

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 989 111**

51 Int. Cl.:

G05F 1/14 (2006.01)

H02J 3/38 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.08.2015 PCT/US2015/044583**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **10.03.2016 WO16036482**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.08.2015 E 15753286 (2)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.05.2024 EP 3189391**

54 Título: **Sistema y procedimiento para optimizar la operación de turbinas eólicas**

30 Prioridad:

03.09.2014 US 201414475616

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
25.11.2024

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC RENOVABLES ESPAÑA,
S.L. (100.0%)
Calle Roc Boronat 78
08005 Barcelona, ES**

72 Inventor/es:

**HARDWICKE, EDWARD, WAYNE;
HOLLIDAY, CORNELIUS, EDWARD y
BURRA, RAJNI, KANT**

74 Agente/Representante:

DE ROOIJ, Mathieu Julien

ES 2 989 111 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

Sistema y procedimiento para optimizar la operación de turbinas eólicas

5 **Campo de la invención**

[0001] La presente divulgación se refiere, en general, a turbinas eólicas y, más en particular, a un sistema y procedimiento para optimizar la operación de turbinas eólicas por medio de un regulador de voltaje.

10 **Antecedentes de la invención**

[0002] La energía eólica se considera una de las fuentes de energía más limpias y más respetuosas con el medioambiente disponibles actualmente, y las turbinas eólicas han obtenido una creciente atención a este respecto. Una turbina eólica moderna típicamente incluye una torre, un generador, una caja de engranajes, una góndola y un rotor que tiene una o más palas de rotor. Las palas de rotor transforman la energía eólica en un par de torsión de rotación mecánico que acciona uno o más generadores por medio del rotor. Los generadores a veces, pero no siempre, están acoplados rotacionalmente al rotor a través de la caja de engranajes. La caja de engranajes eleva la velocidad de rotación inherentemente baja del rotor para que el generador convierta eficazmente la energía mecánica de rotación en energía eléctrica, que se alimenta en una red de suministro por medio de al menos una conexión eléctrica. Dichas configuraciones también pueden incluir convertidores de potencia que se usan para convertir una frecuencia de potencia eléctrica generada en una frecuencia sustancialmente similar a una frecuencia de red de suministro.

[0003] Los sistemas de energía renovable, tales como la turbina eólica descrita anteriormente, típicamente incluyen un convertidor de potencia con un enlace de CC regulado controlado por un controlador de convertidor. Más específicamente, los sistemas de generador de inducción doblemente alimentado ("doubly-fed induction generator" o DFIG) accionado por viento o sistemas de conversión de potencia completa típicamente incluyen un convertidor de potencia con una topología CA-CC-CA. Para muchas turbinas eólicas, el espacio operativo y, de ahí, el valor para el cliente, está limitado por voltajes máximos para uno o más componentes de turbina eólica, por ejemplo, el enlace de CC y el rotor de generador, inherentes a los sistemas de DFIG. Además, los fallos y prácticas operativas de red pueden dar lugar a voltajes incrementados o disminuidos en el estátor de generador, que se reflejan en el rotor de generador y en el enlace de CC. Para mitigar dichos transitorios de voltaje, el controlador de convertidor debe desplazar el factor de potencia de rotor y estátor de las consignas exigidas por el cliente o bien incrementar el índice de modulación de convertidor de rotor, dando lugar a mayores armónicos observados por el cliente. Dichas limitaciones tienden a ser más significativas para los generadores DFIG que operan con un alto deslizamiento nominal (RPM) o para generadores que experimentan una condición de sobrevelocidad.

[0004] En un esfuerzo por mitigar las cuestiones mencionadas anteriormente, se han implementado diversas tecnologías de control de turbina eólica que utilizan un regulador de voltaje para comparar el voltaje de red con un valor de voltaje umbral. A continuación, el sistema de control ordena ("commands") un cambio de paso en el regulador de voltaje para mantener un margen específico para mitigar las perturbaciones en la red. Otros sistemas han utilizado mayores convertidores o frenos dinámicos para controlar los niveles de voltaje en caso de limitaciones por sobrevelocidad y de demanda de potencia por factor de potencia. Sin embargo, muchos de los sistemas descritos anteriormente pueden requerir costes y/o complejidad adicionales.

[0005] Por tanto, la presente divulgación está dirigida a un sistema y procedimiento mejorados que abordan las cuestiones mencionadas anteriormente. Más específicamente, la presente divulgación está dirigida a un sistema y procedimiento para optimizar la operación de turbinas eólicas por medio de un regulador de voltaje que está configurado para maximizar los umbrales de margen con respecto a voltaje de diversos componentes de turbina eólica.

[0006] El documento DE 102008018748A1 divulga un sistema para monitorizar y controlar el voltaje de un transformador conectado a la salida de potencia de una turbina eólica para ajustar la potencia reactiva de la potencia de salida de la turbina eólica.

55 **Breve descripción de la invención**

[0007] La presente invención proporciona un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 y un sistema de acuerdo con la reivindicación 5.

[0008] En un modo de realización, el procedimiento también puede incluir monitorizar, por medio de uno o más sensores, al menos una velocidad de generador y un voltaje de estátor de una turbina eólica y controlar, por medio de un controlador, un regulador de voltaje para disminuir el voltaje de estátor para maximizar el ratio margen con respecto a umbral (the margin-to-threshold ratio).

65

[0009] En otro modo de realización, la etapa de controlar el regulador de voltaje para maximizar la ratio margen con respecto a umbral puede incluir además ordenar un cambio de paso en el regulador de voltaje. En todavía modos de realización adicionales, la turbina eólica puede incluir un generador de inducción doblemente alimentado (DFIG) accionado por viento.

[0010] Estos y otros rasgos característicos, aspectos y ventajas de la presente invención se entenderán mejor con referencia a la siguiente descripción y reivindicaciones adjuntas. Los dibujos adjuntos, que se incorporan en y constituyen una parte de esta memoria descriptiva, ilustran modos de realización de la invención y, conjuntamente con la descripción, sirven para explicar los principios de la invención.

Breve descripción de los dibujos

[0011] En la memoria descriptiva se expone una divulgación completa y habilitante de la presente invención, incluyendo el mejor modo de la misma, dirigida a un experto en la técnica, que hace referencia a las figuras adjuntas, en las que:

la FIG. 1 ilustra un modo de realización de una turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 2 ilustra un modo de realización de un sistema eléctrico y de control para una turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 3 ilustra un diagrama de bloques de un modo de realización de un controlador adecuado para su uso con la turbina eólica como se muestra en la FIG. 1;

la FIG. 4 ilustra un modo de realización de un sistema para optimizar la operación de turbinas eólicas de acuerdo con la presente divulgación; y

la FIG. 5 ilustra un modo de realización de un diagrama de flujo de un procedimiento para optimizar la operación de una turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación.

Descripción detallada de la invención

[0012] Ahora se hará referencia en detalle a modos de realización de la invención, ilustrándose uno o más de sus ejemplos en los dibujos. Cada ejemplo se proporciona a modo de explicación de la invención, no de limitación de la invención. Por ejemplo, se pueden usar los rasgos característicos ilustrados o descritos como parte de un modo de realización con otro modo de realización para proporcionar todavía otro modo de realización. Por tanto, se pretende que la presente invención cubra dichas modificaciones y variaciones que entran dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

[0013] En general, la presente divulgación está dirigida a un sistema y procedimiento para optimizar la operación de turbinas eólicas por medio de un regulador de voltaje. De acuerdo con la invención, el regulador de voltaje comprende un cambiador de tomas en línea configurado entre la red eléctrica y un transformador de la turbina eólica. De acuerdo con la invención, el cambiador de tomas se controla por la turbina o controlador de convertidor para incrementar o disminuir el voltaje de estátor, preferentemente durante la operación a baja y alta velocidad y la operación con alto VAR. Más específicamente, uno o más sensores están configurados para monitorizar al menos una de una condición operativa o de una condición de voltaje de la turbina eólica.

[0014] Diversas condiciones operativas pueden incluir velocidad de generador, demanda de VAR, un factor de potencia, salida de potencia, o similares, mientras que diversas condiciones de voltaje pueden incluir voltaje de estátor, corriente de estátor, voltaje de rotor, corriente de rotor, corriente de convertidor de lado de red, un voltaje de enlace de CC, o similares. El controlador también puede monitorizar el voltaje de red. Por tanto, en un modo de realización, el controlador está configurado para comparar al menos una de la condición operativa o de la condición de voltaje con un umbral predeterminado para determinar un ratio margen con respecto a umbral. Opcionalmente, en base al voltaje de red, el controlador puede ordenar un cambio de paso en el regulador de voltaje para maximizar el ratio margen con respecto a umbral.

[0015] La presente divulgación tiene muchas ventajas que no están presentes en la técnica anterior. Por ejemplo, la presente divulgación proporciona flexibilidad en una o más condiciones de voltaje, por ejemplo, voltaje de estátor, para turbinas eólicas con DFIG para permitir una operación a velocidad variable incrementada. Por tanto, en el extremo inferior de la curva de potencia, la turbina eólica puede operar a menores velocidades de conexión, lo que da como resultado más producción de energía a menores velocidades del viento y transiciones de potencia más fluidas cuando la turbina eólica comienza a producir potencia. Las transiciones de potencia fluidas y las menores velocidades de conexión también dan como resultado menores coeficientes de empuje en el rotor y estela reducida producida por el rotor. De ahí que las turbinas eólicas corriente abajo típicamente experimenten menos estelas y turbulencia, dando lugar a más producción de energía a nivel de parque. Además, regular el voltaje de estátor y red para aliviar las restricciones de corriente eléctrica o limitaciones de voltaje de enlace de CC/rotor puede

incrementar el espacio operativo de la turbina y reducir la probabilidad de que la turbina eólica no siga las consignas del cliente. Además, la presente divulgación minimiza las características eléctricas adversas, tales como ruido eléctrico y distorsiones armónicas.

5 **[0016]** En referencia ahora a los dibujos, la FIG. 1 ilustra una vista en perspectiva de una porción de una turbina eólica 100 de ejemplo de acuerdo con la presente divulgación. 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 (se muestra una porción de la torre 104 en la FIG. 1). La torre 104 puede tener cualquier altura adecuada que facilite la operación 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 de rotor 108 fijadas a un buje 110 rotatorio.

10 **[0017]** De forma alternativa, la turbina eólica 100 puede incluir cualquier número de palas de rotor 108 para facilitar la operación de la turbina eólica 100 como se describe en el presente documento. En un modo de realización, la turbina eólica 100 incluye una caja de engranajes (no mostrada en la FIG. 1) acoplada operativamente al rotor 106 y un generador (no mostrado en la FIG. 1).

15 **[0018]** La FIG. 2 ilustra una vista esquemática de un modo de realización de un sistema eléctrico y de control 200 que se puede usar con la turbina eólica 100. Como se muestra, el rotor 106 incluye palas de rotor 108 acopladas al buje 110. El rotor 106 también incluye un eje lento 112 acoplado de forma rotatoria al buje 110. El eje lento 112 está acoplado a una caja de engranajes 114 que está configurada para aumentar la velocidad de rotación del eje lento 112 y transferir esa velocidad a un eje rápido 116. En un modo de realización, la caja de engranajes 114 tiene un ratio de aumento de aproximadamente 70:1. De forma alternativa, la caja de engranajes 114 puede tener cualquier ratio de aumento adecuada que facilite la operación de la turbina eólica 100 como se describe en el presente documento. Como otra alternativa, la turbina eólica 100 puede incluir un generador de accionamiento directo que esté acoplado de forma rotatoria al rotor 106 sin ninguna caja de engranajes intermedia. El eje rápido 116 está acoplado de forma rotatoria al generador 118. En un modo de realización, el generador 118 puede ser un generador (asíncrono) de inducción doblemente alimentado (DFIG) de rotor devanado trifásico, que incluya un estátor de generador 120 acoplado magnéticamente a un rotor de generador 122. En un modo de realización alternativo, el rotor de generador 122 puede incluir una pluralidad de imanes permanentes en lugar de devanados de rotor.

20 **[0019]** El estátor de generador 120 también se puede acoplar eléctricamente a un conmutador de sincronización de estátor 206 por medio de un bus de estátor 208. En un modo de realización, para facilitar la configuración del DFIG, el rotor de generador 122 está acoplado eléctricamente a un conjunto de conversión de potencia 210 bidireccional por medio de un bus de rotor 212. De forma alternativa, el rotor de generador 122 se puede acoplar eléctricamente al bus de rotor 212 por medio de cualquier otro dispositivo que facilite la operación del sistema eléctrico y de control 200 como se describe en el presente documento. Como otra alternativa, el sistema eléctrico y de control 200 está configurado como un sistema de conversión de potencia completa (no mostrado) que incluye un conjunto de conversión de potencia completa similar en diseño y operación al conjunto de conversión de potencia 210 y está acoplado eléctricamente al estátor de generador 120. El conjunto de conversión de potencia completa facilita la canalización de potencia eléctrica entre el estátor de generador 120 y una red de transmisión y distribución de potencia eléctrica (no mostrada). En un modo de realización, el bus de estátor 208 transmite potencia trifásica desde el estátor de generador 120 al conmutador de sincronización de estátor 206. El bus de rotor 212 transmite potencia trifásica desde el rotor de generador 122 al conjunto de conversión de potencia 210. En un modo de realización, 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. 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.

25 **[0020]** En diversos modos de realización, el conjunto de conversión de potencia 210 puede incluir un filtro de rotor 218 que esté 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 220 de lado de rotor. El convertidor de potencia 220 de lado de rotor está acoplado eléctricamente a un convertidor de potencia 222 de lado de red. El convertidor de potencia 220 de lado de rotor y el convertidor de potencia 222 de lado de línea son puentes de convertidor de potencia que incluyen semiconductores de potencia (no mostrados). En un modo de realización, el convertidor de potencia 220 de lado de rotor y el convertidor de potencia 222 de lado de línea están configurados en una configuración de modulación por ancho de pulso ("pulse width modulation" o PWM) trifásica que incluye dispositivos de conmutación de transistor bipolar de puerta aislada ("insulated gate bipolar transistor" o IGBT) (no mostrados) que operan como se conoce en la técnica. De forma alternativa, el convertidor de potencia 220 de lado de rotor y el convertidor de potencia 222 de lado de línea pueden tener cualquier configuración que use cualquier dispositivo de conmutación que facilite la operación del sistema eléctrico y de control 200 como se describe en el presente documento. El conjunto de conversión de potencia 210 también puede estar en comunicación electrónica de datos con el controlador de turbina 202 para controlar la operación del convertidor de potencia 220 de lado de rotor y el convertidor de potencia 222 de lado de línea.

65

[0021] Todavía en referencia a la FIG. 2, un bus de convertidor de potencia 223 de lado de línea puede acoplar eléctricamente el convertidor de potencia 222 de lado de línea a un filtro de línea 224. Además, el bus de línea 225 puede acoplar eléctricamente el filtro de línea 224 al contactor de línea 226.

[0022] Además, el contactor de línea 226 se puede acoplar 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 se puede acoplar 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 en cuenta la retirada 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 se puede acoplar eléctricamente a un transformador principal 234 de potencia eléctrica por medio de un bus 236 de lado de generador. Además, el transformador principal 234 se puede acoplar eléctricamente a un disyuntor de circuito de red 238 por medio de un bus 240 de lado de disyuntor. El disyuntor de circuito de red 238 se puede conectar a la red de transmisión y distribución de potencia eléctrica por medio de un bus de red 242. Las tres líneas o cables de potencia que salen del área del dibujo a la izquierda de la FIG. 2 pueden corresponder a una línea de potencia trifásica como se describe en el presente documento. En un modo de realización alternativo, el transformador principal 234 se puede acoplar eléctricamente a uno o más fusibles (no mostrados), en lugar de al disyuntor de circuito de red 238, por medio del bus 240 de lado de disyuntor. En otro modo de realización, no se usa ningún fusible ni disyuntor de circuito de red 238, sino que el transformador principal 234 se puede acoplar a la red de transmisión y distribución de potencia eléctrica por medio del bus 240 de lado de disyuntor y el bus de red 242.

[0023] En un modo de realización, el convertidor de potencia 220 de lado de rotor está acoplado en comunicación eléctrica con el convertidor de potencia 222 de lado de línea por medio de un único enlace de corriente continua (CC) 244. De forma alternativa, el convertidor de potencia 220 de lado de rotor y el convertidor de potencia 222 de lado de línea están acoplados eléctricamente por medio de enlaces de CC individuales y separados (no mostrados). En determinados modos de realización, el enlace de CC 244 puede incluir 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 puede incluir uno o más condensadores configurados en serie y/o en paralelo entre el carril positivo 246 y el carril negativo 248.

[0024] Como se menciona, el sistema eléctrico y de control 200 puede incluir un controlador de turbina 202. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 3, el controlador 202 puede incluir uno o más procesadores 176 y dispositivos de memoria asociados 178 configurados para realizar una variedad de funciones y/o instrucciones implementadas por ordenador (por ejemplo, realizar los procedimientos, etapas, cálculos y similares y almacenar datos pertinentes como se divulga en el presente documento). Las instrucciones, cuando se ejecutan por el procesador 176, pueden provocar que el procesador 176 realice operaciones, incluyendo proporcionar comandos de control (por ejemplo, comandos de modulación por ancho de pulso) a los elementos de conmutación del conjunto de conversión de potencia 210 y otros aspectos del sistema eléctrico y de control 200. Adicionalmente, el controlador 202 también puede incluir un módulo de comunicaciones 180 para facilitar las comunicaciones entre el controlador 202 y los diversos componentes del sistema eléctrico y de control 200, por ejemplo, cualquiera de los componentes de la FIG. 2. Además, el módulo de comunicaciones 180 puede incluir una interfaz de sensor 182 (por ejemplo, uno o más convertidores de analógico a digital) para permitir que las señales transmitidas desde uno o más sensores 252, 254, 256, 264 se conviertan en señales que se puedan entender y procesar por los procesadores 176. Se debe apreciar que los sensores 252, 254, 256, 264 se pueden acoplar en comunicación al módulo de comunicaciones 180 usando cualquier medio adecuado. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 3, los sensores 252, 254, 256, 264 están acoplados a la interfaz de sensor 182 por medio de una conexión por cable. Sin embargo, en otros modos de realización, los sensores 252, 254, 256, 264 se pueden acoplar a la interfaz de sensor 182 por medio de una conexión inalámbrica, tal como usando cualquier protocolo de comunicaciones inalámbricas adecuado conocido en la técnica. Como tal, el procesador 176 se puede configurar para recibir una o más señales de los sensores.

[0025] 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 ("programmable logic controller" o PLC), un circuito integrado específico de la aplicación y otros circuitos programables. El procesador 176 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 178 puede(n) comprender, en general, (un) elemento(s) de memoria, incluyendo, pero sin limitarse a, un medio legible por ordenador (por ejemplo, memoria de acceso aleatorio ("random access memory" o RAM)), un medio no volátil legible por ordenador (por ejemplo, una memoria *flash*), un disquete, una memoria de solo lectura compacta ("compact disc-read only memory" o CD-ROM), un disco magnetoóptico ("magneto-optical disk" o MOD), un disco versátil digital ("digital versatile disc" o DVD) y/u otros elementos de memoria adecuados. Dicho(s) dispositivo(s) de memoria 178 se puede(n) configurar, en general, para almacenar instrucciones legibles por

ordenador adecuadas que, cuando se implementan por el/los procesador(es) 176, configuran el controlador 202 para realizar las diversas funciones como se describe en el presente documento.

5 **[0026]** En referencia, en particular, a la FIG. 2, el controlador de turbina 202 también se puede configurar para recibir una pluralidad de señales de medición de voltaje y corriente eléctrica desde un primer conjunto de sensores de voltaje y corriente eléctrica 252. Además, el controlador de turbina 202 se puede configurar para monitorizar y controlar al menos algunas de las variables operativas asociadas con la turbina eólica 100. Por ejemplo, en un modo de realización, cada uno de los tres sensores de voltaje y corriente eléctrica 252 está acoplado eléctricamente a cada una de las tres fases del bus de red 242. De forma alternativa, los sensores de voltaje y corriente eléctrica 252 se pueden acoplar eléctricamente al bus de sistema 216. Como otra alternativa, los sensores de voltaje y corriente eléctrica 252 se pueden acoplar eléctricamente a cualquier porción del sistema eléctrico y de control 200 que facilite la operación del sistema eléctrico y de control 200 como se describe en el presente documento. Como todavía otra alternativa, el controlador de turbina 202 está configurado para recibir un número cualquiera de señales de medición de voltaje y corriente eléctrica desde cualquier número de sensores de voltaje y corriente eléctrica 252, incluyendo, pero sin limitarse a, una señal de medición de voltaje y corriente eléctrica desde un transductor.

20 **[0027]** El sistema eléctrico y de control 200 también puede incluir un controlador de convertidor 262 configurado para recibir una pluralidad de señales de medición de voltaje y corriente eléctrica. Por ejemplo, en un modo de realización, el controlador de convertidor 262 puede recibir señales de medición de voltaje y corriente eléctrica desde un segundo conjunto de sensores de voltaje y corriente eléctrica 254 acoplados en comunicación electrónica de datos con el bus de estátor 208, un tercer conjunto de señales de medición de voltaje y corriente eléctrica desde un tercer conjunto de sensores de voltaje y corriente eléctrica 256 acoplados en comunicación electrónica de datos con el bus de rotor 212, y/o un cuarto conjunto de señales de medición de voltaje y corriente eléctrica desde un cuarto conjunto de sensores de voltaje y corriente eléctrica 264 acoplados en comunicación electrónica de datos con el bus de disyuntor de circuito de conversión 230. En un modo de realización, el segundo conjunto de sensores de voltaje y corriente eléctrica 254 puede ser sustancialmente similar al primer conjunto de sensores de voltaje y corriente eléctrica 252, y el cuarto conjunto de sensores de voltaje y corriente eléctrica 264 puede ser sustancialmente similar al tercer conjunto de sensores de voltaje y corriente eléctrica 256. Además, el controlador de convertidor 262 puede ser sustancialmente similar al controlador de turbina 202 y puede estar en comunicación electrónica de datos con el controlador de turbina 202. Además, en un modo de realización, el controlador de convertidor 262 se puede integrar físicamente dentro del conjunto de conversión de potencia 210. De forma alternativa, el controlador de convertidor 262 puede tener cualquier configuración que facilite la operación del sistema eléctrico y de control 200 como se describe en el presente documento.

35 **[0028]** Durante la operación, el viento impacta en las palas de rotor 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 un voltaje dentro del estátor 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 estátor de generador 120. La potencia eléctrica asociada se transmite al transformador principal 234 por medio del bus de estátor 208, el conmutador de sincronización de estátor 206, el bus de sistema 216, el disyuntor de circuito de transformador principal 214 y el bus 236 de lado de generador. El transformador principal 234 aumenta la amplitud de voltaje de la potencia eléctrica y la potencia eléctrica transformada se transmite además a una red por medio del bus 240 de lado de disyuntor, el disyuntor de circuito de red 238 y el bus de red 242.

50 **[0029]** En un modo de realización, también se proporciona una segunda vía de transmisión de potencia eléctrica. Por ejemplo, se puede generar potencia de CA eléctrica, trifásica y sinusoidal dentro del rotor de generador 122 y se puede transmitir 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 puede transmitir al filtro de rotor 218 de modo que la potencia eléctrica se modifique en cuanto a la velocidad de cambio de las señales de PWM asociadas con el convertidor de potencia 220 de lado de rotor. El convertidor de potencia 220 de lado de rotor actúa como un rectificador y rectifica la potencia de CA trifásica sinusoidal a 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 voltaje de enlace de CC 244 al facilitar la mitigación de un rizado de CC asociado con la rectificación de CA.

60 **[0030]** La potencia de CC se transmite posteriormente desde el enlace de CC 244 al convertidor de potencia 222 de lado de línea y el convertidor de potencia 222 de lado de línea actúa como un inversor configurado para convertir la potencia eléctrica de CC del enlace de CC 244 a potencia eléctrica de CA sinusoidal trifásica con voltajes, corrientes y frecuencias predeterminados. 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 222 de lado de línea al bus de sistema 216 por medio del bus de convertidor de potencia 223 de lado de línea 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 222 de lado de línea. El conmutador de sincronización de estátor 206 está configurado para cerrarse para facilitar la conexión de la potencia trifásica del estátor de generador 120 con la potencia trifásica del conjunto de conversión de potencia 210.

[0031] 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 los buses correspondientes, por ejemplo, cuando un flujo de corriente en exceso pueda dañar los componentes del sistema eléctrico y de control 200. También se pueden proporcionar componentes de protección adicionales, incluyendo el contactor de línea 226, que se puede controlar para formar una desconexión abriendo un conmutador (no mostrado en la FIG. 2) correspondiente a cada línea del bus de línea 225.

[0032] 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 del sistema eléctrico y de control 200. Las señales de control se reciben por el controlador de turbina 202 y usan para controlar la operación del conjunto de conversión de potencia 210. Se puede usar retroalimentación de uno o más sensores por el sistema eléctrico y de control 200 para controlar el conjunto de conversión de potencia 210 por medio del controlador de convertidor 262 que incluye, por ejemplo, el bus de disyuntor de circuito de conversión 230, voltajes de bus de estátor y bus de rotor, o retroalimentaciones de corriente por medio del segundo conjunto de sensores de voltaje y corriente eléctrica 254, el tercer conjunto de sensores de voltaje y corriente eléctrica 256 y el cuarto conjunto de sensores de voltaje y corriente eléctrica 264. Usando dicha información de retroalimentación y, por ejemplo, señales de control de conmutación, se pueden generar de cualquier manera conocida señales de control de conmutador de sincronización de estátor y señales de control (desconexión) de disyuntor de circuito de sistema. Por ejemplo, para un transitorio de voltaje de red con características predeterminadas, el controlador de convertidor 262 suspenderá sustancialmente, al menos temporalmente, la conducción de los IGBT dentro del convertidor de potencia 222 de lado de línea. Dicha suspensión de la operación del convertidor de potencia 222 de lado de línea mitigará sustancialmente la potencia eléctrica que se canaliza a través del conjunto de conversión de potencia 210 a aproximadamente cero.

[0033] En referencia ahora a la FIG. 4, se ilustra un modo de realización de un sistema 300 para optimizar la operación de la turbina eólica 100. Como se muestra, el sistema 300 puede utilizar componentes existentes del sistema eléctrico y de control 200 o se puede integrar dentro del sistema eléctrico y de control 200 de la FIG. 2. Más específicamente, en un modo de realización, el sistema 300 de la presente divulgación incluye al menos un regulador de voltaje 204 acoplado operativamente entre la red eléctrica 242 y el transformador principal 234 de la turbina eólica 100. De forma alternativa, el regulador de voltaje 204 se puede acoplar operativamente entre la red eléctrica 242 y cualquier otro componente adecuado de la turbina eólica 100. Además, el regulador de voltaje 204 se puede acoplar en comunicación y controlar por el controlador de turbina 202 o el controlador de convertidor 262. Más específicamente, el regulador de voltaje 204 puede ser un cambiador de tomas. El término "regulador de voltaje" como se usa en el presente documento engloba ampliamente un dispositivo que está diseñado para mantener automáticamente un umbral de voltaje constante. Por tanto, el regulador de voltaje 204 puede ser un simple diseño de alimentación directa o puede incluir bucles de control de retroalimentación negativa. Además, el regulador de voltaje 204 se puede configurar para regular uno o más voltajes de CA o CC. Se pretende que el término "cambiador de tomas" como se usa en el presente documento englobe ampliamente un tipo de regulador de voltaje acoplado a un devanado de transformador de potencia que permite que se seleccione un número variable de espiras en etapas discretas. Por tanto, se puede producir un transformador con un ratio de espiras variable, que posibilita una regulación de voltaje escalonada de la salida. Además, dependiendo del diseño, la selección de tomas se puede realizar por medio de un cambiador de tomas automático o manual. En consecuencia, el regulador de voltaje 204 está configurado para controlar al menos una condición de voltaje de la turbina eólica 100.

[0034] La configuración del/de los regulador(es) de voltaje 204 puede tener cualquier configuración adecuada, incluyendo, pero sin limitarse a, un único regulador de voltaje aplicado a una única turbina eólica 100 (como se muestra), un único regulador de voltaje aplicado a dos o más turbinas eólicas, una pluralidad de reguladores de voltaje aplicados a una pluralidad de turbinas eólicas, o cualquier otra configuración adecuada.

[0035] Además, en diversos modos de realización, los sensores 252, 254, 256, 265 están configurados para monitorizar una o más condiciones de voltaje de la turbina eólica 100, así como una o más condiciones operativas de la turbina eólica 100. En modos de realización específicos, las condiciones operativas de la turbina eólica 100 pueden incluir cualquier parámetro operativo adecuado de la turbina eólica, tal como, por ejemplo, velocidad de generador, demanda de VAR, un factor de potencia, salida de potencia, o similares. Además, las condiciones de voltaje de la turbina eólica 100 pueden incluir cualquier parámetro de voltaje y/o corriente adecuado de la turbina eólica, tal como, por ejemplo, voltaje de estátor, corriente de estátor, voltaje de rotor, corriente de rotor, corriente de convertidor de lado de red, un voltaje de enlace de CC, o similares.

[0036] Por tanto, después de recibir los datos de sensor, el controlador 202 está configurado para comparar la condición operativa y/o la condición de voltaje con un umbral predeterminado para determinar un ratio margen con respecto a umbral. Además, el controlador 202 está configurado para controlar el regulador de voltaje 204 para

maximizar el ratio margen con respecto a umbral. Más específicamente, el controlador 202 puede implementar cualquier metodología o algoritmo de control adecuado para controlar el regulador de voltaje 204. Por ejemplo, en un modo de realización, el controlador 202 puede ordenar un cambio de paso en el cambiador de tomas. Más específicamente, en un modo de realización, el controlador 202 puede proporcionar control directo de los accionadores electromecánicos del cambiador de tomas o puede proporcionar una consigna para (un) controlador(es) adicional(es) localizado(s) en o enfocado(s) en el cambiador de tomas. En determinados modos de realización, para maximizar la salida de potencia, el controlador 202 puede ajustar la condición de voltaje, por ejemplo, voltaje de estátor, por medio del regulador de voltaje 204 y ajustar la condición operativa, por ejemplo, velocidad de generador. Por ejemplo, en un modo de realización, se puede lograr una acción de control de este tipo por el uso de una función de transferencia o tablas de consulta. En un modo de realización de este tipo, la flexibilidad en el control de voltaje de estátor para la turbina eólica con DFIG 100 permite una operación a velocidad variable incrementada. Por ejemplo, en el extremo inferior de la curva de potencia, la turbina eólica 100 puede operar a menores velocidades de conexión, dando como resultado, de este modo, más producción de energía a menores velocidades del viento y transiciones de potencia más fluidas cuando la turbina comienza a producir potencia. Las transiciones de potencia fluidas y las menores velocidades de conexión también dan como resultado menores coeficientes de empuje en el rotor y estela reducida producida por el rotor. De ahí que las turbinas eólicas corriente abajo ("downstream") probablemente experimenten menos estelas y turbulencia, dando como resultado, de este modo, más producción de energía a nivel de parque.

[0037] El umbral predeterminado para las diversas condiciones de voltaje y/o condiciones operativas se puede determinar por el controlador 202 en tiempo real o se puede preprogramar dentro del controlador 202. Por ejemplo, en determinados modos de realización, el umbral de voltaje predeterminado se basa típicamente en un umbral de voltaje admisible máximo de un componente de turbina eólica de modo que el componente de turbina eólica pueda operar sin daños. De forma similar, el umbral operativo predeterminado típicamente se basa en un umbral operativo admisible máximo, por ejemplo, una velocidad máxima de un componente de turbina eólica de modo que el componente de turbina eólica pueda operar sin daños.

[0038] Todavía en referencia a la FIG. 4, los sensores 252 también se pueden configurar para monitorizar un voltaje de red de la red eléctrica 242. Por tanto, el controlador 202 puede controlar el regulador de voltaje 204 en base al menos en parte al voltaje de red. Por tanto, cuando el voltaje de red es alto y la red no acepta potencia, el regulador de voltaje 204 se puede mantener en o cerca de una consigna operativa actual. Por el contrario, cuando el voltaje de red es bajo y acepta potencia, el regulador de voltaje 204 se puede controlar de modo que se maximice el ratio margen con respecto a umbral con respecto al ratio umbral.

[0039] En referencia ahora a la FIG. 5, se ilustra un diagrama de flujo de un procedimiento de ejemplo 500 para optimizar la operación de una turbina eólica. Como se muestra, el procedimiento 500 incluye una etapa 502 de proporcionar un regulador de voltaje entre una red eléctrica y la turbina eólica. Como se menciona, el regulador de voltaje está configurado para controlar al menos una condición de voltaje de la turbina eólica 100. Otra etapa 504 incluye monitorizar, por medio de uno o más sensores, al menos una condición operativa y al menos una condición de voltaje de la turbina eólica. El procedimiento 500 también incluye comparar al menos una de la condición operativa o de la condición de voltaje con un umbral predeterminado (etapa 506). Por tanto, la siguiente etapa 508 incluye controlar el regulador de voltaje para maximizar el ratio margen con respecto a umbral.

[0040] Los modos de realización de ejemplo de una turbina eólica, un sistema de control para una turbina eólica, y procedimientos de control de una turbina eólica se describen anteriormente en detalle. Los procedimientos, turbina eólica y sistema de control no se limitan a los modos de realización específicos descritos en el presente documento, sino que, en cambio, los componentes de la turbina eólica y/o el sistema de control y/o etapas de los procedimientos se pueden utilizar independientemente y por separado de otros componentes y/o etapas descritos en el presente documento. Por ejemplo, los procedimientos y el sistema de control también se pueden usar en combinación con otros procedimientos y sistemas de potencia de turbina eólica, y no se limitan a la práctica solo con el sistema de potencia como se describe en el presente documento. Más bien, el modo de realización de ejemplo se puede implementar y utilizar en conexión con muchas otras aplicaciones de turbina eólica o sistema de potencia, tales como sistemas de potencia solar.

[0041] Aunque los rasgos característicos específicos de diversos modos de realización de la invención se pueden mostrar 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 rasgo característico de un dibujo en combinación con cualquier rasgo característico de cualquier otro dibujo.

[0042] 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. El alcance patentable de la invención está definido por las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento (500) para optimizar la operación de una turbina eólica (100), comprendiendo el procedimiento:
- 5 proporcionar un regulador de voltaje (204) entre una red eléctrica y la turbina eólica, el regulador de voltaje configurado para controlar un voltaje de estátor de la turbina eólica, en el que el regulador de voltaje (204) comprende un cambiador de tomas localizado entre la red eléctrica y un transformador de la turbina eólica (100);
- 10 monitorizar (502), por medio de uno o más sensores (252...264), al menos una velocidad de generador y el voltaje de estátor de la turbina eólica;
- 15 determinar un margen entre el voltaje de estátor y un umbral de voltaje admisible máximo;
- determinar un ratio margen con respecto a umbral dividiendo el margen por el umbral; y
- 20 controlar, por medio de un controlador (202), el cambiador de tomas para disminuir el voltaje de estátor para maximizar el ratio margen con respecto a umbral.
2. El procedimiento (500) de la reivindicación 1, que comprende:
- 25 controlar el cambiador de tomas para disminuir el voltaje de estátor durante la operación a baja y alta velocidad y la operación con alto VAR para maximizar el ratio margen con respecto a umbral.
3. El procedimiento (500) de la reivindicación 1, que comprende además monitorizar, por medio del controlador (202), un voltaje de red de la red eléctrica y controlar el regulador de voltaje (204) en base al voltaje de red para maximizar el ratio margen con respecto a umbral.
- 30 4. El procedimiento (500) de la reivindicación 1, en el que la etapa de controlar el regulador de voltaje (204) para maximizar el ratio margen con respecto a umbral comprende además ordenar un cambio de paso en el regulador de voltaje.
- 35 5. El procedimiento (500) de la reivindicación 1, en el que la turbina eólica (100) comprende un generador de inducción doblemente alimentado (DFIG) accionado por viento.
6. Un sistema para optimizar la operación de una turbina eólica (100), comprendiendo el sistema:
- 40 un regulador de voltaje (204) acoplado operativamente entre una red eléctrica y la turbina eólica (100), el regulador de voltaje (204) configurado para controlar un voltaje de estátor de la turbina eólica, en el que el regulador de voltaje (204) comprende un cambiador de tomas localizado entre la red eléctrica y un transformador de la turbina eólica (100);
- 45 uno o más sensores (252...264) configurados para monitorizar al menos una velocidad de generador de turbina y el voltaje de estátor; y
- un controlador (202) configurado para realizar una o más operaciones, comprendiendo las una o más operaciones:
- 50 determinar un margen entre el voltaje de estátor y un umbral de voltaje admisible máximo;
- determinar un ratio margen con respecto a umbral dividiendo el margen por el umbral, y
- 55 controlar, por medio del controlador (202), el regulador de voltaje (204) para disminuir el voltaje de estátor para maximizar el ratio margen con respecto a umbral.
7. El sistema de la reivindicación 6, en el que el controlador (202) está configurado para realizar una operación que comprende:
- 60 controlar el cambiador de tomas para disminuir el voltaje de estátor durante la operación a baja y alta velocidad y la operación con alto VAR para maximizar el ratio margen con respecto a umbral.

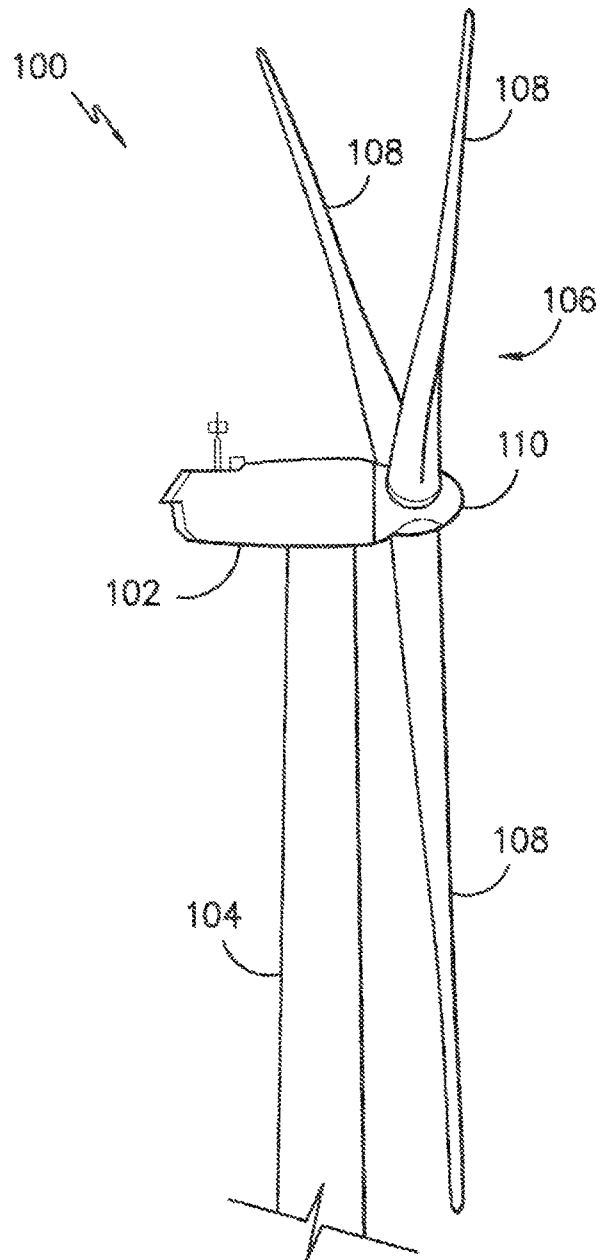


FIG. -1-

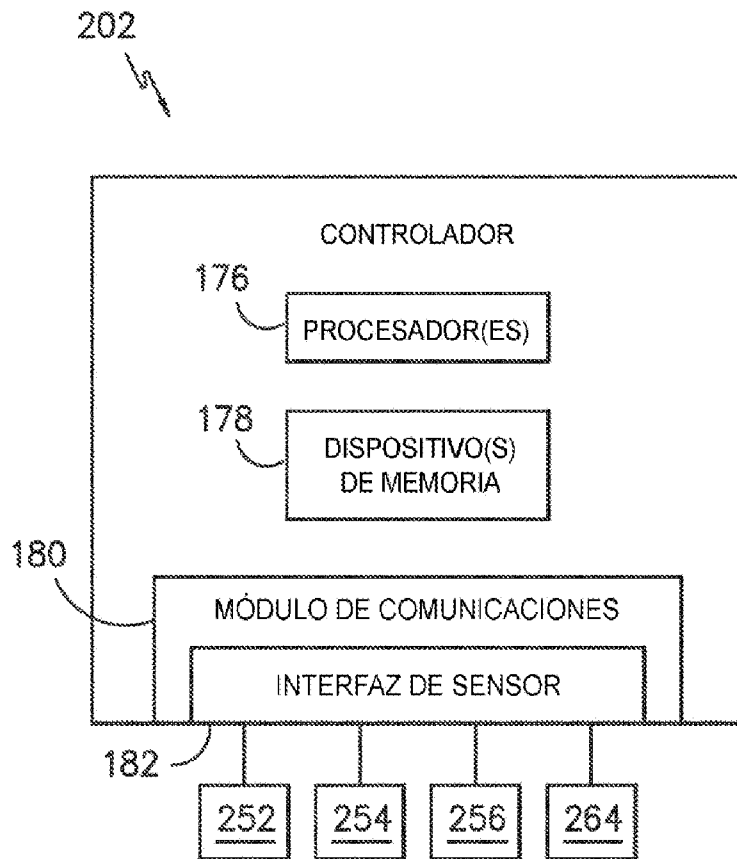


FIG. -3-

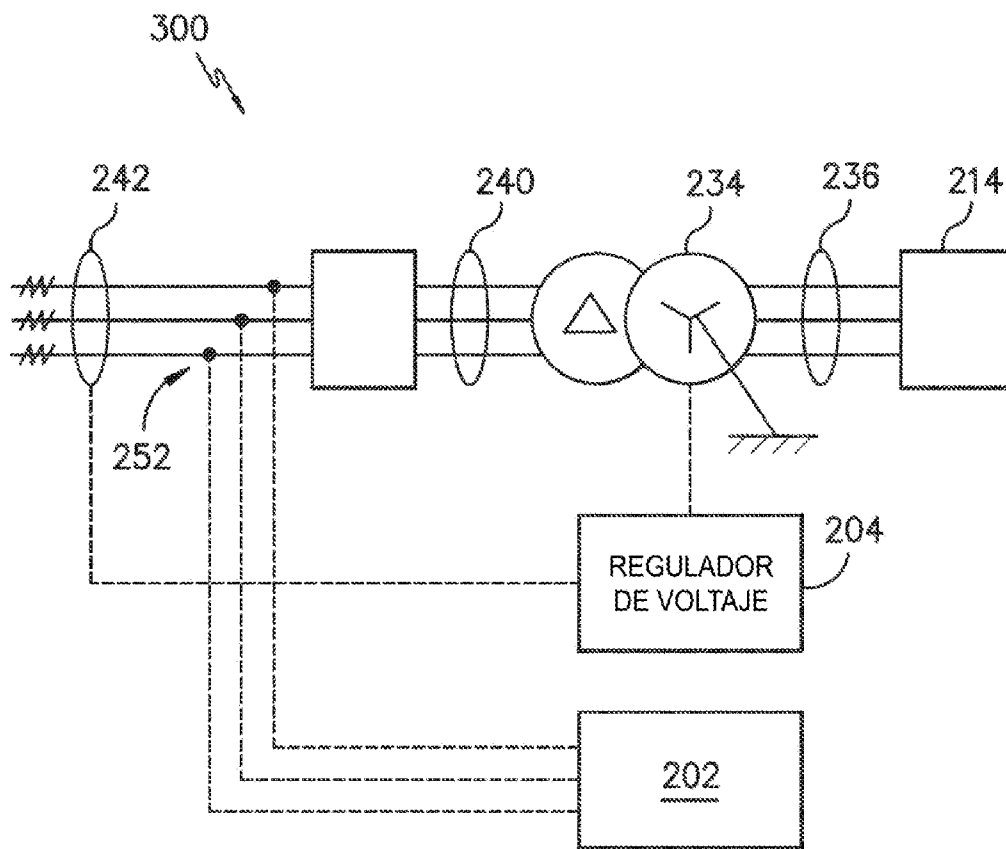


FIG. -4-

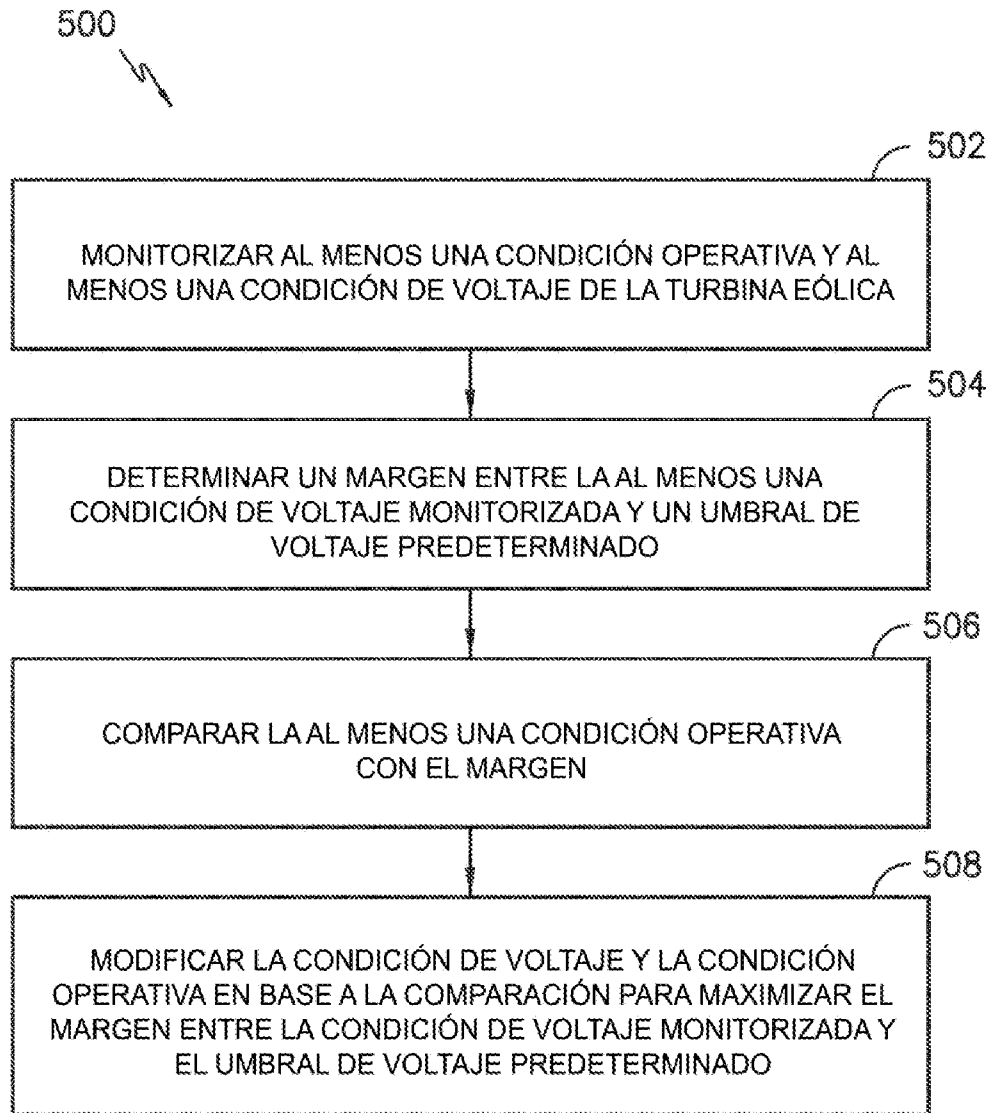


FIG. -5-