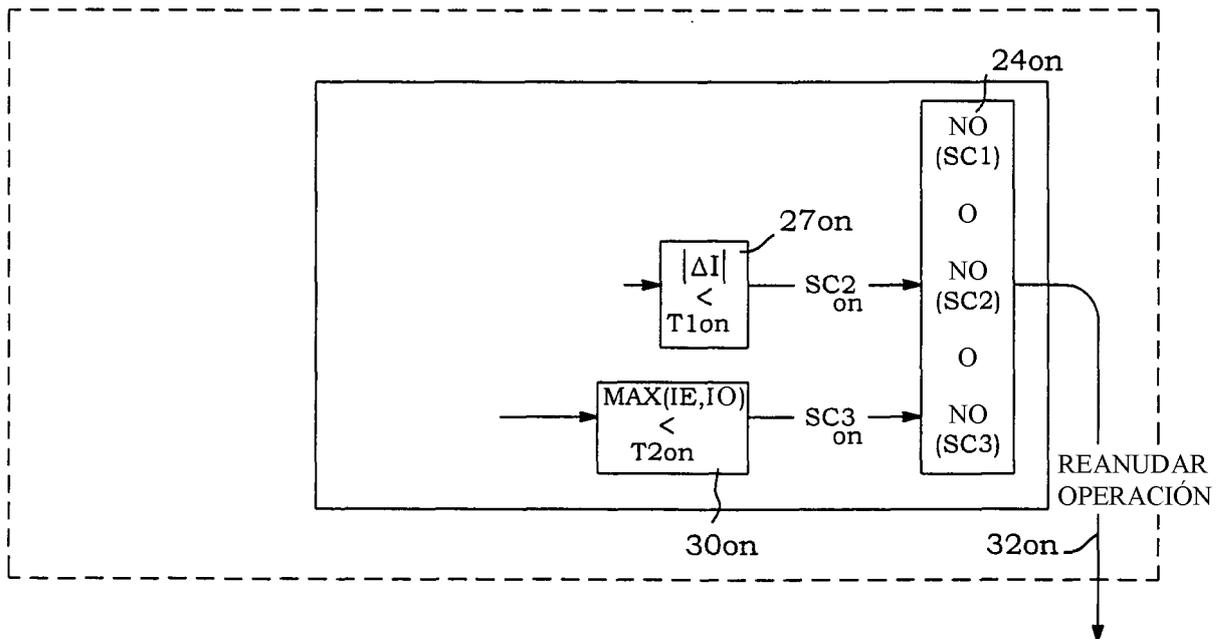


Fig. 7

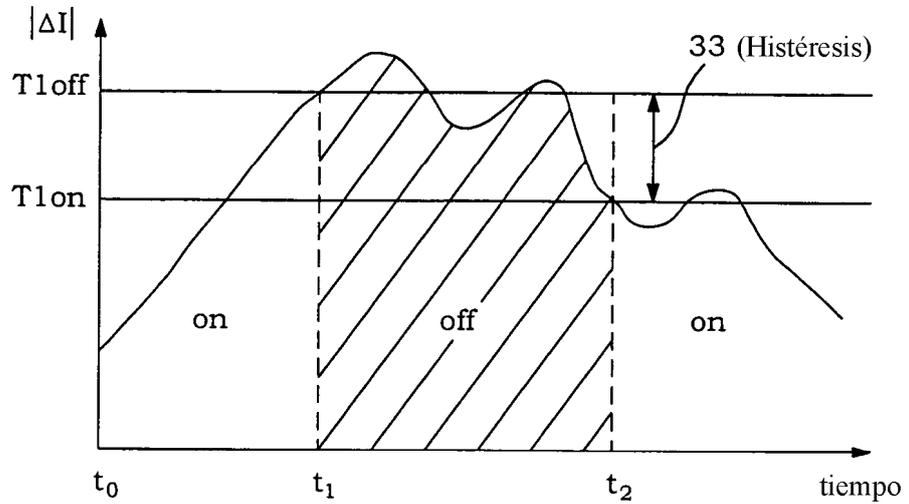


Fig. 8

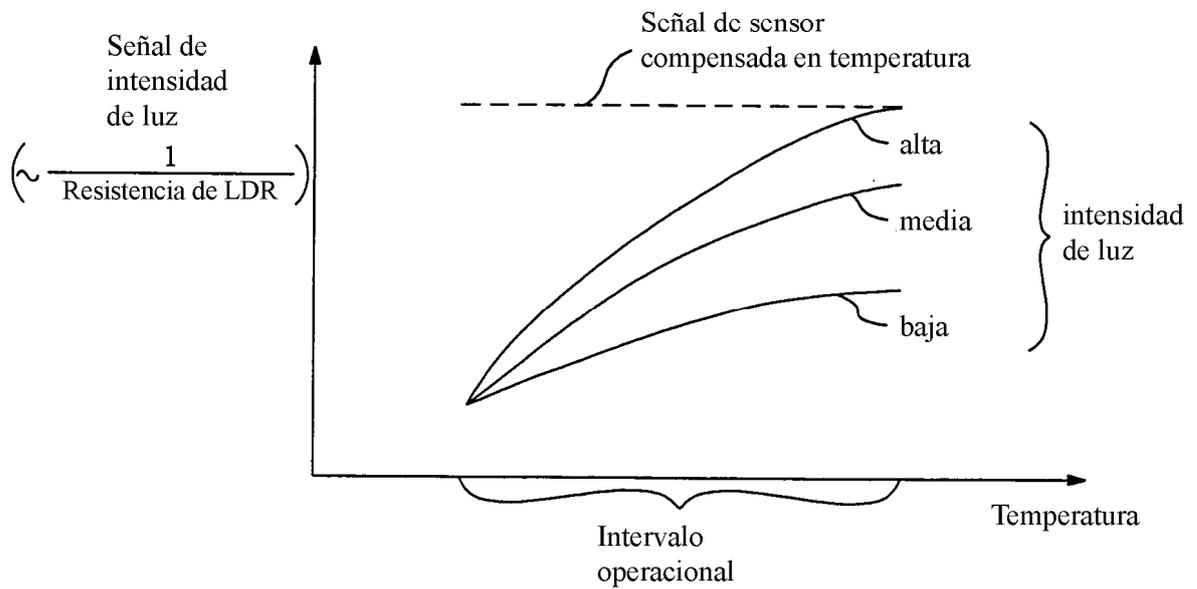


Fig. 9

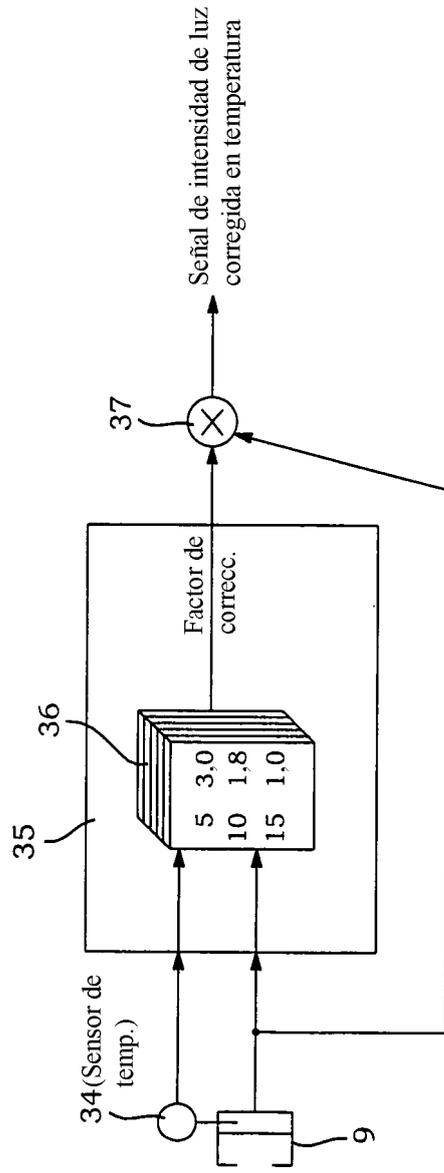


Fig. 10

