

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 909 717**

51 Int. Cl.:

H02P 9/00 (2006.01)

H02J 3/38 (2006.01)

H02P 9/10 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

H02J 3/44 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.10.2007** **E 20199888 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.03.2022** **EP 3783795**

54 Título: **Generador de turbina eólica**

30 Prioridad:

20.10.2006 US 55143006

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

10.05.2022

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

BARKER, SIDNEY ALLEN;
KLODOWSKI, ANTHONY;
D'ATRE, JOHN DOUGLAS;
LARSEN, EINAR y
DROBNJAK, GORAN

74 Agente/Representante:

FORTEA LAGUNA, Juan José

ES 2 909 717 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

Generador de turbina eólica

5 **[0001]** Esta invención se refiere en general a generadores de turbinas eólicas.

[0002] En general, un generador de turbina eólica incluye una turbina que tiene un rotor que incluye un conjunto de buje giratorio que tiene múltiples palas. Las palas transforman energía eólica mecánica en un par de torsión de rotación mecánico que acciona uno o más generadores por medio del rotor. Los generadores están en general, pero no siempre, acoplados de forma rotatoria al rotor a través de una caja de engranajes. La caja de engranajes multiplica la velocidad de rotación inherentemente baja del rotor para que el generador convierta eficazmente la energía mecánica de rotación en energía eléctrica, que se introduce en una red eléctrica por medio de al menos una conexión eléctrica. También existen generadores de turbina eólica de accionamiento directo sin engranajes. El rotor, el generador, la caja de engranajes y otros componentes están típicamente montados dentro de una carcasa, o góndola, que está situada encima de una base que puede ser una torre de celosía o tubular.

[0003] Algunas configuraciones de generador de turbina eólica de accionamiento directo sin engranajes incluyen generadores de inducción doblemente alimentados (DFIG). Tales configuraciones también pueden incluir convertidores de potencia que se usan para transmitir potencia de excitación del generador a un rotor de generador bobinado desde una de las conexiones a la conexión de red eléctrica. En determinadas circunstancias, se pueden experimentar fluctuaciones de tensión de red que pueden incluir transitorios de baja tensión con fluctuaciones de tensión que se acercan a cero voltios. En general, los convertidores de potencia y el generador son susceptibles a fluctuaciones de tensión de red. Por lo tanto, tales fluctuaciones de tensión de red pueden ser perjudiciales para el funcionamiento continuo del generador de turbina eólica.

[0004] WO 2004/098261 A2 describe un sistema de control para turbinas eólicas con un generador de inducción doblemente alimentado que está configurado para soportar caídas de tensión ("low voltage ride through"). La turbina eólica descrita en WO 2004/098261 A2 puede incluir un convertidor de rotor, un convertidor de línea, un filtro de línea y un transformador principal. US 2005/0122083 A1 también describe una turbina eólica que utiliza un bucle de enganche de fase durante un funcionamiento para soportar caídas de tensión.

[0005] La presente invención está definida por la reivindicación 1 adjunta. Realizaciones prefidas están definidas por las reivindicaciones dependientes.

35 **[0006]** Los modos de realización de la presente invención se describirán ahora, solo a modo de ejemplo, en referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La Figura 1 es una vista esquemática de un ejemplo de un generador de turbina eólica;

40 La Figura 2 es una vista esquemática de un sistema eléctrico y de control de ejemplo que se puede usar con el generador de turbina eólica mostrado en la Figura 1;

La Figura 3 es una vista gráfica de la tensión de línea de red frente al tiempo que se puede asociar con el sistema eléctrico y de control mostrado en la Figura 2;

45 La Figura 4 es una vista de diagrama de bloques de un regulador de bucle de enganche de fase (PLL) de ejemplo que se puede usar con el sistema eléctrico y de control mostrado en la Figura 2;

50 La Figura 5 es una vista de diagrama de bloques de una máquina de estados de PLL de ejemplo que se puede usar con el regulador de PLL mostrado en la Figura 4; y

La Figura 6 es una vista tabular de una pluralidad de valores de límite de constante de ganancia y frecuencia de ejemplo generados en función del estado de PLL determinado por la máquina de estados de PLL mostrada en la Figura 5.

55 **[0007]** La Figura 1 es una vista esquemática de un generador de turbina eólica 100 de ejemplo. La turbina eólica 100 incluye una góndola 102 que aloja un generador (no mostrado en la Figura 1). La góndola 102 está montada en una torre 104 (se muestra una parte de la torre 104 en la Figura 1). La torre 104 puede tener cualquier altura que facilite el funcionamiento de la turbina eólica 100 como se describe en el presente documento. La turbina eólica 100 también incluye un rotor 106 que incluye tres palas de rotor 108 unidas a un buje rotatorio 110. De forma alternativa, la turbina eólica 100 incluye cualquier número de palas 108 que facilite el funcionamiento de la turbina eólica 100 como se describe en el presente documento. En el modo de realización de ejemplo, la turbina eólica 100 la turbina eólica 100 incluye una caja de engranajes (no mostrada en la Figura 1) acoplada de forma rotatoria al rotor 106 y un generador (no mostrado en la Figura 1).

65 **[0008]** La Figura 2 es una vista esquemática de un sistema eléctrico y de control 200 de ejemplo que se puede

usar con el generador de turbina eólica 100 (mostrado en la Figura 1). El rotor 106 incluye una pluralidad de palas de rotor 108 acoplada al buje rotatorio 110. El rotor 106 también incluye un eje lento 112 acoplado de forma rotatoria al buje 110. El eje lento está acoplado a una caja de engranajes multiplicadora 114. La caja de engranajes 114 está configurada para multiplicar la velocidad de rotación del eje lento 112 y transferir esa velocidad a un eje rápido 116. En el modo de realización de ejemplo, la caja de engranajes 114 tiene una relación de multiplicación de aproximadamente 70:1. Por ejemplo, el eje lento 112 que gira a aproximadamente a 20 revoluciones por minuto (20) acoplado a la caja de engranajes 114 con una relación de multiplicación de aproximadamente 70:1 genera una velocidad de eje rápido 116 de aproximadamente 1400 r/min. De forma alternativa, la caja de engranajes 114 tiene cualquier relación de multiplicación que facilita el funcionamiento de la turbina eólica 100 como se describe en el presente documento. Asimismo, de forma alternativa, la turbina eólica 100 incluye un generador de accionamiento directo en el que un rotor de generador (no mostrado en la Figura 1) está acoplado de forma rotatoria al rotor 106 sin intervención de ninguna caja de engranajes.

[0009] El eje rápido 116 está acoplado de forma rotatoria al generador 118. En el modo de realización de ejemplo, el generador 118 es un generador de inducción doblemente alimentado (DFIG) de rotor bobinado, síncrono, de 60 Hz y trifásico que incluye un estátor de generador 120 acoplado magnéticamente a un rotor de generador 122. De forma alternativa, el generador 118 es cualquier generador que facilita el funcionamiento de la turbina eólica 100 como se describe en el presente documento.

[0010] El sistema eléctrico y de control 200 incluye un controlador 202. El controlador 202 incluye al menos un procesador y una memoria, al menos un canal de entrada de procesador, al menos un canal de salida de procesador, y puede incluir al menos un ordenador (ninguno mostrado en la Figura 2). Como se usa en el presente documento, el término ordenador no se limita solo a los circuitos integrados que en la técnica se denominan ordenador, sino que se refiere, en términos generales, a un procesador, un microcontrolador, un microordenador, un controlador lógico programable (PLC), un circuito integrado específico de la aplicación y otros circuitos programables (ninguno mostrado en la Figura 2), y estos términos se usan de manera intercambiable en el presente documento. En el modo de realización de ejemplo, memoria puede incluir, pero no se limita a, un medio legible por ordenador, tal como una memoria de acceso aleatorio (RAM) (ninguno mostrado en la Figura 2). De forma alternativa, también se puede usar un disquete, una memoria de solo lectura de disco compacto (CD-ROM), un disco magnetoóptico (MOD) y/o un disco versátil digital (DVD) (ninguno mostrado en la Figura 2). Asimismo, en el modo de realización de ejemplo, unos canales de entrada adicionales (no mostrados en la Figura 2) pueden ser, pero no se limitan a, unos periféricos de ordenador asociados a una interfaz de operador, tal como un ratón y un teclado (ninguno mostrado en la Figura 2). De forma alternativa, también se pueden usar otros periféricos de ordenador que pueden incluir, por ejemplo, pero no se limitan a, un escáner (no mostrado en la Figura 2). Además, en el modo de realización de ejemplo, unos canales de salida adicionales pueden incluir, pero no se limitan a, un monitor de interfaz de operador (no mostrado en la Figura 2).

[0011] Los procesadores para el controlador 202 procesan información transmitida desde una pluralidad de dispositivos eléctricos y electrónicos que pueden incluir, pero no se limitan a, transductores de velocidad y potencia. Los dispositivos de RAM y almacenamiento almacenan y transfieren información e instrucciones que el procesador va a ejecutar. También se pueden usar dispositivos de RAM y almacenamiento para almacenar y proporcionar variables temporales, información e instrucciones estáticas (es decir, que no cambian) u otra información intermedia a los procesadores durante la ejecución de instrucciones por los procesadores. Las instrucciones que se ejecutan incluyen, pero no se limitan a, algoritmos de conversión y/o de comparación residentes. La ejecución de secuencias de instrucciones no se limita a ninguna combinación específica de circuitos de hardware e instrucciones de software.

[0012] El sistema eléctrico y de control 200 también incluye un tacómetro de rotor del generador 204 que está acoplado en comunicación electrónica de datos al generador 118 y el controlador 202. El estátor de generador 120 está acoplado eléctricamente a un conmutador de sincronización de estátor 206 por medio de un bus de estátor 208. En un modo de realización de ejemplo, para facilitar la configuración del DFIG, el rotor de generador 122 está acoplado eléctricamente a un conjunto de conversión de potencia bidireccional 210 por medio de un bus de rotor 212. De forma alternativa, el sistema 200 está configurado como un sistema de conversión de potencia total (no mostrado) conocido en la técnica, en el que un conjunto de conversión de potencia total (no mostrado) que tiene un diseño y funcionamiento similares al conjunto 210 está acoplado eléctricamente a un estátor 120, y dicho conjunto de conversión de potencia total facilita la canalización de potencia eléctrica entre el estátor 120 y una red de transmisión y distribución de potencia eléctrica (no mostrada). El bus de estátor 208 transmite energía trifásica desde el estátor 120 y el bus de rotor 212 transmite energía trifásica desde el rotor 122 al conjunto 210. El conmutador de sincronización de estátor 206 está acoplado eléctricamente a un disyuntor de circuito de transformador principal 214 por medio de un bus de sistema 216.

[0013] El conjunto 210 incluye un filtro de rotor 218 que está acoplado eléctricamente al rotor 122 por medio del bus de rotor 212. El filtro de rotor 218 está acoplado eléctricamente a un convertidor de potencia bidireccional de lado de rotor 220 por medio de un bus de filtro de rotor 219. El convertidor 220 está acoplado eléctricamente a un convertidor de potencia bidireccional de lado de línea 222. Los convertidores 220 y 222 son sustancialmente idénticos. El convertidor de potencia 222 está acoplado eléctricamente a un filtro de línea 224 y a un contactor de

línea 226 por medio de un bus de convertidor de potencia de lado de línea 223 y un bus de línea 225. En el modo de realización de ejemplo, los convertidores 220 y 222 están configurados en una configuración de modulación por ancho de pulso (PWM) trifásica que incluye unos dispositivos de conmutación de transistor bipolar de puerta aislada (IGBT) (no mostrados en la Figura 2) que "disparan" como es conocido en la técnica. De forma alternativa, los convertidores 220 y 222 tienen cualquier configuración que usa cualquier dispositivo de conmutación que facilita el funcionamiento del sistema 200 como se describe en el presente documento. El conjunto 210 está acoplado en comunicación electrónica de datos con el controlador 202 para controlar el funcionamiento de los convertidores 220 y 222.

[0014] El contactor de línea 226 está acoplado eléctricamente a un disyuntor de circuito de conversión 228 por medio de un bus de disyuntor de circuito de conversión 230. El disyuntor de circuito 228 también está acoplado eléctricamente al disyuntor de circuito de sistema 214 por medio de un bus de sistema 216 y un bus de conexión 232. El disyuntor de circuito de sistema 214 está acoplado eléctricamente a un transformador principal de potencia eléctrica 234 por medio de un bus de lado de generador 236. El transformador principal 234 está acoplado eléctricamente a un disyuntor de circuito de red 238 por medio un bus de lado de disyuntor 240. El disyuntor de red 238 está conectado a una red de transmisión y distribución de potencia eléctrica por medio de un bus de red 242.

[0015] En el modo de realización de ejemplo, los convertidores 220 y 222 están acoplados en comunicación eléctrica entre sí por medio de un único enlace de corriente continua (CC) 244. De forma alternativa, los convertidores 220 y 222 están acoplados eléctricamente por medio de enlaces de CC individuales y separados (no mostrados en la Figura 2). El enlace de CC 244 incluye un carril positivo 246, un carril negativo 248 y al menos un condensador 250 acoplado entre ambos. De forma alternativa, el condensador 250 es uno o más condensadores configurados en serie o en paralelo entre los carriles 246 y 248.

[0016] El sistema 200 incluye además un regulador de bucle de enganche de fase (PLL) 400 que está configurado para recibir una pluralidad de señales de medición de tensión desde una pluralidad de transductores de tensión 252. En el modo de realización de ejemplo, cada uno de los tres transductores de tensión 252 está acoplado eléctricamente a cada una de las tres fases del bus 242. De forma alternativa, los transductores de tensión 252 están acoplados eléctricamente al bus de sistema 216. Asimismo, de forma alternativa, los transductores de tensión 252 están acoplados eléctricamente a cualquier parte del sistema 200 que facilita el funcionamiento del sistema 200 como se describe en el presente documento. El regulador de PLL 400 está acoplado en comunicación electrónica de datos con el controlador 202 y los transductores de tensión 252 por medio de una pluralidad de conductos eléctricos 254, 256 y 258. De forma alternativa, el regulador de PLL 400 está configurado para recibir cualquier número de señales de medición de tensión desde cualquier número de transductores de tensión 252, que incluyen, pero no se limitan a, una señal de medición de tensión de un transductor de tensión 252. El regulador de PLL 400 se analiza más adelante.

[0017] Durante el funcionamiento, el viento impacta en las palas 108 y las palas 108 transforman energía eólica mecánica 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 multiplica la baja velocidad de rotación del árbol 112 para accionar el eje rápido 116 con una velocidad de rotación incrementada. El eje rápido 116 acciona de forma rotatoria el rotor 122. Se induce un campo magnético de rotación dentro del rotor 122 y se induce una tensión dentro del estátor 120 que está acoplado magnéticamente al rotor 122. El generador 118 convierte la energía mecánica de rotación en una señal de energía eléctrica de corriente alterna (CA) sinusoidal trifásica en el estátor 120. La potencia eléctrica asociada se transmite al transformador principal 234 por medio del bus 208, el conmutador 206, el bus 216, el disyuntor 214 y el bus 236. El transformador principal 234 multiplica la amplitud de tensión de la potencia eléctrica y la potencia eléctrica transformada se transmite además a una red por medio del bus 240, el disyuntor de circuito 238 y el bus 242.

[0018] En la configuración de generador de inducción doblemente alimentado, se proporciona una segunda trayectoria de transmisión de potencia eléctrica. Se genera potencia eléctrica de CA, trifásica y sinusoidal dentro del rotor bobinado 122 y se transmite al conjunto 210 por medio del bus 212. Dentro del conjunto 210, la potencia eléctrica se transmite al filtro de rotor 218 en el que la potencia eléctrica se modifica para la velocidad de cambio ("rate of change") de las señales de PWM asociadas con el convertidor 220. El convertidor 220 actúa como un rectificador y rectifica la potencia de CA sinusoidal trifásica en potencia de CC. La potencia de CC se transmite al enlace de CC 244. El condensador 250 facilita la mitigación de las variaciones de amplitud de tensión del enlace de CC 244 facilitando la mitigación de una onda de CC ("DC ripple") asociada a la rectificación de CA.

[0019] La potencia de CC se transmite posteriormente desde el enlace de CC 244 al convertidor de potencia 222, en el que el convertidor 222 actúa como un inversor configurado para convertir la potencia eléctrica de CC del enlace de CC 244 en potencia eléctrica de CA trifásica sinusoidal con tensiones, corrientes y frecuencias predeterminadas. Esta conversión se monitoriza y controla por medio del controlador 202. La potencia de CA convertida se transmite desde el convertidor 222 al bus 216 por medio de los buses 227 y 225, el contactor de línea 226, el bus 230, el disyuntor de circuito 228 y el bus 232. El filtro de línea 224 compensa o ajusta por las corrientes armónicas en la potencia eléctrica transmitida desde el convertidor 222. El conmutador de sincronización

de estátor 206 está configurado para cerrarse de modo que se facilita la conexión de la potencia trifásica del estátor 120 con la potencia trifásica del conjunto 210.

[0020] Los disyuntores de circuito 228, 214 y 238 están configurados para desconectar unos buses correspondientes, por ejemplo, cuando el flujo de corriente es excesivo y puede dañar los componentes del sistema 200. También se proporcionan componentes de protección adicionales, incluyendo el contactor de línea 226, que se pueden controlar para formar una desconexión abriendo un conmutador (no mostrado en la Figura 2) correspondiente a cada una de las líneas del bus de línea 230.

[0021] El conjunto 210 compensa o ajusta la frecuencia de la energía trifásica del rotor 122 por los cambios, por ejemplo, en la velocidad del viento en el buje 110 y las palas 108. Por lo tanto, de esta manera, las frecuencias de rotor mecánicas y eléctricas se desacoplan y el emparejamiento de frecuencias eléctricas del estátor y del rotor se facilita de forma sustancialmente independiente de la velocidad mecánica del rotor.

[0022] En algunas condiciones, las características bidireccionales del conjunto 210 y, específicamente, las características bidireccionales de los convertidores 220 y 222 facilitan la retroalimentación de al menos una parte de la potencia eléctrica generada en el rotor de generador 122. Más específicamente, se transmite potencia eléctrica desde el bus 216 al bus 232 y, posteriormente, a través del disyuntor de circuito 228 y el bus 230, al conjunto 210. Dentro del conjunto 210, la potencia eléctrica se transmite a través del contactor de línea 226 y los buses 225 y 227 al convertidor de potencia 222. El convertidor 222 actúa como un rectificador y rectifica la potencia de CA sinusoidal trifásica en potencia de CC. La potencia de CC se transmite al enlace de CC 244. El condensador 250 facilita la mitigación de variaciones de amplitud de tensión del enlace de CC 244 facilitando la mitigación de una onda de CC asociada con una rectificación de CA trifásica.

[0023] La potencia de CC se transmite posteriormente desde el enlace de CC 244 al convertidor de potencia 220 en el que el convertidor 220 actúa como un inversor configurado para convertir la potencia eléctrica de CC transmitida desde el enlace de CC 244 en una potencia eléctrica de CA trifásica sinusoidal con unas tensiones, corrientes y frecuencias predeterminadas. Esta conversión se monitoriza y controla por medio del controlador 202. La potencia de CA convertida se transmite desde el convertidor 220 al filtro de rotor 218 por medio del bus 219 y posteriormente se transmite al rotor 122 por medio del bus 212. De esta manera, se facilita el control de la potencia reactiva del generador.

[0024] El conjunto 210 está configurado para recibir señales de control desde el controlador 202. Las señales de control están basadas en unas condiciones detectadas o unas características de funcionamiento de la turbina eólica 100 y el sistema 200 como se describe en el presente documento y se usan para controlar el funcionamiento del conjunto de conversión de potencia 210. Por ejemplo, se puede usar retroalimentación de tacómetro 204 en forma de velocidad detectada del rotor de generador 122 para controlar la conversión de la potencia de salida del bus de rotor 212 para mantener una condición de potencia trifásica adecuada y equilibrada. El sistema 200 también puede usar otra retroalimentación de otros sensores para controlar el conjunto 210, que incluye, por ejemplo, retroalimentación de tensiones y corriente del bus de rotor. Usando esta información de retroalimentación y, por ejemplo, señales de control de conmutación, se pueden generar de cualquier manera conocida unas señales de control de conmutador de sincronización de estátor y unas señales de control (desconexión ("trip")) de disyuntor de circuito de sustitutor. Por ejemplo, para un transitorio de tensión de red con características predeterminadas, el controlador 202 impedirá al menos sustancialmente de forma temporal la desconexión de los IGBT dentro del convertidor 222. Dicha suspensión del funcionamiento del convertidor 222 mitigará sustancialmente la canalización de potencia eléctrica a través del conjunto de conversión 210 a aproximadamente cero.

[0025] La Figura 3 es una vista gráfica de la tensión de línea de red en función del tiempo 300 que puede estar asociada con el sistema eléctrico y de control 200 (mostrado en la Figura 2). El gráfico 300 incluye una ordenada (eje y) 302 que representa la tensión de línea de red en unidades de porcentaje (%). El eje y 302 ilustra el 0 % en el origen del gráfico y se extiende hasta el 100 %. Una tensión de línea de red de 0 % es indicativa de una tensión cero en el bus 242 (mostrado en la Figura 2). Una tensión de línea de red del 100 % indica una tensión en el bus 242 que es el 100 % de la tensión nominal predeterminada asociada con el sistema 200. El gráfico 300 también incluye una abscisa (eje x) 304 que representa el tiempo en segundos (s). Se ilustra un transitorio de tensión cero para comenzar en un tiempo igual a 0 segundos. En el modo de realización de ejemplo, la condición de tensión cero en el bus 242 es de 0,15 segundos, en el que la tensión en el bus 242 se recupera por completo al 100 % en aproximadamente 3,5 segundos después del inicio del transitorio. De forma alternativa, el período de tiempo de la condición de tensión cero y las características de una recuperación de tensión de red dependen de una variedad de factores conocidos en la técnica.

[0026] Cuando la tensión disminuye hasta cero como se ilustra en la Figura 3, es probable que haya fallos que impidan que el generador de turbina eólica 100 transmita potencia eléctrica a la red. En caso de que el viento continúe haciendo girar el rotor 106 (mostrado en las Figuras 1 y 2), el generador de turbina eólica 100 continúa generando energía que no se convierte en energía eléctrica. En su lugar, la energía acelera el rotor 106 hasta que se inicia una característica de desconexión que incluye, pero no se limita a, una desconexión manual o una desconexión automática por exceso de velocidad.

[0027] Además, en general, el conjunto de convertidor de potencia 210 y el generador 118 (ambos mostrados en la Figura 2) son susceptibles a fluctuaciones de tensión de red. El generador 118 puede almacenar energía magnética que se puede convertir en altas corrientes cuando una tensión de terminal de generador disminuye rápidamente. Esas corrientes pueden mitigar la esperanza de vida de los componentes del conjunto 210 que pueden incluir, pero no se limitan a, dispositivos semiconductores tales como los IGBT dentro de los convertidores 220 y 222 (ambos mostrados en la Figura 2).

[0028] La Figura 4 es una vista de diagrama de bloques de un regulador de bucle de enganche de fase (PLL) 400 de ejemplo que se puede usar con el sistema eléctrico y de control 200. Según la invención, el regulador PLL 400 está configurado para facilitar una capacidad de soportar tensión cero (ZVRT) para el generador de turbina eólica 100 de modo que un potencial para una desconexión del generador de turbina eólica y las consecuencias asociadas a los dispositivos semiconductores se mitigan durante los transitorios de tensión cero, tal como el ilustrado en la Figura 3. El ZVRT se contrasta con las características de soporte de baja tensión (LVRT) conocidas en la técnica que facilitan la mitigación de las desconexiones del generador de turbina eólica 100 durante transitorios en los que la amplitud de tensión disminuye con rapidez, aunque no disminuye a cero voltios.

[0029] El regulador de PLL 400 está acoplado en comunicación electrónica de datos con una pluralidad de transductores de tensión 252 por medio de conductos eléctricos 254, 256 y 258 para las fases A, B y C del bus de red 242. En el modo de realización de ejemplo, los conductos 254, 256 y 258 son cables eléctricos. De forma alternativa, se puede usar una red de transmisores y receptores que funcionan en una parte predeterminada de una banda de radiofrecuencia (RF) para definir los conductos 254, 256 y 258. Se transmiten señales de medición de tensión sinusoidales desde los transductores de tensión 252 a través de los conductos 254, 256 y 258 para cada una de las tres fases A, B y C, respectivamente.

[0030] En el modo de realización de ejemplo, el regulador de PLL 400 está configurado como una pluralidad de bloques de función dentro de un procesador (no mostrado en la Figura 4). Para mayor claridad, el regulador de PLL 400 se ilustra en el exterior del controlador 202. De forma alternativa, el regulador de PLL 400 está configurado dentro de un procesador asociado con el controlador 202.

[0031] El regulador de PLL 400 incluye al menos un bucle de enganche de fase (PLL) 402. Típicamente, un PLL es un sistema de retroalimentación de bucle cerrado que mantiene las señales generadas por el PLL en una relación de fase fija con una señal de referencia. La señal generada por PLL se ajusta constantemente para que coincida, en fase, con la frecuencia de la señal de referencia, es decir, el PLL se "engancha" a la señal de referencia. En el modo de realización de ejemplo, el PLL 402 se engancha a la frecuencia del bus 242. El regulador de PLL 400 también incluye al menos una máquina de estados de PLL 404 que se describe con más detalle a continuación.

[0032] El PLL 402 incluye un bloque de función detectora de fase 406 que está configurado para recibir las señales de medición de tensión sinusoidales transmitidas desde los conductos 254, 256 y 258 para la fase A, la fase B y la fase C del bus de red 242, respectivamente. El bloque de función 406 también está configurado para recibir una señal de retroalimentación de ángulo de fase 407 y posteriormente combina las señales de medición de tensión con la señal 407 para generar una señal de error de fase 408. La señal 408 se mide típicamente en radianes (r).

[0033] El PLL 402 también incluye un filtro proporcional integral (PI) 410. El filtro PI 410 incluye un bloque de función de ganancia proporcional 412. El bloque de función 412 está configurado para recibir la señal 408. El bloque de función 412 también está configurado para recibir una señal de constante de ganancia proporcional 414 desde un registro de constantes de ganancia proporcional 416. El registro 416 está cumplimentado con valores determinados en función de un estado de PLL (o modo de PLL) según lo determinado por la máquina de estados de PLL 404 descrita a continuación. El bloque de función 412 está configurado además para multiplicar la señal 408 por la señal 414 para generar una señal de ganancia proporcional 418 y transmitir la señal 418 a un bloque de función de suma 420. La señal 418 se mide típicamente en r/s .

[0034] El filtro PI 410 también incluye un bloque de función de ganancia integral 422. El bloque de función 422 está configurado para recibir la señal 408. El bloque de función 422 también está configurado para recibir una señal de constante de ganancia integral 424 desde un registro de constantes de ganancia integral 426. El registro 426 está cumplimentado con valores determinados en función de un estado de PLL (o modo de PLL) según lo determinado por la máquina de estados de PLL 404 descrita a continuación. El bloque de función 422 está configurado además para integrar la señal 408 con respecto al tiempo y multiplicar el valor integral por la señal 424 para generar y transmitir una señal de ganancia integral 428 a un bloque de función de bloqueo ("clamping function block") 430. La señal 428 se mide típicamente en r/s . El bloque de función 430 es un mecanismo de filtro que permite que una señal de ganancia integral bloqueada 432 transmita al bloque de función de suma 420 si la señal 428 reside entre un límite alto y un límite bajo. La señal 432 se mide típicamente en r/s . Por el contrario, si la señal 428 reside fuera de un intervalo definido por los límites alto y bajo, se bloquea la transmisión adicional de la señal 428. Los límites alto y bajo del bloque de función 430 se transmiten y se cumplimentan dentro de un registro de

límite alto 434 y un registro de límite bajo 436, respectivamente, con valores determinados en función de un estado de PLL (o modo de PLL) según lo determinado por la máquina de estados de PLL 404 descrita a continuación.

[0035] El bloque de función 420 suma las señales 418 y 432 para generar una señal PI 438 y transmitir la señal 438 a un bloque de función de bloqueo 440. La señal 438 se mide típicamente en r/s. El bloque de función 440 es un mecanismo de filtro que permite que una señal de ganancia integral bloqueada 442 se transmita a un bloque de función de integración 444 si la señal 438 reside entre un límite alto y un límite bajo. La señal 442 se mide típicamente en r/s. Por el contrario, si la señal 438 reside fuera del intervalo definido por los límites alto y bajo, se bloquea la transmisión adicional de la señal 438. Los límites alto y bajo del bloque de función 440 se transmiten a y se cumplimentan dentro de un registro de límite alto 446 y un registro de límite bajo 448 con valores determinados en función de un estado de PLL (o modo de PLL) según lo determinado por la máquina de estados de PLL 404 descrita a continuación.

[0036] El bloque de función de integración 444 está configurado para recibir la señal 442 e integrar la señal 444 con respecto al tiempo. El bloque de función 444 genera una señal de ángulo de fase de PLL 450 que se transmite al controlador 202 para el control del conjunto 210 para un control posterior de las corrientes eléctricas inyectadas en el bus 216 (ambos mostrados en la Figura 2). La señal de retroalimentación 407 es idéntica a la señal 450 y se transmite al bloque de función 406 como se describe anteriormente. Las señales 450 y 407 se miden típicamente en radianes (r).

[0037] Las señales de medición de tensión de red también se transmiten a la máquina de estados de PLL 404 desde los transductores 252 para su uso como se describe a continuación.

[0038] Se proporciona un procedimiento para hacer funcionar el generador 118, que es útil para entender la invención. El procedimiento incluye acoplar el generador 118 a la red de modo que la red se configura para transmitir al menos una fase de potencia eléctrica hacia y desde el generador 118. El procedimiento también incluye configurar el generador 118 de modo que el generador 118 permanezca conectado eléctricamente al sistema de potencia eléctrica durante y después de una amplitud de tensión del sistema de potencia eléctrica que funciona fuera de un intervalo predeterminado durante un período de tiempo indeterminado. Específicamente, dicho procedimiento incluye configurar el generador 118 de modo que el generador 118 permanezca conectado eléctricamente a la red durante y después de una disminución de amplitud de tensión de la potencia eléctrica hasta aproximadamente cero voltios durante un período de tiempo predeterminado, facilitando de este modo soportar tensión cero ("Zero Voltage Ride Through", ZVRT). Además, facilitar que el generador 118 permanezca conectado eléctricamente a la red durante un evento de ZVRT facilita posteriormente que el generador 118 continúe funcionando, apoyando de ese modo a la red durante el transitorio.

[0039] Específicamente, la Figura 5 es una vista de diagrama de bloques de una máquina de estados de PLL 404 de ejemplo que se puede usar con el regulador de PLL 400 (mostrado en la Figura 4). En el modo de realización de ejemplo, la máquina de estados 404 está configurada para transferir el regulador de PLL 400 a al menos uno de cuatro estados, o modos, de funcionamiento en función de características de las señales de tensión recibidas como se describe anteriormente. De forma alternativa, la máquina de estados de PLL 404 y el regulador de PLL 400 incluyen cualquier número de estados que facilitan el funcionamiento de la turbina eólica 100 como se describe en el presente documento. Cada cambio de estado de funcionamiento facilita una conmutación dinámica entre constantes de ganancia agresivas y no agresivas y bloqueos restrictivos y no restrictivos contenidos dentro de los registros 416, 426, 434, 436, 446 y 448 (todos mostrados en la Figura 4). Tal conmutación puede estar configurada para ser de naturaleza deslizante, de naturaleza discreta o alguna combinación de las mismas. Por lo tanto, la pluralidad de estados de funcionamiento facilita el soporte de tensión cero (ZVRT), así como otros fallos de red, al mismo tiempo que facilitan el funcionamiento normal. Estas características facilitan la gestión de dichas ganancias y bloqueos dinámicamente en función de las características de tensión de la red a la que el PLL 402 (mostrado en la Figura 4) se está intentando enganchar y/o permanecer enganchado.

La máquina de estados 404 está configurada para recibir las señales de medición de tensión de red transmitidas al regulador de PLL 400 desde los transductores 252 por medio de los conductos 254, 256 y 258 (todos mostrados en la Figura 4). La máquina de estados 404 está configurada además para recibir una señal de entrada de "encendido" 502 tras el encendido satisfactorio del regulador de PLL 400. La recepción de la señal de entrada 502 inicia el cambio de la máquina de estados 404 al estado 0. El estado 0 se caracteriza por el precondicionamiento por la máquina de estados 404 de un conjunto de valores que se van a insertar en los registros 416, 426, 434, 436, 446 y 448.

[0040] La Figura 6 es una vista tabular de una pluralidad de valores de límite de ganancia y frecuencia 600 de ejemplo generada en función del estado de PLL según lo determinado por la máquina de estados de PLL 404 (mostrada en la Figura 5). La columna 602 representa una pluralidad de filas 0, 1, 2 y 3 que corresponden cada una a un estado de funcionamiento del regulador de PLL 400 (mostrado en la Figura 5). El regulador de PLL 400 puede estar en un solo estado de funcionamiento en cualquier momento. La columna 604 representa una pluralidad de valores de constante de ganancia que se puede almacenar en el registro 416 (mostrado en la Figura 4). La columna 606 representa una pluralidad de valores de constante de ganancia que se puede almacenar en el registro 426 (mostrado en la Figura 4). La columna 608 representa una pluralidad de valores de límite de frecuencia mínima

que se puede almacenar en los registros 436 y 448. La columna 610 representa una pluralidad de valores de límite de frecuencia máxima que se puede almacenar en los registros 434 y 446. Por ejemplo, cuando el regulador de PLL 400 está en el estado 0, los valores de ganancia A y C están en los registros 416 y 426, respectivamente. En el modo de realización de ejemplo, los valores A y C representan valores numéricos diferentes, por ejemplo, pero sin limitarse a, 2,46737 y 328,039, respectivamente. Además, en el estado 0, el valor E está en los registros 436, 448, 434 y 446. En el modo de realización de ejemplo, el valor E representa un valor numérico, por ejemplo, pero sin limitarse a, 376,99. De forma alternativa, los diferentes valores numéricos que facilitan el funcionamiento del sistema 200 como se describe en el presente documento pueden estar en los registros 436, 448, 434 y 446.

[0041] En referencia a la Figura 5, en el modo de realización de ejemplo, después de un período de tiempo predeterminado (normalmente de unos pocos segundos), la máquina de estados 404 obtiene un permiso para cambiar el regulador 400 al estado 1. Tras la sincronización satisfactoria del generador de turbina eólica 100 con la red, como se determina por un cierre del disyuntor de circuito 238, por ejemplo, la máquina de estados 404 cambia el regulador 400 al estado 1 por medio de una trayectoria de transición 504. De forma alternativa, se puede usar cualquier condición que facilite el funcionamiento del sistema 200 como se describe en el presente documento. Además, tras la desincronización del generador de turbina eólica 100 respecto de la red, como se determina, por ejemplo, por una apertura del disyuntor de circuito 238, la máquina de estados 404 cambia el regulador 400 del estado 1 al estado 0 por medio de la trayectoria de transición 506.

[0042] En referencia a la Figura 6, cuando el regulador de PLL 400 está en el estado 1, los valores de ganancia A y C están en los registros 416 y 426, respectivamente. En el modo de realización de ejemplo, los valores A y C representan valores numéricos diferentes, por ejemplo, pero sin limitarse a, 2,46737 y 328,039, respectivamente. Además, en el estado 1, el valor F está en los registros 436 y 448, y el valor H está en los registros 434 y 446. En el modo de realización de ejemplo, los valores F y H representan valores numéricos diferentes, por ejemplo, pero sin limitarse a, -1507,96 y 1884,96, respectivamente. De forma alternativa, los diferentes valores numéricos que facilitan el funcionamiento del sistema 200 como se describe en el presente documento pueden estar en los registros 436, 448, 434 y 446. Los valores A y C a veces se denominan valores "calientes" y los valores F y H a veces se denominan valores "amplios". Dichos valores facilitan que el PLL 402 se enganche inicialmente a la frecuencia de red.

[0043] En referencia a la Figura 5, en el modo de realización de ejemplo, después de un período de tiempo predeterminado después de que el PLL 402 se enganche a la frecuencia de red, la máquina de estados 404 cambia el regulador 400 al estado 2 por medio de una trayectoria de transición 508. De forma alternativa, se puede usar cualquier condición que facilite el funcionamiento del sistema 200 como se describe en el presente documento. Tras la desincronización del generador de turbina eólica 100 respecto de la red, como se determina, por ejemplo, por una apertura del disyuntor de circuito 238, la máquina de estados 404 cambia el regulador 400 del estado 2 al estado 0 por medio de la trayectoria de transición 510.

[0044] En referencia a la Figura 6, cuando el regulador de PLL 400 está en el estado 2, los valores de ganancia B y D están en los registros 416 y 426, respectivamente. En el modo de realización de ejemplo, los valores B y D representan valores numéricos diferentes, por ejemplo, pero sin limitarse a, 0,039937 y 0,393601, respectivamente. Además, en el estado 2, el valor G está en los registros 436 y 448, y el valor I está en los registros 434 y 446. En el modo de realización de ejemplo, los valores G e I representan valores numéricos diferentes, por ejemplo, pero sin limitarse a, 94,2478 y 502,529, respectivamente. De forma alternativa, los diferentes valores numéricos que facilitan el funcionamiento del sistema 200 como se describe en el presente documento pueden estar en los registros 436, 448, 434 y 446. Los valores B y D a veces se denominan valores "fríos" y los valores G e I a veces se denominan valores "estrechos". Dichos valores facilitan que el PLL 402 se ajuste a unos transitorios de frecuencia en la red más lentamente que en el estado 1. Esta característica facilita una reacción lenta del sistema 200 a fluctuaciones normales menores de las condiciones de tensión de red. Además, dichos valores facilitan un cambio de estado para perturbaciones de red más graves, como se analiza más adelante. En circunstancias normales, la mayoría parte del tiempo en el que el generador de turbina eólica 100 está sincronizado con la red, el regulador 400 está en el estado 2.

[0045] En referencia a la Figura 5, en el modo de realización de ejemplo, en caso de que un fallo de red no síncrona, unas amplitudes de tensión de red anormalmente bajas (no cero) y/o altas, y/o una señal de error de fase de PLL 450 (mostrada en la Figura 4) sobrepasen un umbral predeterminado, la máquina de estados 404 cambia el regulador 400 del estado 2 al estado 1 por medio de una trayectoria de transición 512. De forma alternativa, se puede usar cualquier condición que facilite el funcionamiento del sistema 200 como se describe en el presente documento. Mientras está en el estado 1, los valores de ganancia y bloqueo apropiados están en los registros apropiados como se describe anteriormente. Tras la restauración de la tensión de red a unos valores predeterminados, después de un período de tiempo predeterminado después de que el PLL 402 se enganche a la frecuencia de red, y la señal de error de PLL 450 permanezca por debajo de un umbral predeterminado durante un período de tiempo predeterminado, la máquina de estados 404 cambia el regulador 400 del estado 1 al estado 2 por medio de la trayectoria de transición 508. Mientras está en el estado 2, los valores de ganancia y bloqueo apropiados están en los registros apropiados como se describe anteriormente y se facilita un LVRT.

[0046] Mientras el regulador 400 está en el estado 1, se puede producir un cambio a un estado 3 por medio de la trayectoria de transición 514. De forma similar, mientras el regulador 400 está en el estado 2, se puede producir un cambio del estado 2 al estado 3 por medio de la trayectoria de transición 516. En el modo de realización de ejemplo, los prerrequisitos para cambiar de los estados 1 y 2 al estado 3 incluyen una perturbación de tensión de red que está asociada con un fallo simétrico que reduce la tensión de red a cero voltios. En referencia a la Figura 6, cuando el regulador de PLL 400 está en el estado 3, los valores de ganancia A y C están en los registros 416 y 426, respectivamente. En el modo de realización de ejemplo, los valores A y C representan valores numéricos diferentes, por ejemplo, pero sin limitarse a, 2,46737 y 328,039, respectivamente. Además, en el estado 3, el valor E está en los registros 436, 448, 434 y 446. En el modo de realización de ejemplo, el valor E representa un valor numérico, por ejemplo, pero sin limitarse a, 376,99. De forma alternativa, los diferentes valores numéricos que facilitan el funcionamiento del sistema 200 como se describe en el presente documento pueden estar en los registros 436, 448, 434 y 446. Estos valores facilitan que la señal de ángulo de fase de PLL 450 sea llevada hasta un valor de ángulo de fase que sería efectivo si no hubiera perturbación de la red. Esto facilita además que se lleve el PLL 402 a oscilar a una frecuencia predeterminada que es sustancialmente similar a la frecuencia de funcionamiento nominal, por ejemplo, pero sin limitarse a, 60 Hz. En estas circunstancias, se mitiga un potencial para una desconexión de generador de turbina eólica y se facilita el ZVRT.

[0047] En referencia a la Figura 5, tras la restauración de la tensión de red, el regulador 400 cambia del estado 3 al estado 1 por medio de la trayectoria de transición 518. De forma alternativa, se puede usar cualquier condición que facilite el funcionamiento del sistema 200 como se describe en el presente documento. Mientras está en el estado 1, los valores de ganancia y bloqueo apropiados están en los registros apropiados como se describe anteriormente. Tras la restauración de la tensión de red a los valores predeterminados, después de un período de tiempo predeterminado después de que el PLL 402 se enganche a la frecuencia de red, y la señal de error de PLL 450 permanezca por debajo de un umbral predeterminado durante un período de tiempo predeterminado, la máquina de estados 404 cambia el regulador 400 del estado 1 al estado 2 por medio de la trayectoria de transición 508. Mientras está en el estado 2, los valores de ganancia y bloqueo apropiados están en los registros apropiados como se describe anteriormente. El cambio del estado 3 al estado 1 y a continuación al estado 2 facilita que se efectúe un cambio de estado suave. Tras la desincronización del generador de turbina eólica 100 respecto de la red, como se determina, por ejemplo, por una apertura del disyuntor de circuito 238, la máquina de estados 404 cambia el regulador 400 del estado 3 al estado 0 por medio de la trayectoria de transición 520.

[0048] El procedimiento y aparato para un sistema de control de generador de turbina eólica descritos en el presente documento facilitan el funcionamiento de un generador de turbina eólica. Más específicamente, el sistema eléctrico y de control del generador de turbina eólica como se describe anteriormente facilita un sistema de generación eléctrica y transferencia de carga mecánica eficiente y eficaz. Además, el sistema eléctrico y de control sólido facilita la eficiencia y eficacia de la producción del generador. Dicho sistema de control también facilita la fiabilidad del generador de turbina eólica y las paradas ("outages") del generador de turbina eólica reduciendo el número de desconexiones debidos a perturbaciones de red.

[0049] Los modos de realización de ejemplo de los sistemas eléctricos y de control de turbina eólica asociados con los generadores de turbina eólica se describen anteriormente en detalle. Los procedimientos, aparatos y sistemas no están limitados a los modos de realización específicos descritos en la presente divulgación ni a los generadores específicos de turbina eólica ilustrados.

[0050] Aunque la invención se ha descrito en términos de diversos modos de realización específicos, los expertos en la técnica reconocerán que la invención se puede poner en práctica con modificaciones dentro del alcance de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un generador de turbina eólica (100), que comprende:
una góndola (102) montada sobre una torre (104) y que alberga un generador (118);
un rotor (106) que comprende tres palas de rotor (108) unidas a un buje giratorio (110) y un eje lento (112) unido al buje;
una caja de engranajes multiplicadora (114) a la que está unida el eje lento (112),
en el que la caja de engranajes (114) está configurada para multiplicar la velocidad de rotación del eje lento (112) y transferir esa velocidad a un eje rápido (116);
en el que el eje rápido (116) está acoplado al generador (118);
en el que el generador (118) es un generador de inducción doblemente alimentado (118) que comprende un estator de generador (120) magnéticamente acoplado a un rotor de generador (122);
un sistema eléctrico y de control que comprende:
un conjunto de conversión de potencia (210) que comprende un convertidor bidireccional de lado de rotor (220) y un convertidor bidireccional de lado de línea (222) que están acoplados eléctricamente mediante un enlace CC (244);
un regulador de bucle de enganche de fase (PLL) (400) configurado para recibir una pluralidad de señales de medición de tensión de red y configurado adicionalmente para facilitar una capacidad de soportar tensión cero para el generador de turbina eólica (100), de modo que un potencial para una desconexión del generador de turbina eólica y consecuencias asociadas a unos dispositivos semiconductores se mitigan durante unos transitorios de tensión cero de la tensión de red medida indicativos de un evento ZVRT;
un filtro de rotor (218) eléctricamente acoplado al rotor de generador (122) y al convertidor de lado de rotor (220);
un filtro de línea (224) eléctricamente acoplado al convertidor de lado de línea (222);
en el que el generador (118) está configurado de modo que el generador (118) permanece eléctricamente acoplado a una red eléctrica durante el evento de ZVRT y posteriormente facilita que el generador (118) continúe funcionando apoyando de este modo a la red durante el transitorio.
2. El generador de turbina eólica según la reivindicación 1, en el que la caja de engranajes (114) tiene una relación de multiplicación para generar una velocidad de eje rápido de aproximadamente 1400 r/min.
3. El generador de turbina eólica según la reivindicación 1 o 2, en el que la caja de engranajes (114) tiene una relación de multiplicación de aproximadamente 70:1.
4. El generador de turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el convertidor de lado de rotor (220) y el convertidor de lado de línea (222) están configurados en una configuración trifásica con modulación por ancho de pulso (PWM) que incluye dispositivos de conmutación de transistor bipolar de puerta aislada (IGBT).
5. El generador de turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el convertidor de lado de línea (222) está configurado para actuar como un inversor configurado para convertir la potencia eléctrica de CC del enlace CC (244) en potencia eléctrica de CA trifásica sinusoidal con tensiones, corrientes y frecuencias predeterminadas.
6. El generador de turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende adicionalmente un transformador principal (234) acoplado al estator de generador mediante un conmutador (206).
7. El generador de turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende adicionalmente un disyuntor de circuito de red (238), y en el que el transformador principal (234) está acoplado eléctricamente al disyuntor de circuito de red (238).
8. El generador de turbina eólica según la reivindicación 7, en el que el disyuntor de circuito de red (238) está acoplado a la red eléctrica.
9. El generador de turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el sistema eléctrico y de control (200) comprende adicionalmente un controlador (202), en el que el

controlador (202) está acoplado en comunicación de datos electrónicos con un conjunto de conversión de potencia (210) para controlar la operación de los convertidores de lado de rotor y de lado de línea (220, 222).

- 5 10. El generador de turbina eólica según la reivindicación 9, en el que los procesadores para el controlador (202) están configurados para procesar información transmitida desde una pluralidad de dispositivos eléctricos y electrónicos, incluyendo transductores de velocidad y potencia.
- 10 11. El generador de turbina eólica según la reivindicación 9 o 10, en el que el controlador (202) está configurado para monitorizar y controlar el convertidor de potencia de lado de línea (222) para convertir potencia eléctrica CC del enlace de CC (244) en potencia eléctrica trifásica sinusoidal CA con tensiones, corrientes y frecuencias predeterminadas.
- 15 12. El generador de turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, en el que el controlador (202) está configurado para interrumpir al menos temporalmente el encendido de IGBTs en el segundo convertidor (222) durante un transitorio de tensión de red con características predeterminadas.
- 20 13. El generador de turbina eólica de cualquier de las reivindicaciones 6 a 12 cuando dependen de la reivindicación 6, en el que el punto de estrella del transformador principal está acoplado a tierra.

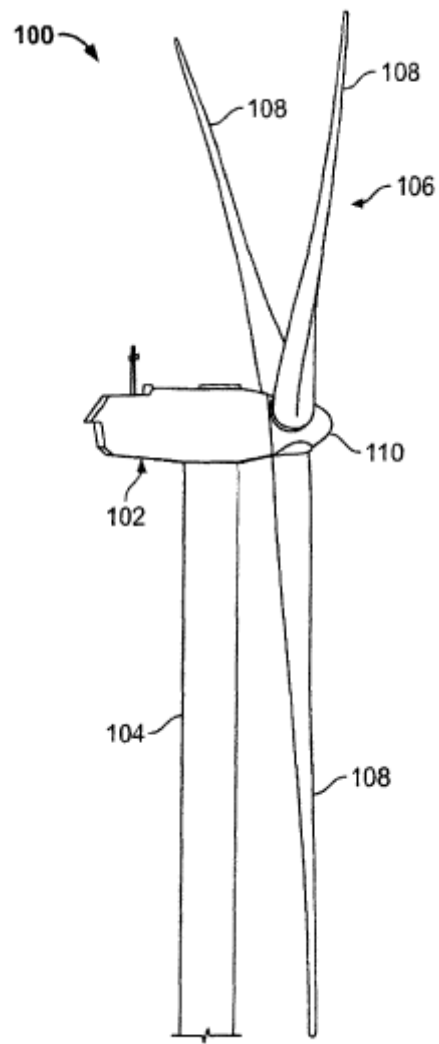
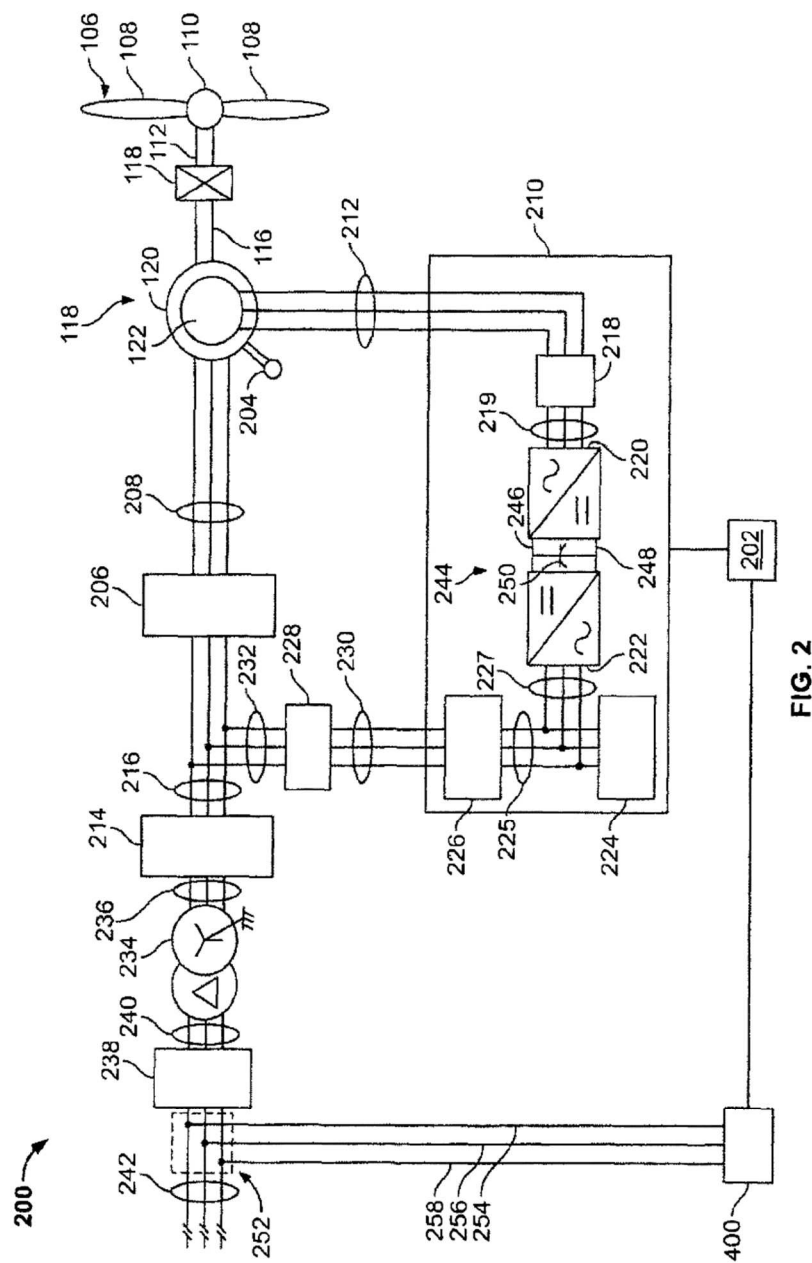


FIG. 1



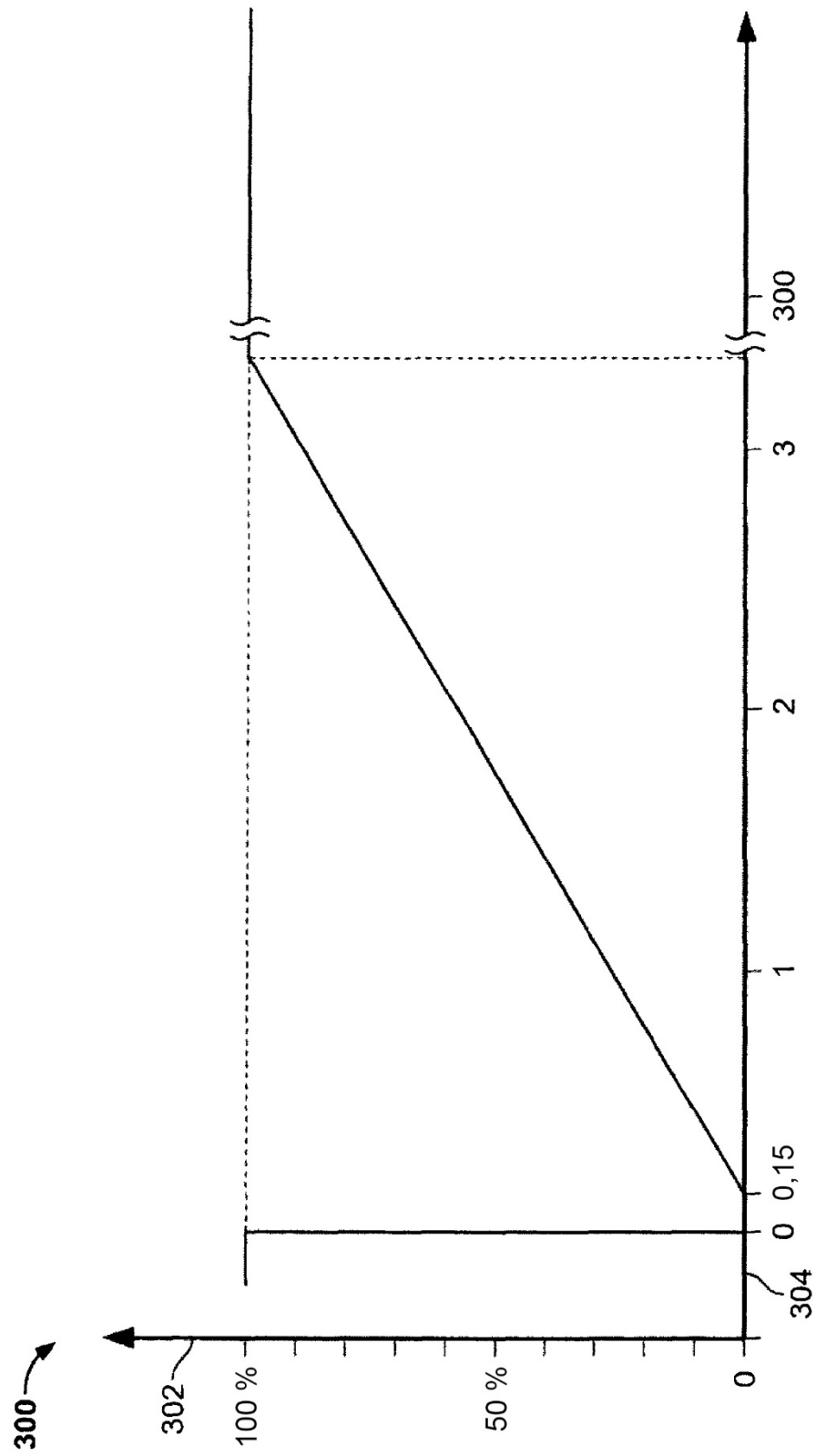


FIG. 3

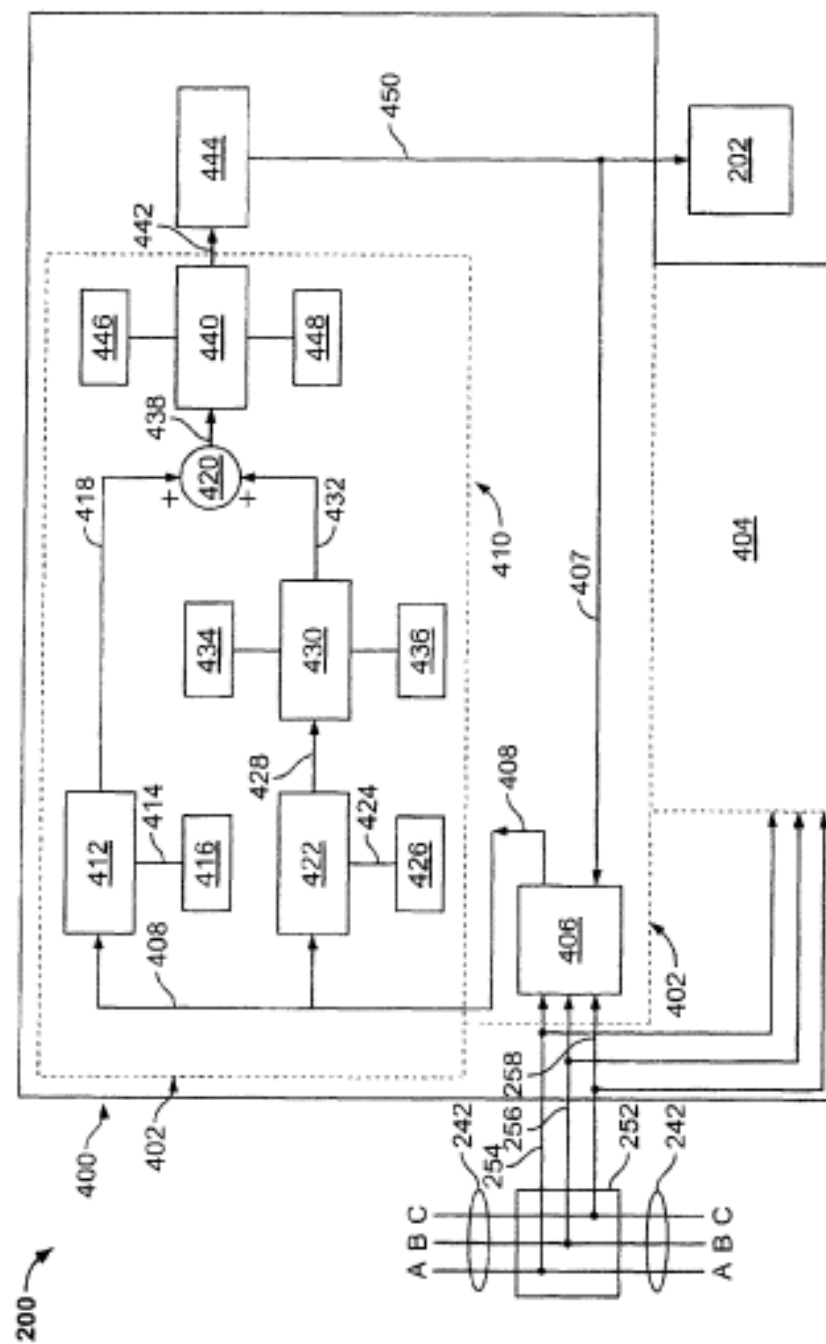


FIG. 4

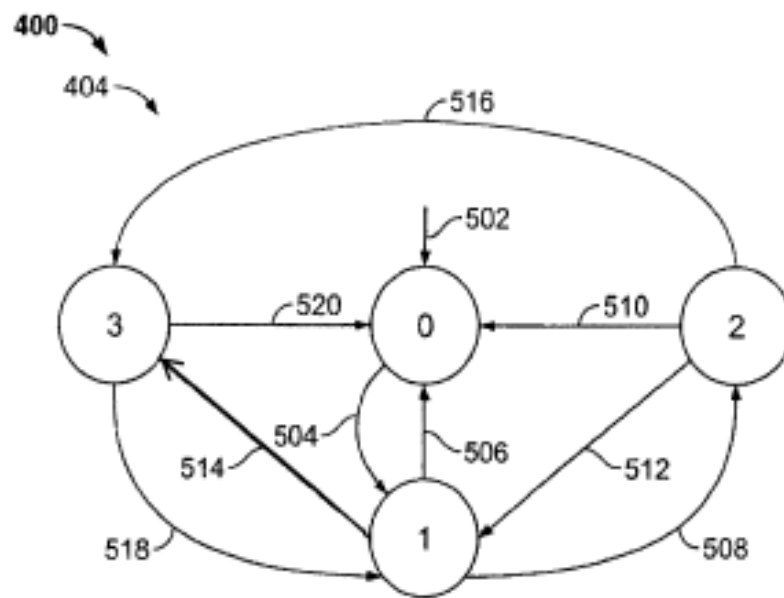


FIG. 5

600 

<u>602</u>	<u>604</u>	<u>606</u>	<u>608</u>	<u>610</u>
0	A	C	E	E
1	A	C	F	H
2	B	D	G	I
3	A	C	E	E

FIG. 6