



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA



⑪ Número de publicación: **2 994 945**

⑮ Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)
F03D 7/04 (2006.01)
F03D 9/25 (2006.01)
H02J 3/38 (2006.01)
H02J 11/00 (2006.01)
H02J 3/48 (2006.01)

⑫

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

⑯ Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.12.2021 E 21212563 (7)**

⑯ Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.09.2024 EP 4191054**

⑭ Título: **Un procedimiento para operar un parque eólico y un parque eólico**

⑮ Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
04.02.2025

⑯ Titular/es:

GENERAL ELECTRIC RENEWABLES ESPAÑA S.L. (100.00%)
C/ Roc Boronat, 78
08005 Barcelona, ES

⑯ Inventor/es:

GADIRAJU, KASI VISWANADHA RAJU;
PALETHORPE, BENJAMIN;
SUMITHA, MOHAN y
SHANMUGA-PRIYAN, SUBRAMANIAN

⑯ Agente/Representante:

DE ROOIJ, Mathieu Julien

ES 2 994 945 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

Un procedimiento para operar un parque eólico y un parque eólico

5 **Campo**

[0001] La presente materia se refiere en general a operar un parque eólico que tiene turbinas eólicas, en particular durante una pérdida o ausencia de una red a la que el parque eólico es conectable, y a un respectivo parque eólico.

10 **Antecedentes**

[0002] La energía eólica se considera una de las fuentes de energía más limpias y más ecológicas disponibles en la actualidad, y las turbinas eólicas han obtenido una creciente atención a este respecto. Una turbina eólica moderna típicamente incluye una torre, generador, caja de engranajes, góndola y un rotor con una o más palas de rotor. Las palas de rotor capturan la energía cinética del viento usando principios de perfil alar conocidos y transmiten la energía cinética a través de energía de rotación para hacer girar un eje que acopla las palas de rotor a una caja de engranajes, o si no se usa una caja de engranajes, directamente al generador. A continuación, el generador convierte la energía mecánica en energía eléctrica que se puede distribuir en una red de suministro.

[0003] Debido a fallos en la red de suministro u otros motivos, el parque eólico se puede desconectar de la red de suministro. En este estado, puede ser necesario que las turbinas eólicas suministren potencia a sus cargas auxiliares para mantener activos los controladores, la comunicación, el funcionamiento de orientación y otros sistemas cruciales. Esto puede ser por motivos de seguridad y/o para facilitar la reconexión del parque eólico a la red de suministro después de la recuperación de red. El almacenamiento de energía eléctrica, tal como UPS que se puede proporcionar dentro de las turbinas eólicas, puede alimentar potencia a estos sistemas cruciales solo durante, por ejemplo, unos pocos minutos durante una pérdida de la red. Durante períodos más largos se puede proporcionar potencia auxiliar por generadores diésel. En particular, para los parques eólicos marinos, los generadores diésel o similares pueden ser demasiado grandes y/o costosos de instalar, operar, recargar y/o mantener.

[0004] El documento EP 2 236 821 A1 divulga un procedimiento para realizar el funcionamiento en isla de dos turbinas eólicas desconectadas de la red principal de un sistema de parque eólico. El procedimiento implica configurar un sistema de transmisión de potencia local y una red principal, donde el sistema de transmisión no está conectado a la red principal. Se activa una de un grupo de turbinas eólicas desactivadas, donde la turbina eólica activada y una de las turbinas eólicas desactivadas restantes se acoplan al sistema de transmisión. La turbina eólica activada está configurada para actuar como fuente de alimentación para la turbina eólica desactivada. Un grupo de interruptores en un grupo de líneas de transmisión de potencia entre las turbinas está controlado por el sistema de transmisión.

40 **Breve explicación de la invención**

[0005] En consecuencia, la presente divulgación proporciona un procedimiento para operar un parque eólico de acuerdo con la reivindicación 1, un parque eólico de acuerdo con la reivindicación 9 y un producto de programa informático o un medio de almacenamiento legible por ordenador de acuerdo con la reivindicación 15.

[0006] Los aspectos y ventajas de la invención se expondrán en parte en la siguiente descripción, o pueden resultar evidentes a partir de la descripción, o se pueden aprender a través de la práctica de la invención.

[0007] En un aspecto, la presente divulgación se refiere a un procedimiento para operar un parque eólico. El parque eólico incluye una cadena de turbinas eólicas que son eléctricamente conectables entre sí y a una red. Cada turbina eólica incluye un rotor que incluye una pala de rotor, un sistema de conversión de potencia conectado mecánicamente con el rotor y al menos un subsistema auxiliar. El procedimiento incluye operar las turbinas eólicas de la cadena en un modo de funcionamiento de isla en el que las turbinas eólicas no están conectadas a la red, y se suministra al respectivo al menos un subsistema auxiliar potencia eléctrica generada por el sistema de conversión de potencia de la respectiva turbina eólica; determinar que el rotor de una de las turbinas eólicas está expuesto a una condición de viento en la que las palas de rotor de la una de las turbinas eólicas corren el riesgo de entrar en pérdida a la potencia de salida eléctrica generada actualmente (del sistema de conversión de potencia de las turbinas eólicas), e incrementar la potencia eléctrica generada por el sistema de conversión de potencia de la una de las turbinas eólicas en una cantidad de potencia eléctrica que es suficiente para suministrarse al al menos un subsistema auxiliar de al menos una de las otras turbinas eólicas de la cadena.

[0008] En lo que sigue, este modo de funcionamiento (de la una de las turbinas eólicas) también se denomina modo de funcionamiento de isla de suministro. Además, la cantidad de potencia eléctrica que es suficiente para suministrarse al al menos un subsistema auxiliar de al menos una de las otras turbinas eólicas de la cadena se

denomina en lo que sigue también incremento de potencia de salida eléctrica y excedente de potencia eléctrica (de la una de las turbinas eólicas y su sistema de conversión de potencia, respectivamente).

5 [0009] Típicamente, la potencia eléctrica generada por el sistema de conversión de potencia de la una de las turbinas eólicas se incrementa en una cantidad de potencia eléctrica que coincide al menos sustancialmente con una demanda de potencia del/de los subsistema(s) auxiliar(es) de al menos una de las otras turbinas eólicas de la cadena, más típicamente varias, la mayoría o incluso todas las demás turbinas eólicas de la cadena.

10 [0010] Debido al incremento de la potencia eléctrica generada por el sistema de conversión de potencia de la(s) turbina(s) eólica(s) en la(s) que su(s) pala(s) de rotor corre(n) el riesgo de entrar en pérdida, la entrada en pérdida se puede evitar de forma segura a mayores velocidades del viento. En consecuencia, la demanda de *pitch* y/o las cargas mecánicas, en particular la respectiva tensión mecánica que da como resultado fatiga en la(s) pala(s) de rotor, se pueden evitar a mayores velocidades del viento sin afectar el suministro de energía de los subsistemas auxiliares de turbinas eólicas.

15 [0011] Téngase en cuenta que el/los subsistema(s) auxiliar(es) de las turbinas eólicas pueden, por ejemplo, requerir solo una potencia auxiliar equivalente a aproximadamente un 2-5 % de la potencia nominal del sistema de conversión de potencia de la turbina eólica a mayores velocidades del viento. Esto puede requerir que la(s) pala(s) de rotor se *pitchee(n)* a valores extremos que podrían hacer que su funcionamiento entre en pérdida ("*stall*"). La salida de potencia incrementada reducirá la demanda de *pitch* a mayores velocidades del viento y, por tanto, evita el funcionamiento en pérdida y los efectos no deseados que resultan de ello, tal como la reducción de la vida útil de los componentes, en particular de la(s) pala(s) de rotor. Además, se puede reducir la capacidad de almacenamiento y/o el tamaño del/de los sistema(s) de almacenamiento de energía en baterías de las turbinas eólicas. Por tanto, se pueden ahorrar materiales, así como costes de equipamiento y mantenimiento. Como resultado, incluso se puede reducir la huella ecológica de las turbinas eólicas.

20 [0012] Como se usa en el presente documento, el término "cadena de turbinas eólicas" ("*string of wind turbines*") pretende describir que las turbinas eólicas y sus sistemas de conversión de potencia, respectivamente, son eléctricamente conectables entre sí para formar un circuito en serie, en particular por medio de respectivas conexiones de potencia. Por ejemplo, se pueden usar cables de alimentación y commutadores de alimentación dispuestos entre turbinas eólicas contiguas y sus sistemas de conversión de potencia, respectivamente, para eléctricamente conectar las turbinas eólicas entre sí (en pares) y desconectar las turbinas eólicas. Sin embargo, también es posible que una cadena incluya turbinas eólicas de diferente tipo y/o potencia nominal.

25 [0013] Determinar que el rotor de la una de las turbinas eólicas está expuesto a la condición del viento típicamente incluye determinar que el rotor está expuesto a una velocidad del viento que es mayor que un primer valor umbral correspondiente a una velocidad del viento a la que se espera la entrada en pérdida de la pala de rotor a la potencia de salida eléctrica generada actualmente.

30 [0014] Esto puede incluir, por ejemplo, detectar, en particular medir y/o estimar la velocidad del viento en, delante y/o detrás del rotor. Además, la velocidad del viento detectada (medida) y la potencia de salida eléctrica generada actualmente se pueden usar para determinar que el rotor está expuesto a la condición del viento en la que la(s) pala(s) de rotor corre(n) el riesgo de entrar en pérdida, por ejemplo, usando una tabla de consulta.

35 [0015] En lo que sigue, la condición del viento en la que la(s) pala(s) de rotor de una turbina eólica corre(n) el riesgo de entrar en pérdida a la potencia de salida eléctrica solicitada o generada actualmente de su sistema de conversión de potencia también se denomina condición de viento de entrada en pérdida.

40 [0016] Típicamente, la potencia eléctrica generada por el sistema de conversión de potencia de la una de las turbinas eólicas se incrementa en la cantidad de potencia eléctrica (incremento de potencia de salida, excedente de potencia eléctrica) tras determinar que el rotor de la una de las turbinas eólicas está expuesto a la condición de viento de entrada en pérdida.

45 [0017] Como se usa en el presente documento, la expresión "la(s) pala(s) de rotor de una turbina eólica corre(n) el riesgo de entrar en pérdida a la potencia de salida eléctrica solicitada o generada actualmente" pretende describir que el riesgo de entrada en pérdida es actualmente alto, por ejemplo, al menos un 80 %, más típicamente al menos un 90 % o incluso un 99 %, y/o se espera que sea alto pronto, por ejemplo, dentro de uno o unos pocos segundos. Esto último se puede deber a un incremento esperado de la velocidad del viento.

50 [0018] Además, además de la velocidad del viento, se puede tener en cuenta una temperatura ambiente y/o una medida de turbulencia del viento en, delante y/o detrás del rotor para determinar el riesgo de entrada en pérdida.

55 [0019] Sin embargo, a menudo es suficiente depender solo de la velocidad del viento para determinar si el rotor de una turbina eólica está expuesto a una condición de viento de entrada en pérdida. La velocidad del viento puede incluso ser una velocidad del viento global o promediada del parque eólico.

5 [0020] Por ejemplo, un controlador de parque eólico se puede configurar para enviar respectivas instrucciones de control (por ejemplo, instrucciones de potencia) a controladores individuales de las turbinas eólicas de una cadena de turbinas eólicas (típicamente del mismo tipo) que funcionan en modo de funcionamiento de isla, si la velocidad del viento es mayor que el primer valor umbral para al menos una de las turbinas eólicas, de modo que solo una o como máximo unas pocas de las turbinas eólicas incrementan su salida de potencia mientras que las turbinas eólicas restantes detienen la conversión de potencia y suministran a su(s) subsistema(s) auxiliar(es) la potencia recibida desde la una o unas pocas de las turbinas eólicas que producen mayor potencia de salida.

10 [0021] En consecuencia, el excedente de potencia eléctrica se puede usar como fuente de alimentación para el/los subsistema(s) auxiliar(es) de la al menos una de las otras turbinas eólicas de la cadena.

15 [0022] En particular, el excedente de potencia eléctrica se puede usar como fuente de alimentación para la(s) otra(s) turbina(s) eólica(s) de la cadena que funciona(n) (está(n) configurada(s) para funcionar) en un modo de funcionamiento de marcha en vacío o en un modo de funcionamiento en pausa (*stand still*). Tanto en el modo de funcionamiento de marcha en vacío como en el modo de funcionamiento en pausa, el respectivo sistema de conversión de potencia no genera potencia eléctrica.

20 [0023] Puede ser preferente operar la(s) otra(s) turbina(s) eólica(s) de la cadena en modo de funcionamiento de marcha en vacío en comparación con operar en el modo de funcionamiento en pausa. Esto es porque la reconexión de la(s) turbina(s) eólica(s) de la cadena a una red recuperada y el funcionamiento de la turbina eólica de nuevo en un modo de funcionamiento normal se puede facilitar cuando las turbinas eólicas ya están funcionando en el modo de funcionamiento de marcha en vacío.

25 [0024] Durante el funcionamiento de la turbina eólica en el modo de funcionamiento normal, el sistema de conversión de potencia convierte la potencia motriz de entrada recibida desde el rotor en potencia de salida eléctrica y proporciona al menos una parte importante de la potencia de salida eléctrica a la red (de suministro).

30 [0025] Como la demanda de potencia de la(s) otra(s) turbina(s) eólica(s) puede variar con el tiempo, el excedente de potencia eléctrica se puede actualizar de acuerdo con la demanda de potencia de la(s) otra(s) turbina(s) eólica(s). Por ejemplo, la demanda de potencia de la(s) otra(s) turbina(s) eólica(s) se puede volver menor después de que se recarga cualquier almacenamiento de energía recargable.

35 [0026] Estas etapas se controlan típicamente por un sistema de control del parque eólico, en particular un sistema de control proporcionado por un controlador de parque eólico y controladores de turbina eólica. Esto se aplica típicamente a cualquier procedimiento y etapa de procedimiento expuestos en el presente documento.

40 [0027] La potencia eléctrica generada por el sistema de conversión de potencia de la una de las turbinas eólicas se puede incrementar en un factor de al menos tres, más típicamente al menos 5 o incluso al menos 8 para suministrar adicionalmente a un respectivo número de otras turbinas eólicas operadas en modo de funcionamiento de marcha en vacío o en un modo de funcionamiento en pausa.

45 [0028] Por ejemplo, la potencia eléctrica generada por el sistema de conversión de potencia de la una de las turbinas eólicas se puede incrementar en un incremento de potencia de salida eléctrica que sea suficiente para suministrarse al/a los subsistema(s) auxiliar(es) de al menos cuatro de las otras turbinas eólicas de la cadena, típicamente de al menos nueve de las otras turbinas eólicas de la cadena. Además, la potencia eléctrica generada por el sistema de conversión de potencia de la una de las turbinas eólicas se puede incrementar, dependiendo de la velocidad del viento y de las turbinas eólicas, en un incremento de potencia de salida eléctrica que sea suficiente para suministrarse al/a los subsistema(s) auxiliar(es) de hasta 20 o incluso 25 turbinas eólicas.

50 [0029] El primer valor umbral predeterminado típicamente puede estar en un intervalo de aproximadamente 14 m/s a aproximadamente 15 m/s.

[0030] Sin embargo, el primer valor umbral depende típicamente del diseño (tipo) particular de la turbina eólica.

55 [0031] Despues de determinar que el rotor de la una de las turbinas eólicas está expuesto a una condición de viento adicional en la que el riesgo de entrada en pérdida es pequeño, por ejemplo, como máximo un pequeño porcentaje, típicamente por debajo de un 1 por ciento, en particular al menos sustancialmente cero (por ejemplo, menos de un 0,5 por ciento o incluso un 0,1 por ciento) si la potencia de salida eléctrica del sistema de conversión se reduce a un valor que coincide al menos sustancialmente con una demanda de potencia actual o esperada del/de los subsistema(s) auxiliar(es) de las turbinas eólicas que funcionan en modo de isla de suministro, todas las turbinas eólicas de la cadena pueden volver a funcionar / pueden funcionar de nuevo en el respectivo modo de funcionamiento de isla.

65 [0032] Determinar que el rotor de la una de las turbinas eólicas está expuesto a la condición de viento adicional incluye típicamente determinar que el rotor está expuesto a una velocidad del viento más pequeña que un segundo valor umbral que es menor que el primer valor umbral, típicamente de aproximadamente un 10 % a un 50 % menor

que el primer valor umbral, más típicamente de aproximadamente un 30 % a un 36 % menor que el primer valor umbral.

5 [0033] En un aspecto, la presente divulgación se refiere a un procedimiento para operar un parque eólico. El parque eólico incluye una cadena de turbinas eólicas que son eléctricamente conectables entre sí y a una red. Cada turbina eólica incluye un rotor que incluye una pala de rotor, un sistema de conversión de potencia conectado mecánicamente con el rotor y al menos un subsistema auxiliar. El procedimiento incluye operar las turbinas eólicas de la cadena en un modo de operación de isla en el que las turbinas eólicas no están conectadas a la red, y se suministra a los al menos un subsistema auxiliar potencia eléctrica generada por el sistema de conversión de 10 potencia de la respectiva turbina eólica, determinando que al menos uno de los motores de las turbinas eólicas está expuesto a una condición de viento en la que la pala de rotor del al menos uno de los motores corre el riesgo de entrar en pérdida a la potencia de salida eléctrica generada actualmente; e incrementar la potencia eléctrica generada por el sistema de conversión de potencia de una de las turbinas eólicas en un incremento de potencia de salida eléctrica (excedente de potencia eléctrica) que sea suficiente para suministrarse al al menos un 15 subsistema auxiliar de al menos una de las otras turbinas eólicas de la cadena.

20 [0034] El procedimiento típicamente incluye además operar la al menos una de las otras turbinas eólicas en un modo de funcionamiento de marcha en vacío o en un modo de funcionamiento en pausa, y usar el incremento de potencia de salida eléctrica para suministrarse al al menos un subsistema auxiliar de la al menos una de las otras turbinas eólicas.

25 [0035] Típicamente, se incrementa la salida de potencia de una sola turbina eólica, en particular una de las turbinas eólicas, de una cadena, en la que el rotor está expuesto a la condición de viento de entrada en pérdida.

30 [0036] En un aspecto, la presente divulgación se refiere a un procedimiento para operar un parque eólico. El parque eólico incluye una cadena de turbinas eólicas que son eléctricamente conectables entre sí y a una red. Cada turbina eólica incluye un rotor que incluye una pala de rotor, un sistema de conversión de potencia conectado mecánicamente con el rotor y al menos un subsistema auxiliar. El procedimiento incluye operar las turbinas eólicas de la cadena en un modo de funcionamiento de isla en el que las turbinas eólicas no están conectadas a la red, y al al menos un subsistema auxiliar se suministra potencia eléctrica generada por el sistema de conversión de 35 potencia de la respectiva turbina eólica, determinando que el rotor de (al menos) una de las turbinas eólicas está expuesto a un viento que tiene una velocidad del viento que es mayor que un primer valor umbral correspondiente a una velocidad del viento en la que al menos una de las palas de rotor de la una de las turbinas eólicas corre el riesgo de entrar en pérdida a la potencia de salida eléctrica generada actualmente; y operar las otras turbinas eólicas en un modo de funcionamiento de marcha en vacío o un modo de funcionamiento en pausa y suministrar al al menos un subsistema auxiliar de las otras turbinas eólicas potencia eléctrica proporcionada adicionalmente 40 por el sistema de conversión de potencia de la al menos una turbina eólica.

45 [0037] En un modo de realización, el parque eólico tiene varias cadenas de turbinas eólicas, en el que las cadenas son conectables por separado con un punto de acoplamiento común del parque eólico conectable a una red externa. En este modo de realización, los procedimientos explicados anteriormente se realizan típicamente de forma independiente para cada una de las varias cadenas.

50 [0038] En un aspecto, la presente divulgación se refiere a un parque eólico. El parque eólico incluye una cadena de turbinas eólicas que son eléctricamente conectables entre sí y a una red. Cada turbina eólica incluye un rotor que incluye una pala de rotor, un sistema de conversión de potencia conectado mecánicamente con el rotor y al menos un subsistema auxiliar. El parque eólico incluye además un sistema de control acoplado de forma 55 comunicativa con el sistema de conversión de potencia de las turbinas eólicas y configurado para operar las turbinas eólicas de la cadena en un modo de funcionamiento de isla en el que las turbinas eólicas no están conectadas a la red, y al al menos un subsistema auxiliar se suministra potencia eléctrica generada por el sistema de conversión de potencia de la respectiva turbina eólica, para determinar que el rotor de una de las turbinas eólicas está expuesto a una condición de viento en la que al menos una de las palas de rotor de la una de las turbinas eólicas corre el riesgo de entrar en pérdida a la potencia de salida eléctrica generada actualmente; y para incrementar la potencia eléctrica generada por el sistema de conversión de potencia de la una de las turbinas eólicas en una cantidad de potencia eléctrica que sea suficiente para suministrarse al al menos un subsistema auxiliar de al menos una de las otras turbinas eólicas de la cadena.

60 [0039] El sistema de control típicamente está acoplado de forma comunicativa con un sensor para determinar una velocidad del viento en o delante del rotor de las turbinas eólicas. Determinar la velocidad del viento puede incluir medir los valores de velocidad del viento. Además, la velocidad del viento se puede determinarse como una velocidad del viento estimada en base a los valores de velocidad del viento medidos.

65 [0040] Por ejemplo, el sistema de control puede estar acoplado de forma comunicativa con un respectivo sensor para determinar una velocidad del viento en, delante y/o detrás del rotor de cada una de las turbinas eólicas, y para determinar el riesgo de entrada en pérdida en base a la(s) velocidad(es) del viento determinada(s).

- [0041] Típicamente, el sistema de control está configurado para determinar el riesgo de entrada en pérdida en base a la(s) velocidad(es) del viento determinada(s) y, opcionalmente, a la salida de potencia actual.
- 5 [0042] De acuerdo con un modo de realización, el sistema de control incluye un controlador de parque eólico y un respectivo controlador de turbina eólica para cada sistema de conversión de potencia.
- 10 [0043] El controlador del parque eólico está acoplado de forma comunicativa con el controlador de turbina eólica y puede funcionar como un controlador principal, mientras que los controladores de turbina eólica pueden funcionar como controladores secundarios.
- 15 [0044] Los controladores de turbina se pueden configurar para controlar la respectiva turbina eólica en diferentes modos, en particular el modo de funcionamiento de isla, el modo de funcionamiento de isla de suministro, el modo de marcha en vacío y/o el modo de pausa.
- 20 [0045] Típicamente, el sistema de control está configurado para controlar el sistema de conversión de potencia de la(s) turbina(s) eólica(s) que funciona(n) en modo de isla de suministro de modo que la potencia de salida eléctrica generada sea suficiente para suministrarse adicionalmente al al menos un subsistema auxiliar de al menos 4 de las otras turbinas eólicas de la cadena, típicamente de al menos 9 de las otras turbinas eólicas de la cadena.
- 25 [0046] El término "subsistema auxiliar" como se usa en el presente documento pretende describir sistemas de la turbina eólica que se pueden desear y/o consumir potencia eléctrica al menos ocasionalmente cuando la turbina eólica funciona en un modo de funcionamiento de marcha en vacío y/o en un modo de funcionamiento en pausa. En consecuencia, el término "subsistema auxiliar" incluye subsistemas operativos usados durante el modo de funcionamiento de marcha en vacío y/o el modo de funcionamiento en pausa.
- 30 [0047] En particular, cada una de las turbinas eólicas puede incluir uno o más, típicamente varios o incluso todos de los siguientes subsistemas auxiliares: un sistema de *pitch*, un sistema de orientación, un sistema de calentamiento, un sistema de refrigeración, un sistema hidráulico y un dispositivo de almacenamiento de energía recargable tal como un UPS.
- 35 [0048] Las turbinas eólicas pueden incluir varios respectivos sistemas de calentamiento y/o sistemas de refrigeración, por ejemplo, para un generador, un convertidor y/o un transformador del respectivo sistema de conversión de potencia.
- 40 [0049] Además, se puede proporcionar un subsistema de calentamiento de palas de rotor y/o de descongelación de palas de rotor como respectivo subsistema auxiliar para turbinas eólicas en parques eólicos que funcionan en regiones frías.
- [0050] Además, las turbinas eólicas pueden incluir varios dispositivos de almacenamiento de energía recargables para diferentes componentes.
- 45 [0051] Además, el controlador de turbina, los dispositivos de medición y cualquier dispositivo de comunicación también se pueden considerar subsistemas auxiliares.
- 50 [0052] El parque eólico puede incluir varias cadenas de turbinas eólicas. En este modo de realización, el sistema de control está configurado típicamente para controlar las varias cadenas de turbinas eólicas independientemente entre sí cuando no están conectadas a la red (y entre sí).
- [0053] Además, el parque eólico puede ser un parque eólico marino pero también un parque eólico terrestre.
- 55 [0054] Típicamente, el parque eólico está configurado para realizar el procedimiento como se expone en el presente documento.
- [0055] Aún en otro aspecto, la presente divulgación se refiere a un producto de programa informático o un medio de almacenamiento legible por ordenador no transitorio que comprende instrucciones que, cuando se ejecutan por uno o más procesadores de un sistema, en particular un sistema de control del parque eólico como se expone en el presente documento, hacen que el sistema lleve a cabo el procedimiento como se expone en el presente documento.
- 60 [0056] Estas y otras características, aspectos y ventajas de la presente invención se respaldarán y describirán además con referencia a la siguiente descripción y reivindicaciones adjuntas. Los dibujos adjuntos, que se incorporan en y constituyen una parte de la presente memoria descriptiva, ilustran modos de realización de la invención y, conjuntamente con la descripción, sirven para exponer los principios de la invención.
- 65 **Breve descripción de los dibujos**

[0057] Una divulgación completa y suficiente de la presente invención, incluyendo el mejor modo de la misma, dirigida a un experto en la técnica, se expone en la memoria descriptiva, que hace referencia a las figuras adjuntas, en las que:

- 5 la FIG. 1 ilustra una vista en perspectiva de un modo de realización de una turbina eólica que puede ser parte de un parque eólico de acuerdo con la presente divulgación;
- 10 la FIG. 2 ilustra una vista esquemática de un modo de realización de un sistema de potencia eléctrica y un sistema de control adecuados para su uso con la turbina eólica mostrada en la FIG. 1.
- 15 la FIG. 3 ilustra un diagrama de bloques de un modo de realización de un controlador adecuado para su uso con la turbina eólica mostrada en la FIG. 1.
- la FIG. 4 ilustra un diagrama de bloques de un modo de realización de un parque eólico de acuerdo con la 20 presente divulgación;
- la FIG. 5A ilustra un diagrama de flujo de un procedimiento de acuerdo con un modo de realización de la 25 presente divulgación;
- la FIG. 5B ilustra un diagrama de flujo de un procedimiento de acuerdo con un modo de realización de la presente divulgación; y
- la FIG. 5C ilustra un diagrama de flujo de un procedimiento de acuerdo con un modo de realización de la 30 presente divulgación.

[0058] Las características individuales representadas en las figuras se muestran relativamente entre sí y, por lo tanto, no están necesariamente a escala. Los elementos similares o iguales en las figuras, incluso si se muestran en diferentes modos de realización, se representan con los mismos números de referencia.

30 Descripción detallada de la invención

[0059] Ahora se hará referencia en detalle a modos de realización de la invención, de los que uno o más ejemplos se ilustran en los dibujos. Cada ejemplo se proporciona a modo de explicación de la invención, que no limitará la invención. De hecho, será evidente para los expertos en la técnica que se pueden realizar diversas modificaciones y variaciones en la presente invención sin apartarse del alcance o de la invención como se define por las reivindicaciones adjuntas.

[0060] La FIG. 1 es una vista en perspectiva de una parte de una turbina eólica 100 exemplar. En el modo de realización exemplar, la turbina eólica 100 es una turbina eólica de eje horizontal. De forma alternativa, la turbina eólica 100 puede ser una turbina eólica de eje vertical. La turbina eólica 100 incluye una góndola 102 que aloja un generador (no mostrado en la FIG. 1). La góndola 102 está montada en una torre 104 (mostrándose una parte de la torre 104 en la FIG. 1). La torre 104 puede tener cualquier altura adecuada que facilite el funcionamiento de la turbina eólica 100 como se describe en el presente documento. La turbina eólica 100 también incluye un rotor 106 que incluye tres palas 108 fijadas a un buje rotatorio 110. De forma alternativa, la turbina eólica 100 incluye un número cualquiera de palas 108 que facilita el funcionamiento de la turbina eólica 100 como se describe en el presente documento. En el modo de realización exemplar, la turbina eólica 100 incluye una caja de engranajes (no mostrada en la FIG. 1) acoplada de forma operativa al rotor 106 y un generador (no mostrado en la FIG. 1).

[0061] Las palas de rotor 108 están espaciadas alrededor del buje 110 para facilitar la rotación del rotor 106 para posibilitar que la energía cinética se transfiera del viento para convertirse en energía mecánica utilizable y, posteriormente, en energía eléctrica.

[0062] En un modo de realización, las palas de rotor 108 tienen una longitud que varía de aproximadamente 15 metros (m) a aproximadamente 91 m. De forma alternativa, las palas de rotor 108 pueden tener cualquier longitud adecuada que posibilite que la turbina eólica 100 funcione como se describe en el presente documento. Por ejemplo, otros ejemplos no limitantes de longitudes de pala incluyen 20 m o menos, 37 m, 48,7 m, 50,2 m, 52,2 m o una longitud que sea mayor de 91 m. A medida que el viento golpea las palas de rotor 108 desde una dirección del viento 28, el rotor 106 rota alrededor de un eje de rotación 30. A medida que las palas de rotor 108 rotan y se someten a fuerzas centrífugas, las palas de rotor 108 también se someten a diversas fuerzas y momentos. Como tales, las palas de rotor 108 se pueden desviar y/o rotar desde una posición neutra, o no desviada, a una posición desviada.

[0063] Además, un ángulo de *pitch* de las palas de rotor 108, es decir, un ángulo que determina una perspectiva de las palas de rotor 108 con respecto a la dirección del viento, se puede cambiar por un sistema de *pitch* 109 para controlar la carga y potencia generada por la turbina eólica 100 ajustando una posición angular de al menos una pala de rotor 108 en relación con los vectores de viento. Durante el funcionamiento de la turbina eólica 100, el

5 sistema de *pitch* 109 puede cambiar un ángulo de *pitch* de las palas de rotor 108 de modo que las palas de rotor 108 se muevan a una posición de bandera, de modo que la perspectiva de al menos una pala de rotor 108 en relación con los vectores de viento proporcione que un área de superficie mínima de la pala de rotor 108 se oriente hacia los vectores de viento, lo que facilita reducir una velocidad de rotación y/o facilita una entrada en pérdida del rotor 106.

10 [0064] Un ángulo de *pitch* de pala de cada pala de rotor 108 se puede controlar individualmente por un controlador de turbina eólica 202 o por un sistema de control de *pitch*. De forma alternativa, el *pitch* de pala para todas las palas de rotor 108 se puede controlar simultáneamente por dichos sistemas de control.

15 [0065] Además, en el modo de realización ejemplar, a medida que cambia la dirección del viento 28, se puede rotar una dirección de orientación ("yaw direction") de la góndola 102, por un sistema de orientación 105 ("yaw system"), alrededor de un eje de orientación 38 ("yaw axis") para situar el rotor 106 con respecto a la dirección del viento 28.

20 [0066] El sistema de orientación 105 puede incluir un mecanismo de accionamiento de orientación proporcionado por la góndola 107.

25 [0067] Además, el sistema de orientación 105 también se puede controlar por el controlador de turbina eólica 202.

30 [0068] Para situar la góndola 102 de forma apropiada con respecto a la dirección del viento 28, así como detectar una velocidad del viento, la góndola 102 también puede incluir al menos un mástil meteorológico 107 que puede incluir una veleta y un anemómetro (ninguno mostrado en la figura 2). El mástil 107 puede proporcionar información al controlador de turbina eólica 202 con respecto a las condiciones ambientales. Esto puede incluir la dirección del viento y/o la velocidad del viento, así como la temperatura ambiente, la humedad ambiental, el tipo y/o la cantidad de precipitación (si la hay).

35 [0069] En el modo de realización ejemplar, el controlador de turbina eólica 202 se muestra como centralizado dentro de la góndola 102, sin embargo, el controlador de turbina eólica también puede ser un sistema distribuido en toda la turbina eólica 100, sobre un sistema de soporte (no mostrado en la FIG. 1), dentro de un parque eólico y/o en un centro de control remoto. El controlador de turbina eólica 202 incluye un procesador configurado para realizar los procedimientos y/o etapas descritos en el presente documento.

40 [0070] En referencia ahora a la FIG. 2, se ilustra una vista esquemática de un modo de realización de un sistema eléctrico (de potencia) y de control 200 que se puede usar con la turbina eólica 100. Durante el funcionamiento, el viento incide en las palas 108, y las palas 108 transforman la energía eólica en un par de torsión de rotación mecánico que acciona de forma rotatoria un eje lento ("low-speed shaft") 112 por medio del buje 110.

45 [0071] En el modo de realización ejemplar, el eje lento 112 está configurado para accionar una caja de engranajes 114 que posteriormente aumenta la baja velocidad de rotación del eje lento 112 para accionar un eje rápido ("high-speed shaft") 116 a una velocidad de rotación incrementada. El eje rápido 116 está acoplado, en general, de forma rotatoria a un generador 118 para accionar de forma rotatoria un rotor de generador 122 que tiene un devanado de campo (no mostrado).

50 [0072] Más específicamente, en un modo de realización, el generador 118 puede ser un generador (asíncrono) de inducción de doble alimentación (DFIG) trifásico de rotor devanado que incluye un estátor de generador 120 acoplado magnéticamente a un rotor de generador 122. Como tal, se puede inducir un campo magnético rotatorio por el rotor de generador 122 y se puede inducir una tensión dentro de un estátor de generador 120 que esté acoplado magnéticamente al rotor de generador 122. En dichos modos de realización, el generador 118 está configurado para convertir la energía mecánica de rotación en una señal de energía eléctrica de corriente alterna (CA) trifásica sinusoidal en el estátor de generador 120. La potencia eléctrica asociada se puede transmitir a un transformador principal 234 por medio de un bus de estátor 208, un conmutador de sincronización de estátor 206, un bus de sistema 216, un disyuntor de circuito de transformador principal 214 y un bus de lado de generador 236. 55 El transformador principal 234 aumenta la amplitud de tensión de la potencia eléctrica de modo que la potencia eléctrica transformada se pueda transmitir además a una red por medio de un disyuntor de circuito de red 238, un bus de lado de disyuntor 240 y un bus de red 242.

60 [0073] De forma alternativa, el sistema 200 está configurado como un sistema de conversión de potencia total (no mostrado) conocido en la técnica, en el que un conjunto de conversión de potencia total (no mostrado) que es similar en diseño y funcionamiento al conjunto 210 está acoplado eléctricamente al estátor 120 y dicho conjunto de conversión de potencia total facilita la canalización de potencia eléctrica entre el estátor 120 y una red de transmisión y distribución de potencia eléctrica (no mostrada). El bus de estátor 208 transmite potencia trifásica desde el estátor 120 y el bus de rotor 212 transmite potencia trifásica desde el rotor 122 al conjunto 210. El conmutador de sincronización de estátor 206 está acoplado eléctricamente a un disyuntor de circuito de transformador principal 214 por medio de un bus de sistema 216.

[0074] Debido a la alta potencia nominal posible a un tamaño/costes dados, las turbinas eólicas con el conjunto de conversión de potencia total se usan ampliamente en parques eólicos marinos.

5 **[0075]** Además, el sistema de potencia eléctrica y de control 200 puede incluir un controlador de turbina eólica 202 configurado para controlar cualquiera de los componentes de la turbina eólica 100 y/o implementar cualquiera de las etapas de procedimiento como se describe en el presente documento. Por ejemplo, como se muestra en particular en la FIG. 3, el controlador 202 puede incluir uno o más procesadores 204 y uno o más dispositivos de memoria asociados 207 configurados para realizar una variedad de funciones implementadas por ordenador (por ejemplo, realizar los procedimientos, etapas, cálculos y similares, y almacenar datos pertinentes como se divulga en el presente documento). Adicionalmente, el controlador 202 también puede incluir un módulo de comunicaciones para facilitar las comunicaciones entre el controlador 202 y los diversos componentes de la turbina eólica 100, por ejemplo, cualquiera de los componentes de la FIG. 2.

10 **[0076]** Además, como se muestra en la FIG. 3, el módulo de comunicaciones 209 puede incluir una interfaz de sensor 211 (por ejemplo, uno o más convertidores de analógico a digital) para permitir que las señales transmitidas desde uno o más sensores se conviertan en señales que se puedan entender y procesar por los procesadores 204. Se debe apreciar que los sensores (por ejemplo, los sensores 252, 254, 256, 258) se pueden acoplar de forma comunicativa al módulo de comunicaciones 209 usando cualquier medio adecuado. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 3, los sensores 252, 254, 256, 258 se pueden acoplar a la interfaz de sensor 211 por medio de una conexión por cable. Sin embargo, en otros modos de realización, los sensores 252, 254, 256, 258 se pueden acoplar a la interfaz de sensor 211 por medio de una conexión inalámbrica, tal como usando cualquier protocolo de comunicaciones inalámbricas adecuado conocido en la técnica. Como tal, el procesador 204 se puede configurar para recibir una o más señales de los sensores.

20 **[0077]** Los sensores 252, 254, 256 pueden ser un sensor de corrientes y/o tensiones deseados para controlar la conversión de potencia de la turbina eólica 100. Esto se explica con más detalle a continuación.

25 **[0078]** Además, se puede proporcionar al menos un sensor adicional (no mostrado) para datos de sensor que se refieren a datos meteorológicos, por ejemplo, el/los sensor(es) proporcionado(s) por el mástil meteorológico 107 mostrado en la FIG. 1. El al menos un sensor adicional puede incluir en particular un sensor para determinar una velocidad del viento en o delante del rotor 106 de la turbina eólica 100.

30 **[0079]** Como se usa en el presente documento, el término "procesador" no solo se refiere a circuitos integrados a los que se hace referencia en la técnica como incluidos en un ordenador, sino que también se refiere a un controlador, un microcontrolador, un microordenador, un controlador de lógica programable (PLC), un circuito integrado específico de la aplicación y otros circuitos programables. El procesador 204 también está configurado para calcular algoritmos de control avanzados y comunicarse con una variedad de protocolos basados en Ethernet o en serie (Modbus, OPC, CAN, etc.). Adicionalmente, el/los dispositivo(s) de memoria 207 puede(n) comprender, en general, (un) elemento(s) de memoria que incluye(n), pero sin limitarse a, medio legible por ordenador (por ejemplo, memoria de acceso aleatorio (RAM)), medio no volátil legible por ordenador (por ejemplo, una memoria *flash*), un disquete, una memoria de solo lectura en disco compacto (CD-ROM), un disco magnetoóptico (MOD), un disco versátil digital (DVD) y/u otros elementos de memoria adecuados. Dicho(s) dispositivo(s) de memoria 207 se puede(n) configurar, en general, para almacenar instrucciones legibles por ordenador adecuadas que, cuando se implementan por el/los procesador(es) 204, configuran el controlador 202 para realizar las diversas funciones como se describe en el presente documento.

35 **[0080]** En referencia de nuevo a la FIG. 2, el estator de generador 120 se puede acoplar eléctricamente a un 40 commutador de sincronización de estator 206 por medio de un bus de estator 208. En un modo de realización exemplar, para facilitar la configuración del DFIG, el rotor de generador 122 está acoplado eléctricamente a un conjunto de conversión de potencia bidireccional 210 por medio de un bus de rotor 212. De forma alternativa, el rotor de generador 122 está acoplado eléctricamente al bus de rotor 212 por medio de cualquier otro dispositivo que facilita el funcionamiento del sistema eléctrico y de control como se describe en el presente documento. Como otra alternativa, el sistema eléctrico y de control está configurado como un sistema de conversión de potencia total 45 (no mostrado) que incluye un conjunto de conversión de potencia total (no mostrado en la FIG. 2) similar en diseño y funcionamiento al conjunto de conversión de potencia 210 y acoplado eléctricamente al estator de generador 120. El conjunto de conversión de potencia total facilita la canalización de la potencia eléctrica entre el estator de generador 120 y una red de transmisión y distribución de potencia eléctrica (no mostrada). En el modo de realización exemplar, el bus de estator 208 transmite potencia trifásica desde el estator de generador 120 al 50 commutador de sincronización de estator 206. El bus de rotor 212 transmite potencia trifásica desde el rotor de generador 122 al conjunto de conversión de potencia 210. En el modo de realización exemplar, el commutador de sincronización de estator 206 está acoplado eléctricamente a un disyuntor de circuito de transformador principal 214 por medio de un bus de sistema 216. En un modo de realización alternativo se usan uno o más fusibles (no mostrados) en lugar del disyuntor de circuito de transformador principal 214. En otro modo de realización, no se usan ni fusibles ni el disyuntor de circuito de transformador principal 214.

[0081] El conjunto de conversión de potencia 210 incluye un filtro de rotor 218 que está acoplado eléctricamente al rotor de generador 122 por medio del bus de rotor 212. Un bus de filtro de rotor 219 acopla eléctricamente el filtro de rotor 218 a un convertidor de potencia de lado de rotor 220, y el convertidor de potencia de lado de rotor 220 está acoplado eléctricamente a un convertidor de potencia de lado de línea 222. El convertidor de potencia de lado de rotor 220 y el convertidor de potencia de lado de línea 222 son derivaciones de convertidor de potencia que incluyen semiconductores de potencia (no mostrados). En un modo de realización ejemplar, el convertidor de potencia de lado de rotor 220 y el convertidor de potencia de lado de línea 222 están configurados en una

5 configuración de modulación por ancho de pulso (PWM) trifásica que incluye dispositivos de conmutación de transistor bipolar de puerta aislada (IGBT) (no mostrados en la FIG. 2) que funcionan como es conocido en la técnica. De forma alternativa, el convertidor de potencia de lado de rotor 220 y el convertidor de potencia de lado de línea 222 tienen cualquier configuración que usa cualquier dispositivo de conmutación que facilita el funcionamiento del sistema eléctrico y de control como se describe en el presente documento. El conjunto de conversión de potencia 210 está acoplado en comunicación electrónica de datos con el controlador de turbina 202 para controlar el funcionamiento del convertidor de potencia de lado de rotor 220 y del convertidor de potencia de lado de línea 222.

[0082] En el modo de realización ejemplar, un bus de convertidor de potencia de lado de línea 223 acopla eléctricamente el convertidor de potencia de lado de línea 222 a un filtro de línea 224. Además, un bus de línea 225 acopla eléctricamente el filtro de línea 224 a un contactor de línea 226. Además, el contactor de línea 226 está

20 acoplado eléctricamente a un disyuntor de circuito de conversión 228 por medio de un bus de disyuntor de circuito de conversión 230. Además, el disyuntor de circuito de conversión 228 está acoplado eléctricamente al disyuntor de circuito de transformador principal 214 por medio del bus de sistema 216 y un bus de conexión 232. De forma alternativa, el filtro de línea 224 está acoplado eléctricamente al bus de sistema 216 directamente por medio del bus de conexión 232 e incluye cualquier esquema de protección adecuado (no mostrado) configurado para tener 25 en cuenta la eliminación del contactor de línea 226 y el disyuntor de circuito de conversión 228 del sistema eléctrico y de control 200. El disyuntor de circuito de transformador principal 214 está acoplado eléctricamente a un transformador principal de potencia eléctrica 234 por medio de un bus de lado de generador 236. El transformador principal 234 está acoplado eléctricamente a un disyuntor de circuito de red 238 por medio de un bus de lado de disyuntor 240. El disyuntor de red 238 está conectado a la red de transmisión y distribución de potencia eléctrica 30 por medio de un bus de red 242. En un modo de realización alternativo, el transformador principal 234 está acoplado eléctricamente a uno o más fusibles (no mostrados), en lugar de al disyuntor de circuito de red 238, por medio del bus de lado de disyuntor 240. En otro modo de realización, no se usan ni fusibles ni el disyuntor de circuito de red 238, sino que el transformador principal 234 está acoplado a la red de transmisión y distribución de 35 potencia eléctrica por medio del bus de lado de disyuntor 240 y el bus de red 242.

[0083] En el modo de realización ejemplar, el convertidor de potencia de lado de rotor 220 está acoplado en 40 comunicación eléctrica con el convertidor de potencia de lado de línea 222 por medio de un único enlace de corriente continua (CC) 244. De forma alternativa, el convertidor de potencia de lado de rotor 220 y el convertidor de potencia de lado de línea 222 están acoplados eléctricamente por medio de enlaces de CC individuales y separados (no mostrados en la FIG. 2). El enlace de CC 244 incluye un carril positivo 246, un carril negativo 248 y al menos un condensador 250 acoplado entre el carril positivo 246 y el carril negativo 248. De forma alternativa, el condensador 250 incluye uno o más condensadores configurados en serie y/o en paralelo entre el carril positivo 246 y el carril negativo 248.

[0084] El controlador de turbina 202 está configurado para recibir una pluralidad de señales de medición de tensión y corriente eléctrica desde un primer grupo de sensores de tensión y corriente eléctrica 252. Además, el controlador de turbina 202 está configurado para monitorizar y controlar al menos algunas de las variables operativas asociadas con la turbina eólica 100. En el modo de realización ejemplar, cada uno de los tres sensores de tensión y corriente eléctrica 252 está acoplado eléctricamente a cada una de las tres fases del bus de red 242. 45 En consecuencia, se puede determinar una frecuencia actual de la red por el controlador 202. De forma alternativa o además, el controlador de turbina 202 se puede acoplar funcionalmente con un sensor de frecuencia conectable a la red. Además, es posible que el controlador 202 reciba la frecuencia actual de la red o al menos una señal representativa de la frecuencia actual de la red por medio del controlador de central principal, tal como un controlador de parque eólico acoplado funcionalmente con un respectivo sensor.

[0085] Como se muestra en la FIG. 2, el sistema eléctrico y de control 200 también incluye un controlador de convertidor 262 que está configurado para recibir una pluralidad de señales de medición de tensión y corriente eléctrica. Por ejemplo, en un modo de realización, el controlador de convertidor 262 recibe señales de medición de tensión y corriente eléctrica de un segundo grupo de sensores de tensión y corriente eléctrica 254 acoplados en 50 comunicación electrónica de datos con el bus de estator 208. El controlador de convertidor 262 recibe un tercer grupo de señales de medición de tensión y corriente eléctrica de un tercero grupo de sensores de tensión y corriente eléctrica 256 acoplados en comunicación electrónica de datos con el bus de rotor 212. El controlador de convertidor 262 también recibe un cuarto grupo de señales de medición de tensión y corriente eléctrica de un cuarto grupo de 55 sensores de tensión y corriente eléctrica 264 acoplados en comunicación electrónica de datos con el bus de disyuntor de circuito de conversión 230. El segundo grupo de sensores de tensión y corriente eléctrica 254 es sustancialmente similar al primer grupo de sensores de tensión y corriente eléctrica 252, y el cuarto grupo de

5 sensores de tensión y corriente eléctrica 264 es sustancialmente similar al tercer grupo de sensores de tensión y corriente eléctrica 256. El controlador de convertidor 262 es sustancialmente similar al controlador de turbina 202 y está acoplado en comunicación electrónica de datos al controlador de turbina 202. Además, en el modo de realización ejemplar, el controlador de convertidor 262 está físicamente integrado dentro del conjunto de conversión de potencia 210. De forma alternativa, el controlador de convertidor 262 tiene cualquier configuración que facilita el funcionamiento del sistema eléctrico y de control 200 como se describe en el presente documento.

10 [0086] Durante el funcionamiento, el viento incide en las palas 108 y las palas 108 transforman la energía eólica en un par de torsión de rotación mecánico que acciona de forma rotatoria el eje lento 112 por medio del buje 110. El eje lento 112 acciona la caja de engranajes 114 que, posteriormente, aumenta la baja velocidad de rotación del eje lento 112 para accionar el eje rápido 116 a una velocidad de rotación incrementada. El eje rápido 116 acciona de forma rotatoria el rotor de generador 122. Se induce un campo magnético rotatorio por el rotor de generador 122 y se induce una tensión dentro del estator de generador 120 que está acoplado magnéticamente al rotor de generador 122. El generador 118 convierte la energía mecánica de rotación en una señal de energía eléctrica de corriente alterna (CA) trifásica sinusoidal en el estator de generador 120. En el modo de realización ejemplar, la potencia eléctrica asociada se transmite al transformador principal 234 por medio del bus de estator 208, el comutador de sincronización de estator 206, el bus de sistema 216, el disyuntor de circuito de transformador principal 214 y el bus de lado de generador 236. El transformador principal 234 aumenta la amplitud de tensión de la potencia eléctrica y la potencia eléctrica transformada se transmite además a una red por medio del bus de lado de disyuntor 240, el disyuntor de circuito de red 238 y el bus de red 242.

15 [0087] En el modo de realización ejemplar, se proporciona una segunda ruta de transmisión de potencia eléctrica. La potencia de CA sinusoidal trifásica eléctrica se genera dentro del rotor de generador 122 y se transmite al conjunto de conversión de potencia 210 por medio del bus de rotor 212. Dentro del conjunto de conversión de potencia 210, la potencia eléctrica se transmite al filtro de rotor 218 y la potencia eléctrica se modifica para la tasa de cambio de las señales de PWM asociadas con el convertidor de potencia de lado de rotor 220. El convertidor de potencia de lado de rotor 220 actúa como un rectificador y rectifica la potencia de CA trifásica sinusoidal en potencia de CC. La potencia de CC se transmite al enlace de CC 244. El condensador 250 facilita la mitigación de las variaciones de amplitud de tensión del enlace de CC 244 al facilitar la mitigación de un rizado de CC asociado con la rectificación de CA.

20 [0088] La potencia de CC se transmite posteriormente desde el enlace de CC 244 al convertidor de potencia de lado de línea 222 y el convertidor de potencia de lado de línea 222 actúa como un inversor configurado para convertir la potencia eléctrica de CC del enlace de CC 244 en potencia eléctrica de CA sinusoidal trifásica con tensiones, corrientes y frecuencias predeterminadas. Esta conversión se monitoriza y controla por medio del controlador de convertidor 262. La potencia de CA convertida se transmite desde el convertidor de potencia de lado de línea 222 al bus de sistema 216 por medio del bus de convertidor de potencia de lado de línea 223 y el bus de línea 225, el contactor de línea 226, el bus de disyuntor de circuito de conversión 230, el disyuntor de circuito de conversión 228 y el bus de conexión 232. El filtro de línea 224 compensa o ajusta las corrientes armónicas en la potencia eléctrica transmitida desde el convertidor de potencia de lado de línea 222. El comutador de sincronización de estator 206 está configurado para cerrarse para facilitar la conexión de la potencia trifásica del estator de generador 120 con la potencia trifásica del conjunto de conversión de potencia 210.

25 [0089] El disyuntor de circuito de conversión 228, el disyuntor de circuito de transformador principal 214 y el disyuntor de circuito de red 238 están configurados para desconectar buses correspondientes, por ejemplo, cuando el flujo de corriente excesivo puede dañar los componentes del sistema eléctrico y de control 200. También se proporcionan componentes de protección adicionales, incluyendo el contactor de línea 226, que se puede controlar para formar una desconexión abriendo un comutador (no mostrado en la FIG. 2) correspondiente a cada línea del bus de línea 225.

30 [0090] El conjunto de conversión de potencia 210 compensa o ajusta la frecuencia de la potencia trifásica del rotor de generador 122 para cambios, por ejemplo, en la velocidad del viento en el buje 110 y las palas 108. Por lo tanto, de esta manera, las frecuencias de rotor mecánicas y eléctricas se desacoplan de la frecuencia de estator.

35 [0091] En algunas condiciones, las características bidireccionales del conjunto de conversión de potencia 210 y, específicamente, las características bidireccionales del convertidor de potencia de lado de rotor 220 y del convertidor de potencia de lado de línea 222, facilitan la realimentación de al menos parte de la potencia eléctrica generada en el rotor de generador 122. Más específicamente, la potencia eléctrica se transmite desde el bus de sistema 216 al bus de conexión 232 y posteriormente a través del disyuntor de circuito de conversión 228 y el bus de disyuntor de circuito de conversión 230 hacia el conjunto de conversión de potencia 210. Dentro del conjunto de conversión de potencia 210, la potencia eléctrica se transmite a través del contactor de línea 226, el bus de línea 225 y el bus de convertidor de potencia de lado de línea 223 hacia el convertidor de potencia de lado de línea 222. El convertidor de potencia de lado de línea 222 actúa como un rectificador y rectifica la potencia de CA trifásica sinusoidal en potencia de CC. La potencia de CC se transmite al enlace de CC 244. El condensador 250 facilita la mitigación de variaciones de amplitud de tensión del enlace de CC 244 facilitando la mitigación de un rizado de CC asociado con la rectificación de CA trifásica.

[0092] La potencia de CC se transmite posteriormente desde el enlace de CC 244 al convertidor de potencia de lado de rotor 220 y el convertidor de potencia de lado de rotor 220 actúa como un inversor configurado para convertir la potencia eléctrica de CC transmitida desde el enlace de CC 244 en una potencia eléctrica de CA sinusoidal trifásica con tensiones, corrientes y frecuencias predeterminadas. Esta conversión se monitoriza y controla por medio del controlador de convertidor 262. La potencia de CA convertida se transmite desde el convertidor de potencia de lado de rotor 220 al filtro de rotor 218 por medio del bus de filtro de rotor 219 y, posteriormente, se transmite al rotor de generador 122 por medio del bus de rotor 212, facilitando de este modo un funcionamiento subsíncrono.

[0093] El conjunto de conversión de potencia 210 está configurado para recibir señales de control desde el controlador de turbina 202. Las señales de control se basan en condiciones detectadas o características operativas de la turbina eólica 100 y el sistema eléctrico y de control 200. Las señales de control se reciben por el controlador de turbina 202 y se usan para controlar el funcionamiento del conjunto de conversión de potencia 210. La realimentación de uno o más sensores se puede usar por el sistema eléctrico y de control 200 para controlar el conjunto de conversión de potencia 210 por medio del controlador de convertidor 262, incluyendo, por ejemplo, tensiones o realimentaciones de corriente del bus de disyuntor de circuito de conversión 230, el bus de estator y el bus de rotor por medio del segundo grupo de sensores de tensión y corriente eléctrica 254, el tercer grupo de sensores de tensión y corriente eléctrica 256 y el cuarto grupo de sensores de tensión y corriente eléctrica 264. Usando esta información de realimentación y, por ejemplo, señales de control de conmutación, se pueden generar de cualquier manera conocida señales de control de conmutación de sincronización de estator y señales de control (desconexión) de disyuntor de circuito de sistema. Por ejemplo, para un transitorio de tensión de red con características predeterminadas, el controlador de convertidor 262 interrumpirá sustancialmente al menos de forma temporal la conducción de los IGBT dentro del convertidor de potencia de lado de línea 222. Dicha interrupción del funcionamiento del convertidor de potencia de lado de línea 222 mitigará sustancialmente la potencia eléctrica que se canaliza a través del conjunto de conversión de potencia 210 hasta aproximadamente cero.

[0094] En el modo de realización ejemplar, el generador 118, el conjunto de conversión de potencia 210 acoplado eléctricamente al generador 118 y el transformador multiplicador 234 forman el sistema de conversión de potencia de la turbina eólica 100.

[0095] Típicamente, el sistema de conversión de potencia incluye al menos un generador y un conjunto de conversión de potencia que incluye un convertidor de potencia, en particular un convertidor de potencia de CA a CA indirecto (convertidor CA/CC-CA) o un convertidor matricial, por ejemplo, un respectivo convertidor total o un convertidor de DFIG dependiendo del generador.

[0096] La FIG. 4 ilustra un diagrama de bloques de un parque eólico 500. En el modo de realización ejemplar, el parque eólico 500 es un parque eólico marino.

[0097] El parque eólico 500 tiene varias cadenas S1-S3 de turbinas eólicas. En aras de la claridad, en la fig. 4 solo se muestra con más detalle la cadena S1. Cada una de las otras cadenas S2, S3 puede ser similar o incluso igual a la cadena S1. Sin embargo, al menos el número de turbinas eólicas y la longitud de la cadena pueden variar entre las cadenas S1-S3.

[0098] En aras de la claridad, la cadena S1 incluye tres turbinas eólicas 100a, 100b, 100c ejemplares, por ejemplo tres turbinas eólicas como se expone anteriormente con respecto a de la fig. 1 a la fig. 3. Sin embargo, la cadena S1 también puede tener al menos cinco o al menos diez turbinas eólicas.

[0099] Las turbinas eólicas 100a, 100b, 100c están conectadas eléctricamente entre sí por medio de cables de alimentación Cab, Cbc (e interruptores de alimentación cerrados no mostrados).

[0100] Además, las turbinas eólicas 100a, 100b, 100c son eléctricamente conectables con un bus de red eléctrica 510a de una red de parque eólico local 510 por medio de un alimentador (cable de alimentación) Cc y un disyuntor de circuito 521. También se proporcionan los respectivos disyuntores de circuito 522, 523 para las cadenas de turbinas eólicas S2, S3.

[0101] Los cables de alimentación Cab, Cbc y el alimentador Cc se pueden implementar como respectivos cables submarinos.

[0102] La fig. 4 ilustra un estado del parque eólico 500 en el que los disyuntores de circuito 521-523 están abiertos y las cadenas S1-S3 están desconectadas del bus de red eléctrica 510a y de la red de suministro (terrestre) 550, por ejemplo, en respuesta a una falla de la red de suministro 550 o en la conexión eléctrica entre la red de parque eólico local 510 y la red de suministro 550.

[0103] En el modo de realización ejemplar, un punto de acoplamiento común (PCC) de la red local 510 es conectable con la red de suministro 550 por medio de un disyuntor de circuito principal 520 (ilustrado en estado

abierto), una subestación de red 534 y un enlace de potencia 540 que se implementa típicamente como un cable submarino.

5 [0104] En el modo de realización ejemplar, el parque eólico 500 es un parque eólico marino. Sin embargo, los modos de realización expuestos a continuación también se pueden aplicar a parques eólicos terrestres que usan un enlace de potencia 540 para transmitir potencia a una red (de suministro) distante.

10 [0105] El enlace de potencia 540 puede ser un enlace de CC, en particular un enlace de CC de alta tensión (enlace CCAT) o bien un enlace de CA, en particular un enlace de CA de alta tensión (enlace CAAT).

15 [0106] En modos de realización en los que el parque eólico 500 es eléctricamente conectable a la red 550 usando un enlace de CA 540, la subestación de red 534 del parque eólico (marino) conectable entre la red de CA local y el enlace de potencia 540 incluye típicamente un transformador de red como se indica por el símbolo eléctrico discontinuo en el cuadro 534.

20 [0107] En modos de realización en los que el parque eólico 500 es eléctricamente conectable a la red 550 usando un enlace de CC 540, la subestación de red de parque eólico 534 incluye un convertidor de potencia de CA-CC (inversor de potencia).

25 [0108] Téngase en cuenta que el disyuntor de circuito principal 520 y/o uno o más sensores 257 para medir corrientes y/o tensiones en el lado de menor tensión y/o el lado de alta tensión (no mostrado en la fig. 4) de la subestación de red 534 también se pueden proporcionar por la subestación 534.

30 [0109] Como se indica por las flechas discontinuas en la fig. 4, un controlador de parque eólico 502 está acoplado de forma comunicativa con las turbinas eólicas 100a-100c, más particularmente con sus controladores de turbina (no mostrados en la fig. 4), el disyuntor de circuito 520-523, los sensores 253, 257 y la subestación 534 opcional.

35 [0110] En este modo de realización, el controlador de parque eólico 502 y los controladores de turbina eólica 202 forman juntos un sistema de control que está acoplado de forma comunicativa con los sistemas de conversión de potencia y los subsistemas auxiliares de las turbinas eólicas 100a-100c.

40 [0111] El controlador de parque eólico 502 está acoplado típicamente de forma comunicativa directamente con los controladores de turbina, la subestación 534 y el disyuntor de circuito principal 520. Además, el controlador de parque eólico 502 se puede acoplar de forma comunicativa, directamente o por medio de los controladores de turbina, con los sensores de corriente 253, 257, los sensores de datos meteorológicos proporcionados por las turbinas eólicas 100a-100c y los disyuntores de circuito 521-523.

45 [0112] El diseño general del controlador de parque eólico 502 puede corresponder al menos sustancialmente al diseño del controlador de turbina eólica como se expone anteriormente con respecto a la fig. 3. Sin embargo, el controlador de parque eólico 502 puede ser más complejo y/o más potente. Además, el controlador de parque eólico 502 típicamente funciona como un controlador principal que supervisa los controladores de turbina eólica durante el control de las turbinas eólicas en modo de funcionamiento normal, modo de funcionamiento de marcha en vacío y modo de funcionamiento en pausa. Por ejemplo, el controlador de parque eólico 502 puede proporcionar funcionalidad SCADA (control de supervisión y adquisición de datos) para el parque eólico 500.

50 [0113] En el estado ilustrado del parque eólico 500, los disyuntores de circuito 520-523 están abiertos. En consecuencia, las cadenas S1-S3 del parque eólico 500 están desconectadas eléctricamente entre sí y de la red de suministro 550. Esto se puede deber a un corte de energía u otra falla de la red de suministro 550 que se puede detectar, por ejemplo, usando datos proporcionados por el sensor 257.

55 [0114] En este estado y después de desconectar el parque eólico 500 de la red de suministro 550, respectivamente, las turbinas eólicas 100a-100c de la cadena S1 así como las turbinas eólicas no mostradas de la cadena S2, S3 reciben instrucciones del controlador de parque eólico 502 para funcionar en un respectivo modo de funcionamiento de isla en el que cada controlador de turbina controla el sistema de conversión de potencia de la respectiva turbina eólica 100a-100c de modo que la demanda de potencia de la turbina eólica y sus subsistemas auxiliares coincida al menos sustancialmente con la potencia eléctrica Pa, Pb, Pc generada por el respectivo sistema de conversión de potencia.

60 [0115] Las turbinas eólicas de 100a a 100c pueden funcionar de forma segura en este modo durante un período más largo siempre que la velocidad del viento sea lo suficientemente baja.

65 [0116] Tras detectar que la velocidad del viento es mayor que un primer valor umbral correspondiente a una velocidad del viento a la que se espera la entrada en pérdida de las palas de rotor para una o todas las turbinas eólicas 100a-100c, por ejemplo, por el controlador de parque eólico 502 que recibe típicamente datos meteorológicos tales como la velocidad del viento y las consignas de potencia usadas actualmente de los controladores de turbina eólica, está expuesto a la condición de viento de entrada en pérdida, el sistema de conversión de potencia de una

de las turbinas eólicas (turbina eólica 100a en el modo de realización ejemplar) recibe la instrucción (y se controla, por ejemplo, por su controlador de turbina correspondiente) para incrementar la potencia eléctrica de Pa en un excedente de potencia eléctrica $\Delta P = Pb + Pc$ no requerido por la turbina eólica 100a pero suficiente para satisfacer o incluso coincidir con las demandas de potencia de los subsistemas auxiliares, respectivamente, de las otras turbinas eólicas 100b, 100c de la cadena S1.

5 [0117] El excedente de potencia eléctrica ΔP se puede transferir a través de los cables de alimentación Cab, Cbc a las turbinas eólicas 100b, 100c que funcionan en modo de funcionamiento de marcha en vacío.

10 [0118] Típicamente, las turbinas eólicas 100b, 100c se controlan en modo de funcionamiento de marcha en vacío por su controlador de turbina a petición del controlador de parque eólico 502.

15 [0119] En lo que sigue se exponen los procedimientos que se pueden realizar por el parque eólico 500 y/o controlar por el sistema de control del parque eólico 500.

15 [0120] La FIG. 5A ilustra un diagrama de flujo de un procedimiento 1000 para operar un parque eólico, en particular un parque eólico como se expone anteriormente con respecto a la fig. 4.

20 [0121] En un primer bloque 1100, las turbinas eólicas de una o más cadenas de parque eólico, que están desconectadas de una red de suministro y entre sí, se operan en un modo de funcionamiento de isla de modo que el sistema de conversión de potencia de cada turbina eólica produce potencia eléctrica de salida que al menos sustancialmente y/o en promedio coincide con la demanda de potencia de la respectiva turbina eólica y sus subsistemas auxiliares, respectivamente.

25 [0122] Después de esto y mientras las turbinas eólicas funcionan en modo de funcionamiento de isla, se comprueba en un bloque posterior 1200 si un rotor de una de las turbinas eólicas está expuesto a una condición de viento en la que la(s) pala(s) de rotor corre(n) el riesgo de entrar en pérdida a la potencia de salida eléctrica generada actualmente del sistema de conversión de potencia conectado. En caso afirmativo, el procedimiento 1000 continúa en el bloque 1300. De otro modo, el procedimiento 1000 vuelve al bloque 1100.

30 [0123] En el bloque 1300, la potencia eléctrica generada por el sistema de conversión de potencia de una de las turbinas eólicas se incrementa en un excedente de potencia eléctrica que es suficiente para suministrarse a los subsistemas auxiliares de una, típicamente todas las demás turbinas eólicas de la cadena que reciben y usan respectivas partes del excedente de potencia eléctrica en el bloque 1400 para suministrarse a sus subsistemas auxiliares mientras funcionan en modo de marcha en vacío en el bloque 1500.

35 [0124] Si se determina que los rotores de las turbinas eólicas, en particular el rotor de la turbina eólica que genera el excedente de potencia eléctrica, ya no están expuestos a una condición de viento que dé como resultado un riesgo (suficientemente alto) de entrada en pérdida cuando vuelven de nuevo al modo de funcionamiento de isla normal, el procedimiento 1000 vuelve al bloque 1100. De otro modo, se mantienen los respectivos modos de funcionamiento actuales de las turbinas eólicas.

40 [0125] La FIG. 5B ilustra un diagrama de flujo de un procedimiento 2000 para operar un parque eólico, en particular un parque eólico como se expone anteriormente con respecto a la fig. 4. El procedimiento 2000 puede ser similar al procedimiento 1000 pero es más específico.

45 [0126] En un primer bloque 2050, se comprueba si se detecta una pérdida o falla o indisponibilidad de una red de suministro a la que el parque eólico está/ha estado alimentando potencia de salida.

50 [0127] En caso afirmativo, al menos las cadenas de turbinas eólicas del parque eólico se desconectan de la red de suministro (y entre sí).

55 [0128] Después de esto, las turbinas eólicas funcionan en modo de (funcionamiento de) isla en el bloque 2100.

55 [0129] En un bloque 2200 posterior, se comprueba si una o más turbinas eólicas de cada cadena están expuestas a velocidades del viento que exceden un (respectivo) primer valor umbral correspondiente a una velocidad del viento a la que se espera la entrada en pérdida de la pala de rotor a la potencia de salida eléctrica generada actualmente.

60 [0130] En caso afirmativo, una turbina eólica por cadena de turbinas eólicas funciona en modo isla de suministro y las demás turbinas eólicas de las cadenas funcionan en modo de funcionamiento de marcha en vacío en las que sus subsistemas auxiliares se suministran por el excedente de potencia eléctrica proporcionado por la respectiva turbina eólica que funciona en modo isla de suministro, en los bloques 2350, 2400.

65 [0131] De otro modo, las turbinas eólicas se mantienen funcionando en modo de funcionamiento de isla (normal).

[0132] En un bloque 2600 posterior, se comprueba si todas las turbinas eólicas están expuestas a velocidades del viento menores que un segundo valor umbral que es menor que el primer valor umbral y en el que no se espera que las turbinas eólicas entren en pérdida cuando vuelvan de nuevo al modo de funcionamiento de isla normal.

5 [0133] En caso afirmativo, el procedimiento 2000 puede volver al bloque 2100.

[0134] De otro modo, se mantienen los modos de funcionamiento actuales de las turbinas eólicas.

10 [0135] La FIG. 5C ilustra un diagrama de flujo de un procedimiento 3000 para operar un parque eólico, en particular un parque eólico como se expone anteriormente con respecto a la fig. 4.

15 [0136] De forma similar a como se expone anteriormente para el procedimiento 1000, 2000, las turbinas eólicas de cada cadena funcionan, en un bloque 3100, en un modo de funcionamiento de isla normal en el que las turbinas eólicas no están conectadas a la red de suministro, y a los subsistemas auxiliares de turbinas eólicas se suministra potencia eléctrica generada por el sistema de conversión de potencia de la respectiva turbina eólica.

20 [0137] Tras detectar en un bloque 3200 que al menos uno de los rotores de las turbinas eólicas está expuesto a una condición de viento en la que la(s) pala(s) de rotor del al menos uno de los rotores corre(n) el riesgo de entrar en pérdida a la potencia de salida eléctrica generada actualmente, la potencia eléctrica generada por el sistema de conversión de potencia de una (típicamente solo una) de las turbinas eólicas se incrementa, en el bloque 3400, en un excedente de potencia eléctrica que se usa para suministrar a los subsistemas auxiliares de las otras turbinas eólicas de la cadena que funcionan en modo de funcionamiento de marcha en vacío, en el bloque 3500.

25 [0138] Los procedimientos 1000, 2000, 3000 se pueden realizar hasta que se detecte la recuperación de red.

[0139] Después de esto, el parque eólico se puede reconnectar a la red de suministro.

30 [0140] Se describen anteriormente en detalle modos de realización ejemplares de parques eólicos y procedimientos para operar parques eólicos. Los sistemas y procedimientos no se limitan a los modos de realización específicos descritos en el presente documento, sino que, en su lugar, los componentes de los sistemas y/o etapas de los procedimientos se pueden utilizar independientemente y por separado de otros componentes y/o etapas descritos en el presente documento.

35 [0141] Aunque se pueden mostrar las características específicas de diversos modos de realización de la invención en algunos dibujos y no en otros, esto solo es por conveniencia. De acuerdo con los principios de la invención, se puede hacer referencia a y/o reivindicar cualquier característica de un dibujo en combinación con cualquier característica de cualquier otro dibujo.

40 [0142] Los modos de realización de la presente invención se han descrito anteriormente con referencia a diagramas de bloques e ilustraciones de diagramas de flujo de procedimientos, aparatos (es decir, sistemas) y productos de programa informático. Se entenderá que cada bloque de los diagramas de bloques e ilustraciones de diagramas de flujo, y combinaciones de bloques en los diagramas de bloques e ilustraciones de diagramas de flujo, respectivamente, se pueden implementar por diversos medios, incluyendo instrucciones de programa informático. Estas instrucciones de programa informático se pueden cargar en un ordenador de propósito general, un ordenador de propósito especial u otro aparato de procesamiento de datos programable, tal como el/los procesador(es) 204 analizado(s) anteriormente con referencia a la FIG. 3, para producir una máquina, de modo que las instrucciones que se ejecutan en el ordenador u otro aparato de procesamiento de datos programable creen un medio para implementar las funciones especificadas en el bloque o bloques del diagrama de flujo.

50 [0143] Estas instrucciones de programa informático también se pueden almacenar en una memoria legible por ordenador no transitoria que puede dar instrucciones a un ordenador u otro aparato de procesamiento de datos programable (por ejemplo, el/los procesador(es) 204 de la FIG. 3) para que funcione de una manera particular, de modo que las instrucciones almacenadas en la memoria legible por ordenador produzcan un artículo de fabricación que incluye instrucciones legibles por ordenador para implementar la función especificada en el bloque o bloques del diagrama de flujo. Las instrucciones de programa informático también se pueden cargar en un ordenador u otro aparato de procesamiento de datos programable para hacer que se realice una serie de etapas operativas en el ordenador u otro aparato programable para producir un procedimiento implementado por ordenador de modo que las instrucciones que se ejecuten en el ordenador u otro aparato programable proporcionen etapas para implementar las funciones especificadas en el bloque o bloques del diagrama de flujo.

60 [0144] En consecuencia, los bloques de los diagramas de bloques e ilustraciones de diagramas de flujo admiten combinaciones de medios para realizar las funciones especificadas, combinaciones de etapas para realizar las funciones especificadas y medios de instrucción de programa para realizar las funciones especificadas. También se entenderá que cada bloque de los diagramas de bloques e ilustraciones de diagramas de flujo, y combinaciones de bloques en los diagramas de bloques e ilustraciones de diagramas de flujo, se pueden implementar por sistemas

informáticos basados en *hardware* de propósito especial que realizan las funciones o etapas especificadas, o combinaciones de *hardware* de propósito especial e instrucciones de ordenador.

5 [0145] A menos que se establezca expresa o implícitamente de otro modo, de ninguna manera se pretende que ningún procedimiento expuesto en el presente documento se interprete como que requiere que sus etapas se realicen en un orden específico.

10 [0146] Esta descripción por escrito usa ejemplos para divulgar la invención, incluyendo el mejor modo, y también para posibilitar que cualquier experto en la técnica ponga en práctica la invención, incluyendo fabricar y usar cualquier dispositivo o sistema y realizar cualquier procedimiento incorporado. Si bien se han divulgado diversos 15 modos de realización específicos en lo anterior, los expertos en la técnica reconocerán que solo la de las reivindicaciones definen el alcance de la invención. Por ejemplo, el sistema de control del parque eólico se puede proporcionar por un controlador centralizado o una pluralidad de controladores interconectados. Se pretende que dichos otros ejemplos estén dentro del alcance de las reivindicaciones si tienen elementos estructurales que no difieren del texto literal de las reivindicaciones.

Números de referencia

[0147]

20	turbina eólica	100 - 100c
	góndola	102
	Torre	104
	sistema de orientación	105
	rotor	106
	mástil meteorológico	107
	palas	108
	sistema de <i>pitch</i>	109
	Buje	110
	eje lento	112
	caja de engranajes	114
	eje rápido	116
	Generador	118
	estátor de generador	120
	rotor de generador	122
	sistema de control	200
	controlador de turbina	202
	procesador	204
	comutador de sincronización	206
	Memoria	207
	bus de estator	208
	módulo de comunicaciones	209
	conjunto de conversión de potencia	210
	interfaz de sensor	211
	bus de rotor	212
	disyuntor de circuito de transformador	214
	bus de sistema	216
	filtro de rotor	218

bus de filtro	219
convertidor de potencia de lado de rotor	220
convertidor de potencia de lado de línea	222
bus de convertidor de potencia de lado de línea	223
filtro de línea	224
bus de línea	225
contactor de línea	226
disyuntor circuito de conversión	228
bus de disyuntor de circuito de conversión	230
bus de conexión	232
transformador principal de potencia eléctrica	234
bus de lado de generador	236
disyuntor de circuito de red	238
bus de lado de disyuntor	240
bus de red	242, 510a
enlace de CC	244
carril positivo	246
carril negativo	248
condensador	250
sensores de corriente eléctrica	252
sensores de corriente eléctrica	253
sensores de corriente eléctrica	254
sensores de corriente eléctrica	256
sensores de corriente eléctrica	257
sensores de datos meteorológicos	258
controlador de convertidor	262
sensores de corriente eléctrica	264
parque eólico (marino)	500
controlador de parque eólico	502
red local (CA)	510
Subred de 510	510b
PCC	512
disyuntor de circuito	520-523
subestación de red (marina)	534
enlace (CCAT) a la red de suministro	540
red de suministro (terrestre)	550
conexión por cable/alimentador	Cab-Cc
Cadenas de turbinas eólicas	S1, S2, S3

procedimiento, etapas de procedimiento 1000 - 3500

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento (1000, 2000, 3000) para operar un parque eólico (500) que comprende una cadena (S1-S3) de turbinas eólicas (100-100c) que son eléctricamente conectables entre sí y una red (510, 550), comprendiendo cada turbina eólica un rotor (106) que comprende una pala de rotor (108), un sistema de conversión de potencia (118, 210, 238) conectado mecánicamente con el rotor (106), y al menos un subsistema auxiliar (105, 109), comprendiendo el procedimiento:
 - 5 • operar (1100, 2100) las turbinas eólicas (100-100c) de la cadena (S1-S3) en un modo de funcionamiento de isla en el que las turbinas eólicas (100-100c) no están conectadas a la red, y se suministra potencia eléctrica (Pa, Pb, Pc) al respectivo al menos un subsistema auxiliar (105, 109) generada por el sistema de conversión de potencia de la respectiva turbina eólica;
 - 10 • determinar (1200, 2200) que el rotor (106) de una de las turbinas eólicas (100-100c) está expuesto a una condición de viento en la que la pala de rotor de la una de las turbinas eólicas corre el riesgo de entrar en pérdida a la potencia de salida eléctrica generada actualmente (Pi); e
 - 15 • incrementar (1300, 2350) la potencia eléctrica (Pa) generada por el sistema de conversión de potencia de la una de las turbinas eólicas en una cantidad de potencia eléctrica (ΔP) que es suficiente para suministrarse al al menos un subsistema auxiliar (105, 109) de al menos una de las otras turbinas eólicas de la cadena (S1-S3).
2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que determinar (1200, 2200) que el rotor (106) de la una de las turbinas eólicas está expuesto a la condición de viento comprende determinar que el rotor está expuesto a una velocidad del viento mayor que un primer valor umbral (vth1) correspondiente a una velocidad del viento a la que se espera la entrada en pérdida de la pala de rotor.
- 25 3. El procedimiento de la reivindicación 2, en el que el primer valor umbral (vth1) está en un intervalo de aproximadamente 14 m/s a aproximadamente 15 m/s.
- 30 4. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la potencia eléctrica (Pa) se incrementa solo para un sistema de conversión de potencia, en el que la potencia eléctrica generada por el sistema de conversión de potencia de la una de las turbinas eólicas se incrementa en una cantidad de potencia eléctrica que coincide al menos sustancialmente con una demanda de potencia del al menos un subsistema auxiliar de la al menos una de las otras turbinas eólicas de la cadena (S1-S3), y/o que comprende además al menos uno de:
 - 40 • usar (1400) la cantidad de potencia eléctrica (ΔP) como fuente de alimentación para al menos una de las otras turbinas eólicas de la cadena (S1-S3);
 - 45 • operar (1500) la al menos una de las otras turbinas eólicas en un modo de funcionamiento de marcha en vacío o en un modo de funcionamiento en pausa; y
 - actualizar la cantidad de potencia eléctrica (ΔP) de acuerdo con una demanda de potencia de la al menos una de las otras turbinas eólicas.
5. El procedimiento de cualquier reivindicación precedente, que comprende además al menos uno de:
 - 50 • determinar (1600, 2600) que el rotor (106) de la una de las turbinas eólicas (100-100c) está expuesto a una condición de viento adicional en la que el riesgo de entrada en pérdida es al menos sustancialmente cero si la potencia de salida eléctrica del sistema de conversión se reduce a un valor (Pa) que coincide al menos sustancialmente con la demanda de potencia actual del al menos un subsistema auxiliar (105, 109) de la una de las turbinas eólicas (100-100c); y
 - 55 • volver a operar (1100) las turbinas eólicas (100-100c) de la cadena (S1-S3) en el modo de funcionamiento de isla.
6. El procedimiento de la reivindicación 5, en el que determinar (1600, 2600) que el rotor (106) de la una de las turbinas eólicas (100-100c) está expuesto a la condición de viento adicional comprende determinar que el rotor está expuesto a una velocidad del viento más pequeña que un segundo valor umbral (vth2) menor que el primer valor umbral (vth1), típicamente de aproximadamente un 10 % a un 50 % menor que el primer valor umbral (vth1), más típicamente de aproximadamente un 30 % a un 36 %.
- 65 7. El procedimiento de cualquier reivindicación precedente, en el que la potencia eléctrica (Pa) generada por el sistema de conversión de potencia de la una de las turbinas eólicas se incrementa en un factor de al menos tres, más típicamente al menos 5 o incluso al menos 8, en el que la potencia eléctrica (Pa) generada

por el sistema de conversión de potencia de la una de las turbinas eólicas se incrementa en una cantidad de potencia eléctrica (ΔP) que es suficiente para suministrarse al al menos un subsistema auxiliar (105, 109) de al menos 4 de las otras turbinas eólicas de la cadena (S1-S3), típicamente de al menos 9 de las otras turbinas eólicas de la cadena (S1-S3).

5 8. El procedimiento de cualquier reivindicación precedente, en el que el parque eólico (500) comprende varias cadenas (S1-S3) de turbinas eólicas (100-100c), en el que las cadenas (S1-S3) de turbinas eólicas (100-100c) son conectables por separado con un punto de acoplamiento común (512) del parque eólico (500) a una red externa, y/o en el que el procedimiento se realiza independientemente para cada una de las varias cadenas (S1-S3) de turbinas eólicas (100-100c).

10 9. Un parque eólico (500) que comprende:

15 • una cadena (S1-S3) de turbinas eólicas (100-100c) que son eléctricamente conectables entre sí y a una red (510, 550), comprendiendo cada turbina eólica un rotor (106) que comprende palas de rotor (108), un sistema de conversión de potencia (118, 210, 238) conectado mecánicamente con el rotor (106), y al menos un subsistema auxiliar (105, 109); y

20 • un sistema de control (502, 202) acoplado de forma comunicativa con el sistema de conversión de potencia (118, 210, 238) de cada una de las turbinas eólicas (100-100c) y configurado para:

25 ○ operar (1100) las turbinas eólicas (100-100c) de la cadena (S1-S3) en un modo de funcionamiento de isla en el que las turbinas eólicas (100-100c) no están conectados a la red, y al al menos un subsistema auxiliar (105, 109) se suministra potencia eléctrica (P_a, P_b, P_c) generada por el sistema de conversión de potencia de la respectiva turbina eólica;

30 ○ determinar (1200) que el rotor (106) de una de las turbinas eólicas (100-100c) está expuesto a una condición de viento en la que al menos una de las palas de rotor de la una de las turbinas eólicas corre el riesgo de entrar en pérdida a la potencia de salida eléctrica generada actualmente (P_i); e

35 ○ incrementar (1300) la potencia eléctrica (P_i) generada por el sistema de conversión de potencia de la una de las turbinas eólicas en una cantidad de potencia eléctrica (ΔP) que es suficiente para suministrarse al al menos un subsistema auxiliar (105, 109) de al menos una de las otras turbinas eólicas de la cadena (S1-S3).

40 10. El parque eólico (500) de la reivindicación 9, en el que el sistema de control (502, 202) está acoplado de forma comunicativa con un sensor (258) para determinar una velocidad del viento en o delante del rotor (106) de las turbinas eólicas (100-100c), y para determinar el riesgo de entrada en pérdida en base a la velocidad del viento determinada.

45 11. El parque eólico (500) de la reivindicación 9 o 10, en el que el sistema de control comprende un controlador de parque eólico (502) y un respectivo controlador de turbina eólica (202) para cada sistema de conversión de potencia, en el que el controlador de parque eólico (502) está acoplado de forma comunicativa con el controlador de turbina eólica (202), en el que el controlador de parque eólico (502) puede funcionar como un controlador principal, en el que los controladores de turbina eólica (202) operativos son como controladores secundarios, en el que los controladores de turbina (202) están configurados para controlar la respectiva turbina eólica en modo de funcionamiento de isla, y/o en el que el sistema de control está configurado para controlar el sistema de conversión de potencia de la una de las turbinas eólicas de modo que la potencia de salida eléctrica generada es suficiente para suministrarse adicionalmente al al menos un subsistema auxiliar (105, 109) de al menos 4 de las otras turbinas eólicas de la cadena (S1-S3), típicamente de al menos 9 de las otras turbinas eólicas de la cadena (S1-S3).

55 12. El parque eólico (500) de cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, en el que el parque eólico (500) comprende varias cadenas (S1-S3) de turbinas eólicas (100-100c), y en el que el sistema de control está configurado para controlar las varias cadenas (S1-S3) de turbinas eólicas independientemente entre sí.

60 13. El parque eólico (500) de cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, en el que el respectivo al menos un subsistema auxiliar (105, 109) se selecciona de una lista que comprende: un sistema de *pitch*, un sistema de orientación, un sistema de calentamiento, un sistema de refrigeración, un sistema hidráulico, un almacenamiento de energía recargable.

65 14. El parque eólico (500) de cualquiera de las reivindicaciones 9 a 13, en el que el parque eólico es un parque eólico marino, y/o en el que el parque eólico está configurado para realizar el procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.

- 5 15. Un producto de programa informático o un medio de almacenamiento legible por ordenador no transitorio que comprende instrucciones que, cuando se ejecutan por uno o más procesadores (204) de un sistema, en particular un sistema de control (502, 202) del parque eólico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9 a 14, hacen que el sistema lleve a cabo el procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.

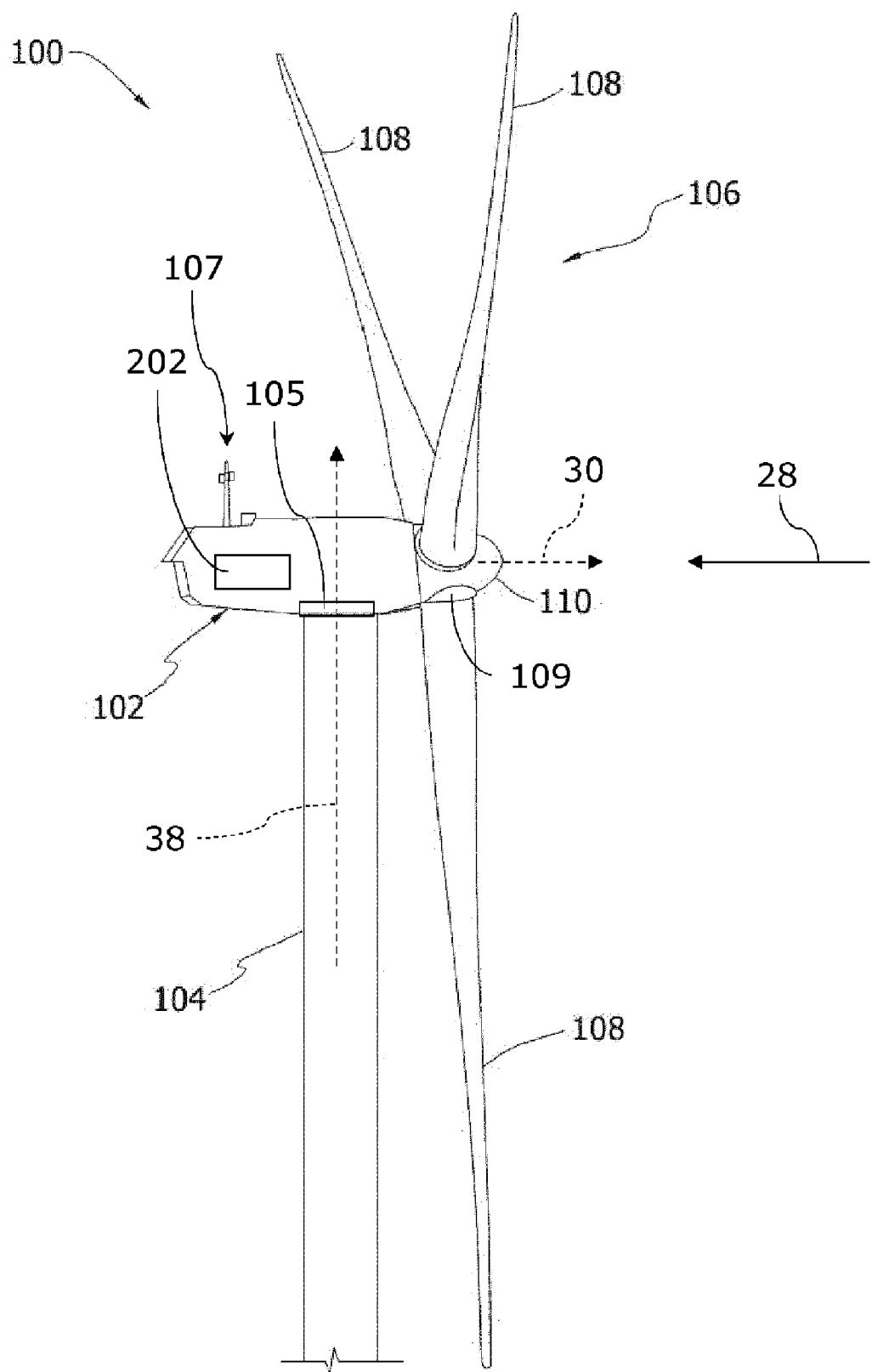


FIG 1

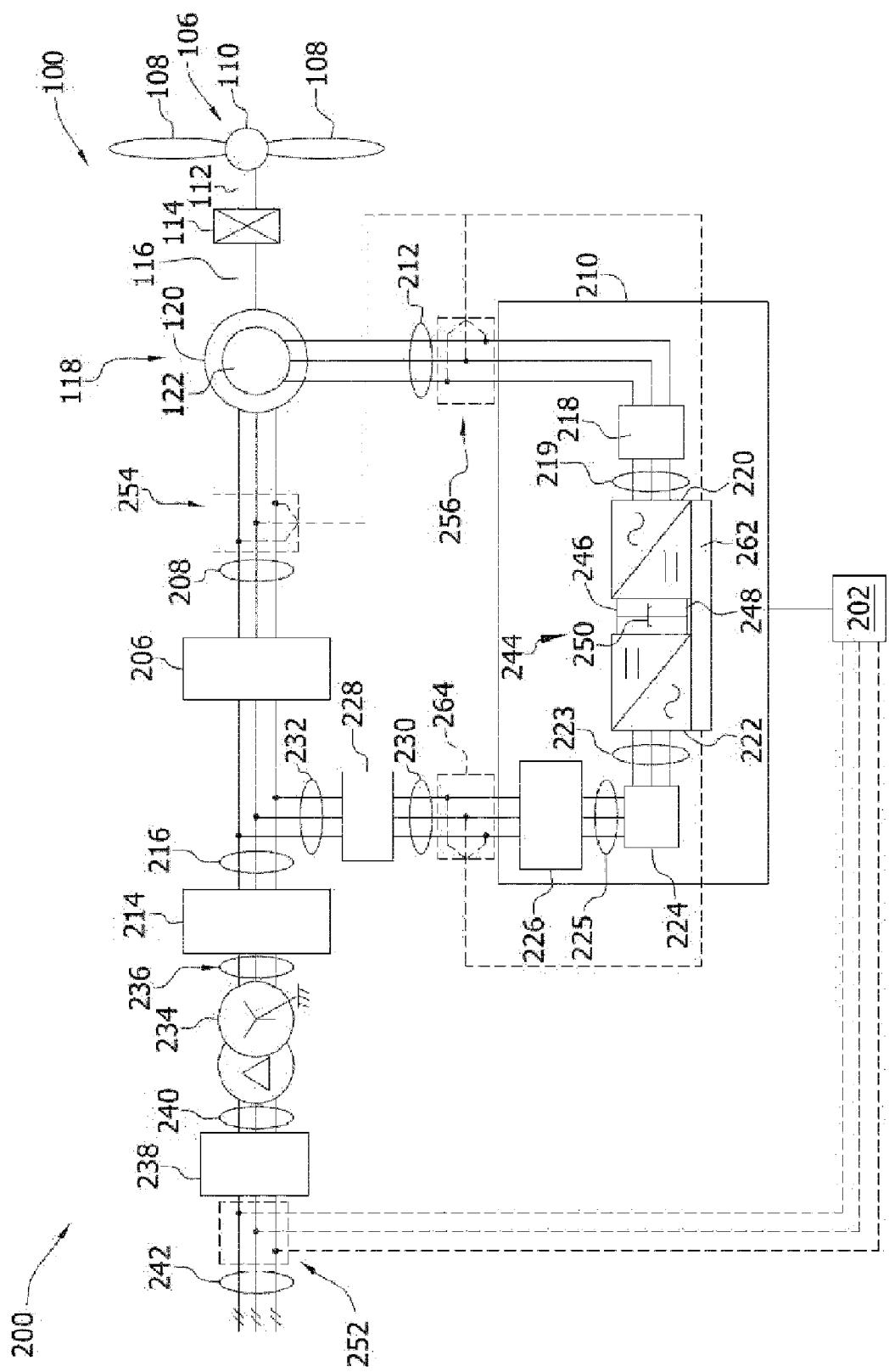


FIG 2

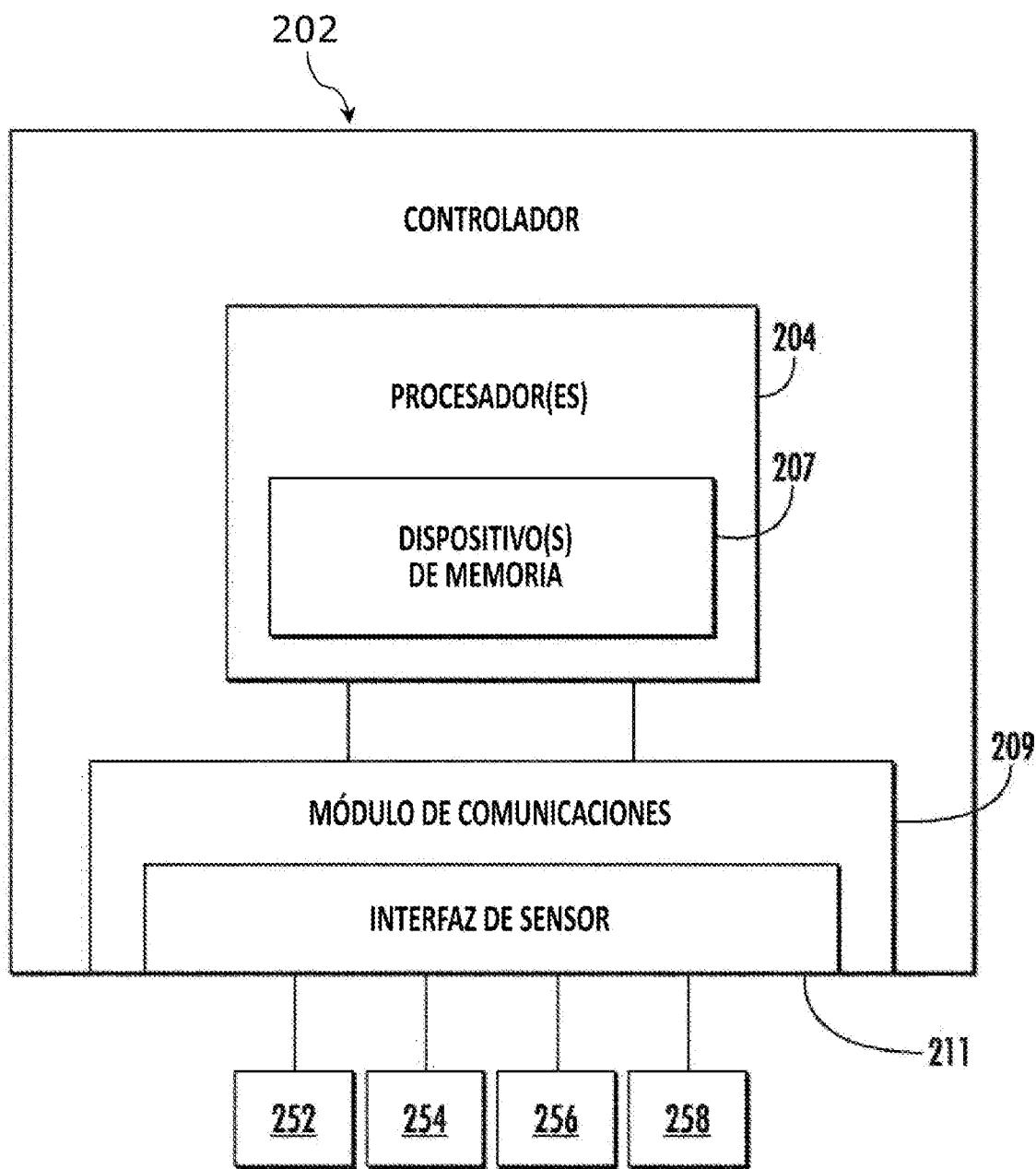


FIG 3

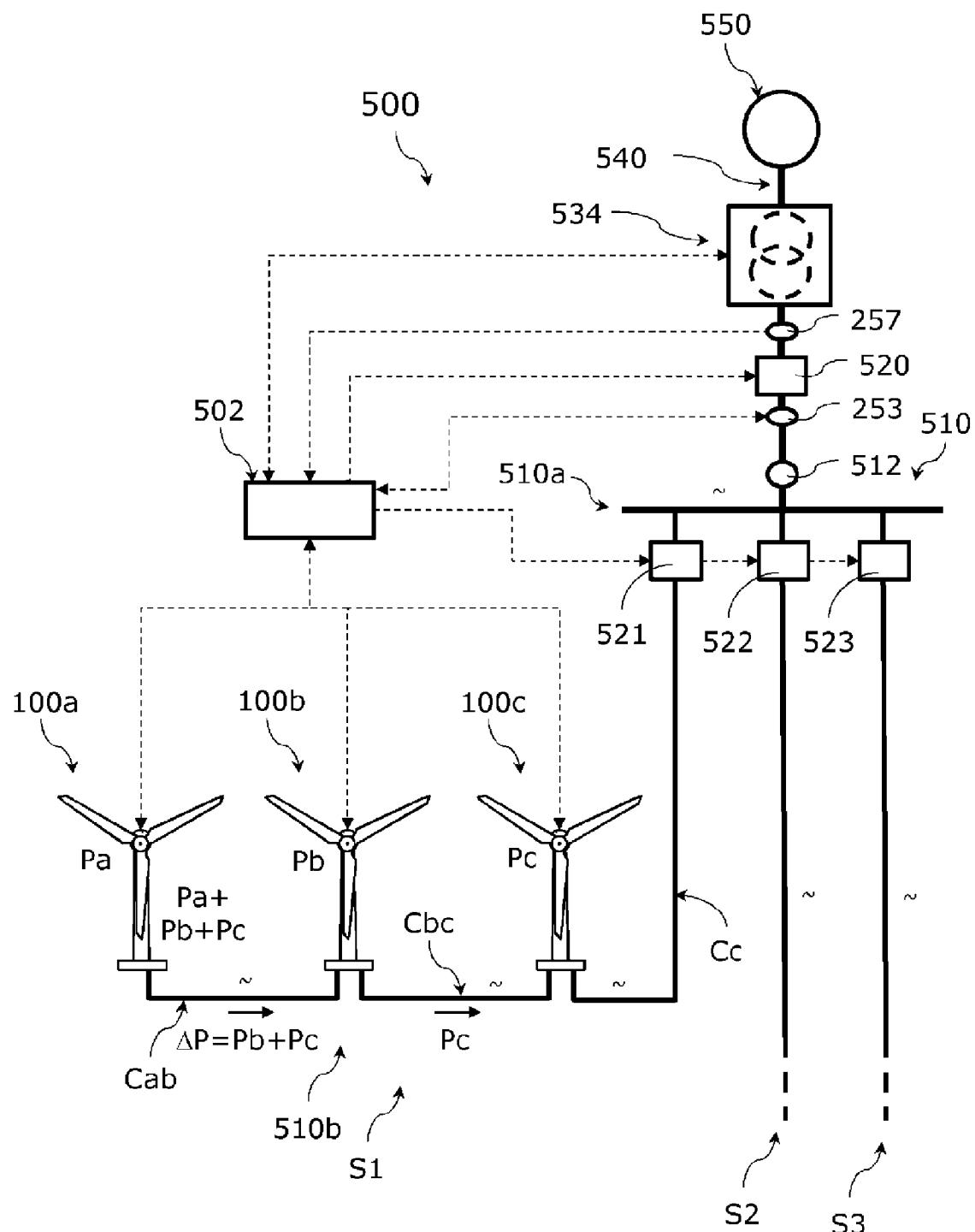


FIG 4

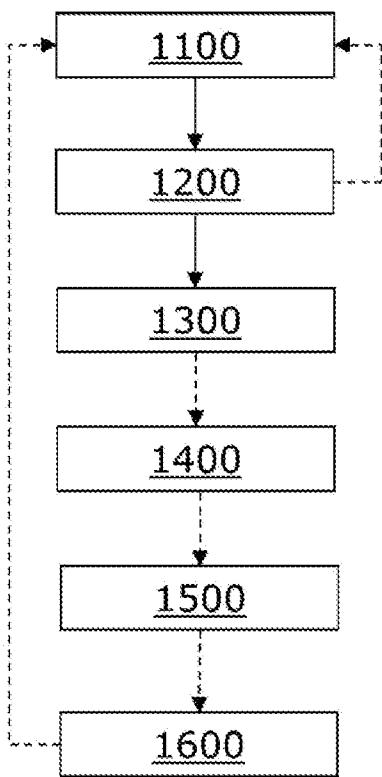
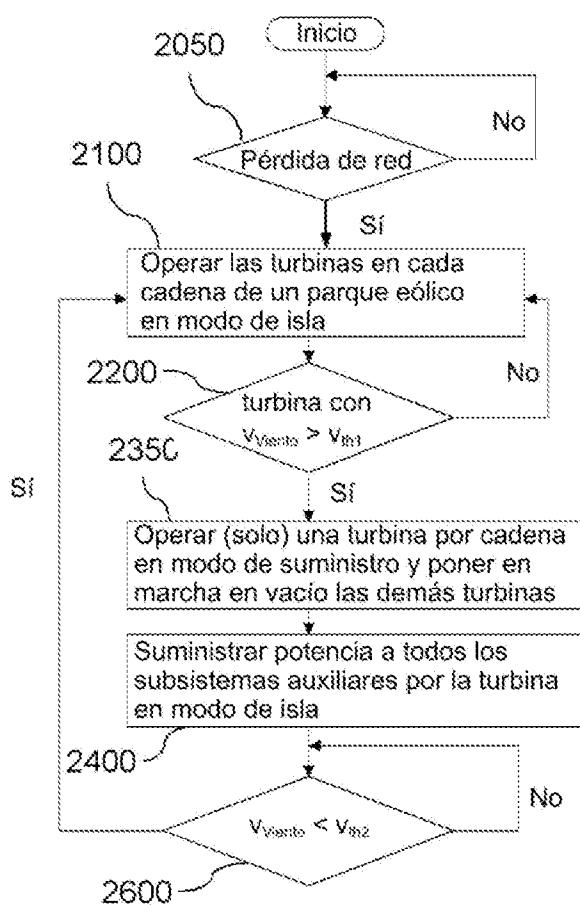
10002000

FIG 5A

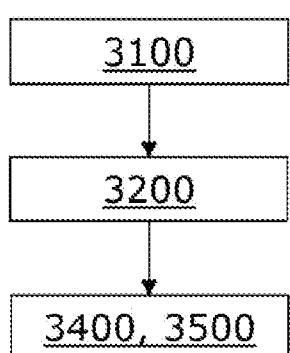
3000

FIG 5B

FIG 5C