

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 936 150**

51 Int. Cl.:

H02P 9/10 (2006.01)

H02P 29/024 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.11.2019** **E 19209212 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.10.2022** **EP 3654521**

54 Título: **Sistema y procedimiento para mitigar sobretensiones en un enlace de CC de un convertidor de potencia**

30 Prioridad:

16.11.2018 US 201816192913

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

14.03.2023

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)
1 River Road
Schenectady, NY 12345, US**

72 Inventor/es:

**HOWARD, DUSTIN y
LARSEN, EINAR VAUGHN**

74 Agente/Representante:

DE ROOIJ, Mathieu Julien

ES 2 936 150 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 mitigar sobretensiones en un enlace de CC de un convertidor de potencia

5 **Campo**

[0001] La presente divulgación se refiere en general a turbinas eólicas y, más en particular, a un sistema y procedimiento para predecir un valor de tensión futuro en un enlace de CC de un convertidor de potencia para mitigar una condición de sobretensión, evitando de este modo daños.

10

Antecedentes

[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 incluye típicamente una torre, un generador, una caja de engranajes, una góndola y una o más palas de rotor. Las palas de rotor captan energía cinética del viento usando principios de perfil alar conocidos. Por ejemplo, las palas de rotor tienen típicamente el perfil de sección transversal de un perfil alar de modo que, durante la operación, el aire fluye sobre la pala produciendo una diferencia de presión entre los lados. En consecuencia, una fuerza de sustentación, que se dirige desde un lado de presión hacia un lado de succión, actúa sobre la pala. La fuerza de sustentación genera un par de torsión en el eje de rotor principal, que está engranado a un generador para producir electricidad.

15

20

25

30

[0003] Durante la operación, el viento impacta en las palas de rotor y las palas transforman la energía del viento en un par de torsión de rotación mecánico que acciona de forma rotatoria un eje lento. El eje lento está configurado para accionar la caja de engranajes que posteriormente aumenta la baja velocidad de rotación del eje lento para accionar un eje rápido a una velocidad de rotación incrementada. El eje rápido en general está acoplado de forma rotatoria a un generador para accionar de forma rotatoria un rotor de generador. Como tal, se puede inducir un campo magnético rotatorio por el rotor de generador y se puede inducir una tensión dentro de un estátor de generador que está acoplado magnéticamente al rotor de generador. La potencia eléctrica asociada se puede transmitir a un transformador principal que típicamente está conectado a una red eléctrica por medio de un disyuntor de red. El transformador principal aumenta la amplitud de tensión de la potencia eléctrica de modo que la potencia eléctrica transformada se pueda transmitir además a la red eléctrica.

35

[0004] En muchas turbinas eólicas, el rotor de generador se puede acoplar eléctricamente a un convertidor de potencia bidireccional que incluye un convertidor de lado de rotor unido a un convertidor de lado de línea por medio de un enlace de CC regulado. Más específicamente, algunas turbinas eólicas, tales como los sistemas de generador asíncrono doblemente alimentado (DFAG) accionados por el viento, pueden incluir un convertidor de potencia con una topología CA-CC-CA.

40

45

50

55

60

[0005] El documento US 2007/121 354 A1 describe un convertidor de potencia que incluye un primer rectificador/inversor activo conectado eléctricamente al estátor del generador e incluye una pluralidad de dispositivos semiconductores de conmutación de potencia, un segundo rectificador/inversor activo que incluye una pluralidad de dispositivos semiconductores de conmutación de potencia, un enlace de CC conectado entre el primer rectificador/inversor activo y el segundo rectificador/inversor activo, un filtro conectado entre el segundo rectificador/inversor activo y la red de suministro, incluyendo el filtro terminales de red, un primer controlador para el primer rectificador/inversor activo; y un segundo controlador para el segundo rectificador/inversor activo. El primer controlador usa una señal de demanda de tensión de enlace de CC indicativa de una tensión de enlace de CC deseada para controlar los dispositivos semiconductores de conmutación de potencia del primer rectificador/inversor activo para alcanzar el nivel deseado de tensión de enlace de CC que corresponde a la señal de demanda de tensión de enlace de CC. El segundo controlador usa una señal de demanda de potencia indicativa del nivel de potencia que se va a transferir desde el enlace de CC a la red de suministro a través del segundo rectificador/inversor activo, y una señal de demanda de tensión indicativa de la tensión que se va a alcanzar en los terminales de red del filtro para controlar los dispositivos semiconductores de conmutación de potencia del segundo rectificador/inversor activo para alcanzar los niveles deseados de potencia y tensión que corresponden a las señales de demanda de potencia y tensión. Además, el documento EP 2 704 309 A2 describe un procedimiento para controlar un generador de inducción doblemente alimentado (DFIG) durante un evento de red de alta tensión. El procedimiento incluye el establecimiento de una salida de una parte de bucle cerrado de un regulador de corriente de rotor en un valor fijo de modo que una ruta de alimentación directa predictiva establezca una tensión interna para el DFIG, y la detección de una situación de alta tensión de CC en un enlace de CC o una situación predictiva de alta tensión de CC en el enlace de CC y, en respuesta, reducir una consigna de corriente que produce par de torsión de rotor a aproximadamente cero, en el que el enlace de CC conecta un convertidor de lado de línea conectado a un bus de sistema y un convertidor de lado de rotor conectado a un rotor del DFIG.

65

[0006] En sistemas con convertidor de potencia bidireccional, diversos transitorios en la red eléctrica pueden generar alta tensión en el enlace de CC del convertidor de potencia. Para los sistemas convencionales, se han diseñado determinadas funciones de control, incluyendo protección de palanca ("crowbar") y protección software

contra sobrecorriente instantánea (IOC), para mitigar el impacto de estos eventos de red para evitar daños en los componentes físicos del convertidor. Sin embargo, dichos rasgos característicos de control tienen retrasos de tiempo inherentes debido al procesamiento de realimentación relacionado de tasas de tareas finitas y la ejecución de control de convertidor. Por lo tanto, si la tensión de CC se incrementa a una tasa suficientemente rápida, los retrasos de tiempo pueden dar como resultado sobretensiones en el enlace de CC, puesto que las funciones de mitigación o protección no pueden operar con la suficiente rapidez.

[0007] En vista de los problemas mencionados anteriormente, la presente divulgación está dirigida a un sistema y procedimiento que compensa los retrasos de tiempo inherentes en los esquemas de control previos estimando la tensión en un momento futuro para garantizar que se implemente una acción de control antes de que se produzca la sobretensión, y proporciona un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 y un sistema de potencia de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 12.

Breve descripción

[0008] Se expondrán, en parte, aspectos y ventajas de la invención en la siguiente descripción, o pueden ser obvios a partir de la descripción, o se pueden aprender a través de la puesta en práctica de la invención.

[0009] En un ejemplo, la presente divulgación está dirigida a un procedimiento para mitigar sobretensiones en un enlace de CC de un convertidor de potencia de un sistema de potencia eléctrica conectado a una red eléctrica provocada por transitorios en la red eléctrica. El procedimiento incluye recibir una señal de realimentación de tensión del enlace de CC durante un período de tiempo predeterminado. El procedimiento también incluye determinar una tasa de cambio de la señal de realimentación de tensión durante el período de tiempo predeterminado. Además, el procedimiento incluye predecir un valor de tensión futuro en el enlace de CC en función de la señal de realimentación de tensión y la tasa de cambio de la señal de realimentación de tensión. Además, el procedimiento incluye controlar el sistema de potencia eléctrica en base al valor de tensión futuro.

[0010] En un modo de realización, determinar la tasa de cambio de la señal de realimentación de tensión durante el período de tiempo predeterminado puede incluir procesar, por medio de un elemento diferencial, la señal de realimentación de tensión. En dichos modos de realización, el elemento diferencial puede incluir un filtro de reposición ("washout filter") y un filtro de paso bajo que tiene un intervalo de frecuencias de aproximadamente 500 radianes/segundo (rad/s) a aproximadamente 1500 rad/s, más preferentemente aproximadamente 1000 rad/s. Por tanto, en dichos modos de realización, el procedimiento también puede incluir filtrar la tasa de cambio de la señal de realimentación de tensión por medio del filtro de paso bajo para reducir ruido.

[0011] En otro modo de realización, el procedimiento también puede incluir restringir, por medio de al menos uno de un desplazamiento ("offset") o un limitador, la tasa de cambio de la señal de realimentación de tensión a cambios positivos de una determinada magnitud. Más específicamente, en un modo de realización, el procedimiento puede incluir restringir la tasa de cambio de la señal de realimentación de tensión a cambios positivos de la determinada magnitud por medio de tanto el desplazamiento como el limitador. En otras palabras, en dichos modos de realización, los límites mínimos del limitador se pueden establecer en cero de modo que la tasa de cambio de la señal de realimentación de tensión se restrinja a valores positivos.

[0012] En otros modos de realización, el procedimiento puede incluir además la aplicación de una ganancia a la tasa de cambio de la señal de realimentación de tensión. En dichos modos de realización, el procedimiento también puede incluir ajustar la ganancia para predecir con exactitud el valor de tensión futuro en el enlace de CC. Más específicamente, la ganancia puede ser superior a aproximadamente 2, tal como aproximadamente 2,5. En otras palabras, se debe entender que cuanto mayor sea la ganancia, más lejos en el tiempo representará el valor de tensión futuro.

[0013] En modos de realización adicionales, la predicción del valor de tensión futuro en el enlace de CC en función de la señal de realimentación de tensión y la tasa de cambio de la señal de realimentación de tensión puede incluir sumar la señal de realimentación de tensión y la tasa de cambio de la señal de realimentación de tensión.

[0014] Aún en otro modo de realización, el control del sistema de potencia eléctrica en base al valor de tensión futuro puede incluir implementar una acción correctiva cuando el valor futuro excede un umbral predeterminado. En dichos modos de realización, la acción correctiva puede incluir encender un circuito de palanca ("crowbar circuit") en un convertidor de lado de rotor del convertidor de potencia y/o apagar el sistema de potencia eléctrica.

[0015] En determinados modos de realización, el generador puede ser un generador asíncrono doblemente alimentado (DFAG). Además, el sistema de potencia eléctrica puede ser un sistema de potencia de turbina eólica, un sistema de potencia solar, un sistema de potencia de almacenamiento de energía o combinaciones de los mismos.

[0016] En otro aspecto, la presente divulgación está dirigida a un procedimiento para mitigar sobretensiones en un enlace de CC de un convertidor de potencia de un sistema de potencia eléctrica conectado a una red eléctrica provocada por transitorios en la red eléctrica. El procedimiento incluye recibir una señal de realimentación de tensión

del enlace de CC. El procedimiento también incluye determinar una potencia que entra en el enlace de CC del convertidor de potencia. Además, el procedimiento incluye predecir un valor de tensión futuro en el enlace de CC en función de la potencia que entra en el enlace de CC del convertidor de potencia y la señal de realimentación de tensión. Por tanto, el procedimiento incluye controlar el sistema de potencia eléctrica en base al valor de tensión futuro.

[0017] En dichos modos de realización, determinar la potencia que entra en el enlace de CC del convertidor de potencia puede incluir recibir una realimentación de potencia activa de un convertidor de lado de rotor del convertidor de potencia, recibir una realimentación de potencia activa de un convertidor de lado de línea del convertidor de potencia, y determinar una diferencia entre la realimentación de potencia activa del convertidor de lado de rotor y la realimentación de potencia activa del convertidor de lado de línea, representando la diferencia la potencia que entra en el enlace de CC. Por tanto, el procedimiento puede incluir además recibir de una capacitancia de CC del enlace de CC y la predicción del valor de tensión futuro en el enlace de CC en función de la diferencia entre la realimentación de potencia activa del convertidor de lado de rotor y la realimentación de potencia activa del convertidor de lado de línea, la señal de realimentación de tensión y la capacitancia de CC. Se debe entender que el procedimiento puede incluir además cualquiera de las etapas y/o rasgos característicos adicionales como se describe en el presente documento.

[0018] Aún en otro aspecto, la presente divulgación está dirigida a un sistema de potencia de turbina eólica conectado a una red eléctrica. El sistema de potencia de turbina eólica incluye un generador asíncrono doblemente alimentado (DFAG) que tiene un rotor y un estátor y un convertidor de potencia. El convertidor de potencia tiene un convertidor de lado de rotor acoplado eléctricamente a un convertidor de lado de línea por medio de un enlace de CC. El sistema de potencia de turbina eólica también incluye un controlador acoplado de forma comunicativa al DFAG y al convertidor de potencia. El controlador está configurado para realizar una o más operaciones, incluyendo pero sin limitarse a la recepción de una señal de realimentación de tensión del enlace de CC durante un período de tiempo predeterminado, la determinación de una tasa de cambio de la señal de realimentación de tensión durante el período de tiempo predeterminado, la predicción de un valor de tensión futuro en el enlace de CC en función de la señal de realimentación de tensión y la tasa de cambio de la señal de realimentación de tensión, y el control del sistema de potencia eléctrica en base al valor de tensión futuro. Se debe entender que el sistema de potencia de turbina eólica puede incluir además cualquiera de los rasgos característicos adicionales como se describe en el presente documento.

[0019] 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 a y forman 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

[0020] 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:

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

la FIG. 2 ilustra una vista esquemática de un modo de realización de un sistema eléctrico y de control adecuado para su uso con la turbina eólica mostrada en la FIG. 1;

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 flujo de un modo de realización de un procedimiento para mitigar sobretensiones en un enlace de CC de un convertidor de potencia de un sistema de potencia eléctrica conectado a una red eléctrica de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 5 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de un sistema para mitigar sobretensiones en un enlace de CC de un convertidor de potencia de un sistema de potencia eléctrica conectado a una red eléctrica de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 6 ilustra un diagrama de flujo de otro modo de realización de un procedimiento para mitigar sobretensiones en un enlace de CC de un convertidor de potencia de un sistema de potencia eléctrica conectado a una red eléctrica de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 7A ilustra un gráfico de un modo de realización de la tensión y la realimentación de tensión del enlace de CC sin la metodología de protección implementada de acuerdo con la presente divulgación; y

la FIG. 7B ilustra un gráfico de un modo de realización de la tensión y la realimentación de tensión del enlace de CC con la metodología de protección implementada de acuerdo con la presente divulgación.

5 Descripción detallada

5 [0021] Ahora se hará referencia en detalle a modos de realización de la invención, de los que se ilustran uno o más ejemplos en los dibujos. Cada ejemplo se proporciona a modo de explicación de la invención. De hecho, será
10 evidente para los expertos en la técnica que se pueden realizar diversas modificaciones y variaciones. 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.

15 [0022] En referencia ahora a los dibujos, la FIG. 1 ilustra una vista en perspectiva de una parte de una turbina eólica 100 ejemplar de acuerdo con la presente divulgación, que está configurada para implementar el procedimiento y aparato como se describe en el presente documento. La turbina eólica 100 incluye una góndola 102 que aloja típicamente un generador (no mostrado). La góndola 102 está montada en una torre 104 que tiene 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 108 unidas a un buje rotatorio 110. De forma alternativa, la turbina eólica 100 puede incluir un número cualquiera de palas 108 que facilite la operación de la
20 turbina eólica 100 como se describe en el presente documento.

25 [0023] En referencia a la FIG. 2, se ilustra una vista esquemática de un sistema eléctrico y de control 200 de ejemplo que se puede usar con la turbina eólica 100. Durante la operación, el viento impacta en las palas 108 y las palas 108 transforman la energía del viento 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 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 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. En un modo de realización, el generador 118 puede ser un generador asíncrono doblemente alimentado (DFIG) trifásico de rotor bobinado, que
30 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 está acoplado magnéticamente al rotor de generador 122. En un modo 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. El transformador principal 234 aumenta la amplitud de tensión de la potencia eléctrica de modo que la potencia eléctrica transformada se puede transmitir además a una red por medio de un disyuntor de circuito de red 238, un bus del lado del disyuntor 240 y un bus de red 242.

40 [0024] Además, el sistema eléctrico 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 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 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 209 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. Además, 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
45 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.

60 [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 que se incluyen 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, un medio legible por ordenador (por ejemplo,
65

una memoria de acceso aleatorio (RAM)), un 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.

[0026] En referencia de nuevo a la FIG. 2, el estátor de generador 120 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 de DFAG, el rotor de generador 122 está acoplado eléctricamente a un conjunto de conversión de potencia bidireccional 210 o convertidor de potencia 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. En otro modo de realización, el conmutador de sincronización de estátor 206 se puede acoplar eléctricamente a un disyuntor de circuito de transformador principal 214 por medio de un bus de sistema 216.

[0027] El conjunto de conversión de potencia 210 puede incluir un filtro de rotor 218 que está acoplado eléctricamente al rotor de generador 122 por medio del bus de rotor 212. Además, el filtro de rotor 218 puede incluir un reactor de lado de rotor. Un bus de filtro de rotor 219 acopla eléctricamente el filtro de rotor 218 a un convertidor de potencia de lado de rotor 220. Además, el convertidor de potencia de lado de rotor 220 se puede acoplar eléctricamente a un 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 pueden estar acoplados eléctricamente por medio de enlaces de CC individuales y separados. Además, como se muestra, el enlace de CC 244 puede incluir un carril positivo 246, un carril negativo 248 y al menos un condensador 250 acoplado entre los mismos. Además, como se muestra, el convertidor de potencia 210 también puede incluir al menos un circuito de palanca 215 para evitar que se produzca una situación de sobretensión en el convertidor de potencia, que se expondrá con más detalle en el presente documento. Más específicamente, como se muestra, se puede configurar al menos un circuito de palanca 215 con el convertidor de lado de rotor 220 del convertidor de potencia 210.

[0028] Además, un bus de convertidor de potencia de lado de línea 223 puede acoplar eléctricamente el convertidor de potencia de lado de línea 222 a un filtro de línea 224. Además, un bus de línea 225 puede acoplar eléctricamente el filtro de línea 224 a un contactor de línea 226. Además, el filtro de línea 224 puede incluir un reactor de lado de línea. 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 de un bus de sistema 216 y un bus de conexión 232. El disyuntor de circuito de transformador principal 214 se puede acoplar eléctricamente a un transformador principal de potencia eléctrica 234 por medio de un bus de lado de generador 236. El transformador principal 234 se puede acoplar eléctricamente a un disyuntor de circuito de red 238 por medio de un bus de lado de disyuntor 240. 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.

[0029] En operación, la potencia de corriente alterna (CA) generada en el estátor de generador 120 por la rotación del rotor 106 se proporciona por medio de una ruta doble al bus de red 242. Las rutas dobles están definidas por el bus de estátor 208 y el bus de rotor 212. En el lado de bus de rotor 212, se proporciona potencia de CA sinusoidal multifásica (por ejemplo, trifásica) al conjunto de conversión de potencia 210. El convertidor de potencia de lado de rotor 220 convierte la potencia de CA proporcionada desde el bus de rotor 212 en potencia de CC y proporciona la potencia de CC al enlace de CC 244. Los elementos de conmutación (por ejemplo, IGBT) usados en circuitos de puente del convertidor de potencia de lado de rotor 220 se pueden modular para convertir la potencia de CA proporcionada desde el bus de rotor 212 en potencia de CC adecuada para el enlace de CC 244.

[0030] El convertidor de lado de línea 222 convierte la potencia de CC del enlace de CC 244 en potencia de salida de CA adecuada para el bus de red eléctrica 242. En particular, los elementos de conmutación (por ejemplo, IGBT) usados en circuitos de puente ("bridge circuits") del convertidor de potencia de lado de línea 222 se pueden modular para convertir la potencia de CC en el enlace de CC 244 en potencia de CA en el bus de lado de línea 225. La potencia de CA del conjunto de conversión de potencia 210 se puede combinar con la potencia del estátor 120 para proporcionar potencia multifásica (por ejemplo, potencia trifásica) que tiene una frecuencia mantenida sustancialmente a la frecuencia del bus de red eléctrica 242 (por ejemplo, 50 Hz/60 Hz). Se debe entender que el convertidor de potencia de lado de rotor 220 y el convertidor de potencia de lado de línea 222 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.

[0031] Además, el conjunto de conversión de potencia 210 se puede acoplar en comunicación electrónica de datos con el controlador de turbina 202 y/o un controlador de convertidor 262 separado o integral para controlar la operación del convertidor de potencia de lado de rotor 220 y el convertidor de potencia de lado de línea 222. Por ejemplo, durante la operación, el controlador 202 se puede configurar para recibir una o más señales de medición de

tensión y/o corriente eléctrica desde el primer conjunto de sensores de tensión y de corriente eléctrica 252. Por tanto, el controlador 202 se puede configurar para monitorizar y controlar al menos algunas de las variables operativas asociadas a la turbina eólica 100 por medio de los sensores 252. En el modo de realización ilustrado, cada uno de los sensores 252 se puede acoplar eléctricamente a cada una de las tres fases del bus de red eléctrica 242. De forma alternativa, los sensores 252 se pueden acoplar eléctricamente a cualquier parte 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. Además de los sensores descritos anteriormente, los sensores también pueden incluir un segundo conjunto de sensores de tensión y corriente eléctrica 254, un tercer conjunto de sensores de tensión y corriente eléctrica 256, un cuarto conjunto de sensores de tensión y corriente eléctrica 258 (todos mostrados en la FIG. 2) y/o cualquier otro sensor adecuado.

[0032] También se debe entender que se puede emplear un número o tipo cualquiera de sensores de tensión y/o corriente eléctrica dentro de la turbina eólica 100 y en cualquier localización. Por ejemplo, los sensores pueden ser transformadores de corriente, sensores de derivación, bobinas de Rogowski, sensores de corriente de efecto Hall, unidades de medición microinerciales (MIMU) o similares, y/o cualquier otro sensor de tensión o corriente eléctrica adecuado actualmente conocido o desarrollado posteriormente en la técnica.

[0033] Por tanto, el controlador de convertidor 262 está configurado para recibir una o más señales de realimentación de tensión y/o corriente eléctrica desde los sensores 252, 254, 256, 258. Más específicamente, en determinados modos de realización, las señales de realimentación de corriente o tensión pueden incluir al menos una de señales de realimentación de línea, señales de realimentación de convertidor de lado de línea, señales de realimentación de convertidor de lado de rotor o señales de realimentación de estátor. Por ejemplo, como se muestra en el modo de realización ilustrado, el controlador de convertidor 262 recibe señales de medición de tensión y de corriente eléctrica desde el segundo conjunto de sensores de tensión y corriente eléctrica 254 acoplado en comunicación electrónica de datos con el bus de estátor 208. El controlador de convertidor 262 también puede recibir el tercer y cuarto conjunto de señales de medición de tensión y corriente eléctrica desde el tercer y cuarto conjunto de sensores de tensión y corriente eléctrica 256, 258. Además, el controlador de convertidor 262 se puede configurar con cualquiera de los rasgos característicos descritos en el presente documento con respecto al controlador principal 202. Además, el controlador de convertidor 262 puede estar separado o ser parte integrante del controlador principal 202. Como tal, el controlador de convertidor 262 está configurado para implementar las diversas etapas de procedimiento como se describe en el presente documento y se puede configurar de manera similar al controlador de turbina 202.

[0034] En referencia ahora a la FIG. 4, se ilustra un diagrama de flujo 300 de un procedimiento para mitigar la sobretensión en un enlace de CC de un convertidor de potencia de un sistema de potencia eléctrica conectado a una red eléctrica de acuerdo con la presente divulgación. En general, el procedimiento 300 se describirá en el presente documento con referencia al sistema de potencia de turbina eólica 200 mostrado en las FIGS. 1-3. Sin embargo, se debe apreciar que el procedimiento 300 divulgado se puede implementar con cualquier otro sistema de potencia adecuado que tenga cualquier otra configuración adecuada. Además, aunque la FIG. 4 representa etapas realizadas en un orden particular con propósitos ilustrativos y de análisis, los procedimientos analizados en el presente documento no están limitados a ningún orden o disposición particular. Un experto en la técnica, usando las divulgaciones proporcionadas en el presente documento, apreciará que diversas etapas de los procedimientos divulgados en el presente documento se pueden omitir, reorganizar, combinar y/o adaptar de diversas maneras sin desviarse del alcance de la presente divulgación.

[0035] Como se muestra en (302), el procedimiento 300 incluye la recepción de una señal de realimentación de tensión del enlace de CC 244 durante un período de tiempo predeterminado. Como se muestra en (304), el procedimiento 300 incluye la determinación de una tasa de cambio de la señal de realimentación de tensión durante el período de tiempo predeterminado. Como se muestra en (306), el procedimiento 300 incluye la predicción de un valor de tensión futuro en el enlace de CC en función de la señal de realimentación de tensión y la tasa de cambio de la señal de realimentación de tensión. Como se muestra en (308), el procedimiento 300 incluye el control del sistema de potencia eléctrica en base al valor de tensión futuro.

[0036] El procedimiento 300 de la FIG. 4 se puede entender mejor con referencia a la FIG. 5, que ilustra un sistema 400 correspondiente para mitigar sobretensiones en el enlace de CC 244 del convertidor de potencia 210. Como se muestra en 402, el sistema 400 recibe la señal de realimentación de tensión 404. Además, como se muestra por medio de la ruta 406, el sistema 400 se puede configurar para determinar la tasa de cambio 420 de la señal de realimentación de tensión 404 procesando, por ejemplo, por medio de un elemento diferencial 408, la señal de realimentación de tensión 404. En dichos modos de realización, como se muestra, el elemento diferencial 408 puede incluir un filtro de reposición seguido de un filtro de paso bajo para determinar la tasa de cambio de la señal de realimentación de tensión 404. En dichos modos de realización, el filtro de paso bajo puede tener cualquier intervalo de frecuencias adecuado, tal como de aproximadamente 500 radianes/segundo (rad/s) a aproximadamente 1500 rad/s, más preferentemente aproximadamente 1000 rad/s.

[0037] En referencia todavía a la FIG. 5, el sistema 400 puede determinar además la tasa de cambio 420 de la señal de realimentación de tensión 404 restringiendo la señal de realimentación de tensión 404 a cambios positivos

de una determinada magnitud, por ejemplo, por medio de un desplazamiento 412 y/o un limitador 414. En dichos modos de realización, los límites mínimos del desplazamiento y el limitador 414 se pueden establecer en cero de modo que la señal de realimentación de tensión 404 esté restringida a valores positivos.

5 **[0038]** En otros modos de realización, el sistema 400 también puede determinar la tasa de cambio 420 de la señal de realimentación de tensión 404 aplicando una ganancia 416 a la señal de realimentación de tensión 404, por ejemplo, como se muestra en el multiplicador 418. En dichos modos de realización, el sistema 400 también se puede configurar para ajustar la ganancia 416 para predecir con exactitud el valor de tensión futuro 422 en el enlace de CC 244. Más específicamente, la ganancia 416 puede ser superior a aproximadamente 2, tal como aproximadamente 2,5. En otras palabras, se debe entender que cuanto mayor sea la ganancia, más lejos en el futuro será el valor de tensión futuro.

15 **[0039]** En referencia todavía a la FIG. 5, a continuación, el sistema 400 puede predecir el valor de tensión futuro 422 en el enlace de CC 244 en función de la señal de realimentación de tensión 404 y la tasa de cambio 420 de la señal de realimentación de tensión 404. Por ejemplo, como se muestra en 424, el sistema 400 está configurado para sumar la señal de realimentación de tensión 404 y la tasa de cambio 420 de la señal de realimentación de tensión 404 como se muestra en 424.

20 **[0040]** Después de que el sistema 400 ha determinado el valor de tensión futuro 422, el sistema puede controlar el sistema de potencia 200 en base al valor de tensión futuro. Por ejemplo, en un modo de realización, el sistema 400 se puede configurar para implementar una acción correctiva cuando el valor futuro excede un umbral predeterminado. En dichos modos de realización, la acción correctiva puede incluir, por ejemplo, encender el circuito de palanca 215 del convertidor de lado de rotor 220 del convertidor de potencia 210.

25 **[0041]** En referencia ahora a la FIG. 6, se ilustra un diagrama de flujo 500 de otro modo de realización de un procedimiento para mitigar la sobretensión en un enlace de CC de un convertidor de potencia de un sistema de potencia eléctrica conectado a una red eléctrica de acuerdo con la presente divulgación. En general, el procedimiento 500 se describirá en el presente documento con referencia al sistema de potencia de turbina eólica 200 mostrado en las FIGS. 1-3. Sin embargo, se debe apreciar que el procedimiento 500 divulgado se puede implementar con cualquier otro sistema de potencia adecuado que tenga cualquier otra configuración adecuada. Además, aunque la FIG. 6 representa etapas realizadas en un orden particular con propósitos ilustrativos y de análisis, los procedimientos analizados en el presente documento no están limitados a ningún orden o disposición particular. Un experto en la técnica, usando las divulgaciones proporcionadas en el presente documento, apreciará que diversas etapas de los procedimientos divulgados en el presente documento se pueden omitir, reorganizar, combinar y/o adaptar de diversas maneras sin desviarse del alcance de la presente divulgación.

35 **[0042]** Como se muestra en (502), el procedimiento 500 incluye la recepción de una señal de realimentación de tensión del enlace de CC 244. Como se muestra en (504), el procedimiento 500 incluye la determinación de la potencia que entra en el enlace de CC 244 del convertidor de potencia 210. Por ejemplo, como se muestra en (506), (508) y (510), la determinación de la potencia que entra en el enlace de CC 244 puede incluir la recepción de una realimentación de potencia activa del convertidor de lado de rotor 220 del convertidor de potencia 210, la recepción de una realimentación de potencia activa del convertidor de lado de línea 222 del convertidor de potencia 210, y la determinación de una diferencia entre la realimentación de potencia activa del convertidor de lado de rotor 220 y la realimentación de potencia activa del convertidor de lado de línea 222. En dichos modos de realización, la diferencia representa la potencia que entra en el enlace de CC 244. Además, como se muestra en (512), el procedimiento 500 también puede incluir opcionalmente la recepción de una capacitancia de CC del enlace de CC 244.

40 **[0043]** Por tanto, todavía en referencia a la FIG. 6, como se muestra en (514), el procedimiento 500 incluye la predicción de un valor de tensión futuro 422 del enlace de CC 244 en función de, al menos, la potencia que entra en el enlace de CC 244 y la señal de realimentación de tensión 404. En otro modo de realización, el procedimiento 500 puede incluir la predicción del valor de tensión futuro 422 del enlace de CC 244 en función de la diferencia entre la realimentación de potencia activa del convertidor de lado de rotor 220 y la realimentación de potencia activa de convertidor de lado de línea 222, la señal de realimentación de tensión y la capacitancia de CC. Por tanto, como se muestra en (516), el procedimiento 500 incluye además el control del sistema de potencia eléctrica 200 en base al valor de tensión futuro 422. Por ejemplo, como se menciona, el procedimiento 500 puede incluir el encendido del circuito de palanca 215 del convertidor de potencia 210 si el valor de tensión futuro excede un umbral predeterminado.

50 **[0044]** Los beneficios de la presente divulgación se pueden entender mejor con referencia a las FIGS. 7A y 7B. Como se muestra, la FIG. 7A ilustra un gráfico 600 de la tensión 602 y la realimentación de tensión 604 del enlace de CC 244 sin la metodología de protección de la presente divulgación. Por el contrario, la FIG. 7B ilustra un gráfico 700 de la tensión 702 y la realimentación de tensión 704 del enlace de CC 244 con la metodología de protección de la presente divulgación. Además, los umbrales 606, 706 representan un umbral de daños en cada uno de los gráficos 600, 700, respectivamente. Por tanto, como se muestra, la tensión 602 del gráfico 600 excede el umbral de daños 606. Por el contrario, sin embargo, la tensión 702 del gráfico 700 permanece por debajo del umbral de daños 606.

706. Además, la FIG. 7B también ilustra el valor de tensión futuro 708 del enlace de CC 244 calculado de acuerdo con la presente divulgación.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para mitigar sobretensiones en un enlace de CC (244) de un convertidor de potencia (210) de un sistema de potencia eléctrica (200) conectado a una red eléctrica (242) provocadas por transitorios en la red eléctrica (242), comprendiendo el procedimiento:
 - 5 recibir una señal de realimentación de tensión (404) desde el enlace de CC (244) durante un período de tiempo predeterminado;
 - 10 determinar una tasa de cambio (420) de la señal de realimentación de tensión (404) durante el período de tiempo predeterminado;
 - 15 restringir, por medio de un desplazamiento (412) y/o un limitador (414), la tasa de cambio (420) de la señal de realimentación de tensión (404) a cambios positivos de una determinada magnitud;
 - predecir un valor de tensión futuro (422) en el enlace de CC (244) en función de la señal de realimentación de tensión (404) y la tasa de cambio (420) de la señal de realimentación de tensión (404); y
 - 20 controlar el sistema de potencia eléctrica (200) en base al valor de tensión futuro (422).
2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que determinar la tasa de cambio (420) de la señal de realimentación de tensión (404) durante el período de tiempo predeterminado comprende además procesar, por medio de un elemento diferencial (408), la señal de realimentación de tensión (404).
- 25 3. El procedimiento de la reivindicación 2, en el que el elemento diferencial (408) comprende un filtro de reposición y un filtro de paso bajo, comprendiendo el filtro de paso bajo un intervalo de frecuencias de desde aproximadamente 500 radianes/segundo (rad/s) a aproximadamente 1500 rad/s.
- 30 4. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además restringir, por medio del desplazamiento (412) y/o el limitador (414), la tasa de cambio (420) de la señal de realimentación de tensión (404) a cambios positivos de la determinada magnitud.
- 35 5. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además aplicar una ganancia (416) a la tasa de cambio (420) de la señal de realimentación de tensión (404).
6. El procedimiento de la reivindicación 5, que comprende además ajustar la ganancia (416) para predecir con exactitud el valor de tensión futuro (422) en el enlace de CC (244), siendo la ganancia (416) superior a aproximadamente 2.
- 40 7. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que predecir el valor de tensión futuro (422) en el enlace de CC (244) en función de la señal de realimentación de tensión (404) y la tasa de cambio (420) de la señal de realimentación de tensión (404) comprende además sumar la señal de realimentación de tensión (404) y la tasa de cambio (420) de la señal de realimentación de tensión (404).
- 45 8. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que controlar el sistema de potencia eléctrica (200) en base al valor de tensión futuro (422) comprende además implementar una acción correctiva cuando el valor futuro excede un umbral predeterminado.
- 50 9. El procedimiento de la reivindicación 8, en el que la acción correctiva comprende al menos uno de encender un circuito de palanca en un convertidor de lado de rotor del convertidor de potencia (210) o apagar el sistema de potencia eléctrica (200).
- 55 10. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el generador comprende un generador asíncrono doblemente alimentado (DFAG).
- 60 11. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el sistema de potencia eléctrica (200) comprende al menos uno de un sistema de potencia de turbina eólica (200), un sistema de potencia solar (200), un sistema de potencia de almacenamiento de energía (200) o combinaciones de los mismos.
- 65 12. Un sistema de potencia de turbina eólica (200) conectado a una red eléctrica (242), comprendiendo el sistema de potencia de turbina eólica (200):
 - un generador asíncrono doblemente alimentado (DFAG) (118) que comprende un rotor (122) y un estátor (120), el DFAG (118) conectado a la red eléctrica (242);

un convertidor de potencia (210) que comprende un convertidor de lado de rotor (220) acoplado eléctricamente a un convertidor de lado de línea (222) por medio de un enlace de CC (244); y

5 un controlador (202) acoplado de forma comunicativa al DFAG (118) y al convertidor de potencia (210), el controlador (202) configurado para realizar una o más operaciones, comprendiendo la una o más operaciones:

10 recibir una señal de realimentación de tensión (404) desde el enlace de CC (244) durante un período de tiempo predeterminado;

determinar una tasa de cambio (420) de la señal de realimentación de tensión (404) durante el período de tiempo predeterminado;

15 restringir, por medio de un desplazamiento (412) y/o un limitador (414), la tasa de cambio (420) de la señal de realimentación de tensión (404) a cambios positivos de una determinada magnitud;

20 predecir un valor de tensión futuro (422) en el enlace de CC (244) en función de la señal de realimentación de tensión (404) y la tasa de cambio (420) de la señal de realimentación de tensión (404); y

controlar el sistema de potencia eléctrica (200) en base al valor de tensión futuro (422).

25 13. El sistema de potencia de turbina eólica (200) de la reivindicación 12, en el que determinar la tasa de cambio (420) de la señal de realimentación de tensión (404) durante el período de tiempo predeterminado comprende además procesar, por medio de un elemento diferencial (408), la señal de realimentación de tensión (404).

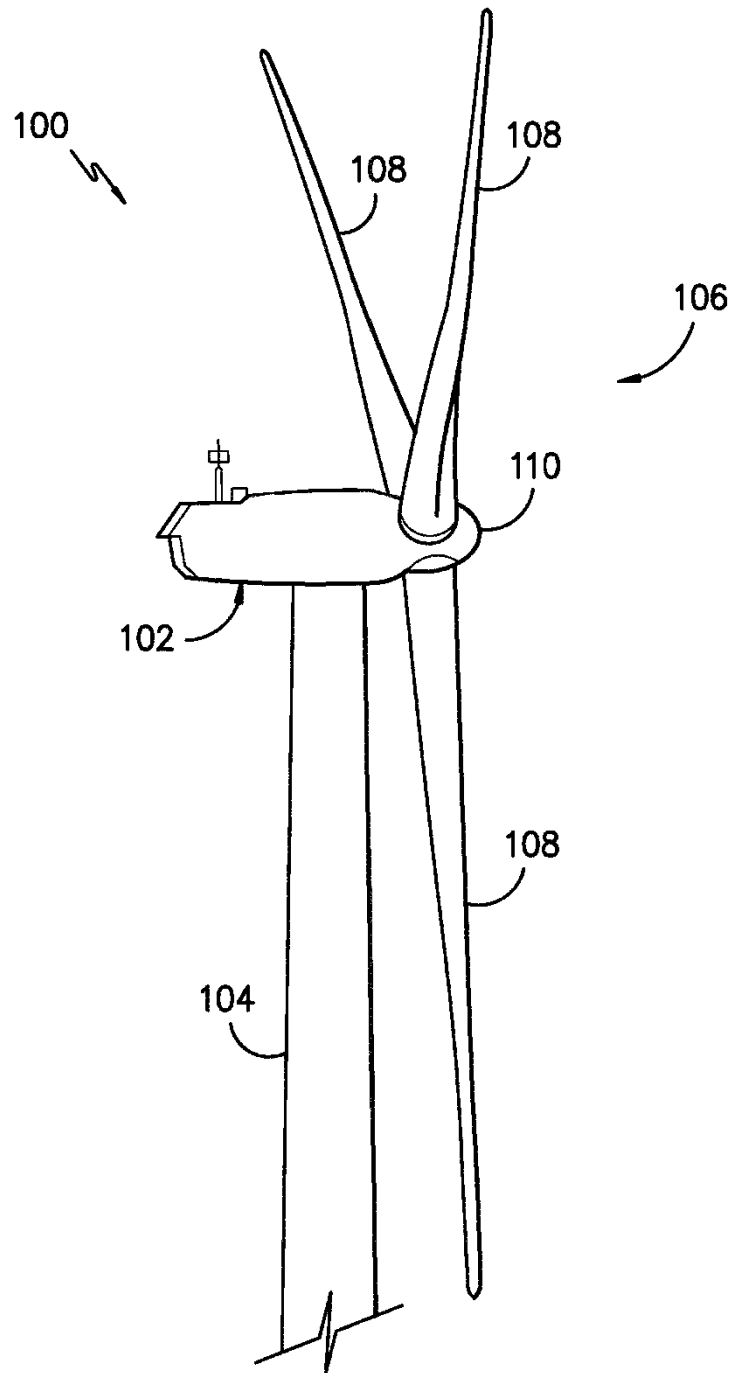


FIG. -1-

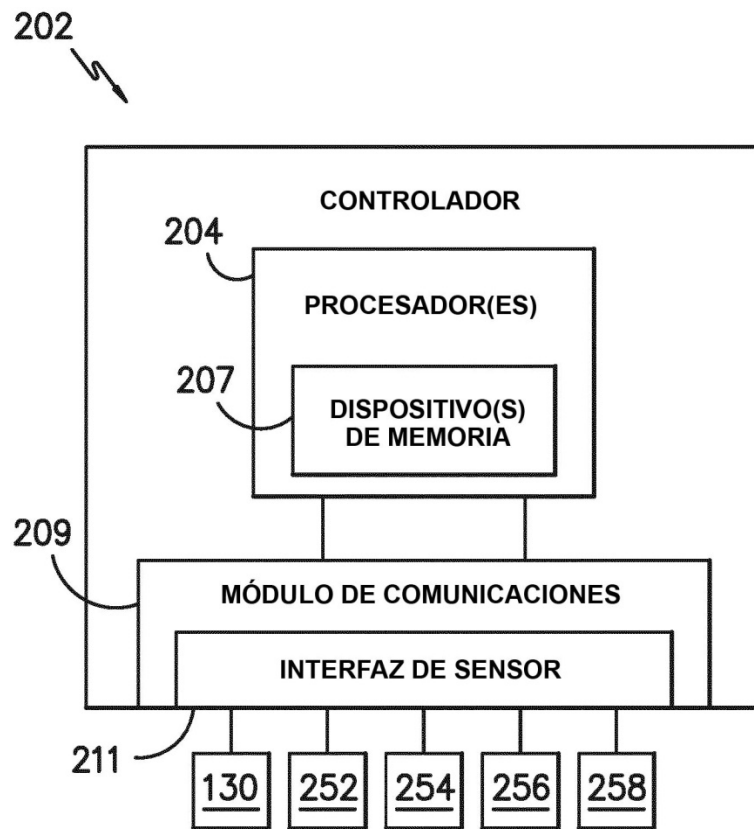


FIG. -3-

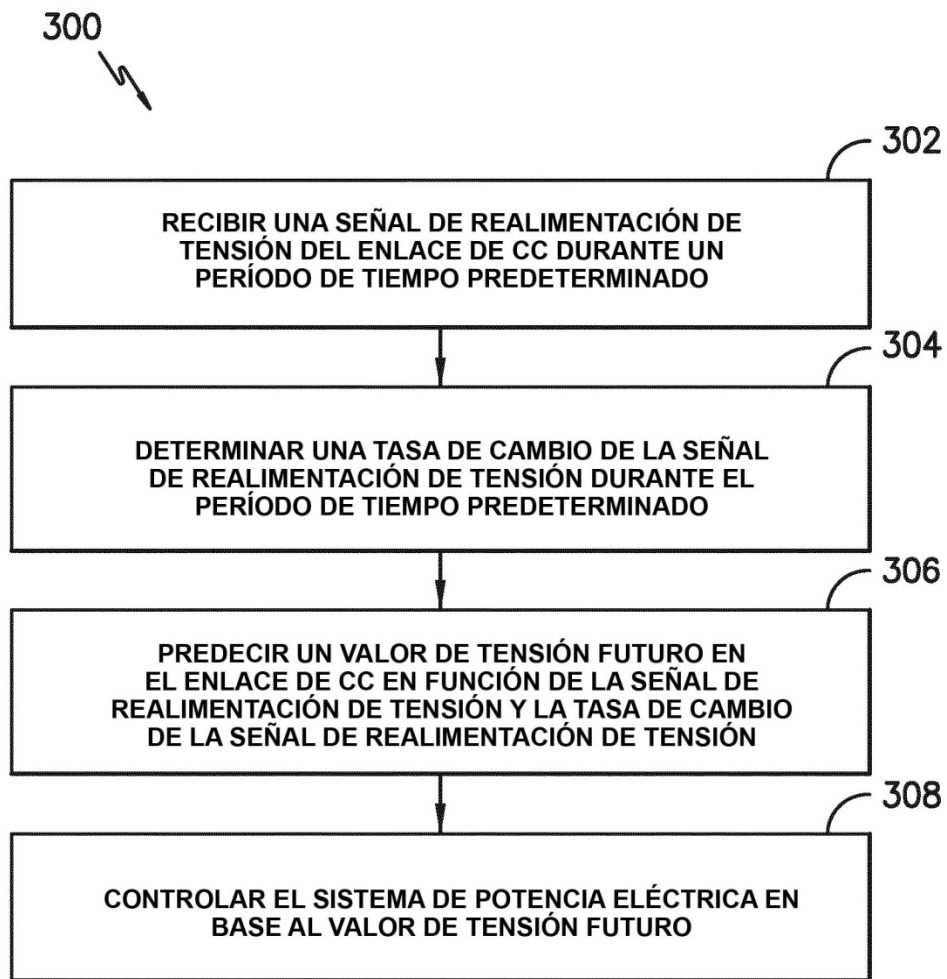
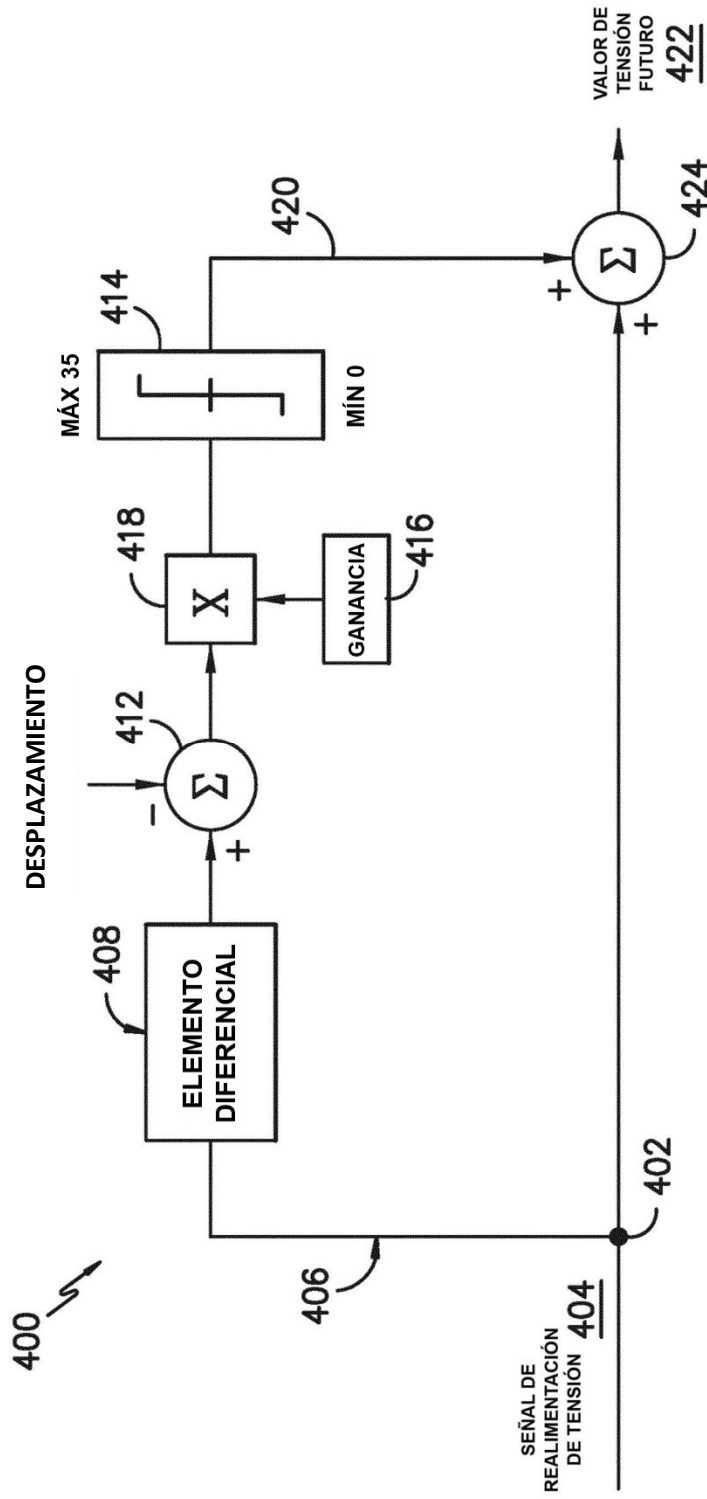


FIG. -4-



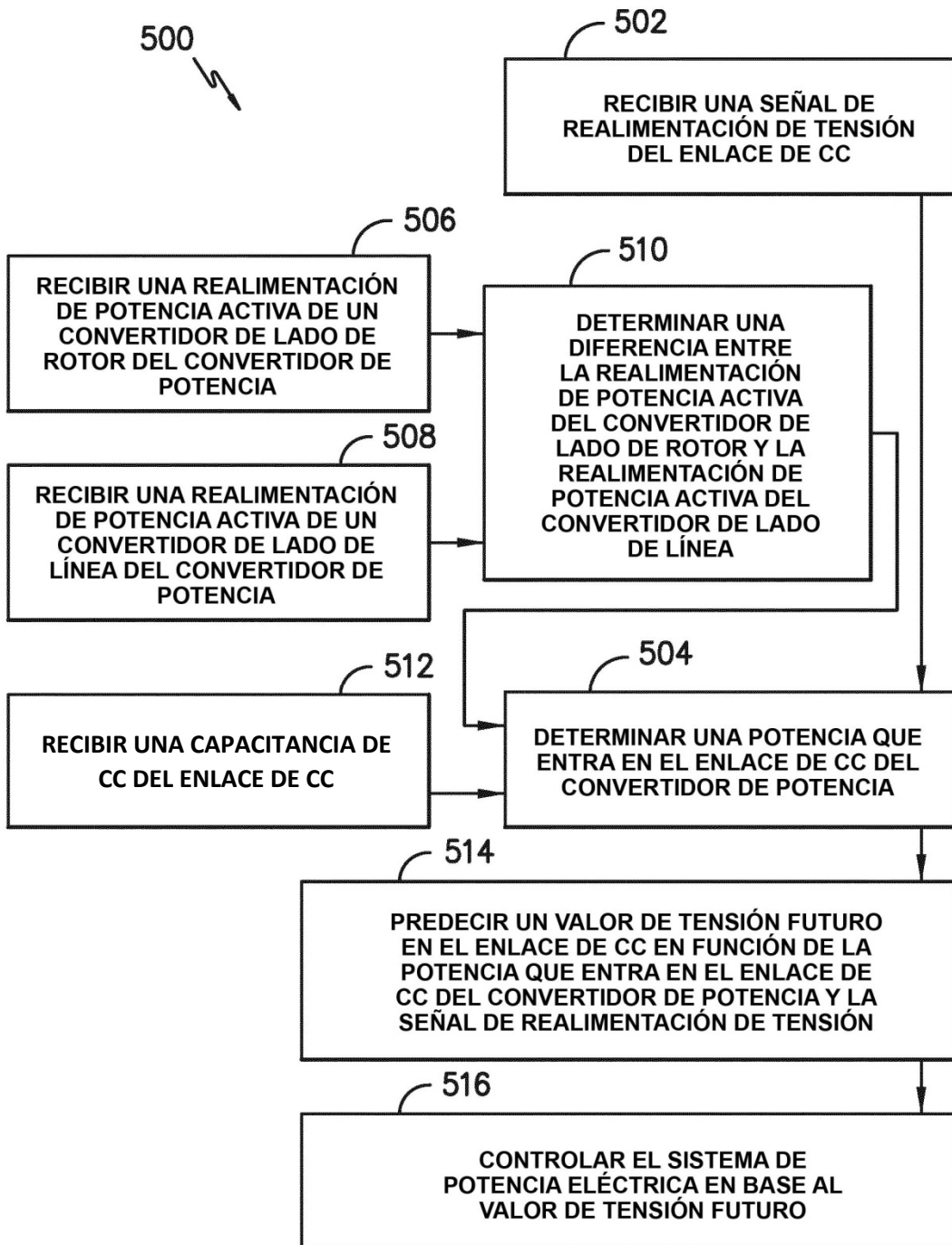


FIG. -6-

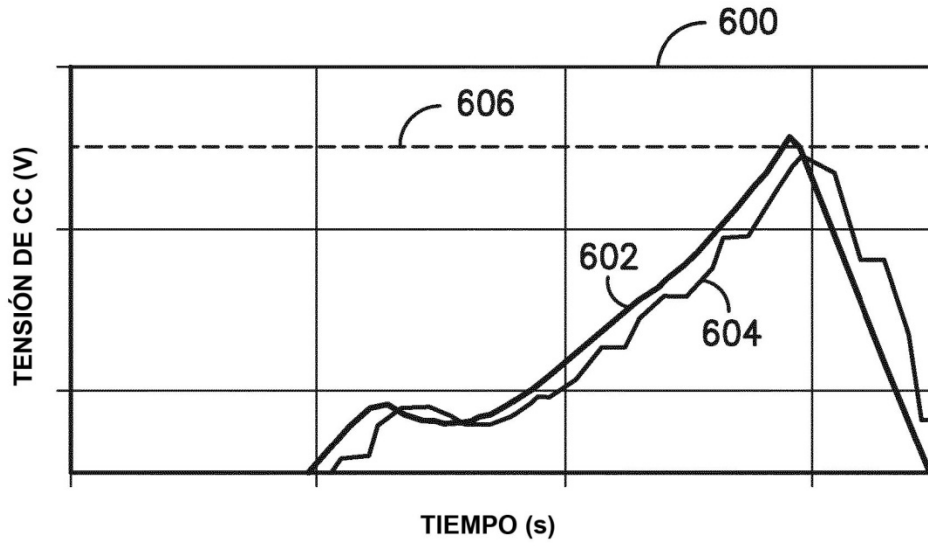


FIG. -7A-

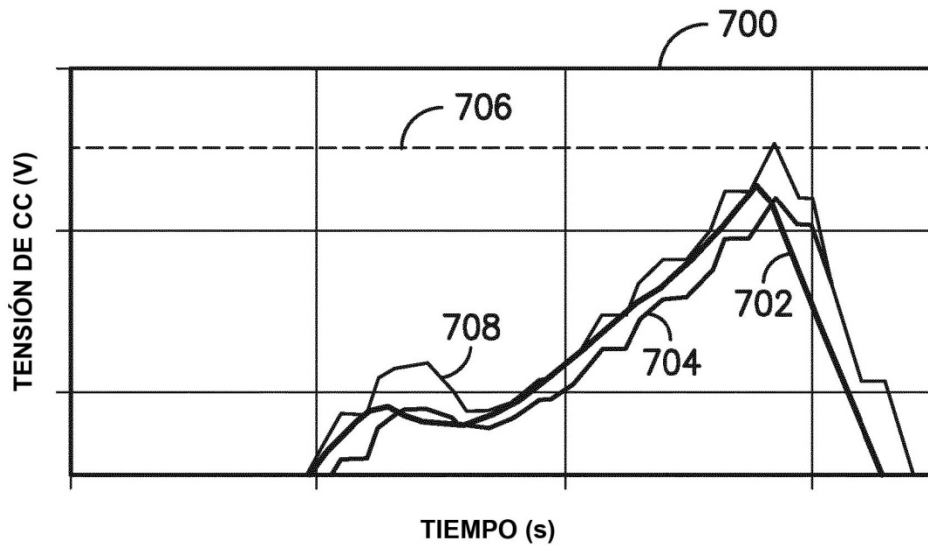


FIG. -7B-