

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 899 881**

51 Int. Cl.:

**H02M 7/493** (2007.01)

**H02M 7/5387** (2007.01)

**H02J 3/38** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.09.2013 E 13183798 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.09.2021 EP 2725701**

54 Título: **Control de equilibrio de corriente en convertidor para sistema de turbina eólica con generador de inducción doblemente alimentado**

30 Prioridad:

**14.09.2012 US 201213615898**

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

**15.03.2022**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**WAGONER, ROBERT GREGORY y  
SEYMOUR, ROBERT ALLEN**

74 Agente/Representante:

**FORTEA LAGUNA, Juan José**

ES 2 899 881 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

Control de equilibrio de corriente en convertidor para sistema de turbina eólica con generador de inducción doblemente alimentado

5

**[0001]** La presente divulgación se refiere, en general, a fuentes de energía renovables y, más en particular, a sistemas y procedimientos para mejorar la potencia de salida para un sistema de turbina eólica con generador de inducción doblemente alimentado (DFIG).

10

**[0002]** Las turbinas eólicas han recibido una mayor atención como fuente de energía renovable. Las turbinas eólicas usan el viento para generar electricidad. El viento hace girar múltiples palas conectadas a un rotor. El giro de las palas provocado por el viento hace girar un eje del rotor, que está conectado a un generador que genera electricidad. Determinados sistemas de turbina eólica incluyen un generador de inducción doblemente alimentado (DFIG) para convertir la energía eólica en energía eléctrica adecuada para su provisión a una red eléctrica. Típicamente, los DFIG están conectados a un convertidor que regula el flujo de energía eléctrica entre el DFIG y la red. Más en particular, el convertidor permite que la turbina eólica proporcione energía eléctrica a la frecuencia de red, independientemente de la velocidad de rotación de las palas de turbina eólica.

15

20

**[0003]** Los sistemas DFIG de mayor potencia pueden usar un sistema convertidor que incluye múltiples circuitos de puente conectados en paralelo para cada fase de salida del DFIG. Cuando múltiples circuitos de puente están conectados en paralelo, la división de corriente entre los circuitos de puente conectados en paralelo durante condiciones transitorias, por ejemplo, durante el encendido y el apagado, no está equilibrada. Varios factores pueden dar lugar a este desequilibrio. Por ejemplo, circuitos de excitación utilizados para excitar los dispositivos de conmutación (por ejemplo, transistores bipolares de puerta aislada (IGBT)) utilizados en los circuitos de puente pueden contener optoacopladores para el aislamiento de señales de control. Cada uno de estos optoacopladores puede proporcionar diferentes tiempos de retardo en las señales de control. Diferentes tiempos de retardo en las señales de control pueden causar diferencias en los tiempos de conmutación de los dispositivos de conmutación (por ejemplo, IGBT) utilizados en los circuitos de puente. Cualquier diferencia de temporización entre la conmutación de los dispositivos de conmutación puede causar un voltaje a través de un inductor acoplado a una salida del convertidor, lo que da lugar a una corriente de circulación entre los circuitos de puente conectados en paralelo. Véanse, por ejemplo, los documentos US 2009/244945 y US 2008/074911.

25

30

35

**[0004]** El desequilibrio en la corriente puede dar como resultado una diferencia de temperatura en los dispositivos de conmutación utilizados en los circuitos de puente conectados en paralelo, tal como una diferencia en la temperatura de unión de los IGBT utilizados en los módulos de conmutación. Esto reduce la capacidad de potencia de salida total del convertidor, ya que la capacidad de corriente de salida total estará limitada por el dispositivo de conmutación con la temperatura más alta.

40

**[0005]** Por tanto, existe la necesidad de un sistema y procedimiento de control de equilibrio de corriente a través de circuitos de puente conectados en paralelo de un convertidor utilizado para un sistema de turbina eólica con DFIG. Un sistema y procedimiento que reduzca el desequilibrio de corriente a través de los circuitos de puente conectados en paralelo sería particularmente útil.

45

**[0006]** Diversos aspectos y ventajas de la invención se expondrán, en parte, en la siguiente descripción, o pueden quedar claros a partir de la descripción, o se pueden descubrir mediante la puesta en práctica de la invención.

**[0007]** La presente invención está definida por las reivindicaciones adjuntas.

50

**[0008]** Otras diversas características, aspectos y ventajas de la presente invención se entenderán mejor con referencia a la siguiente descripción y las reivindicaciones adjuntas. Los dibujos adjuntos, que están incorporados en, y que forman parte de, la presente memoria descriptiva, ilustran modos de realización de la invención y, junto con la descripción, sirven para explicar los principios de la invención. En los dibujos:

55

la FIG. 1 representa un sistema de turbina eólica con generador de inducción doblemente alimentado (DFIG) ejemplar de acuerdo con un modo de realización ejemplar de la presente divulgación;

la FIG. 2 representa aspectos de un convertidor de potencia ejemplar utilizado en un sistema de turbina eólica con DFIG de acuerdo con un aspecto ejemplar de la presente divulgación;

60

la FIG. 3 representa un diagrama de circuito de circuitos de puente conectados en paralelo ejemplares utilizados en un convertidor en el lado de rotor de acuerdo con un modo de realización ejemplar de la presente divulgación;

65

la FIG. 4 representa una topología de control ejemplar para un sistema de control para reducir el desequilibrio de corriente entre circuitos de puente conectados en paralelo de un convertidor de potencia de un sistema de turbina eólica con DFIG de acuerdo con un modo de realización ejemplar de la presente divulgación; y

la FIG. 5 representa un diagrama de flujo de un procedimiento ejemplar para reducir el desequilibrio de corriente entre circuitos de puente conectados en paralelo de un convertidor de potencia de un sistema de turbina eólica con DFIG de acuerdo con un modo de realización ejemplar de la presente divulgación.

5

**[0009]** Se hace referencia en detalle ahora a unos modos de realización de la invención, uno o más ejemplos de los cuales se ilustran en los dibujos. Cada ejemplo se proporciona a modo de explicación de la invención, y no de limitación de la invención. De hecho, será evidente para los expertos en la técnica que se pueden realizar diversas modificaciones y variaciones en la presente invención sin apartarse del alcance o espíritu de la invención. Por ejemplo, las características ilustradas o descritas como parte de un modo de realización se pueden usar con otro modo de realización para proporcionar aún otro modo de realización. Por tanto, se pretende que la presente invención cubra dichas modificaciones y variaciones que entren dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas y de sus equivalentes.

10

15

**[0010]** En general, la presente divulgación está dirigida a sistemas y procedimientos para reducir el desequilibrio de corriente entre circuitos de puente conectados en paralelo utilizados en un convertidor de potencia de un sistema de generador de inducción doblemente alimentado (DFIG). El sistema DFIG puede incluir un generador de inducción doblemente alimentado activado por viento que tiene un rotor y un estátor. El convertidor de potencia se puede utilizar para acoplar el rotor del generador de inducción doblemente alimentado a una red eléctrica. El convertidor de potencia puede ser un convertidor de potencia de dos fases que incluye un convertidor en el lado de rotor y un convertidor en el lado de línea acoplados por un enlace de CC. El convertidor en el lado de rotor y/o el convertidor en el lado de línea pueden incluir una pluralidad de circuitos de puente acoplados en paralelo. Cada uno de los circuitos de puente puede incluir un par de dispositivos de conmutación, tales como transistores bipolares de puerta aislada (IGBT), acoplados en serie entre sí. Los circuitos de puente se pueden controlar, por ejemplo, usando consignas de temporización de puerta proporcionadas a los IGBT, para proporcionar una salida deseada a la red eléctrica.

20

25

30

**[0011]** De acuerdo con diversos aspectos de la presente divulgación, un sistema de control puede supervisar la corriente de puente de cada uno de la pluralidad de circuitos de puente acoplados en paralelo con una pluralidad de sensores de corriente. El sistema de control puede generar una señal de retroalimentación basada en la diferencia en la corriente de puente entre los circuitos de puente conectados en paralelo. A continuación, se pueden desarrollar señales de consigna para controlar los circuitos de puente en base a la señal de retroalimentación para reducir el desequilibrio de corriente entre los circuitos de puente. Por ejemplo, la modulación por ancho de pulso de los dispositivos de conmutación (por ejemplo, IGBT) utilizados en los circuitos de puente se puede modificar para reducir el desequilibrio de corriente entre los circuitos de puente conectados en paralelo.

35

40

45

**[0012]** De esta manera, se puede proporcionar un esquema de optimización de equilibrio de corriente para mejorar la división de corriente entre los circuitos de puente conectados en paralelo. El desequilibrio en la división de corriente entre circuitos de puente conectados en paralelo reduce la capacidad de salida total y la eficiencia del convertidor de potencia. En particular, la corriente de salida total está limitada por la temperatura del dispositivo sometido a mayor esfuerzo en los circuitos de puente conectados en paralelo, donde los dispositivos sometidos a menor esfuerzo no alcanzan su capacidad de salida completa. Un mayor equilibrio en la división de corriente entre circuitos de puente conectados en paralelo, de acuerdo con los aspectos de la presente divulgación, puede dar como resultado un sistema de convertidor más fiable con una mayor capacidad de corriente de salida. Por ejemplo, los circuitos de puente conectados en paralelo se pueden controlar para que tengan corrientes equilibradas de modo que se disipe menos potencia como corriente que circula entre los puentes conectados en paralelo.

50

**[0013]** En referencia a la FIG. 1, ahora se analizará en detalle un sistema de turbina eólica con DFIG 100 ejemplar. La presente divulgación se analizará con referencia al sistema de turbina eólica con DFIG 100 ejemplar de la FIG. 1 con fines ilustrativos y de análisis. Los expertos en la técnica, utilizando las divulgaciones proporcionadas en el presente documento, entenderán que los aspectos de la presente divulgación también pueden aplicarse a otros sistemas.

55

**[0014]** En el sistema 100 ejemplar, un rotor 106 incluye una pluralidad de palas de rotor 108 acopladas a un buje giratorio 110, y juntos definen una hélice. La hélice está acoplada a una multiplicadora 118 opcional que, a su vez, está acoplada a un generador 120. De acuerdo con aspectos de la presente divulgación, el generador 120 es un generador de inducción doblemente alimentado (DFIG) 120.

60

65

**[0015]** El DFIG 120 está típicamente acoplado a un bus de estátor 154 y a un convertidor de potencia 162 por medio de un bus de rotor 156. El bus de estátor proporciona una potencia multifásica de salida (por ejemplo, potencia trifásica) desde un estátor del DFIG 120, y el bus de rotor 156 proporciona una potencia multifásica de salida (por ejemplo, potencia trifásica) del DFIG 120. En referencia al convertidor de potencia 162, el DFIG 120 está acoplado por medio del bus de rotor 156 a un convertidor en el lado de rotor 166. El convertidor en el lado de rotor 166 está acoplado al convertidor en el lado de línea 168, que a su vez está acoplado a un bus en el lado de línea 188.

**[0016]** En configuraciones ejemplares, el convertidor en el lado de rotor 166 y el convertidor en el lado de línea 168 están configurados para el modo de funcionamiento normal en una disposición de modulación por ancho de pulso (PWM) trifásica utilizando dispositivos de conmutación de transistores bipolares de puerta aislada (IGBT), que se describirán con más detalle con respecto a la FIG. 2. El convertidor en el lado de rotor 166 y el convertidor en el lado de línea 168 pueden acoplarse por medio de un enlace de CC 136 a través del cual está el condensador de enlace de CC 138.

**[0017]** El convertidor de potencia 162 puede estar acoplado a un controlador 174 para controlar el funcionamiento del convertidor en el lado de rotor 166 y del convertidor en el lado de línea 168. Cabe destacar que el controlador 174, en modos de realización típicos, está configurado como una interfaz entre el convertidor de potencia 162 y un sistema de control 176.

**[0018]** En configuraciones típicas, diversos contactores de línea y disyuntores incluyendo, por ejemplo, un disyuntor de red 182, pueden incluirse para el aislamiento de los diversos componentes según sea necesario para el funcionamiento normal del DFIG 120 durante la conexión a y la desconexión de la red eléctrica 184. Un disyuntor de sistema 178 puede acoplar el bus de sistema 160 a un transformador 180, que puede estar acoplado a la red eléctrica 184 a través del disyuntor de red 182.

**[0019]** En funcionamiento, la potencia generada en el DFIG 120 mediante la rotación del rotor 106 se proporciona por medio de una ruta dual a la red eléctrica 184. Las rutas duales están definidas por el bus de estátor 154 y el bus de rotor 156. En el lado del bus del rotor 156, se proporciona potencia de corriente alterna (CA) sinusoidal multifásica (por ejemplo, trifásica) al convertidor de potencia 162. El convertidor de potencia en el lado de rotor 166 convierte la potencia de CA proporcionada desde el bus de rotor 156 en potencia de corriente continua (CC) y proporciona la potencia de CC al enlace de CC 136. Como se analizará en mayor detalle posteriormente, los dispositivos de conmutación (por ejemplo, IGBT) utilizados en circuitos de puente conectados en paralelo del convertidor de potencia en el lado de rotor 166 pueden modularse para convertir la potencia de CA proporcionada desde el bus de rotor 156 en potencia de CC adecuada para el enlace de CC 136.

**[0020]** El convertidor en el lado de línea 168 convierte la potencia de CC del enlace de CC 136 en potencia de CA adecuada para la red eléctrica 184. En particular, los dispositivos de conmutación (por ejemplo, IGBT) utilizados en los circuitos de puente del convertidor de potencia en el lado de línea 168 pueden modularse para convertir la potencia de CC del enlace de CC 136 en potencia de CA en el bus en el lado de línea 188. La potencia de CA del convertidor de potencia 162 puede combinarse con la potencia del estátor del DFIG 120 para proporcionar una potencia multifásica (por ejemplo, potencia trifásica) que tiene una frecuencia mantenida sustancialmente a la frecuencia de la red eléctrica 184 (por ejemplo, 50 Hz/60 Hz).

**[0021]** Diversos disyuntores e interruptores, tales como el disyuntor de red 182, el disyuntor de sistema 178, el interruptor de sincronización de estátor 158, el disyuntor de convertidor 186, y el contactor de línea 172 se pueden incluir en el sistema 100 para conectar o desconectar buses correspondientes, por ejemplo, cuando el flujo de corriente es excesivo y puede dañar componentes del sistema de turbina eólica 100 o para otras consideraciones operativas. También pueden incluirse componentes de protección adicionales en el sistema de turbina eólica 100.

**[0022]** El convertidor de potencia 162 puede recibir señales de control de, por ejemplo, el sistema de control 176 por medio del controlador 174. Las señales de control pueden basarse, entre otras cosas, en condiciones detectadas o características operativas del sistema de turbina eólica 100. Típicamente, las señales de control permiten controlar el funcionamiento del convertidor de potencia 162. Por ejemplo, la retroalimentación en forma de velocidad detectada del DFIG 120 puede utilizarse para controlar la conversión de la potencia de salida del bus de rotor 156 para mantener una fuente de alimentación multifásica (por ejemplo, trifásica) adecuada y equilibrada. Otra retroalimentación de otros sensores también puede ser utilizada por el controlador 174 para controlar el convertidor de potencia 162, incluyendo, por ejemplo, voltajes de bus de estátor y de rotor y retroalimentaciones de corriente. Utilizando las diversas formas de información de retroalimentación, se pueden generar señales de control de conmutación (por ejemplo, consignas de temporización de puerta para los IGBT), señales de control de sincronización de estátor y señales de disyuntor.

**[0023]** La FIG. 2 representa aspectos de un convertidor de potencia 162 ejemplar de acuerdo con aspectos de la presente divulgación. Como se ilustra, tanto el convertidor en el lado de rotor 166 como el convertidor en el lado de línea 168 incluyen una pluralidad de circuitos de puente acoplados en paralelo. Más en particular, cada fase del bus de rotor 156 introducida en el convertidor en el lado de rotor 166 está acoplada a dos circuitos de puente (por ejemplo, circuitos de puente 210 y 220) acoplados en paralelo. Cada fase del bus en el lado de línea 188 proporcionada por el convertidor en el lado de línea 168 está acoplada a dos circuitos de puente acoplados en paralelo. El uso de circuitos de puente conectados en paralelo puede aumentar la capacidad de salida del convertidor de potencia 162.

**[0024]** En la FIG. 2, tanto el convertidor en el lado de línea 168 como el convertidor en el lado de rotor 166 se ilustran con circuitos de puente conectados en paralelo con fines de ejemplo. Los expertos en la técnica, utilizando las divulgaciones proporcionadas en el presente documento, apreciarán que el convertidor en el lado de línea 168,

el convertidor en el lado de rotor 166 o tanto el convertidor en el lado de rotor 168 como el convertidor en el lado de rotor 166 pueden incluir circuitos de puente conectados en paralelo sin apartarse del alcance de la presente divulgación.

5 **[0025]** Cada circuito de puente incluye una pluralidad de IGBT acoplados en serie entre sí. Por ejemplo, cada circuito de puente incluye un IGBT superior (por ejemplo, IGBT 212) y un IGBT inferior (por ejemplo, IGBT 214). Un diodo está acoplado en paralelo con cada uno de los IGBT. El convertidor en el lado de línea 168 y el convertidor en el lado de rotor 166 se controlan, por ejemplo, proporcionando consignas de temporización de puerta, usando un circuito de excitación adecuado, a las puertas de los IGBT. Por ejemplo, el controlador 174 puede proporcionar  
10 consignas de temporización de puerta adecuadas a las puertas de los IGBT de los circuitos de puente. Las consignas de temporización de puerta pueden controlar la modulación por ancho de pulso de los IGBT para proporcionar una salida deseada. Los expertos en la técnica apreciarán que se pueden usar otros dispositivos de conmutación adecuados en lugar de los IGBT.

15 **[0026]** La FIG. 3 representa un diagrama de circuito de circuitos de puente ejemplares conectados en paralelo 210 y 220 utilizados en el convertidor en el lado de rotor 166 del convertidor de potencia 162 de acuerdo con un modo de realización ejemplar de la presente divulgación. Como se representa, un primer circuito de puente 210 que incluye un IGBT superior 212 y un IGBT inferior 214 está acoplado en paralelo a un segundo circuito de puente 220 que incluye un IGBT superior 222 y un IGBT inferior 224. El primer circuito de puente 210 y el segundo circuito de puente 220 tienen cada uno una línea de puente acoplada al bus de rotor 156 a través de respectivos elementos inductivos 240 y 245. Los elementos inductivos 240 y 245 están acoplados eficazmente entre los circuitos de puente 210 y 220. El primer circuito de puente 210 y el segundo circuito de puente 220 también están acoplados al enlace de CC 136.  
20

25 **[0027]** Como se ilustra, el primer circuito de puente 210 está en comunicación con un circuito de excitación 250 que está configurado para proporcionar señales de excitación de puerta a las puertas del IGBT superior 212 y del IGBT inferior 214 del primer circuito de puente 210 para controlar la modulación por ancho de pulso del IGBT superior 212 y del IGBT inferior 214. De forma similar, el segundo circuito de puente 220 está en comunicación con un circuito de excitación 260 que está configurado para proporcionar señales de excitación de puerta a las  
30 puertas del IGBT superior 222 y del IGBT inferior 224 del segundo circuito de puente 220 para controlar la modulación por ancho de pulso del IGBT superior 222 y del IGBT inferior 224.

**[0028]** Como se analizó anteriormente, el primer circuito de puente 210 puede proporcionar una primera corriente de puente  $I_{B1}$  y el segundo circuito de puente 220 puede proporcionar una segunda corriente de puente  $I_{B2}$ . Diferentes tiempos de retardo en las consignas de temporización de puerta proporcionadas por los circuitos de excitación 250 y 260 pueden causar diferencias en los tiempos de conmutación de los IGBT utilizados en los circuitos de puente 210 y 220. Esta diferencia de temporización puede causar un voltaje a través de una carga inductiva (por ejemplo, elementos inductivos 240 y 245), lo que da lugar a una corriente de circulación entre los circuitos de puente conectados en paralelo. Esta corriente de circulación puede provocar un desequilibrio en las corrientes de puente  $I_{B1}$  e  $I_{B2}$ , lo que da como resultado un funcionamiento menos eficiente del convertidor de potencia 162.  
35  
40

**[0029]** De acuerdo con diversos aspectos de la presente divulgación, el funcionamiento de los circuitos de puente conectados en paralelo 210 y 220 se puede controlar para reducir el desequilibrio en la corriente de puente  $I_{B1}$  e  $I_{B2}$ . En particular, las corrientes de puente  $I_{B1}$  e  $I_{B2}$  se pueden supervisar utilizando un sensor de corriente adecuado. La FIG. 3 representa el uso de una derivación de corriente 230 para supervisar la corriente de puente  $I_{B1}$  y una derivación de corriente 235 para supervisar la corriente de puente  $I_{B2}$ . Se pueden utilizar otros dispositivos o sensores de medición de corriente adecuados sin apartarse de la presente divulgación. Las señales indicativas de la corriente de puente  $I_{B1}$  e  $I_{B2}$  se pueden utilizar para regular la conmutación de los IGBT utilizados en los circuitos de puente 210 y 220 para reducir el desequilibrio de corriente.  
45  
50

**[0030]** Más en particular, la FIG. 4 representa una topología de control ejemplar de un sistema de control 300 para reducir el desequilibrio de corriente entre circuitos de puente conectados en paralelo, tales como los circuitos de puente conectados en paralelo 210 y 220, de acuerdo con un aspecto ejemplar de la presente divulgación. Como se muestra, el sistema de control incluye un circuito de generación de errores 310 que recibe señales 302 y 304 indicativas de corriente de puente procedentes de los sensores de corriente, tales como las derivaciones de corriente 230 y 235 de la FIG. 3. En referencia a la FIG. 4, el circuito de generación de errores 310 está configurado para procesar señales 302 y 304 para generar una señal de retroalimentación 306 indicativa de la diferencia en la corriente de puente entre la pluralidad de circuitos de puente acoplados en paralelo. La señal de retroalimentación 306 puede ser indicativa de la diferencia de magnitud y de fase de la corriente de puente entre los circuitos de puente conectados en paralelo. Por ejemplo, la señal de retroalimentación puede ser una señal compleja que incluye una componente real indicativa de la diferencia de magnitud entre los circuitos de puente conectados en paralelo y una componente reactiva indicativa de una diferencia de fase en la corriente de puente entre los circuitos de puente conectados en paralelo.  
55  
60  
65

**[0031]** El circuito de generación de errores 310 puede incluir cualquier dispositivo de control adecuado o combinación de dispositivos de control. En un aspecto, el circuito de generación de errores 310 incluye sumadores, reguladores de compensación y otros dispositivos utilizados para procesar señales 302 y 304 indicativas de corriente de puente. En otro modo de realización, el circuito de generación de errores 310 puede incluir un dispositivo de procesamiento (por ejemplo, microprocesador, microcontrolador, etc.) que ejecuta instrucciones legibles por ordenador almacenadas en un medio legible por ordenador. Las instrucciones, cuando son ejecutadas por el dispositivo de procesamiento, pueden hacer que el dispositivo de procesamiento procese señales 302 y 304 indicativas de corriente de puente para generar la señal de retroalimentación 306.

**[0032]** Como se muestra en la FIG. 4, el circuito de generación de errores 310 proporciona la señal de retroalimentación 306 a circuitos de control, tales como un circuito de control de puente 320. El circuito de control de puente 320 está configurado para procesar la señal de retroalimentación 306 junto con otras señales de control indicativas de otros parámetros de control (por ejemplo, señal de control 308) para generar consignas de control para excitar los IGBT de los circuitos de puente conectados en paralelo.

**[0033]** Por ejemplo, el circuito de control de puente 320 puede procesar señales 306 y 308 para generar consignas de modulación por ancho de pulso para excitar los IGBT utilizados en los circuitos de puente conectados en paralelo. En particular, el circuito de control de puente 320 puede generar una consigna de control 312 para controlar la modulación por ancho de pulso de un IGBT superior de un primer circuito de puente y una consigna de control 314 para controlar la modulación por ancho de pulso de un IGBT inferior del primer circuito de puente. El circuito de control de puente 320 también puede generar una consigna de control 316 para controlar la modulación por ancho de pulso de un IGBT superior de un segundo circuito de puente y una consigna de control 318 para controlar la modulación por ancho de pulso de un IGBT inferior del segundo circuito de puente. Las consignas de control 312, 314, 316 y 318 están determinadas para proporcionar una salida deseada del convertidor de potencia, así como para reducir el desequilibrio de corriente entre circuitos de puente conectados en paralelo utilizados en el convertidor de potencia. Por ejemplo, el circuito de control de puente 320 puede generar componentes de corriente de modo común y/o modo normal que se usan para regular las corrientes de puente de los circuitos de puente conectados en paralelo para reducir la diferencia entre las corrientes de puente de los circuitos de puente conectados en paralelo. La diferencia de corriente se puede regular ajustando la modulación por ancho de pulso proporcionada por las consignas de control 312, 314, 316 y 318.

**[0034]** De manera similar al circuito de generación de errores 310, el circuito de control de puente 320 puede incluir cualquier dispositivo de control adecuado o combinación de dispositivos de control. En un modo de realización, el circuito de control de puente 310 puede incluir reguladores y otros dispositivos utilizados para procesar señales 306 y 308 para generar consignas de control. En otro modo de realización, el circuito de control de puente 330 puede incluir un dispositivo de procesamiento (por ejemplo, microprocesador, microcontrolador, etc.) que ejecuta instrucciones legibles por ordenador almacenadas en un medio legible por ordenador. Las instrucciones, cuando son ejecutadas por el dispositivo de procesamiento, pueden hacer que el dispositivo de procesamiento procese las señales 306 y 308 para generar las consignas de control. Aunque el circuito de generación de errores 310 y el circuito de control de puente 320 se ilustran como dispositivos separados en la FIG. 4, el circuito de generación de errores 310 y el circuito de control de puente 320 pueden implementarse usando el mismo dispositivo o a través de múltiples dispositivos sin apartarse del alcance de la presente divulgación.

**[0035]** Como se ilustra adicionalmente en la FIG. 4, las consignas de control 312, 314, 316 y 318 se proporcionan a circuitos de excitación de puerta asociados a los circuitos de puente. Más en particular, las consignas de control 312 y 314 se proporcionan al circuito de excitación de puerta 250 y las consignas de control 316 y 318 se proporcionan al circuito de excitación de puerta 260. Los circuitos de excitación de puerta 250 y 260 están configurados para acondicionar las consignas de control como señales adecuadas para excitar las puertas de los IGBT utilizados en los circuitos de puente. Por ejemplo, los circuitos de excitación de puerta 250 y 260 pueden estar configurados para amplificar, aislar y/o cambiar de nivel las consignas de control a señales adecuadas para excitar los IGBT asociados a los circuitos de puente.

**[0036]** La FIG. 5 representa un diagrama de flujo de un procedimiento (500) ejemplar para reducir el desequilibrio de corriente entre circuitos de puente conectados en paralelo de un convertidor de potencia de un sistema de turbina eólica con DFIG de acuerdo con un modo de realización ejemplar de la presente divulgación. El procedimiento (500) se puede implementar usando cualquier sistema de control adecuado, tal como el sistema de control ilustrado en la FIG. 4. Además, aunque la FIG. 5 representa etapas realizadas en un orden particular con fines de ilustración y análisis, los procedimientos analizados en el presente documento no están limitados a ningún orden o disposición particular. Un experto en la técnica, utilizando las divulgaciones proporcionadas en el presente documento, apreciarán que las diversas etapas de los procedimientos se pueden omitir, reorganizar, combinar y/o adaptar de diversas formas.

**[0037]** En (502), el procedimiento incluye recibir señales indicativas de corrientes de puente de circuitos de puente conectados en paralelo utilizados en un convertidor de potencia de un sistema de turbina eólica con DFIG. Por ejemplo, el procedimiento puede incluir recibir una primera señal indicativa de corriente de puente desde un primer sensor de corriente configurado para supervisar la corriente asociada a un primer circuito de puente y recibir

una segunda señal indicativa de corriente de puente desde un segundo sensor de corriente configurado para supervisar la corriente asociada a un segundo circuito de puente acoplado en paralelo al primer circuito de puente. Las señales se pueden recibir desde cualquier sensor de corriente o dispositivo de medición de corriente adecuados, tal como una derivación de corriente ("current shunt").

5

**[0038]** En (504), las señales indicativas de la corriente de puente se procesan para generar una señal de retroalimentación. La señal de retroalimentación puede ser indicativa de la diferencia entre la corriente de puente del primer circuito de puente y la corriente de puente del segundo circuito de puente. En un aspecto, la señal de retroalimentación es una señal compleja que incluye una componente real indicativa de la diferencia de magnitud de las corrientes de puente y una componente reactiva indicativa de la diferencia de fase de las corrientes de puente.

10

**[0039]** En (506), el procedimiento incluye generar consignas de control, tales como consignas de modulación por ancho de pulso, para excitar los dispositivos de conmutación (por ejemplo, IGBT) utilizados en los circuitos de puente en base a la señal de retroalimentación. En particular, se pueden generar consignas de modulación por ancho de pulso para reducir el desequilibrio de corriente o la diferencia de corriente de puente entre los circuitos de puente conectados en paralelo. Las consignas de modulación por ancho de pulso pueden ajustar la modulación por ancho de pulso de uno o más de los dispositivos de conmutación utilizados en los circuitos de puente de manera que haya una corriente de circulación reducida entre los circuitos de puente conectados en paralelo durante condiciones transitorias.

15

20

**[0040]** En (508), las consignas de modulación por ancho de pulso se acondicionan como señales adecuadas para excitar los dispositivos de conmutación, tales como señales adecuadas para excitar las puertas de los IGBT utilizados en los circuitos de puente. Por ejemplo, el procedimiento puede incluir amplificar, aislar y/o cambiar de nivel las consignas de modulación por ancho de pulso para controlar señales adecuadas para excitar los dispositivos de conmutación utilizados en los circuitos de puente.

25

**[0041]** Finalmente, en (510), el procedimiento incluye modular los dispositivos de conmutación (por ejemplo, IGBT) de los circuitos de puente de acuerdo con las consignas de modulación por ancho de pulso. Preferentemente, los dispositivos de conmutación se modulan de manera que se mejore el equilibrio de corriente entre los circuitos de puente conectados en paralelo, lo que da lugar a un funcionamiento más eficiente del convertidor de potencia.

30

**[0042]** En esta descripción escrita se utilizan ejemplos para divulgar la invención, incluyendo el modo preferente, y asimismo para permitir que cualquier experto en la técnica lleve a la práctica la invención, lo cual incluye fabricar y utilizar cualquier dispositivo o sistema y realizar cualquier procedimiento incorporado. El alcance patentable de la invención está definido por las reivindicaciones y puede incluir otros ejemplos que se les ocurran a los expertos en la técnica. Tales otros ejemplos pretenden estar dentro del alcance de las reivindicaciones si incluyen elementos estructurales que no difieren del lenguaje literal de las reivindicaciones o si incluyen elementos estructurales equivalentes con diferencias insustanciales con respecto al lenguaje literal de las reivindicaciones.

35

40

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema de control (300) para reducir el desequilibrio de corriente en un convertidor de potencia (162) de un sistema de generador de inducción doblemente alimentado (120), estando el convertidor de potencia (162) acoplado a un rotor de un generador de inducción doblemente alimentado, comprendiendo el convertidor de potencia (162) una pluralidad de circuitos de puente (210) acoplados en paralelo, comprendiendo el sistema de control (176):
- una pluralidad de sensores de corriente (230, 235), estando cada uno de la pluralidad de sensores de corriente acoplado a uno de la pluralidad de circuitos de puente (210) y capaces de proporcionar una señal indicativa de una corriente de puente de CA de uno de la pluralidad de circuitos de puente (210);
- un circuito de generación de errores (310) acoplado a la pluralidad de sensores de corriente (230, 235), el circuito de generación de errores (310) operable para procesar señales indicativas de corriente de puente recibidas desde los sensores de corriente (230, 235) para generar una señal de retroalimentación indicativa de la diferencia de corriente de puente entre la pluralidad de circuitos de puente (210); y
- un circuito de control (320) acoplado al circuito de generación de errores (310), estando el circuito de control (320) configurado para generar consignas de control para excitar cada uno de la pluralidad de circuitos de puente (250, 260) en base a, al menos en parte, la señal de retroalimentación;
- en el que:
- la señal de retroalimentación es indicativa de la diferencia de magnitud y fase en la corriente de puente de la pluralidad de circuitos de puente (210);
- y en el que múltiples circuitos de puente están conectados en paralelo para cada fase de salida del sistema de generador de inducción doblemente alimentado (120).
2. El sistema de control (300) de la reivindicación 1, en el que cada uno de la pluralidad de circuitos de puente (210) comprende un par de elementos de conmutación acoplados en serie entre sí.
3. El sistema de control (300) de la reivindicación 2, en el que la pluralidad de elementos de conmutación comprende transistores bipolares de puerta aislada (IGBT).
4. El sistema de control (300) de cualquier reivindicación precedente, en el que al menos un elemento inductivo (240, 245) está acoplado entre la pluralidad de circuitos de puente (210).
5. El sistema de control (300) de cualquier reivindicación precedente, en el que cada uno de la pluralidad de sensores de corriente (230, 235) comprende una derivación de corriente.
6. El sistema de control (300) de cualquier reivindicación precedente, en el que las consignas de control comprenden consignas de modulación por ancho de pulso para excitar cada uno de la pluralidad de circuitos de puente (210).
7. El sistema de control (300) de cualquier reivindicación precedente, en el que las consignas de control se generan para reducir el desequilibrio de corriente entre la pluralidad de circuitos de puente (210) acoplados en paralelo.
8. Un procedimiento (500) para reducir el desequilibrio de corriente en un convertidor de potencia (162) de un sistema de generador de inducción doblemente alimentado (120), estando el convertidor de potencia (162) acoplado a un rotor de un generador de inducción doblemente alimentado, comprendiendo el convertidor de potencia un primer y un segundo circuito de puente (210) acoplados en paralelo, comprendiendo el procedimiento:
- recibir una primera señal desde un primer sensor de corriente (230) indicativa de una corriente de puente de CA del primer circuito de puente (210);
- recibir una segunda señal desde un segundo sensor de corriente (235) indicativa de una corriente de puente de CA del segundo circuito de puente (210);
- procesar las primera y segunda señales para generar una señal de retroalimentación indicativa de la diferencia entre la corriente de puente del primer circuito de puente (210) y la corriente de puente del segundo circuito de puente (210); y

generar consignas de control para excitar el primer y segundo circuitos de puente (210) en base a la señal de retroalimentación para reducir el desequilibrio de corriente entre los primer y segundo circuitos de puente (210);

5 en el que:

la señal de retroalimentación es indicativa de la diferencia de magnitud y fase en la corriente de puente de la pluralidad de circuitos de puente (210);

10 y en el que el primer y segundo circuito de puente están conectados en paralelo para una fase de salida del sistema de generador de inducción doblemente alimentado (120).

9. El procedimiento (500) de la reivindicación 8, en el que las consignas de control comprenden consignas de modulación por ancho de pulso que permiten controlar la modulación por ancho de pulso del primer y segundo circuito de puente (210).

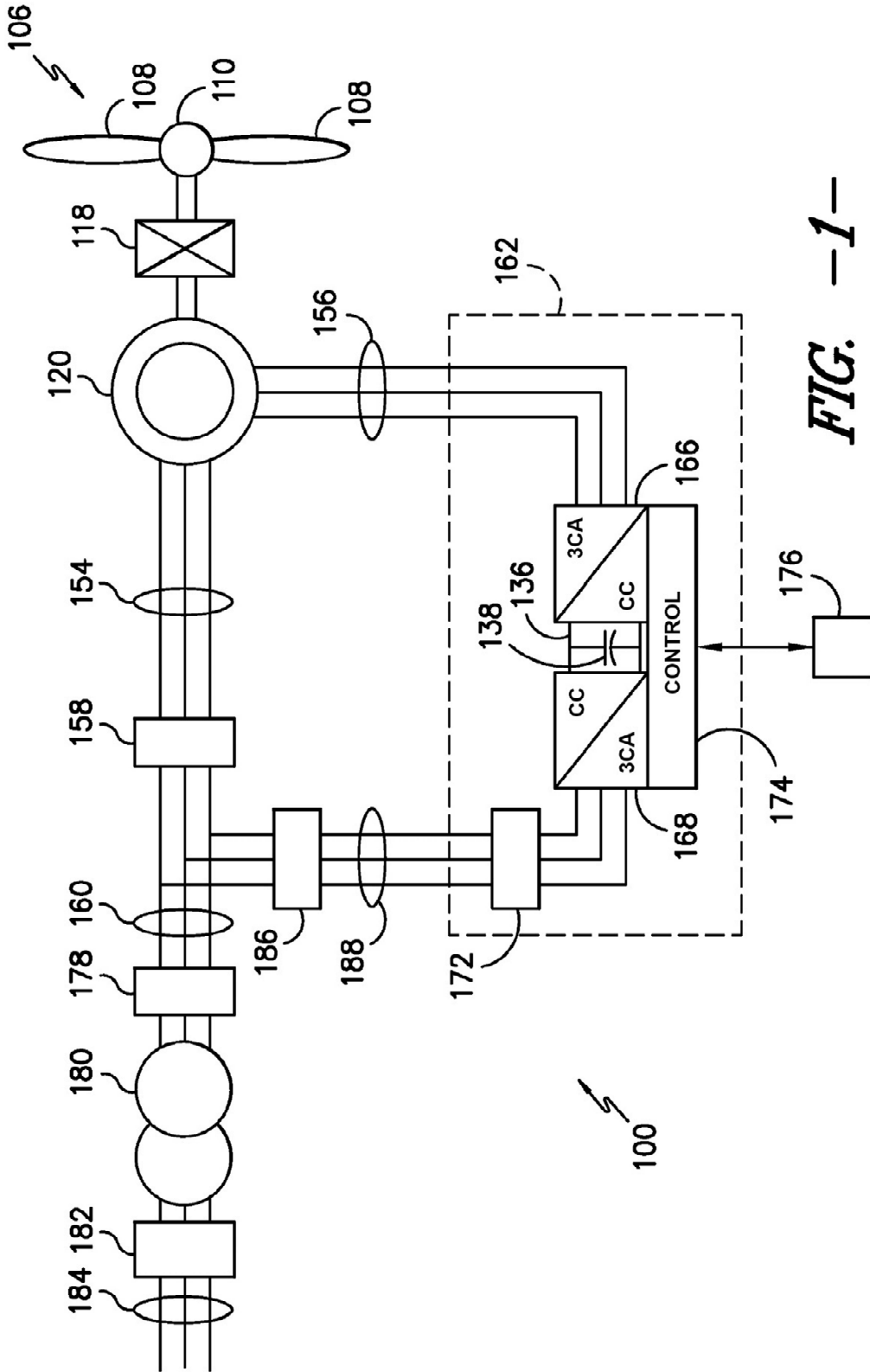
10. El procedimiento (500) de la reivindicación 8 o la reivindicación 9, en el que la señal de retroalimentación es indicativa de la diferencia de magnitud y fase en la corriente de puente entre el primer circuito de puente (210) y el segundo circuito de puente (210).

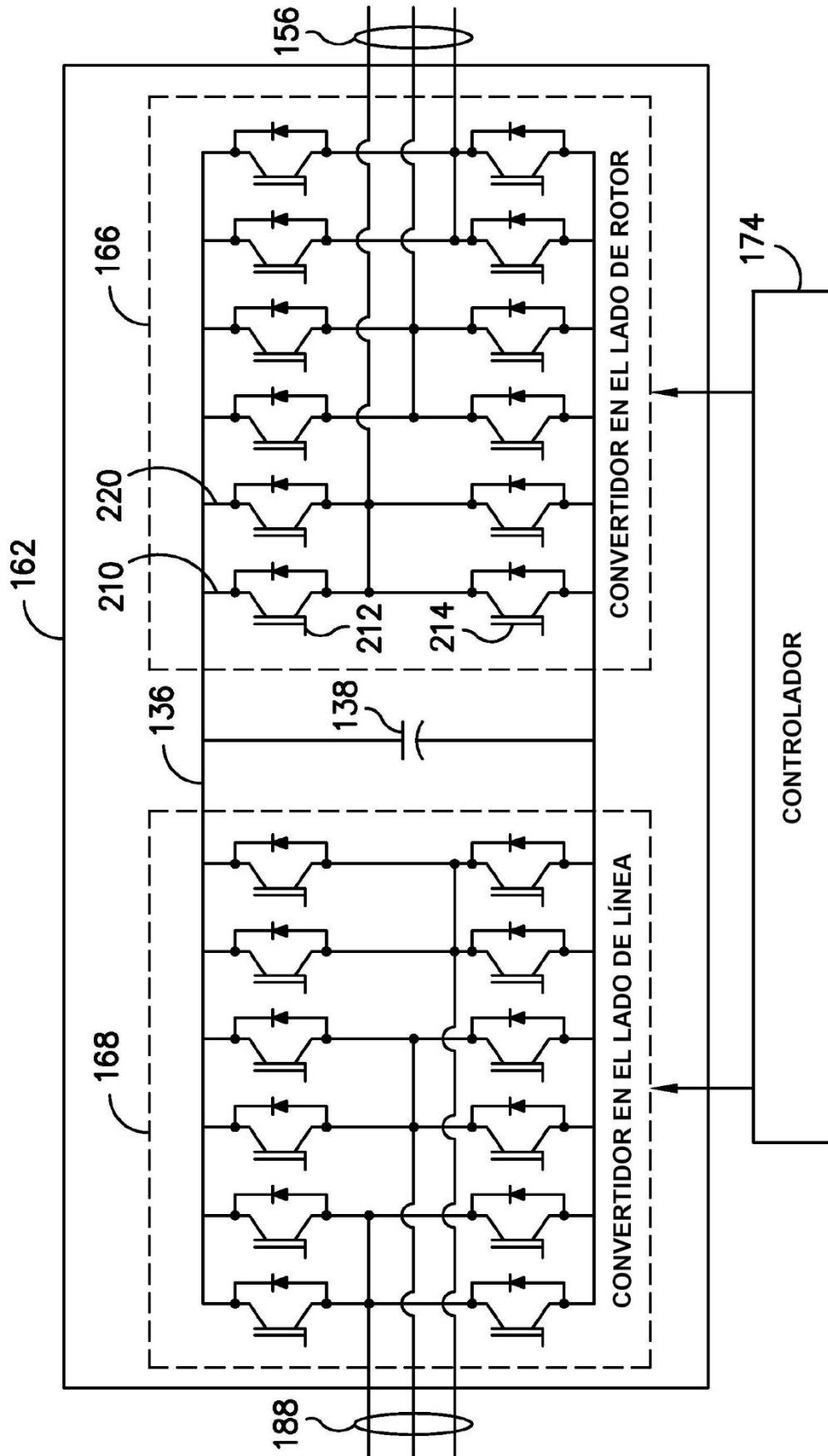
11. El procedimiento (500) de cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, en el que el primer sensor de corriente (230) y el segundo sensor de corriente (235) comprenden una derivación de corriente.

12. El procedimiento (500) de cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11, en el que el primer y segundo circuito de puente (210) comprenden cada uno una pluralidad de transistores bipolares de puerta aislada (212, 214).

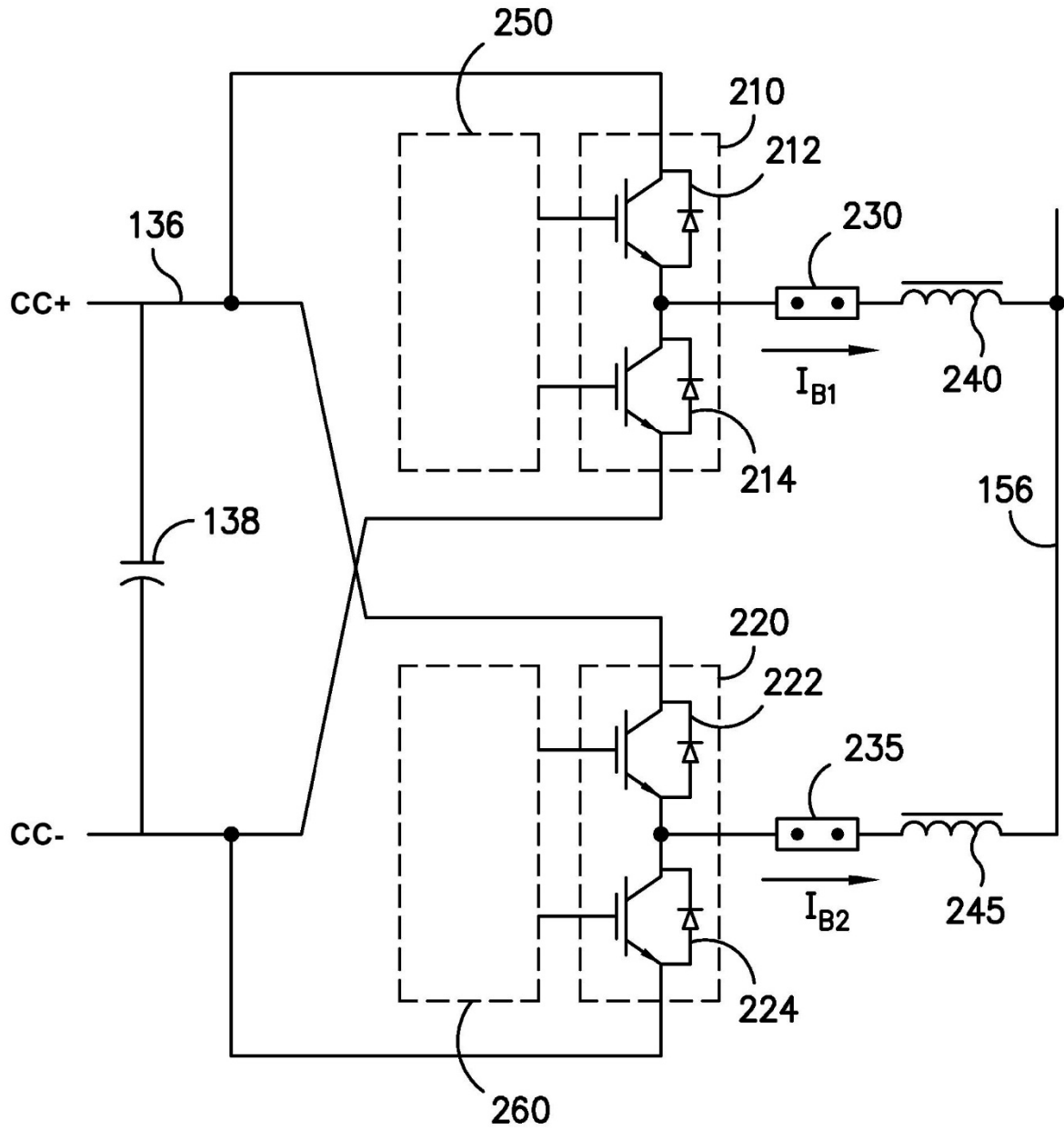
13. El procedimiento (500) de la reivindicación 12, en el que el procedimiento comprende además acondicionar cada una de las consignas de control como consignas de puerta para excitar los transistores bipolares de puerta aislada (212, 214).

30

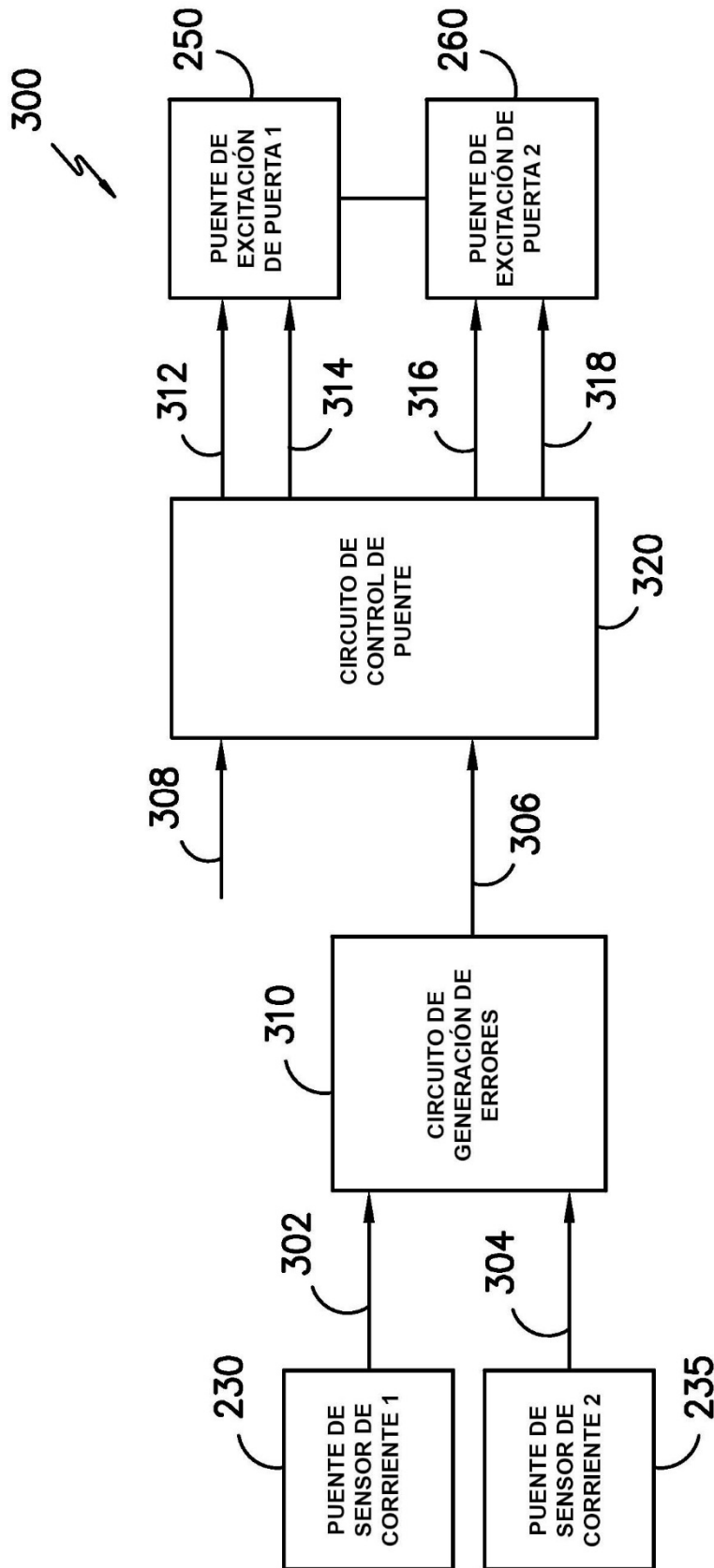




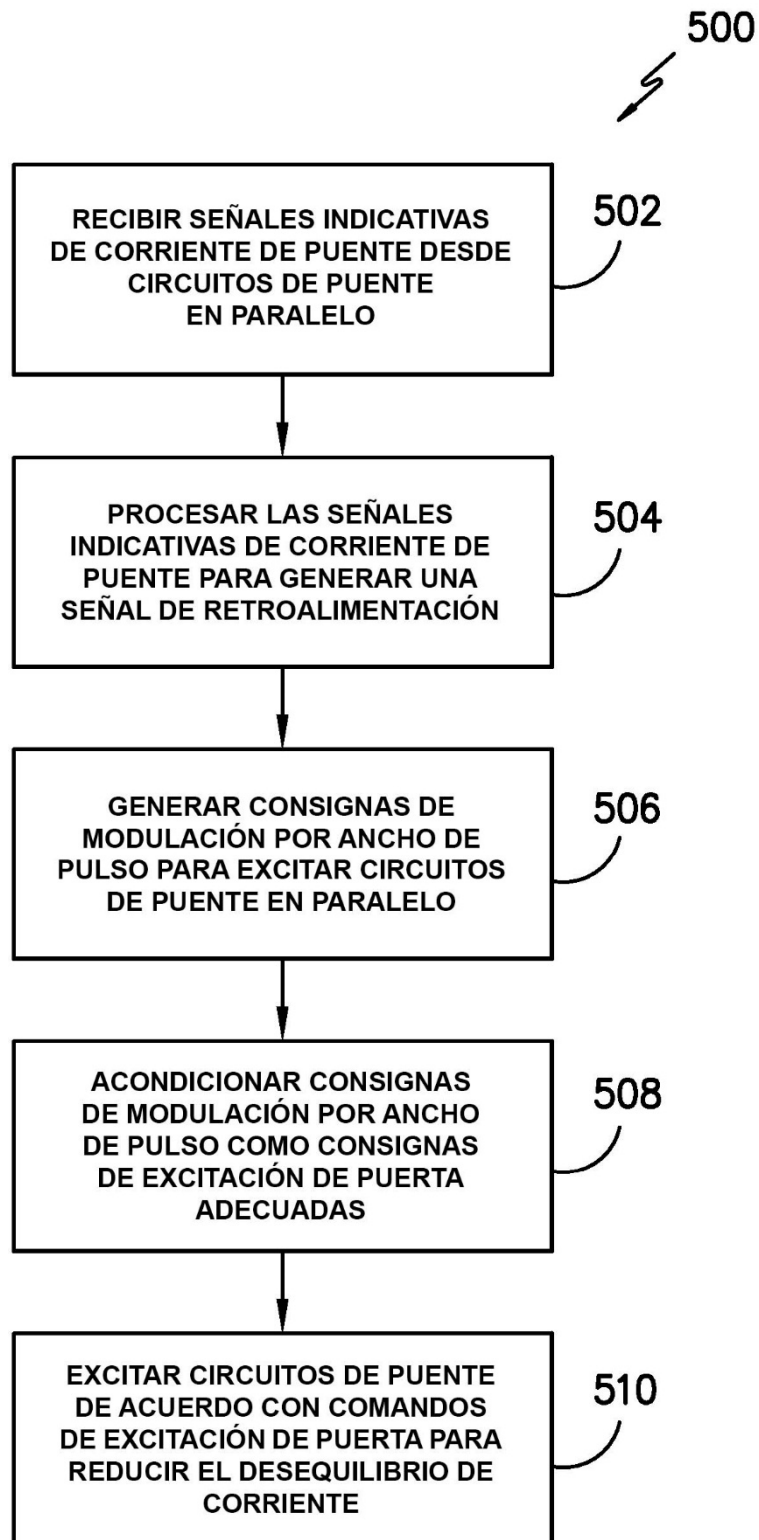
**FIG. -2-**



**FIG. -3-**



**FIG. -4-**



**FIG. -5-**