

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 759 363**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.03.2014 PCT/DK2014/050056**

87 Fecha y número de publicación internacional: **17.09.2015 WO15135546**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.03.2014 E 14710491 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.11.2019 EP 3117094**

54 Título: **Turbina eólica con control de sobreestimación**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
08.05.2020

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

72 Inventor/es:
**HALES, KELVIN y
SPRUCE, CHRIS**

74 Agente/Representante:
ARIAS SANZ, Juan

ES 2 759 363 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

Turbina eólica con control de sobreestimación

5 Esta invención se refiere al control de sobreestimación en turbinas eólicas y centrales de energía eólica, y particularmente a métodos y aparatos que posibilitan que una o más turbinas eólicas de una central generen de manera transitoria energía por encima de la salida nominal dependiendo de variables externas. Un control de sobreestimación de ejemplo de un parque eólico se conoce del documento US2006/0273595 A1.

10 La potencia nominal de una turbina eólica se define en IEC 61400 como la salida de potencia eléctrica continua máxima que una turbina eólica está designada a lograr bajo condiciones de funcionamiento y externas normales. Las grandes turbinas eólicas comerciales están diseñadas generalmente para una vida útil de 20 años y su salida de potencia nominal tiene en cuenta esa duración.

15 Es deseable sobreestimar una turbina eólica puesto que proporciona un aumento en la producción de energía anual (AEP) de la turbina. Dicho de otro modo, puede generarse más energía a lo largo de un año que si la turbina funcionase solamente en su ajuste nominal. Sin embargo, la sobreestimación lleva a un mayor desgaste y fatiga de componente dentro de la turbina, con el resultado de que la vida útil de la turbina puede acortarse. La sobreestimación también puede significar que la turbina puede necesitar un mayor mantenimiento, requiriendo la turbina posiblemente apagarse cuando haya un ingeniero allí mismo. Apagar una turbina eólica coloca una carga mayor en las turbinas restantes en la central para satisfacer la salida de energía objetivo de la central en ese momento, y significa que el aumento esperado en la AEP no se realice. El mantenimiento también puede ser difícil y costoso ya que las turbinas pueden estar en ubicaciones inaccesibles. Es, por tanto, beneficioso para controlar la extensión a la que se sobreestima cada turbina eólica, equilibrando la necesidad para satisfacer las demandas de salida de energía con las desventajas explicadas anteriormente.

Para decidir cuánto sobreestimar cada turbina eólica pueden ser importantes consideraciones adicionales. Por ejemplo, sistemas de control conocidos miden las temperaturas de componentes eléctricos particulares en la góndola de turbina y colocan un límite superior en la cantidad de potencia sobreestimada que va a generarse. Por motivos de seguridad, tales sistemas están diseñados para ser preservadores y, por tanto, pueden limitar la producción de energía llevando innecesariamente a una pérdida en la generación.

Por tanto, se ha apreciado que sería deseable proporcionar un control mejorado que posibilite que las turbinas eólicas funcionen por encima de la potencia nominal.

Sumario de la invención

La invención se define en las reivindicaciones independientes a las que debe hacerse referencia ahora.

40 Se exponen características ventajosas en las reivindicaciones dependientes.

La presente invención se refiere a un método de control para controlar un generador de turbina eólica para generar potencia por encima de su valor nominal, en el que el grado en que se sobreestima una característica de funcionamiento de turbina eólica se basa en una o más variables de funcionamiento de turbina eólica. El método comprende recibir un primer punto de referencia para una primera variable de funcionamiento, determinar si la primera variable de funcionamiento difiere del punto de referencia, y determinar el grado en que va a sobreestimarse el generador de turbina eólica entre un valor de ajuste sobreestimado máximo y uno mínimo. La medida en que se sobreestima el generador de turbina eólica se basa en la medida en que la primera variable de funcionamiento difiere del primer punto de referencia. Se produce un primer valor de orden de sobreestimación basándose en la determinación, y la sobreestimación del generador de turbina eólica se controla basándose en el primer valor de orden de sobreestimación. Este método tiene la ventaja de que la sobreestimación puede ajustarse de manera continuada en respuesta a cambios en la una o más variables de funcionamiento, con el fin de impedir que las variables de funcionamiento difieran por una extensión demasiado grande de sus puntos de referencia. Esto permite que la salida de potencia promedio de la turbina eólica aumente mientras se siguen manteniendo las variables de funcionamiento dentro de límites apropiados.

Ventajosamente, la característica de funcionamiento es una o más de la energía generada por el generador de turbina eólica, la velocidad de rotación del generador de turbina eólica, el par de carga del generador de turbina eólica, y la corriente de carga del generador de turbina eólica. Por tanto, la extensión a la que se sobreestima la salida de potencia, la velocidad de rotación, el par de carga y/o la corriente de carga del generador se controla según el método de la presente invención.

Ventajosamente, el método de control comprende, además, recibir un punto de referencia de alarma para la primera variable de funcionamiento en la que se emite una señal de alarma, ajustando la sobreestimación de turbina eólica máxima para que sea igual al ajuste sobreestimado cuando la primera variable de funcionamiento es igual al primer punto de referencia, y reduciendo de manera progresiva la sobreestimación de turbina eólica al ajuste sobreestimado

mínimo basándose en la extensión a la que la primera variable de funcionamiento difiere del primer punto de referencia. Cuando el valor del funcionamiento variable tiende hacia el punto de referencia de alarma, el ajuste sobreestimado mínimo se alcanza antes de que se alcance el punto de referencia de alarma. La probabilidad de una variable de funcionamiento que alcanza un punto de referencia de alarma por tanto se reduce, permitiendo que la turbina eólica funcione durante periodos de tiempo más largos entre interrupciones de corriente.

Ventajosamente, cuando la primera variable de funcionamiento se determina para que sea igual al punto de referencia de alarma, se emite una señal de alarma que da como resultado uno o más de: el apagado del generador de turbina eólica, la disminución de la potencia por debajo de la potencia nominal, la regulación de paso de las palas de turbina eólica a una posición en bandera, la aplicación de frenado mecánico o eléctrico, la desconexión del disyuntor principal, el envío de un mensaje de advertencia a un sistema de adquisición de datos y de control supervisor, el registro de las condiciones de funcionamiento en el momento de la alarma. Por tanto, se emprende una acción apropiada para impedir un funcionamiento peligroso o indeseable de la turbina eólica.

Ventajosamente, el método de control comprende, además, recibir un segundo punto de referencia para una segunda variable de funcionamiento, determinar si la segunda variable de funcionamiento difiere del segundo punto de referencia, y determinar la extensión a la que va a sobreestimarse el generador de turbina eólica entre un valor de ajuste sobreestimado máximo y uno mínimo. La medida de la sobreestimación se basa en la medida en la que la segunda variable de funcionamiento difiere del segundo punto de referencia, y se produce un segundo valor de orden de sobreestimación basándose en la determinación. La sobreestimación del generador de turbina eólica se controla basándose en los valores de orden de sobreestimación primero y segundo. Por tanto, pueden considerarse los valores de múltiples variables de funcionamiento, y las variables de funcionamiento pueden usarse en la determinación de valores de orden de sobreestimación asociados con cada variable de funcionamiento.

Ventajosamente, el método de control comprende, además, seleccionar el valor mínimo de entre el primer valor de orden de sobreestimación y el segundo valor de orden de sobreestimación, controlar la sobreestimación del generador de turbina eólica según el mínimo del primer valor de orden de sobreestimación y el segundo valor de orden de sobreestimación, y no tener en cuenta valores de orden más altos que el valor de orden seleccionado mínimo. La variable de funcionamiento que tiene el efecto más limitante en la sobreestimación puede determinarse de ese modo y controlarse, por consiguiente, la cantidad de sobreestimación.

Ventajosamente, el método de control comprende, además, recibir un tercer punto de referencia para una tercera variable de funcionamiento, indicando el tercer punto de referencia un punto de transición entre una región operativa en la que se permite la sobreestimación y una región operativa en la que ha de cancelarse la sobreestimación, determinar en qué región operativa se encuentra la tercera variable de funcionamiento, y cancelar la sobreestimación del generador de turbina eólica basándose en la determinación. Por tanto, para determinadas variables de funcionamiento, la sobreestimación puede cancelarse inmediatamente cuando la variable alcanza un valor determinado.

Ventajosamente, el método comprende, además, consultar uno o más sensores para determinar valores para las variables de funcionamiento primera, segunda o tercera, y determinar si los puntos de referencia primero, segundo o tercero se exceden basándose en los valores determinados. Los valores de las variables de funcionamiento pueden determinarse, por tanto, mediante mediciones hechas por sensores.

Ventajosamente, el método comprende, además, inferir valores para las variables de funcionamiento primera, segunda o tercera por uno o más de: estimar el valor, calcular el valor, buscar el valor en una tabla, asignar un número fijo a la variable de funcionamiento, usar una fórmula matemática para determinar el valor, determinar el valor según los datos suministrados a la turbina eólica, obtener el valor a partir de hardware o software independiente con respecto a la turbina eólica. Por tanto, los valores de las variables de funcionamiento no se originan necesariamente a partir de mediciones de cantidades físicas, sino que pueden inferirse por otros medios.

Ventajosamente, la medida de la sobreestimación se determina usando uno o más de control proporcional, control proporcional-integral, control proporcional-integral-derivativo. Por tanto, pueden lograrse características de control mejoradas.

La presente invención se refiere también a un controlador de turbina eólica configurado para llevar a cabo el método anterior.

La presente invención se refiere también a un programa informático que, cuando se ejecuta en un controlador de turbina eólica provoca que el controlador de turbina eólica lleve a cabo las etapas del método anterior.

Breve descripción de los dibujos

Ahora se describirán realizaciones de la invención, a modo de ejemplo solamente, y con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

la figura 1 es una vista esquemática de una góndola de turbina eólica;

la figura 2 es un gráfico que ilustra un control de corte de la cantidad de sobreestimación en respuesta a una variable de funcionamiento tal como temperatura, según un método de control conocido;

la figura 3 es un gráfico que ilustra un control proporcional de la cantidad de sobreestimación en respuesta a una variable de funcionamiento tal como temperatura, según una realización de la invención;

la figura 4 es un gráfico que ilustra un control no lineal de la cantidad de sobreestimación en respuesta a una variable de funcionamiento tal como temperatura según una realización de la invención;

la figura 5 es un diagrama de flujo que ilustra el procedimiento proporcional de control y la selección de la demanda de sobreestimación más baja, según una realización de la invención;

la figura 6 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento de control mediante el cual la turbina puede o bien sobreestimarse por completo o bien sobreestimarse a cero, y la selección de la demanda de sobreestimación más baja, según una realización de la invención;

la figura 7 es una vista esquemática de una central de energía eólica que usa un controlador de central energética.

Descripción detallada

La figura 1 es una ilustración de una góndola de turbina eólica de ejemplo 6 montada en una torre 8. Una o más palas de turbina eólica 10 están conectadas al cubo 12, que hace rotar el árbol de accionamiento principal 14. El árbol de accionamiento está acoplado a una caja de engranajes 16, que acciona a su vez un árbol secundario 18 acoplado al generador 20. El árbol de accionamiento principal 14 se soporta por el cojinete principal 22. Un convertidor de potencia y/o transformador 24 se aloja también dentro de la góndola. Componentes adicionales incluyen un accionador de guiñada 26 y actuador de paso 28. Los sensores 30, 32, 34, y 36 alimentan también señales de sensor a un controlador 38. Estos sensores pueden incluir un anemómetro y una veleta 30, dispositivo de medición de velocidad de viento oscilante 32 (por ejemplo, LIDAR, RADAR, o SONAR), sensor(es) de temperatura 34, y dispositivo de monitorización de turbulencias 36. El/los sensor(es) de temperatura 34 mide(n) la temperatura de los componentes clave, por ejemplo, la caja de engranajes 16 y/o el generador 20, así como la temperatura de aire tanto en el interior como en el exterior de la góndola.

El controlador 38 es responsable de controlar los componentes alojados en la góndola de turbina eólica 6, y el funcionamiento del generador de turbina eólica. El controlador 38 puede incluir, por tanto, una o más rutinas que ajustan de manera diversa el paso de las palas de turbina eólica, controlan el funcionamiento del generador, y activan funciones de seguridad que dependen de las condiciones ambientales y operacionales detectadas por los sensores. Esta descripción de funciones de control no pretende ser limitante. En este ejemplo, el controlador 38 también funciona como un controlador de sobreestimación que provoca que el generador produzca de manera transitoria energía en exceso de su valor nominal.

El control de una turbina eólica para funcionar a un nivel de potencia sobreestimado depende de los valores de las variables de funcionamiento apropiadas que se encuentran dentro de intervalos seguros ajustados. Si la temperatura de la caja de engranajes pasa a ser demasiado alta, por ejemplo, entonces ya no será posible hacer funcionar la turbina eólica sin que se produzca un daño potencial a la caja de engranajes y sus componentes conectados respectivos. Para evitar tales situaciones, el controlador de sobreestimación 38 recibe, por tanto, señales de sensor desde el uno o más sensores 30, 32, 34, 36, compara estas con valores almacenados en memoria, y emprende una acción para controlar los ángulos de paso de pala y/o el generador según sea apropiado.

En un método de control conocido, algunos de los valores almacenados en memoria corresponden a límites superiores aceptables en la variable que se miden por el sensor. Esta clase de valor, que indica un límite o umbral por encima del cual el valor de la variable de funcionamiento no debe elevarse, se denominará en este ejemplo límite de alarma. Si la variable excede el límite de alarma, entonces el controlador puede emitir una señal de alarma, que, a su vez, puede desencadenar una interrupción de la corriente del generador de turbina eólica, una disminución de la potencia, una regulación de paso de las palas de turbina eólica a una posición en bandera, o en efecto cualquier otra función de protección adecuada.

Adicionalmente, el controlador almacena uno o más valores en memoria que corresponden a un límite superior para la variable por encima del que se considera que la sobreestimación es peligrosa o indeseable. Esta clase de valor se denominará límite de sobreestimación. Una vez que se detecta que la variable de funcionamiento excede el límite de sobreestimación, se aplica una función de cancelación para cortar la sobreestimación aplicada por el controlador de sobreestimación. Dicho de otro modo, el valor para la sobreestimación se corta desde el 100 % directamente hasta el 0 % y la sobreestimación, por tanto, se desactiva.

Los valores de límite de alarma y el límite de sobreestimación se denominan "puntos de referencia" para indicar que

los valores pueden programarse y pueden introducirse en instalación o mantenimiento mediante un ingeniero de diseño o mantenimiento. Habitualmente, el punto de referencia para el límite de sobreestimación se ajusta ligeramente más bajo que el límite de alarma, de modo que hay un margen de seguridad entre la cancelación de la sobreestimación y la emisión de una señal de alarma.

5 En un ejemplo, por tanto, el controlador de sobreestimación puede recibir una entrada desde el sensor de temperatura de caja de engranajes, y almacenar un valor de límite de alarma que indica el límite aceptable superior en la temperatura de caja de engranajes y uno inferior, un valor de límite de sobreestimación que indica la temperatura a la que debe cancelarse la sobreestimación. Esto permite que se desactive la sobreestimación antes de alcanzarse una temperatura demasiado alta, con el objetivo de permitir que la caja de engranajes se enfríe. Si no se emprende tal acción, entonces la temperatura en aumento excederá finalmente el límite de alarma, desencadenando potencialmente una interrupción de la corriente, y contribuyendo a una reducción en la AEP de esa turbina, así como unos costes de mantenimiento mayores.

15 El escenario descrito anteriormente se ilustra en más detalle en la figura 2, en la que el eje x del gráfico indica la temperatura de aceite de caja de engranajes que se detecta por el sensor, y el eje y del gráfico indica la referencia de potencia producida por el controlador de sobreestimación. Según la referencia de potencia P_{ref} , se controla la salida de generador. Un valor de P_{ref} de 1,0 corresponde a la potencia nominal que el generador está diseñado para producir. Un valor para P_{ref} de 1,1 por ejemplo indica un punto de referencia de sobreestimación para el que el controlador requiere que el generador produzca un 10 % más de potencia que el valor nominal.

25 En este ejemplo, el control de sobreestimación incluye dos regímenes distintos. Hasta una temperatura indicada por T_{corte} , se permite la sobreestimación y el controlador produce una señal de referencia de potencia de 1,1, para ajustar la salida de potencia por el generador al 10 % sobreestimado. A la temperatura T_{corte} el controlador cancela el modo de sobreestimación de funcionamiento, y la salida de potencia se ajusta a 1,0, que es la potencia nominal. El ajuste de temperatura más alta de T_{alarma} indica un límite seguro superior en la temperatura de aceite de caja de engranajes en el que una señal de alarma se transmite al controlador y la turbina posiblemente se apaga por motivos de seguridad. Por tanto, T_{alarma} se entenderá que es un límite de alarma, y T_{corte} un límite de sobreestimación.

30 En este ejemplo, el límite de alarma de temperatura de aceite de caja de engranajes puede ajustarse en 80°C y la temperatura de corte de sobreestimación ajustarse en 76°C que da un margen de seguridad de 4°C para que se cancele la sobreestimación, y se permita que se enfríe la caja de engranajes. Puede ser preferible, en la práctica, usar diferentes umbrales dependiendo de si la variable de funcionamiento está aumentando o disminuyendo, ya que la construcción de histéresis en el control actúa para impedir una conmutación rápida de la referencia de potencia cuando la variable de funcionamiento está próxima al umbral. Aunque, en este ejemplo, la cancelación de sobreestimación se produce cuando la variable aumenta por encima del límite de sobreestimación, se apreciará que también pueden usarse variables en disminución para cancelar la sobreestimación y desencadenar alarmas.

40 El controlador de sobreestimación de la técnica anterior descrito anteriormente tiene la desventaja de que el ciclo repetido entre sobreestimación activada y desactivada lleva rápidamente a la fatiga y el desgaste de componente, y tiene una desventaja adicional en que la AEP no es tan alta como podría ser para un controlador de sobreestimación que emplea una forma más sofisticada de control.

45 Una realización de ejemplo de la invención se comentará ahora con referencia a la figura 3. En la figura 3, se muestra un gráfico que ilustra un método mejorado de control del ajuste de potencia sobreestimada. Se define un punto de referencia de temperatura de límite inferior S_1 además del límite de alarma de temperatura alta T_{alarma} . Por debajo de la temperatura S_1 , el control de sobreestimación se activa por completo y la referencia de potencia está en su valor máximo de 1,1. En temperaturas en exceso de la temperatura S_1 , el controlador reduce la referencia de potencia de manera lineal desde 1,1 hasta 1,0 cuando aumenta la temperatura. En límite de temperatura más alto, S_2 , la cantidad de sobreestimación se ajusta para ser cero. Al igual que antes, si la temperatura excede T_{alarma} entonces se alcanza la temperatura límite de alarma y la turbina puede apagarse. En un ejemplo, se implementa el control mediante un solo punto de referencia S_1 , y una ganancia proporcional K_p que se usan en control de bucle cerrado para reducir de manera proporcional la referencia de potencia sobre el intervalo predeterminado de temperaturas (S_1 a S_2). En este ejemplo, el controlador solo se requiere para almacenar un solo nuevo punto de referencia S_1 y los parámetros para implementar el control de bucle cerrado. En otro ejemplo, ambos límites de temperatura S_1 y S_2 pueden almacenarse como puntos de referencia.

50 En este ejemplo, las temperaturas S_1 y S_2 se ajustan para encontrarse en cada lado de la temperatura de corte T_{corte} previa en valores de, por ejemplo, 73°C y 78°C. El punto de referencia de temperatura previo T_{corte} también puede seguir almacenándose en memoria.

65 El funcionamiento de controlador de sobreestimación ilustrado en la figura 3 proporciona un control más suave en condiciones de funcionamiento marginales que el control de la técnica anterior de la figura 2 y reduce la cantidad de conmutación entre ajustes de sobreestimación máximo y mínimo. Además, un sistema de este tipo permite que el controlador se acerque al nivel de potencia máximo en el que la turbina puede generar en un nivel sostenible. Dicho de otro modo, tal como se ilustra en la figura 3, el punto de referencia S_2 recae en el margen de seguridad previo de

la figura 2, lo que significa que puede tener lugar una sobreestimación en un intervalo mayor de temperaturas, pero en niveles reducidos con respecto al caso anterior.

Un generador de turbina eólica que funciona durante la mitad del tiempo a $P_{ref} = 1,1$ y la mitad del tiempo a $P_{ref} = 1,0$, controlado por el método de control de sobreestimación de la técnica anterior de la figura 2, producirá una salida de potencia media de una potencia nominal del 105 %. En cambio, un generador controlado según el método de control de sobreestimación de la figura 3 puede ajustarse en un valor aproximadamente constante de $P_{ref} = 1,07$, produciendo una salida de potencia media de potencia nominal del 107 %. Este escenario puede aplicarse, particularmente, si el efecto de calentamiento no es lineal, es decir, la mayor parte del aumento de temperatura durante la sobreestimación se produce cercano a la potencia de sobreestimación máxima ($P_{ref} = 1,1$). Tales efectos se agravan cuando muchos componentes se hacen funcionar de manera independiente próximos a sus temperaturas de umbral.

En realizaciones alternativas, puede ser preferible usar una relación de control no lineal entre la variable operacional (por ejemplo, la temperatura) y la referencia de potencia. Un ejemplo de una relación de este tipo se ilustra mediante el gráfico en la figura 4. Además, puede ser preferible usar un controlador proporcional-integral (PI), un controlador proporcional-integral-derivativo (PID), o cualquier otro tipo de controlador para ajustar el punto de referencia de sobreestimación en respuesta al/a los valor(es) de una o más variables de funcionamiento.

En la práctica, el control de sobreestimación se conduce basándose en un número de variables de funcionamiento monitorizadas o inferidas, no solamente una sola variable como en el ejemplo descrito anteriormente. El controlador de sobreestimación recibe, por tanto, necesariamente un número de entradas desde sensores asociados para monitorizar, de ese modo, el generador, los componentes eléctricos y mecánicos de la turbina eólica, y electrónica de potencia asociada, y asegurar que el funcionamiento se controla de manera segura.

Pueden tratarse diferentes variables de funcionamiento en un número de diferentes maneras. Al igual que antes, algunos parámetros pueden corresponder a límites de alarma y límites de sobreestimación, que desencadenan funciones de protección, tales como funciones de corte que desactivan completamente la función de sobreestimación, o que interrumpen la corriente de la turbina eólica. Otros parámetros, por otro lado, corresponden a puntos de referencia en los que la sobreestimación se reduce desde su valor máximo hasta un valor inferior, tal como cero. De estas variables de funcionamiento y sus parámetros asociados, es útil comentar aquellos controles de limitación, o 'restricciones operacionales', que dependen de la retroalimentación, y aquellos que no. Estos se describirán en más detalle a continuación. Además, se apreciará que donde hay un número de variables de funcionamiento según el cual la referencia de potencia de sobreestimación se controla en paralelo, el controlador requerirá una técnica para combinar los diferentes valores de sobreestimación indicados por los respectivos puntos de referencia y procedimientos de control. En este ejemplo, y por simplicidad, se asocian procedimientos de control independientes con las respectivas variables de funcionamiento.

Por ejemplo, considerar una realización donde el controlador monitoriza dos temperaturas en diferentes ubicaciones, tales como la temperatura de aceite de caja de engranajes de la figura 3, y también la temperatura de panel principal de turbina eólica. Al igual que antes, si en la figura 3, puntos de referencia S_1 y S_2 corresponden a temperaturas de 73°C y 78°C , y se detecta que la temperatura de aceite de caja de engranajes de funcionamiento es de $75,5^{\circ}\text{C}$, el procedimiento de control para la temperatura de aceite de caja de engranajes producirá una referencia de potencia de 1,05. Al mismo tiempo, asumir que la función de control para la temperatura de panel principal es la misma forma, pero el primer punto de referencia S_1 es 68°C y el segundo punto de referencia S_2 es 72°C . Entonces, si la temperatura de panel principal se detecta como 71°C , la referencia de potencia producida a partir del procedimiento de control para la temperatura de panel principal variable será 1,025. En este ejemplo, el controlador de sobreestimación selecciona el mínimo de las referencias de potencia producidas por los procedimientos de control, de modo que la referencia de potencia se mantiene por debajo de los límites aceptables para todas las variables monitorizadas o inferidas. En realizaciones alternativas, el controlador puede funcionar de manera diferente aplicando valores de peso a las referencias de potencia producidas antes de combinarlas usando una función de promediado adecuada. Pueden ser posibles otras técnicas de control.

La figura 5 muestra un diagrama de flujo que representa etapas de decisión llevadas a cabo por el controlador de sobreestimación. Un punto de referencia 102 se introduce inicialmente en el controlador para una primera variable de funcionamiento contra la que va a controlarse la cantidad de sobreestimación. En la etapa 104, se obtiene el valor último de la variable de funcionamiento. Esto puede implicar llevar a cabo una medición directa desde un sensor, por ejemplo, u obtener el valor de una manera diferente, tal como estimar el valor, calcular el valor, o inferir el valor basándose en, por ejemplo, otras variables medidas o los valores de otras variables de funcionamiento. Además, el valor de una variable de funcionamiento puede determinarse mediante una fórmula matemática, buscarse en una tabla, permanecer fijo, o determinarse basándose en datos suministrados a la turbina eólica, por ejemplo, datos que conciernen condiciones de funcionamiento presentes o futuras. El valor de la variable puede pasarse al procedimiento de control mediante otra pieza de software o hardware. Por ejemplo, la tensión de red puede obtenerse mediante un controlador de central energética, en cuyo caso la etapa 104 implicará obtener este valor a partir de dicho controlador de central energética en lugar de llevar a cabo una medición en sí misma, aunque puede ser preferible en otras realizaciones medir el valor de tensión de red en cada turbina eólica individual.

La diferencia entre el punto de referencia de la variable (obtenido en la etapa 102) y su valor último (obtenido en la etapa 104) se usa para calcular el valor de error en la etapa 106. Por el ejemplo de una variable de control de temperatura, en la que normalmente se desea reducir la cantidad de sobreestimación si la temperatura pasa a ser demasiado alta, el valor de error E se calcula como $E = T_{\text{último}} - T_{\text{punto de referencia}}$ para $T_{\text{último}} > T_{\text{punto de referencia}}$. Si $T_{\text{último}} \leq T_{\text{punto de referencia}}$ entonces el valor de error es cero. En este caso, $T_{\text{último}}$ es el último valor medido de la temperatura, y $T_{\text{punto de referencia}}$ es el punto de referencia de temperatura.

Para otras variables de control es deseable reducir la cantidad de sobreestimación si la variable pasa a ser demasiado baja en lugar de demasiado alta. Un ejemplo de esto es la tensión de red, V . En este caso, el error es cero si $V_{\text{último}} \geq V_{\text{punto de referencia}}$, pero se da mediante $E = V_{\text{punto de referencia}} - V_{\text{último}}$ si $V_{\text{último}} < V_{\text{punto de referencia}}$. $V_{\text{último}}$ es el último valor medido de la tensión de red, y $V_{\text{punto de referencia}}$ es el punto de referencia de tensión de red, por debajo del cual se usa control de la sobreestimación para aumentar la tensión de red de vuelta a su valor preferido. En ambas situaciones anteriores, en las que la sobreestimación debería reducirse si las variables de funcionamiento pasan a ser o bien demasiado altas o bien demasiado bajas, es la medida en la que la variable de funcionamiento difiere del punto de referencia que se usa en la determinación del error, y por tanto la cantidad de sobreestimación.

En el caso de control proporcional, el valor de error se multiplica por una constante K_p en la etapa 108. Esto da como resultado un valor para la diferencia entre la sobreestimación máxima y un punto de referencia de sobreestimación reducido dependiendo del último valor obtenido de la variable de funcionamiento. Si se usan otras formas de control, entonces puede requerirse una etapa 108 diferente. Por ejemplo, en el caso de control no lineal, puede usarse una tabla de consulta o fórmula matemática para obtener el punto de referencia de sobreestimación actualizado para un valor de error dado. Si se usa control PI, entonces la etapa 108 calculará una contribución adicional para el punto de referencia de sobreestimación actualizado sumando juntos valores de error anteriores, y el control PID incluirá adicionalmente una contribución dependiendo de la velocidad de cambio de los valores de error. Otras formas de control pueden usarse también para determinar el punto de referencia de sobreestimación basándose en el/los valor(es) de error.

El punto de referencia de sobreestimación de potencia calculado para esa variable de control se produce entonces para el bloque 112. Tal como se observó anteriormente, las etapas descritas hasta ahora pueden llevarse a cabo para cualquier número de variables de funcionamiento, por ejemplo, aproximadamente 30 variables de funcionamiento, cuyos valores se usarán para obtener puntos de referencia independientes para la cantidad de sobreestimación. En este ejemplo, el bloque 112 recibe, por tanto, un número de entradas correspondiente al punto de referencia de sobreestimación apropiado para cada una de las variables de funcionamiento monitorizadas o inferidas. En la etapa 112, se selecciona la referencia de potencia de sobreestimación mínima, y se convierte en unidades de potencia relativas a la potencia nominal en la etapa 114.

La potencia nominal de la turbina eólica, representada en la etapa 116, se añade opcionalmente a una potencia de derivación 118 en la etapa 120. Esta potencia de derivación permite que se produzca una determinada cantidad de sobreestimación, aunque el punto de referencia de sobreestimación mínimo producido a partir de la etapa 112 sea cero. La potencia nominal combinada de la turbina eólica y la potencia de derivación se añade posteriormente a la demanda de sobreestimación a escala en la etapa 122 para obtener un valor final, en unidades de potencia, al que debe ajustarse la potencia de la turbina eólica. Este valor de potencia se alimenta, entonces, al controlador de turbina eólica apropiado y la salida de potencia de la turbina ajustada por consiguiente (etapa 124).

Para algunas variables de funcionamiento, habrá una retroalimentación directa entre la medición hecha por el sensor correspondiente y el ajuste de demanda de potencia producida por el procedimiento de control; como, por ejemplo, la temperatura en el panel principal, o la temperatura de aceite de caja de engranajes. Dicho de otro modo, para estas variables, el ajuste hecho para la cantidad de sobreestimación que se genera, afectará a la(s) variable(s) contra la(s) que se controla la sobreestimación, y una reducción en la cantidad de sobreestimación se esperará que lleve, por ejemplo, a una reducción correspondiente en temperatura. Para estas variables, en la figura 5, se ilustra, por tanto, un bucle de control completo mediante el enlace 126, que representa la relación entre cambios en la cantidad de sobreestimación y cambios en la variable de control, y el control automático es, por tanto, el de un control de retroalimentación negativa. Estas variables pueden denominarse restricciones de bucle cerrado, por ejemplo.

Tales variables de funcionamiento pueden incluir la temperatura de cojinete principal, la temperatura de cojinete frontal de caja de engranajes, las temperaturas frontal y trasera de cojinete intermedio de caja de engranajes, la temperatura de cojinete trasero de caja de engranajes, las temperaturas de los arrollamientos de estator de generador, la temperatura de cable de caja de terminales de generador, la temperatura de panel principal, la temperatura de convertidor, y la temperatura de transformador, que deben mantenerse por debajo de los requisitos de valor de temperatura del equipo eléctrico encerrado, que incluye los contactores, el disyuntor y las barras colectoras.

Para otras variables de funcionamiento, puede haber una retroalimentación insignificante o no directa entre la medición de la variable y la demanda de potencia, tal como la tensión de red, por ejemplo, pero, no obstante, la demanda de potencia debe variarse en proporción a o basándose en la medición. Para estas variables, que pueden denominarse restricciones de bucle abierto, no hay, por tanto, 'bucle' de control o retroalimentación, y el control es similar a un control de relación. Al no haber bucle de control para estas variables, el enlace 126 está teóricamente ausente de la

figura 5 para esta clase de variable. Tales variables de funcionamiento incluyen tensión de red, frecuencia de red, o tensión de transformador.

5 Tal como muestra esquemáticamente 126 la presencia o ausencia de un bucle de control de retroalimentación para cada variable de funcionamiento, se indica el enlace con una línea discontinua en la figura 5.

10 Será evidente para los expertos en la técnica que, con el fin de controlar de manera eficiente la cantidad de sobreestimación, los parámetros que se usan para ajustar el procedimiento de control (por ejemplo, K_p) deben elegirse de manera que el sistema converge en un punto de referencia estable para la cantidad de sobreestimación dentro de una escala de tiempo apropiada. El procedimiento de control asociado con cada variable de funcionamiento es probable que requiera diferentes parámetros (por ejemplo, diferentes valores de K_p) con el fin de lograr eso, y estos parámetros dependerán de los detalles del sistema que se use.

15 En un escenario alternativo, la potencia sobreestimada puede convertirse en un límite máximo correspondiente en par de carga de generador Q y/o velocidad de generador ω , por medio de la relación $P = Q \omega$. Esto se aplicaría para turbinas en las que el funcionamiento sobreestimado se restrinja usando una o ambas de estas variables en lugar de restringirse directamente por la potencia. La corriente de generador puede usarse para inferir un par de carga de generador, el par de carga de generador puede usarse para inferir un par de rotor o el par en cualquier otra parte del tren de accionamiento, y puede usarse la velocidad de generador para inferir la velocidad de rotor o la velocidad en cualquier otra parte en el tren de accionamiento. Por tanto, la potencia sobreestimada también puede convertirse en límites correspondientes en uno de velocidad de rotor, velocidad de generador o la velocidad en otra ubicación en el tren de accionamiento, junto con uno de corriente de generador, par de generador, par de rotor o par en cualquier ubicación en el tren de accionamiento.

20 Para determinadas variables de control, puede ser apropiado proporcionar solamente dos posibles salidas para la cantidad de sobreestimación: o bien cero sobreestimado o por completo sobreestimado. Por ejemplo, si se detecta que un sensor particular está averiado, entonces puede ser preferible cancelar la sobreestimación inmediatamente. Un diagrama de flujo para este tipo de control, "restricciones de cancelación de bucle abierto", se representa en la figura 6.

30 Continuando con el ejemplo de un fallo de sensor, el punto de referencia es igual a "sin fallo" (102) y se obtiene (104) el valor último del estado del sensor, que es o bien "fallo" o bien "sin fallo". Estos dos valores se alimentan en un operador de relación 150 cuya salida se alimenta en un conmutador 152. Por tanto, si el punto de referencia es igual a "sin fallo" y el valor último es también igual a "sin fallo", el operador de relación 150 produce "alto" y el conmutador 35 152 permanece en una sobreestimación del 100 %. Alternativamente, si el último valor del estado del sensor es "fallo", entonces el operador de relación 150 compara este con el punto de referencia y produce "bajo", cambiando el estado del conmutador 152 a una sobreestimación del 0 %.

40 Una vez que se produce, el punto de referencia de sobreestimación se pasa, entonces, a la siguiente etapa 112 que lo compara con los puntos de referencia de sobreestimación producidos a partir de las otras variables de control 110 y selecciona el mínimo. El resto del procedimiento continúa de la misma manera tal como se describió anteriormente.

45 Otras variables de control que se monitorizan y se implementan según restricciones de cancelación de bucle abierto asociadas incluyen disparadores de alarma de temperatura tales como la alarma de 1 segundo de temperatura de aceite de caja de engranajes, la alarma de temperatura de 10 minutos de temperatura de aceite de engranaje, la alarma de temperatura de 1 hora de temperatura de aceite de engranaje, la alarma de temperatura de panel superior (caja superior), la alarma de temperatura de panel de suministro de potencia ininterrumpible (UPS), la alarma de temperatura de panel de control, así como el valor de torsión de cable de torre y recuento de torsión de cable. Opcionalmente, restricciones adicionales pueden incluir que la temperatura de aire de ambiente pase a ser 50 excesivamente alta, o que cualquiera de las tres señales de factor de potencia de fase pase a ser excesivamente baja.

55 Restricciones adicionales para cancelar la sobreestimación pueden basarse en la detección de condiciones medioambientales tales como temperatura de aire, velocidad de viento, turbulencia, la llegada de ráfagas de viento inminentes, etcétera.

60 Al igual que antes, el controlador mantiene adicionalmente un número de límites de alarma. Los límites de alarma pueden incluir la alarma de 1 segundo de temperatura de aceite de caja de engranajes, la alarma de temperatura de 10 minutos de temperatura de aceite de engranaje, la temperatura de cable de caja de terminales de generador que pasa a ser excesivamente alta, la temperatura de aire de caja de terminales de generador que pasa a ser excesivamente alta, el sensor de temperatura de aire de caja de terminales de generador que está averiado, etcétera.

65 La figura 7 muestra cómo puede incorporarse el procedimiento de control de la presente invención en una central de energía eólica que incluye una pluralidad de turbinas eólicas 200, cada una de las cuales puede conectarse a un controlador de central energética 202. Enlaces de control y detección 204 y 206 conectan el controlador de central energética hasta y desde las turbinas eólicas. El controlador de central energética también se acopla por medio de enlaces 208 a la red 210 de manera que puede obtener, por ejemplo, el valor último de la tensión de red y los valores

de otras variables de control. Estos enlaces pueden ser enlaces adecuados cualesquiera de comunicación inalámbricos y/o por cable. Cada turbina eólica también se conecta por medio de cables 212 a la red 210 para permitir que se entregue la potencia generada.

5 El controlador de central energética puede comunicar el valor de la tensión de red u otras variables de funcionamiento a un sistema de control de turbina eólica individual por medio de la conexión 204, para su uso (posiblemente en combinación con una o más variables de funcionamiento adicionales) en el cálculo de una potencia sobreestimada máxima según el procedimiento de control descrito anteriormente. Esta potencia sobreestimada máxima puede comunicarse de vuelta con el controlador de central energética 202, que puede usar, entonces, esta información en la
10 decisión de demandas de potencia apropiadas para las otras turbinas eólicas. Estos puntos de referencia pueden comunicarse, entonces, con las turbinas apropiadas desde el controlador de central energética, y las turbinas hechas para ajustar su salida de potencia, por consiguiente.

15 Este procedimiento puede repetirse para ajustar dinámicamente la demanda de potencias hecha de cada turbina individual en respuesta a cambios en las potencias de sobreestimación máximas. Otros factores que pueden incluir, por ejemplo, la potencia total demandada de la central energética en su conjunto o el número de turbinas eólicas que son actualmente interrumpidas de la corriente también puede afectar a las demandas de potencia hechas de cada turbina individual por el controlador de central energética.

20 Se apreciará que el control de la potencia de sobreestimación máxima no se produzca necesariamente dentro de los controladores de turbinas eólicas independientes y, en su lugar, puede producirse dentro del controlador de central energética o en alguna otra ubicación.

25 Por tanto, se ha descrito una estrategia de control para sobreestimar generadores de turbina eólica. La estrategia de control reduce la sobreestimación a cero usando el control de retroalimentación antes de que se salten los niveles de alarma para condiciones sensibles a la potencia (tal como temperaturas de cojinete), para asegurar que la sobreestimación no es en sí misma la causa de un aumento de las alarmas e interrupciones de corriente. Además, se proporcionan funciones de control para permitir opcionalmente que se cancele o se reduzca la sobreestimación en cada turbina para abastecer condiciones locales que pueden afectar a la habilidad del equilibrio de la central para
30 llevar la potencia adicional, y las configuraciones de control aseguran que no se excedan en ningún momento las capacidades de soporte de corriente del equipo eléctrico: cables, conexiones y terminaciones, el panel principal, las barras colectoras, los disyuntores, los contactores, los componentes mecánicos, electrónica de potencia, y transformadores. La sobreestimación puede cancelarse en condiciones meteorológicas extremas, para evitar una
35 acumulación excesiva potencial de daño por fatiga.

Tal como se apreciará por la persona experta, el controlador y las diversas funciones de control se implementan adecuadamente en hardware y/o software según sea apropiado. Además, el controlador 15 puede ubicarse dentro de la góndola, la base de torre, o puede ubicarse en alguna otra posición. Un solo controlador también puede usarse para
40 más de una turbina eólica.

Las realizaciones descritas anteriormente son, por ejemplo, solamente propósitos, y se apreciará que pueden combinarse entre sí características de diferentes realizaciones.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un método de control para controlar un generador de turbina eólica para generar energía por encima de su valor nominal, en el que la extensión a la que se sobreestima una característica de funcionamiento de turbina eólica se basa en una o más variables de funcionamiento de turbina eólica, comprendiendo el método;

10 recibir un primer punto de referencia para una primera variable de funcionamiento;

determinar si la primera variable de funcionamiento difiere del punto de referencia;

15 determinar la extensión a la que va a sobreestimarse el generador de turbina eólica entre un valor de ajuste sobreestimado máximo y uno mínimo, basándose en la extensión a la que la primera variable de funcionamiento difiere del primer punto de referencia, y

20 producir un primer valor de orden de sobreestimación basándose en la determinación; y

controlar la sobreestimación del generador de turbina eólica basándose en el primer valor de orden de sobreestimación.
2. El método de control según la reivindicación 1, en el que la característica de funcionamiento es una o más de la energía generada por el generador de turbina eólica, la velocidad de rotación del generador de turbina eólica, el par de carga del generador de turbina eólica, y corriente de carga del generador de turbina eólica.
- 25 3. El método de control según cualquier reivindicación anterior, que comprende:

30 recibir un punto de referencia de alarma para la primera variable de funcionamiento en el que se emite una señal de alarma,

ajustar la sobreestimación de turbina eólica máxima para que sea igual al ajuste sobreestimado cuando la primera variable de funcionamiento es igual al primer punto de referencia, y

35 reducir de manera progresiva la sobreestimación de turbina eólica hasta el ajuste sobreestimado mínimo basándose en la extensión a la que la primera variable de funcionamiento difiere del primer punto de referencia,

en el que cuando el valor del funcionamiento variable tiende hacia el punto de referencia de alarma, el ajuste sobreestimado mínimo se alcanza antes de que se alcance el punto de referencia de alarma.
- 40 4. El método de control según la reivindicación 3, en el que cuando la primera variable de funcionamiento se determina para que sea igual al punto de referencia de alarma, se emite una señal de alarma que da como resultado uno o más de: el apagado del generador de turbina eólica, la disminución de la energía por debajo de la potencia nominal, la regulación de paso de las palas de turbina eólica a una posición en bandera, la aplicación de frenado mecánico o eléctrico, la desconexión del disyuntor principal, el envío de un mensaje de advertencia a un sistema de adquisición de datos y de control supervisor, el registro de las condiciones de funcionamiento en el momento de la alarma.
- 45 5. El método de control según cualquier reivindicación anterior, que comprende

50 recibir un segundo punto de referencia para una segunda variable de funcionamiento;

determinar si la segunda variable de funcionamiento difiere del segundo punto de referencia;

55 determinar la extensión a la que va a sobreestimarse el generador de turbina eólica entre un valor de ajuste sobreestimado máximo y uno mínimo, basándose en la extensión a la que la segunda variable de funcionamiento difiere del segundo punto de referencia, y producir un segundo valor de orden de sobreestimación basándose en la determinación; y

60 controlar la sobreestimación del generador de turbina eólica basándose en los valores de orden de sobreestimación primero y segundo.
6. El método de control según la reivindicación 5, que comprende:

65 seleccionar el valor mínimo de entre el primer valor de orden de sobreestimación y el segundo valor de orden de sobreestimación;

controlar la sobreestimación del generador de turbina eólica según el mínimo del primer valor de orden de

sobreestimación y el segundo valor de orden de sobreestimación,

no tener en cuenta valores de orden más altos que el valor de orden seleccionado mínimo.

- 5
7. El método de control según cualquier reivindicación anterior, que comprende:
- 10
- recibir un tercer punto de referencia para una tercera variable de funcionamiento, indicando el tercer punto de referencia un punto de transición entre una región operativa donde se permite la sobreestimación y una región operativa donde ha de cancelarse la sobreestimación;
- determinar en qué región operativa se encuentra la tercera variable de funcionamiento; y
- cancelar la sobreestimación del generador de turbina eólica basándose en la determinación.
- 15
8. El método según cualquier reivindicación anterior que comprende consultar uno o más sensores para determinar valores para las variables de funcionamiento primera, segunda y tercera, y determinar si los puntos de referencia primero, segundo o tercero se exceden basándose en los valores determinados.
- 20
9. El método según cualquier reivindicación anterior que comprende inferir valores para las variables de funcionamiento por uno o más de: estimar el valor, calcular el valor, buscar el valor en una tabla, asignar un número fijo a la variable de funcionamiento, usar una fórmula matemática para determinar el valor, determinar el valor según los datos suministrados a la turbina eólica, obtener el valor a partir de hardware o software independiente con respecto a la turbina eólica.
- 25
10. El método según cualquier reivindicación anterior, en el que la extensión de la sobreestimación se determina usando uno o más de control proporcional, control proporcional-integral, control proporcional-integral-derivativo.
- 30
11. Un controlador de turbina eólica configurado para llevar a cabo el método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10.
12. Un programa informático que, cuando se ejecuta en un controlador de turbina eólica provoca que el controlador de turbina eólica lleve a cabo las etapas de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10.

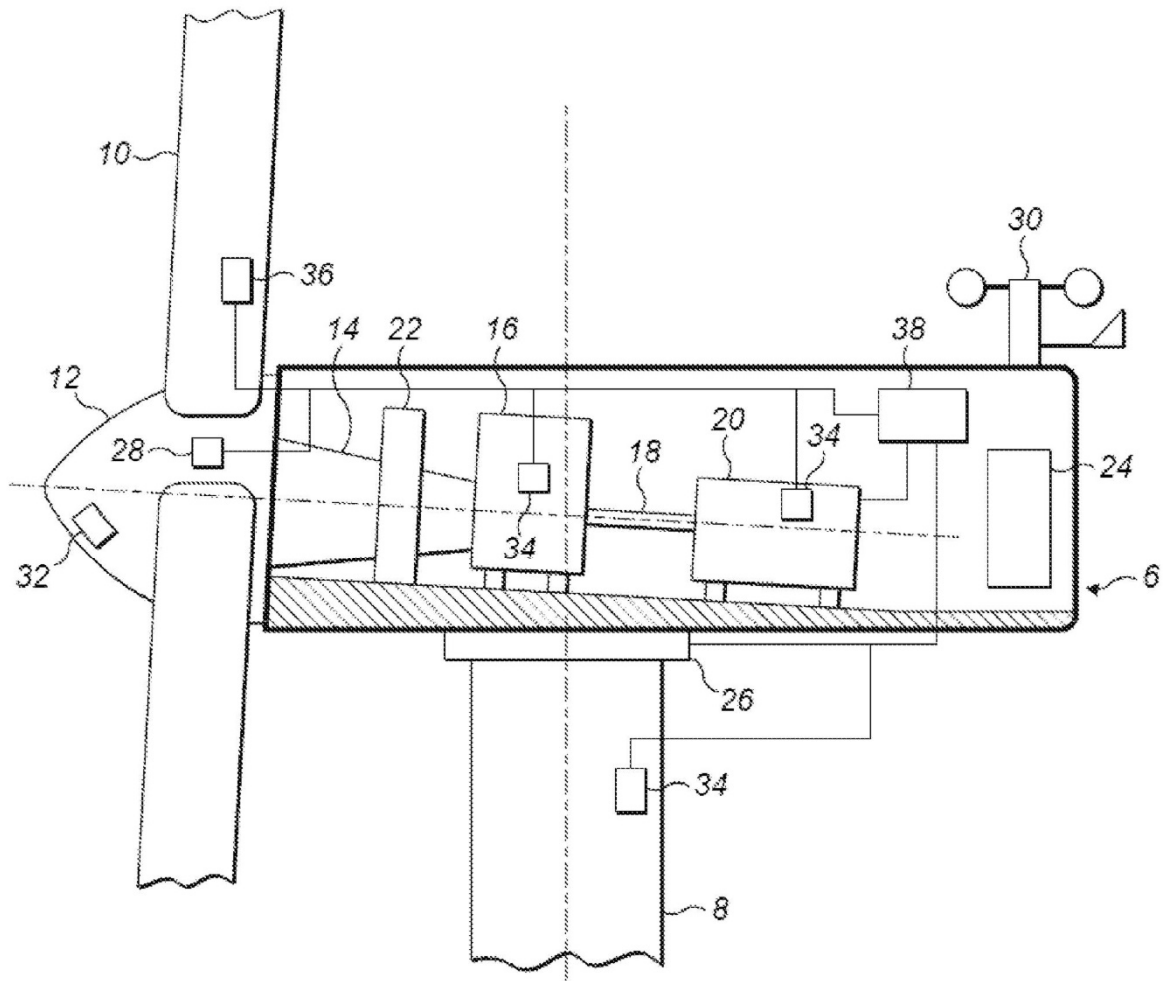


FIG. 1

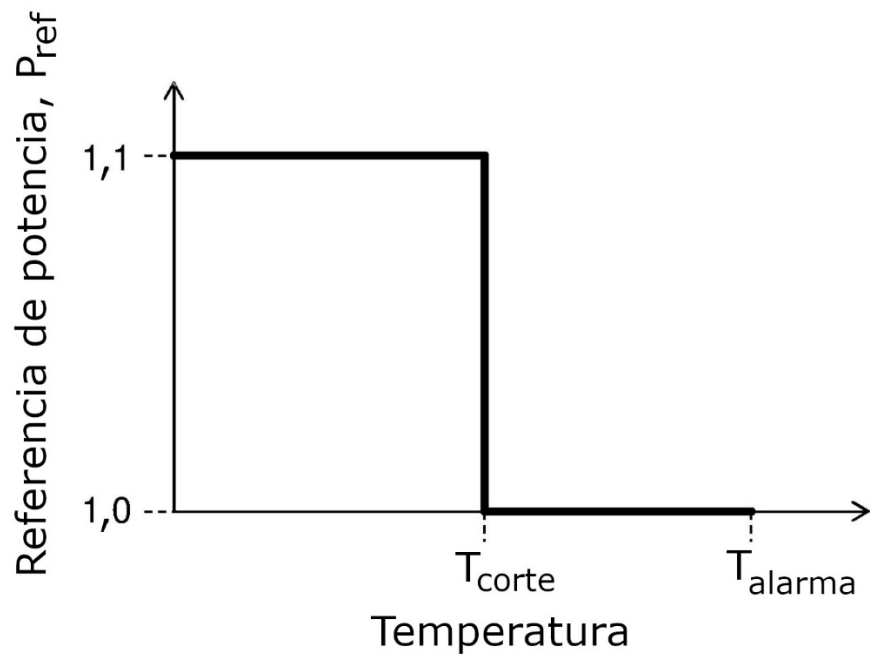


FIG. 2

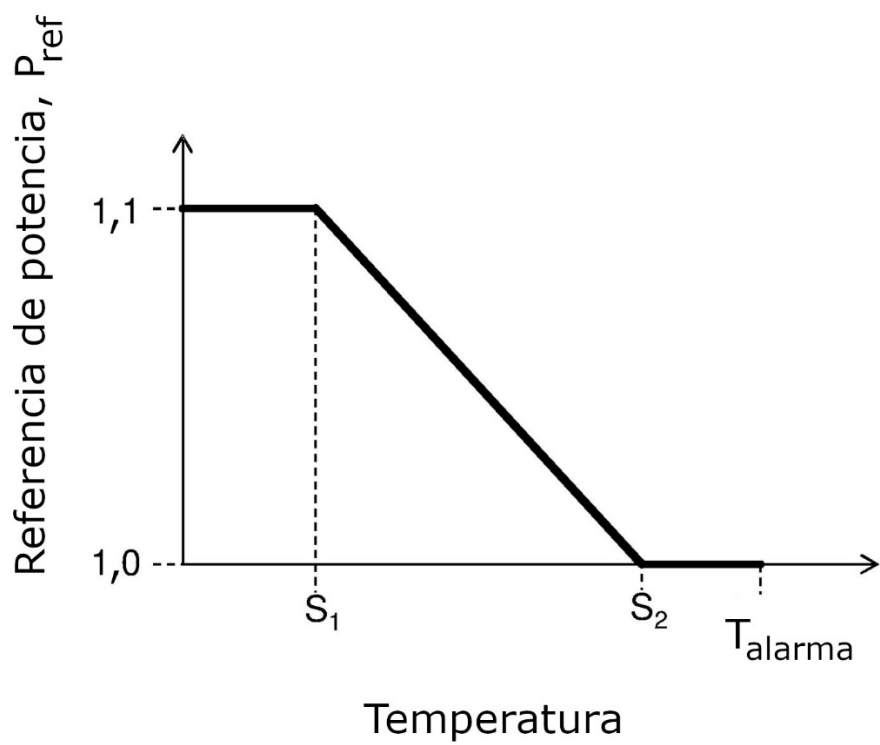


FIG. 3

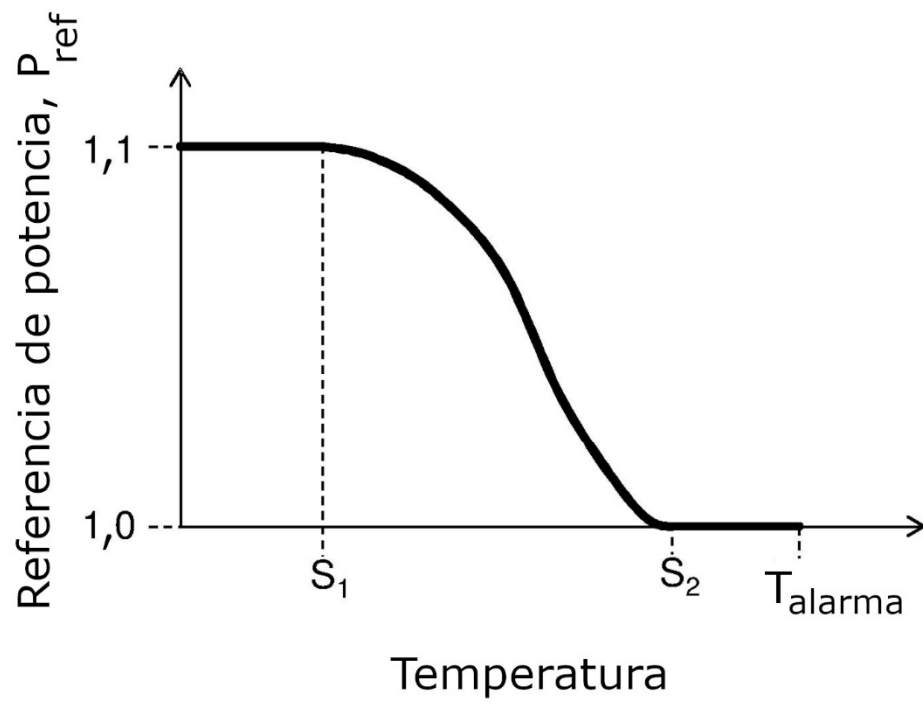


FIG. 4

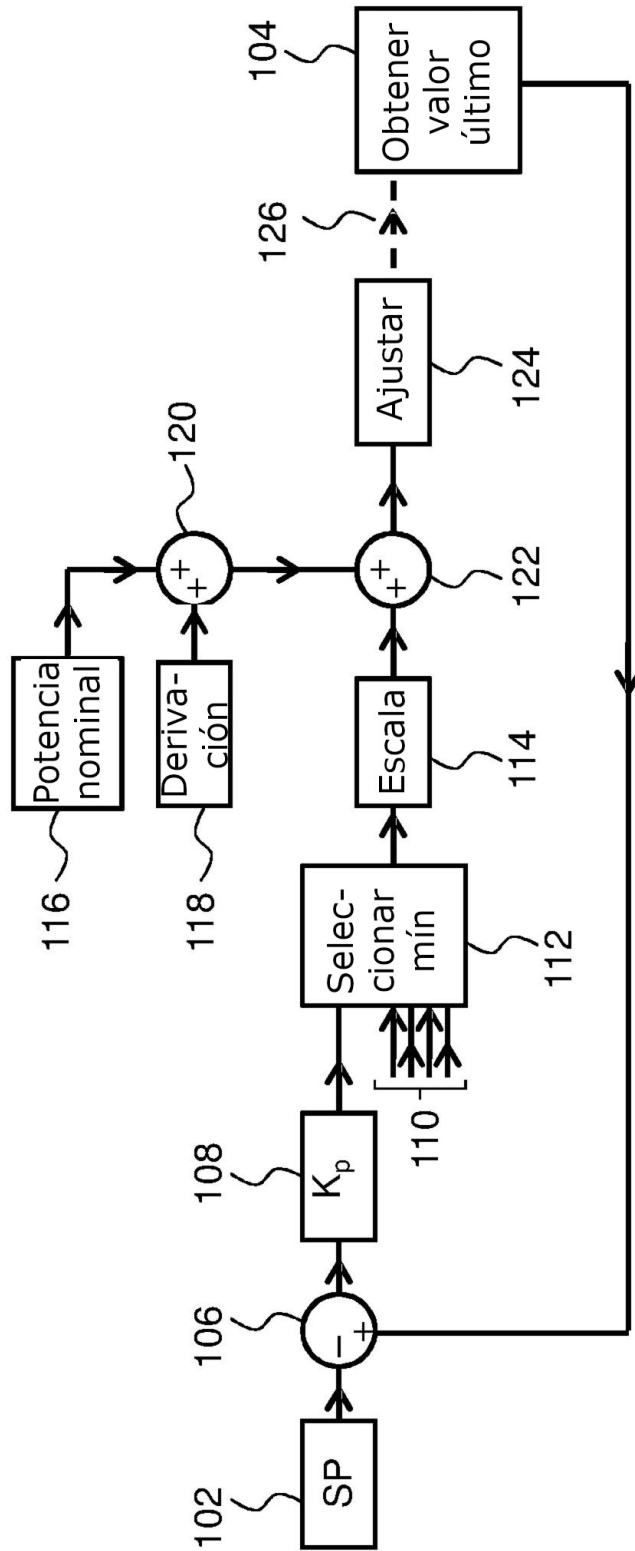


FIG. 5

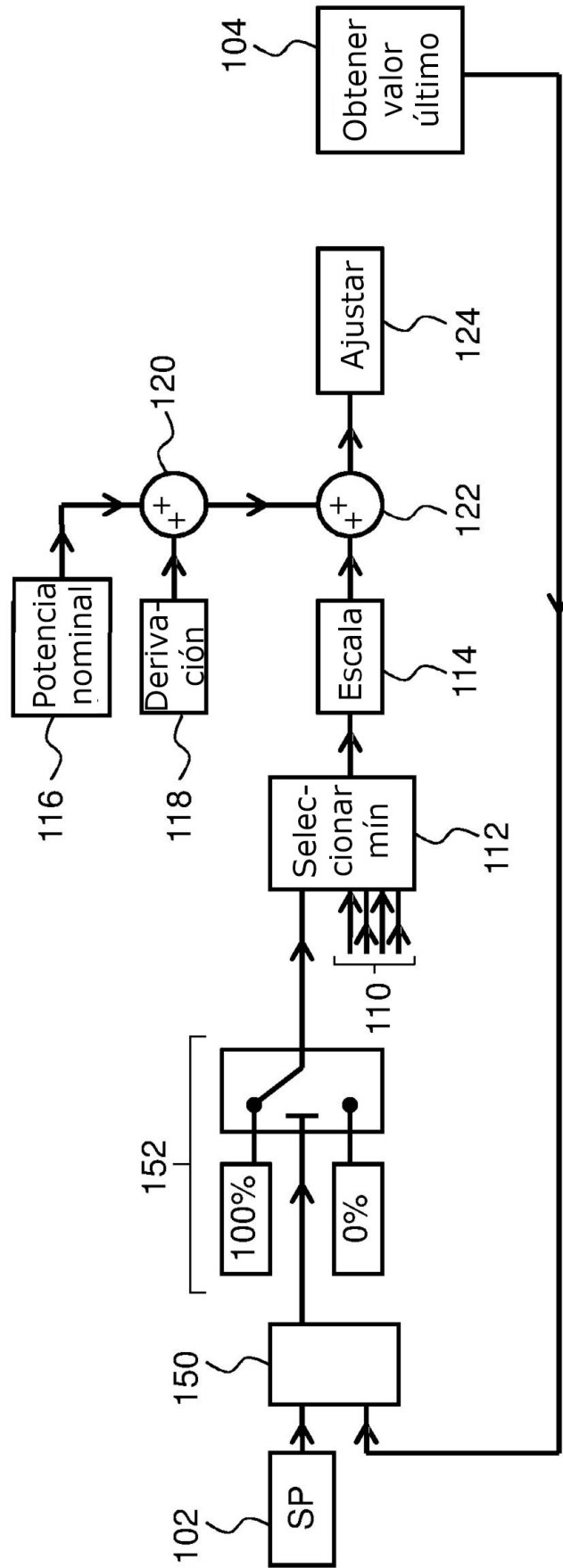


FIG. 6

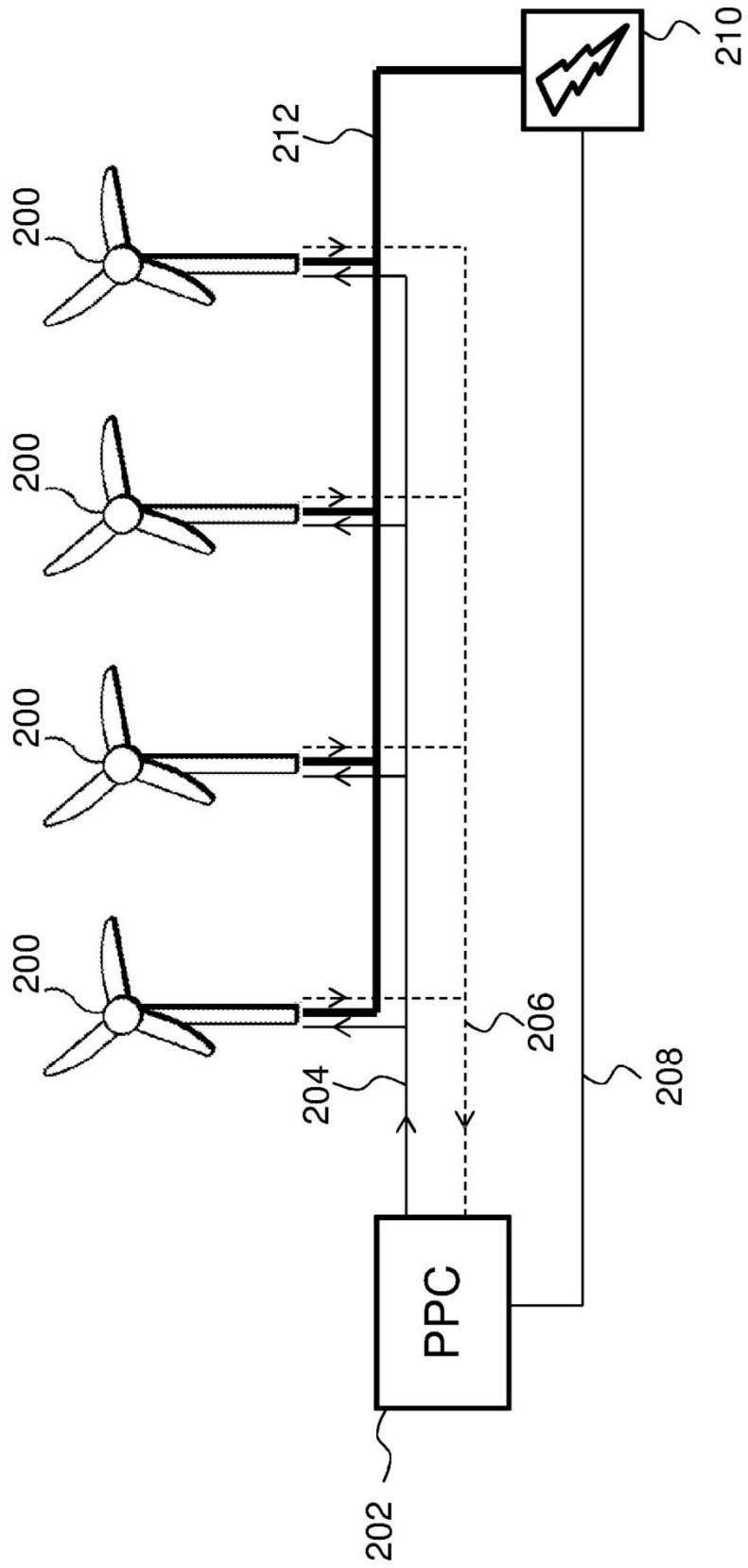


FIG. 7