

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 968 033**

51 Int. Cl.:

H02J 3/18 (2006.01)
H02J 3/38 (2006.01)
H02J 3/46 (2006.01)
H02J 3/50 (2006.01)
H02M 5/458 (2006.01)
H02J 3/01 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.05.2018** **PCT/US2018/030581**
87 Fecha y número de publicación internacional: **08.11.2018** **WO18204449**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.05.2018** **E 18794664 (5)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.09.2023** **EP 3619785**

54 Título: **Sistemas de potencia eléctrica que tienen componentes de potencia reactiva y soporte de armónicos**

30 Prioridad:

05.05.2017 US 201715587437

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
06.05.2024

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**WAGONER, ROBERT, GREGORY;
SCHNETZKA, HAROLD, ROBERT;
BOLLENBECKER, JOHN, LEO y
GANIREDDY, GOVARDHAN**

74 Agente/Representante:

DE ROOIJ, Mathieu Julien

ES 2 968 033 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

Sistemas de potencia eléctrica que tienen componentes de potencia reactiva y soporte de armónicos

5 Campo de la invención

[0001] La presente divulgación se refiere en general a sistemas de potencia eléctrica para proporcionar potencia a una red de potencia desde, por ejemplo, turbinas eólicas.

10 Antecedentes de la invención

[0002] La potencia eólica se considera una de las fuentes de energía más limpias y más respetuosas con el medioambiente disponibles actualmente, y las turbinas eólicas han obtenido una creciente atención a este respecto. Una turbina eólica moderna incluye típicamente una torre, un generador, una multiplicadora, una góndola y una o más palas de rotor. Las palas de rotor captan energía cinética del viento usando principios de perfil alar conocidos. Por ejemplo, las palas de rotor típicamente tienen el perfil de sección transversal de un perfil alar de modo que, durante la operación, el aire fluye sobre la pala produciendo una diferencia de presión entre los lados. En consecuencia, una fuerza de elevación, que se dirige desde un lado de presión hacia un lado de succión, actúa sobre la pala. La fuerza de elevación genera un par de torsión en el eje de rotor principal, que se engrana a un generador para producir electricidad.

[0003] Por ejemplo, la FIG. 1 ilustra una turbina eólica 10. Como se muestra, la turbina eólica 10 incluye una góndola 14 que típicamente aloja un generador. La góndola 14 se monta sobre una torre 12 que se extiende desde una superficie de soporte (no mostrada). La turbina eólica 10 también incluye un rotor 16 que incluye una pluralidad de palas de rotor 20 unidas a un buje rotatorio 18. A medida que el viento impacta en las palas de rotor 20, las palas 20 transforman la energía del viento en un par de torsión rotacional mecánico que acciona de forma rotatoria un eje lento 22 (fig. 2). El eje lento 22 se configura para accionar una multiplicadora 24 (fig. 2) (cuando está presente) que posteriormente aumenta la baja velocidad rotacional del eje lento 22 para accionar un eje rápido 26 (fig. 2) a una velocidad rotacional incrementada.

[0004] El eje 22 o 26 se puede acoplar de forma rotatoria a un generador de un sistema de potencia eléctrica. En algunos modos de realización, por ejemplo, el generador es un generador de inducción de doble alimentación o DFIG. En otros modos de realización, el sistema de potencia eléctrica es un sistema de conversión total acoplado solo al estátor del generador. En cualquier caso, el sistema de potencia eléctrica proporciona la potencia generada por la turbina eólica 10 a la red de potencia como potencia eléctrica en una forma adecuada para su uso en la red de potencia.

[0005] Un tema que se debe abordar en los sistemas de potencia es la generación de potencia reactiva como se solicita por las empresas de servicios públicos, además de la potencia real. Otro tema que se debe abordar en los sistemas de potencia son los armónicos. Los sistemas de generación de potencia conectados a una red de suministro deben cumplir determinados requisitos de agencia en materia de armónicos.

[0006] El documento US2012/101643A1 describe un controlador de potencia reactiva para controlar la potencia reactiva en un parque eólico;

[0007] El documento US2017/025858A1 describe la reconfiguración del circuito de potencia reactiva de una planta de potencia eólica.

[0008] En consecuencia, serían ventajosos los sistemas de potencia que incluyen rasgos característicos para incrementar la generación de potencia reactiva y al mismo tiempo reducir las corrientes armónicas que se inyectan en la red de potencia, en particular en vista de los requisitos de armónicos de agencia.

Breve descripción de la invención

[0009] Los aspectos y ventajas de la invención se expondrán en parte en la siguiente descripción, o pueden ser obvios a partir de la descripción, o se pueden aprender a través de la práctica de la invención.

[0010] De acuerdo con la invención, se proporciona un sistema de potencia eléctrica conectable a una red de potencia de acuerdo con la reivindicación 1.

[0011] Estos y otros rasgos característicos, aspectos y ventajas de la presente invención se entenderán mejor con referencia a la siguiente descripción y reivindicaciones adjuntas. Los dibujos adjuntos, que se incorporan en y constituyen una parte de la presente memoria descriptiva, ilustran modos de realización de la invención y, conjuntamente con la descripción, sirven para explicar los principios de la invención.

Breve descripción de los dibujos

[0012] Una divulgación completa y suficiente de la presente invención, incluyendo el mejor modo de la misma, dirigida a un experto en la técnica, se expone en la memoria descriptiva, que hace referencia a las figuras adjuntas, en las que:

- 5 la FIG. 1 ilustra una vista en perspectiva de una parte de un modo de realización de una turbina eólica de acuerdo con la construcción convencional;
- 10 la FIG. 2 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de un sistema de potencia eléctrica para su uso con una turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación;
- 15 la FIG. 3 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de un parque eólico de acuerdo con la presente divulgación, que ilustra en particular una pluralidad de sistemas de potencia de turbinas eólicas tales como los ilustrados en la FIG. 2 conectados a un único transformador de subestación;
- 20 la FIG. 4 ilustra un diagrama esquemático de otro modo de realización de un sistema de potencia eléctrica para una turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación;
- 25 la FIG. 5 ilustra un diagrama esquemático de otro modo de realización de un parque eólico de acuerdo con la presente divulgación, que ilustra, en particular, una pluralidad de agrupaciones de turbinas eólicas, cada una conectada a la red por medio de un transformador de agrupación;
- 30 la FIG. 6 ilustra un diagrama de bloques de un modo de realización de un controlador de turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación;
- 35 la FIG. 7 ilustra un diagrama esquemático de otro modo de realización de un sistema de potencia eléctrica para una turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación;
- 40 la FIG. 8 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de un inversor de compensación de potencia reactiva para su uso en un sistema de potencia eléctrica de acuerdo con la presente divulgación;
- 45 la FIG. 9 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de un filtro de armónicos activo para su uso en un sistema de potencia eléctrica de acuerdo con la presente divulgación;
- 50 la FIG. 10 ilustra un diagrama esquemático de otro modo de realización de un inversor de compensación de potencia reactiva para su uso en un sistema de potencia eléctrica de acuerdo con la presente divulgación; y
- 55 la FIG. 11 ilustra un diagrama esquemático de otro modo de realización de un filtro de armónicos activo para su uso en un sistema de potencia eléctrica de acuerdo con la presente divulgación.

Descripción detallada de la invención

[0013] Ahora se hará referencia en detalle a modos de realización de la invención, de los que uno o más ejemplos se ilustran en los dibujos. Cada ejemplo se proporciona a modo de explicación de la invención, no de limitación de la invención. Por ejemplo, los rasgos característicos ilustrados o descritos como parte de un modo de realización se pueden usar con otro modo de realización para producir todavía otro modo de realización si dichas modificaciones y variaciones entran dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

[0014] La FIG. 2 ilustra un subsistema de potencia eléctrica 27 de acuerdo con modos de realización de la presente divulgación. En estos modos de realización, el eje rápido 26 en general se acopla de forma rotatoria a un generador 28 (tal como un generador de inducción de doble alimentación o DFIG) para accionar de forma rotatoria un rotor de generador 30. Como tal, se puede inducir un campo magnético rotatorio por el rotor de generador 30 y se puede inducir un voltaje dentro de un estátor de generador 32 que se acopla magnéticamente al rotor de generador 30. La potencia eléctrica asociada se puede transmitir desde el estátor de generador 32 a un transformador de tres devanados principal 34 que típicamente se conecta a una red de potencia por medio de un disyuntor de red 36. Por tanto, el transformador principal 34 aumenta la amplitud de voltaje de la potencia eléctrica de modo que la potencia eléctrica transformada se pueda transmitir además a la red de potencia.

[0015] Además, como se muestra, el generador 28 típicamente se acopla eléctricamente a un convertidor de potencia bidireccional 38 que incluye un convertidor de lado de rotor 40 unido a un convertidor de lado de línea 42 por medio de un enlace de CC regulado 44. El convertidor de lado de rotor 40 convierte la potencia de CA proporcionada desde el rotor 30 en potencia de CC y proporciona la potencia de CC al enlace de CC 44. El convertidor de lado de línea 42 convierte la potencia de CC del enlace de CC 44 en potencia de salida de CA adecuada para la red de potencia. Por tanto, la potencia de CA del convertidor de potencia 38 se puede combinar con la potencia del estátor 32 por medio de una ruta de potencia de convertidor 63 y una ruta de potencia de estátor 62 para proporcionar potencia multifásica (por ejemplo, potencia trifásica) que tiene una frecuencia mantenida sustancialmente a la frecuencia de la red de potencia (por ejemplo, 50 Hz/60 Hz).

[0016] Como se muestra en la FIG. 2, el transformador de tres devanados ilustrado 34 típicamente tiene (1) un devanado primario de voltaje medio (MV) de 33 kilovoltios (kV) 33 conectado a la red de potencia, (2) un devanado secundario de MV de 6 a 13,8 kV 35 conectado al estátor de generador 32 por medio de la ruta de potencia de estátor 62, y (3) un devanado terciario de voltaje bajo (LV) de 690 a 900 voltios (V) 37 conectado al convertidor de potencia de lado de línea 42 por medio de la ruta de potencia de convertidor 63.

[0017] En referencia ahora a la FIG. 3, los subsistemas de potencia individuales 27 de una pluralidad de turbinas eólicas 10 se pueden disponer en una localización geológica predeterminada y conectarse eléctricamente entre sí para formar un sistema de potencia eléctrica 46. Más específicamente, como se muestra, las turbinas eólicas 10 se pueden disponer en una pluralidad de agrupaciones 48, con cada agrupación conectada por separado a una línea principal 50 por medio de conmutadores 51, 52, 53, respectivamente. Además, como se muestra, la línea principal 50 se puede acoplar eléctricamente a otro transformador más grande 54 para aumentar además la amplitud de voltaje de la potencia eléctrica de los grupos 48 de turbinas eólicas 10 antes de enviar la potencia a la red. Una ruta de potencia de agrupación 60 puede conectar eléctricamente la agrupación 48 al transformador 54. La ruta de potencia de agrupación 60 se puede extender, por ejemplo, para cada subsistema 27 desde el disyuntor de subsistema 36 hasta el transformador 54, tal como por medio de la línea principal 50.

[0018] En referencia ahora a la FIG. 4, se ilustra un diagrama esquemático de otro modo de realización de un subsistema de potencia eléctrica 102 de acuerdo con la presente divulgación. Se debe entender que el término "subsistema" se usa en el presente documento para distinguir entre los sistemas de potencia individuales (por ejemplo, como se muestra en la FIG. 4 o la FIG. 2) y el sistema de potencia eléctrica global 105 de la FIG. 5 o 46 de la FIG. 3, que incluye una pluralidad de subsistemas de potencia eléctrica 102 o 27. Los expertos en la técnica, sin embargo, reconocerán que el subsistema de potencia eléctrica 102 de la FIG. 4 (o 27 de la FIG. 2) también se puede denominar de forma más genérica, tal como simplemente un sistema (en lugar de un subsistema). Por lo tanto, dichos términos se pueden usar de manera intercambiable y no pretenden ser limitantes.

[0019] Además, como se muestra en la FIG. 4, el subsistema de potencia eléctrica 102 puede corresponder a un sistema de potencia de turbina eólica 100. Más específicamente, como se muestra, el sistema de potencia de turbina eólica 100 incluye un rotor 104 que incluye una pluralidad de palas de rotor 106 unidas a un buje rotatorio 108. A medida que el viento impacta en las palas de rotor 106, las palas 106 transforman la energía del viento en un par de torsión rotacional mecánico que acciona de forma rotatoria un eje lento 110. El eje lento 110 se configura para accionar una multiplicadora 112 que posteriormente aumenta la baja velocidad rotacional del eje lento 110 para accionar un eje rápido 114 a una velocidad rotacional incrementada. El eje rápido 114 en general se acopla de forma rotatoria a un generador de inducción de doble alimentación 116 (denominado a continuación en el presente documento DFIG 116) para accionar de forma rotatoria un rotor de generador 118. Como tal, se puede inducir un campo magnético rotatorio por el rotor de generador 118 y se puede inducir un voltaje dentro de un estátor de generador 120 que se acopla magnéticamente al rotor de generador 118. En un modo de realización, por ejemplo, el generador 116 se configura para convertir la energía mecánica rotacional en una señal de energía eléctrica de corriente alterna (CA) trifásica sinusoidal en el estátor de generador 120. Por tanto, como se muestra, la potencia eléctrica asociada se puede transmitir desde el estátor de generador 120 directamente a la red.

[0020] Además, como se muestra en la FIG. 4, el generador 116 se acopla eléctricamente a un convertidor de potencia bidireccional 122 que incluye un convertidor de lado de rotor 124 unido a un convertidor de lado de línea 126 por medio de un enlace de CC regulado 128. Por tanto, el convertidor de lado de rotor 124 convierte la potencia de CA proporcionada desde el rotor de generador 118 en potencia de CC y proporciona la potencia de CC al enlace de CC 128. El convertidor de lado de línea 126 convierte la potencia de CC del enlace de CC 128 en potencia de salida de CA adecuada para la red de potencia. Más específicamente, como se muestra, la potencia de CA del convertidor de potencia 122 se puede combinar con la potencia del estátor de generador 120 por medio de una ruta de potencia de convertidor 127 y una ruta de potencia de estátor 125, respectivamente. Por ejemplo, como se muestra, y a diferencia de los sistemas ilustrados en las FIGS. 2-3, la ruta de potencia de convertidor 127 puede incluir un transformador de potencia parcial 130 para aumentar la amplitud de voltaje de la potencia eléctrica del convertidor de potencia 122 de modo que la potencia eléctrica transformada se pueda transmitir además a la red de potencia. Por tanto, como se muestra, el sistema ilustrado 102 de la FIG. 4 no incluye el transformador principal de tres devanados descrito anteriormente. Más bien, como se muestra en el modo de realización ilustrado, el transformador de potencia parcial 130 puede corresponder a un transformador de dos devanados que tiene un devanado primario 132 conectado a la red de potencia y un devanado secundario 134 conectado al convertidor de lado de línea 126. En particular, el transformador de potencia parcial puede incluir en algunos modos de realización un tercer devanado auxiliar para cargas auxiliares.

[0021] Además, el subsistema de potencia eléctrica 102 puede incluir un controlador de turbina 136 configurado para controlar cualquiera de los componentes de la turbina eólica 100 y/o implementar las etapas de procedimiento como se describe en el presente documento. Por ejemplo, como se muestra en particular en la FIG. 6, el controlador de turbina 136 puede incluir uno o más procesadores 138 y dispositivos de memoria asociados 140 configurados para realizar una variedad de funciones implementadas por ordenador (por ejemplo, realizar los procedimientos, etapas, cálculos y similares y almacenar datos pertinentes como se divulga en el presente documento). Adicionalmente, el

controlador de turbina 136 también puede incluir un módulo de comunicaciones 142 para facilitar las comunicaciones entre el controlador de turbina 136 y los diversos componentes de la turbina eólica 100, por ejemplo, cualquiera de los componentes de las FIGS. 4 y 5. Además, el módulo de comunicaciones 142 puede incluir una interfaz de sensor 144 (por ejemplo, uno o más convertidores de analógico a digital) para permitir que las señales transmitidas desde uno o más sensores 139, 141, 143 se conviertan en señales que se puedan entender y procesar por los procesadores 138. Se debe apreciar que los sensores 139, 141, 143 se pueden acoplar de forma comunicativa al módulo de comunicaciones 142 usando cualquier medio adecuado. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 6, los sensores 139, 141, 143 se pueden acoplar a la interfaz de sensor 144 por medio de una conexión por cable. Sin embargo, en otros modos de realización, los sensores 139, 141, 143 se pueden acoplar a la interfaz de sensor 144 por medio de una conexión inalámbrica, tal como usando cualquier protocolo de comunicaciones inalámbricas adecuado conocido en la técnica. Como tal, el procesador 138 se puede configurar para recibir una o más señales desde los sensores 139, 141, 143.

[0022] Como se usa en el presente documento, el término "procesador" no solo se refiere a circuitos integrados a los que se hace referencia en la técnica como incluidos en un ordenador, sino que también se refiere a un controlador, un microcontrolador, un microordenador, un controlador de lógica programable (PLC), un circuito integrado específico de la aplicación y otros circuitos programables. El procesador 138 también se configura para computar algoritmos de control avanzados y comunicarse con una variedad de protocolos basados en Ethernet o en serie (Modbus, OPC, CAN, etc.). Adicionalmente, el/los dispositivo(s) de memoria 140 puede(n) comprender en general elemento(s) de memoria incluyendo, pero sin limitarse a, medio legible por ordenador (por ejemplo, una memoria de acceso aleatorio (RAM)), medio no volátil legible por ordenador (por ejemplo, una memoria *flash*), un disquete, una memoria de solo lectura en disco compacto (CD-ROM), un disco magnetoóptico (MOD), un disco versátil digital (DVD) y/u otros elementos de memoria adecuados. Dicho(s) dispositivo(s) de memoria 140 se puede(n) configurar en general para almacenar instrucciones legibles por ordenador adecuadas que, cuando se implementan por el/los procesador(es) 138, configuran el controlador de turbina 136 para realizar las diversas funciones como se describe en el presente documento.

[0023] En operación, la potencia de corriente alterna (CA) generada en el estátor de generador 120 por la rotación del rotor 104 se proporciona por medio de una ruta doble a la red, es decir, por medio de la ruta de potencia de estátor 125 y la ruta de potencia de convertidor 127. Más específicamente, el convertidor de lado de rotor 124 convierte la potencia de CA proporcionada desde el rotor de generador 118 en potencia de CC y proporciona la potencia de CC al enlace de CC 128. Los elementos de conmutación (por ejemplo, IGBT) usados en los circuitos de puente del convertidor de lado de rotor 124 se pueden modular para convertir la potencia de CA proporcionada desde el rotor de generador 118 en potencia de CC adecuada para el enlace de CC 128. El convertidor de lado de línea 126 convierte la potencia de CC del enlace de CC 128 en potencia de salida de CA adecuada para la red. En particular, los elementos de conmutación (por ejemplo, IGBT) usados en los circuitos de puente del convertidor de lado de línea 126 se pueden modular para convertir la potencia de CC del enlace de CC 128 en potencia de CA. De este modo, la potencia de CA del convertidor de potencia 122 se puede combinar con la potencia del estátor de generador 120 para proporcionar una potencia multifásica que tiene una frecuencia que se mantiene sustancialmente a la frecuencia de la red. Se debe entender que el convertidor de lado de rotor 124 y el convertidor de lado de línea 126 pueden tener cualquier configuración usando cualquier dispositivo de conmutación que facilite la operación de un sistema de potencia eléctrica como se describe en el presente documento.

[0024] Además, el convertidor de potencia 122 se puede acoplar en comunicación de datos electrónica con el controlador de turbina 136 y/o un controlador de convertidor 154 separado o integral para controlar la operación del convertidor de lado de rotor 124 y el convertidor de lado de línea 126. Por ejemplo, durante la operación, el controlador de turbina 136 se puede configurar para recibir una o más señales de medición de voltaje y/o corriente eléctrica desde el primer conjunto de sensores de voltaje y corriente eléctrica 139, 141, 143. Por tanto, el controlador de turbina 136 se puede configurar para supervisar y controlar al menos algunas de las variables operativas asociadas con la turbina eólica 100 por medio de los sensores 139, 141, 143. En el modo de realización ilustrado, los sensores de corriente eléctrica 139, 141, 143 se pueden acoplar eléctricamente a cualquier parte del subsistema de potencia eléctrica 102 que facilite la operación del subsistema de potencia eléctrica 102 como se describe en el presente documento.

[0025] También se debe entender que se puede emplear un número o tipo cualquiera de sensores de voltaje y/o corriente eléctrica dentro de la turbina eólica 100 y en cualquier localización. Por ejemplo, los sensores pueden ser transformadores de corriente, sensores de derivación, bobinas de Rogowski, sensores de corriente de efecto Hall, unidades de medición microinerciales (MIMU) o similares, y/o cualquier otro sensor de voltaje o corriente eléctrica adecuado actualmente conocido o desarrollado posteriormente en la técnica. Por tanto, el controlador de convertidor 154 se configura para recibir una o más señales de realimentación de voltaje y/o corriente eléctrica desde los sensores de corriente eléctrica 139, 141, 143. Más específicamente, en determinados modos de realización, las señales de realimentación de corriente o voltaje pueden incluir al menos una de señales de realimentación de línea, señales de realimentación de convertidor de lado de línea, señales de realimentación de convertidor de lado de rotor o señales de realimentación de estátor.

[0026] En referencia en particular a la FIG. 5, los sistemas de potencia individuales (tales como el subsistema de potencia 102 ilustrado en la FIG. 4) se pueden disponer en al menos dos agrupaciones 137 para formar un sistema

de potencia eléctrica 105. Más específicamente, como se muestra, los sistemas de potencia de turbina eólica 100 se pueden disponer en una pluralidad de agrupaciones 137 para formar un parque eólico. Por tanto, como se muestra, cada agrupación 137 se puede conectar a un transformador de agrupación separado 145, 146, 147 por medio de conmutadores 151, 152, 153, respectivamente, para aumentar la amplitud de voltaje de la potencia eléctrica de cada agrupación 137 de modo que la potencia eléctrica transformada se puede transmitir además a la red de potencia. Además, como se muestra, los transformadores 145, 146, 147 se conectan a una línea principal 148 que combina la potencia de cada agrupación 137 antes de enviar la potencia a la red. En otras palabras, el circuito de potencia de estátor de todas las turbinas eólicas 100 comparte una referencia de tierra común proporcionada por el neutro del devanado secundario de los transformadores de agrupación 145, 146, 147 o de forma alternativa por un transformador de puesta a tierra neutro separado. Cada subsistema 102 se puede conectar a la agrupación 137 por medio de un disyuntor de subsistema 135, como se muestra. Una ruta de potencia de agrupación 170 puede conectar eléctricamente la agrupación 137 al transformador de agrupación 145, 146, 147. La ruta de potencia de agrupación 170 se puede extender, por ejemplo, para cada subsistema 102 desde el disyuntor de subsistema 135 hasta el transformador de agrupación 145, 146, 147, tal como hasta el devanado del transformador de agrupación al que se conecta el subsistema 102.

[0027] En referencia ahora a la FIG. 7, se ilustra otro modo de realización de un sistema de potencia eléctrica 200 que incluye un único subsistema 202. En este modo de realización, el subsistema 202 es un subsistema de conversión completa en lugar de un subsistema DFIG, con solo una única ruta de potencia de generador 210 desde el estátor 206 de un generador 204 (que también incluye un rotor 208) a través de un convertidor de potencia 212 hasta un transformador 214. El transformador 214 en estos modos de realización es un transformador de dos devanados que acopla eléctricamente la ruta de potencia de generador 210 a una ruta de potencia de red 216. La ruta de potencia de red 216 proporciona una ruta para el flujo de potencia eléctrica a la red de potencia.

[0028] El convertidor de potencia 212 puede incluir un convertidor de lado de generador 220, un convertidor de lado de línea 222 y un enlace de CC 224. Los elementos de conmutación (por ejemplo, IGBT) usados en los circuitos de puente del convertidor de lado de generador 220 se pueden modular para convertir la potencia de CA proporcionada desde el estátor de generador 206 en potencia de CC adecuada para el enlace de CC 224. El convertidor de lado de línea 222 convierte la potencia de CC del enlace de CC 224 en potencia de salida de CA adecuada para la red. En particular, los elementos de conmutación (por ejemplo, IGBT) usados en los circuitos de puente del convertidor de lado de línea 222 se pueden modular para convertir la potencia de CC del enlace de CC 224 en potencia de CA. Se debe entender que el convertidor de lado de generador 220 y el convertidor de lado de línea 222 pueden tener cualquier configuración usando cualquier dispositivo de conmutación que facilite la operación del sistema de potencia eléctrica 200 como se describe en el presente documento.

[0029] Se debe entender que el controlador de turbina 136 y el controlador 154 como se describe en el presente documento se pueden utilizar con cualquier sistema de potencia eléctrica, subsistema y convertidor de potencia del mismo adecuado como se analiza en el presente documento, tal como cualquier modo de realización como se analiza en las FIGS. 2-7.

[0030] En referencia ahora a las FIGS. 2-11, un sistema de potencia eléctrica 46, 105, 200 puede incluir uno o más subsistemas de potencia eléctrica 27, 102, 202 como se analiza en el presente documento. Además, un sistema de potencia eléctrica puede incluir un inversor de compensación de potencia reactiva 300 acoplado eléctricamente dentro del sistema de potencia eléctrica 46, 105, 200. El inversor de compensación de potencia reactiva 300 puede ser operable para incrementar el nivel de potencia reactiva en la corriente eléctrica que fluye hacia la red de potencia, como se analiza en el presente documento. Todavía además, en algunos modos de realización un sistema de potencia eléctrica puede incluir un filtro de armónicos activo 320 acoplado eléctricamente dentro del sistema de potencia eléctrica 46, 105, 200. El filtro de armónicos activo 320 puede ser operable para reducir los armónicos en la corriente eléctrica que fluye hacia la red de potencia, como se analiza en el presente documento. De forma ventajosa, el uso de un inversor de compensación de potencia reactiva 300 y/o filtro de armónicos activo 320 como se analiza en el presente documento puede incrementar eficazmente y de forma rentable el nivel de potencia reactiva y/o reducir la distorsión de corriente armónica en la corriente eléctrica que se genera por el sistema de potencia eléctrica 46, 105, 200.

[0031] El inversor de compensación de potencia reactiva 300 proporciona de forma ventajosa corriente a la frecuencia fundamental de red de potencia (es decir, 50 Hz o 60 Hz) para controlar el nivel de potencia reactiva, tal como en algunos modos de realización toda la potencia reactiva y ninguna potencia real. Debido a que el inversor de compensación de potencia reactiva 300 opera a una corriente de salida de frecuencia relativamente baja, el inversor de compensación de potencia reactiva 300 puede utilizar una frecuencia de conmutación relativamente lenta y rentable, tal como en el intervalo de 1 KHz a 5 KHz. Como se analiza en el presente documento, por tanto se pueden utilizar IGBT relativamente económicos en el inversor de compensación de potencia reactiva 300.

[0032] El filtro de armónicos activo 320 reduce o elimina las corrientes armónicas a frecuencias mayores que la frecuencia fundamental de red de potencia, tales como frecuencias armónicas del 2.º armónico al 50.º armónico. Debido a que el filtro de armónicos activo 320 opera a una corriente de salida de frecuencia relativamente alta, el filtro de armónicos activo 320 debe utilizar una frecuencia de conmutación relativamente alta, tal como en el intervalo de 20 KHz a 50 KHz. Como se analiza en el presente documento, los MOSFET se pueden utilizar por tanto según sea

necesario para producir un nivel relativamente menor de potencia (en relación con el producido por el inversor de compensación de potencia reactiva 300).

[0033] La FIG. 8 ilustra un modo de realización de un inversor de compensación de potencia reactiva 300. En este modo de realización, cada fase del inversor 300 incluye un primer elemento de conmutación 302 y un segundo elemento de conmutación 304 en serie entre sí. El inversor 300 puede incluir adicionalmente un condensador 306, como se muestra. Los elementos de conmutación 302 y 304 pueden ser cualquier dispositivo de conmutación adecuado. Sin embargo, en modos de realización ejemplares, el primer elemento de conmutación 302 y el segundo elemento de conmutación 304 son transistores bipolares de puerta aislada ("IGBT"). Cada IGBT puede tener una puerta, un colector y un emisor, como se muestra. Cabe destacar que la presente divulgación no se limita al modo de realización del inversor 300 descrito anteriormente. Más bien, se pueden utilizar otros modos de realización adecuados, tales como tener otras configuraciones de topología que incluyen, por ejemplo, tres o más niveles y/o más o menos de tres fases.

[0034] La FIG. 9 ilustra un modo de realización de un filtro de armónicos activo 320. En este modo de realización, cada fase del filtro 320 incluye un tercer elemento de conmutación 322 y un cuarto elemento de conmutación 324 en serie entre sí. El filtro 320 puede incluir adicionalmente un condensador 326, como se muestra. Los elementos de conmutación 322 y 324 pueden ser cualquier dispositivo de conmutación adecuado. Sin embargo, en modos de realización ejemplares, el tercer elemento de conmutación 322 y el cuarto elemento de conmutación 324 son transistores de efecto de campo metal-óxido-semiconductor ("MOSFET"). Además, de acuerdo con la invención, los MOSFET son MOSFET de carburo de silicio. En modos de realización alternativos, el tercer elemento de conmutación 322 y el cuarto elemento de conmutación 324 son IGBT. Cabe destacar que la presente divulgación no se limita al modo de realización del filtro 320 descrito anteriormente. Más bien, se pueden utilizar otros modos de realización adecuados, tales como tener otras configuraciones de topología que incluyen, por ejemplo, tres o más niveles y/o más o menos de tres fases.

[0035] Como se ilustra con mayor detalle en la FIG. 8 y 9, en algunos modos de realización se puede incluir una fuente de energía auxiliar 308 y/o 328. Por ejemplo, la FIG. 8 ilustra una fuente de energía auxiliar 308 conectada eléctricamente al inversor 300, y la FIG. 9 ilustra una fuente de energía auxiliar 328 conectada eléctricamente al filtro 320. En modos de realización en los que el inversor 300 y el filtro 320 están en la misma localización, se puede conectar eléctricamente una única fuente de energía auxiliar tanto al inversor 300 como al filtro 320. La fuente de energía auxiliar 308, 328 puede ser, por ejemplo, un panel solar o batería, y en algunos modos de realización puede incluir un convertidor CC/CC separado. Dicha fuente de energía auxiliar puede facilitar de forma ventajosa un flujo de potencia adicional al inversor 300 y/o al filtro 320 además del control de la potencia reactiva y la reducción de armónicos.

[0036] En algunos modos de realización, como se ilustra en las FIGS. 10 y 11, el inversor 300 o el filtro 320 se pueden configurar como uno o más puentes en H. Las FIGS. 10 y 11 ilustran cada una un modo de realización en el que cada fase del inversor 300 (FIG. 10) o filtro 320 (FIG. 11) utiliza múltiples puentes H conectados en serie. De forma alternativa, sin embargo, solo se puede utilizar un único puente H para cada fase.

[0037] En referencia de nuevo a las FIGS. 2-5 y 7, el inversor de compensación de potencia reactiva 300 y el filtro de armónicos activo 320 se pueden acoplar eléctricamente dentro del sistema de potencia eléctrica 46, 105, 200 en diversas localizaciones adecuadas. Más específicamente, el inversor de compensación de potencia reactiva 300 y el filtro de armónicos activo 320 se pueden acoplar en localizaciones particulares a lo largo de una o más rutas de potencia dentro de un sistema de potencia eléctrica 46, 105, 200. En algunos modos de realización, el inversor de compensación de potencia reactiva 300 y el filtro de armónicos activo 320 se acoplan eléctricamente en la misma localización dentro del sistema de potencia eléctrica 46, 105, 200. En estos modos de realización, el mismo bus o cableado puede conectar el inversor de compensación de potencia reactiva 300 y el filtro de armónicos activo 320 a una ruta de potencia del sistema de potencia eléctrica 46, 105, 200. Además, en modos de realización en particular ventajosos, el inversor de compensación de potencia reactiva 300 y el filtro de armónicos activo 320 se pueden empaquetar juntos como una sola unidad usando, por ejemplo, un sistema de enfriamiento común y controles comunes. De forma alternativa, sin embargo, el inversor de compensación de potencia reactiva 300 y el filtro de armónicos activo 320 se pueden acoplar eléctricamente en diferentes localizaciones dentro del sistema de potencia eléctrica 46, 105, 200.

[0038] Se identifican varias localizaciones en las FIGS. 2 a 5 y 7 en las que uno o ambos del inversor de compensación de potencia reactiva 300 o filtro de armónicos activo 320 se pueden acoplar eléctricamente al sistema de potencia eléctrica 46, 105, 200. En referencia a la FIG. 2, en algunos modos de realización, uno o ambos del inversor de compensación de potencia reactiva 300 o filtro de armónicos activo 320 se pueden acoplar eléctricamente a la ruta de potencia de estátor 62, tal como en una localización 340 entre el estátor 32 y el devanado 35 como se ilustra. Adicionalmente o de forma alternativa, uno o ambos del inversor de compensación de potencia reactiva 300 o filtro de armónicos activo 320 se pueden acoplar eléctricamente a la ruta de potencia de convertidor 63, tal como en una localización 342 entre el convertidor de potencia 38 y el devanado 37 como se ilustra. Adicionalmente o de forma alternativa, uno o ambos del inversor de compensación de potencia reactiva 300 o filtro de armónicos activo 320 se

pueden acoplar eléctricamente a la ruta de potencia entre el devanado 33 y el disyuntor 36, tal como en una localización 344 como se ilustra.

[0039] En referencia a la FIG. 3, en algunos modos de realización, uno o ambos del inversor de compensación de potencia reactiva 300 o filtro de armónicos activo 320 se pueden acoplar eléctricamente a la ruta de potencia de agrupación 60, tal como en una localización 346 entre el disyuntor 36 y el conmutador 51, 52, 53 como se ilustra. Adicionalmente o de forma alternativa, uno o ambos del inversor de compensación de potencia reactiva 300 o filtro de armónicos activo 320 se pueden acoplar eléctricamente a la línea principal entre el conmutador 51, 52, 53 y el transformador 54, tal como en una localización 348 (antes de un disyuntor para el transformador 54) o la localización 350 (después del disyuntor para el transformador 54) como se ilustra. Adicionalmente o de forma alternativa, uno o ambos del inversor de compensación de potencia reactiva 300 o filtro de armónicos activo 320 se pueden acoplar eléctricamente a la línea que va desde el transformador 54 a la red de potencia, tal como en una localización 352 como se ilustra.

[0040] En referencia a la FIG. 4, en algunos modos de realización, uno o ambos del inversor de compensación de potencia reactiva 300 o filtro de armónicos activo 320 se pueden acoplar eléctricamente a la ruta de potencia de estátor 125, tal como en una localización 360 entre el estátor 116 y el disyuntor 135 como se ilustra. Adicionalmente o de forma alternativa, uno o ambos del inversor de compensación de potencia reactiva 300 o filtro de armónicos activo 320 se pueden acoplar eléctricamente a la ruta de potencia de convertidor 127, tal como en una localización 362 entre el convertidor de potencia 122 y el devanado 134 como se ilustra.

[0041] En referencia a la FIG. 5, en algunos modos de realización, uno o ambos del inversor de compensación de potencia reactiva 300 o filtro de armónicos activo 320 se pueden acoplar eléctricamente a la ruta de potencia de agrupación 170, tal como en una localización 364 entre el disyuntor 135 y el conmutador 151, 152, 153 como se ilustra. Adicionalmente o de forma alternativa, uno o ambos del inversor de compensación de potencia reactiva 300 o filtro de armónicos activo 320 se pueden acoplar eléctricamente a la línea principal entre el conmutador 151, 152, 153 y el transformador de agrupación 145, 146, 147, tal como en una localización 366 como se ilustra.

[0042] En referencia a la FIG. 7, en algunos modos de realización, uno o ambos del inversor de compensación de potencia reactiva 300 o filtro de armónicos activo 320 se pueden acoplar eléctricamente a la ruta de potencia de generador 210, tal como en la localización 370 como se ilustra. Adicionalmente o de forma alternativa, uno o ambos del inversor de compensación de potencia reactiva 300 o filtro de armónicos activo 320 se pueden acoplar eléctricamente a la ruta de potencia de red 216, tal como en la localización 372 como se ilustra.

[0043] Esta descripción escrita usa ejemplos para divulgar la invención, incluyendo el mejor modo, y también para permitir que cualquier experto en la técnica practique la invención. El alcance patentable de la invención se define por las reivindicaciones, con un alcance que puede incluir otros ejemplos que se les ocurran a los expertos en la técnica. Se pretende que dichos otros ejemplos estén dentro del alcance de la invención si no se desvían de la materia objeto de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de potencia eléctrica (46, 105) conectable a una red de potencia, que comprende:
 - 5 una agrupación (48, 137) de subsistemas de potencia eléctrica (27, 102), comprendiendo cada uno de los subsistemas de potencia eléctrica (27, 102) un convertidor de potencia (38, 122) acoplado eléctricamente a un generador (28, 116) que tiene un rotor de generador (32, 118) y un estátor de generador (30, 120), definiendo cada uno de los subsistemas de potencia eléctrica (27, 102, 202) una ruta de potencia de estátor (62, 125) y una ruta de potencia de convertidor (63, 127) para proporcionar potencia a la red de potencia,
10 comprendiendo además cada uno de los subsistemas de potencia eléctrica (27, 102) un transformador (34, 130);

un disyuntor de subsistema (36, 135) configurado con cada uno de los subsistemas de potencia eléctrica (27, 102);
15 una ruta de potencia de agrupación (60, 170) que se extiende desde cada disyuntor de subsistema (36, 135) para conectar la agrupación (48, 137) de subsistemas de potencia eléctrica (27, 102) a la red de potencia; y

un inversor de compensación de potencia reactiva (300) acoplado eléctricamente dentro del sistema de potencia eléctrica (46, 105), siendo operable el inversor de compensación de potencia reactiva (300) para incrementar el nivel de potencia reactiva en la corriente eléctrica que fluye hacia la red de potencia;
20 comprendiendo además el sistema de potencia eléctrica un filtro de armónicos activo (320) acoplado eléctricamente dentro del sistema de potencia eléctrica (46, 105), siendo operable el filtro de armónicos activo (320) para reducir los armónicos en la corriente eléctrica que fluye hacia la red de potencia;
25 y en el que cada fase del filtro de armónicos activo (320) comprende un tercer elemento de conmutación (322) y un cuarto elemento de conmutación (324) en serie entre sí o un puente en H;
30 y en el que el tercer elemento de conmutación (322) y el cuarto elemento de conmutación (324) son transistores de efecto de campo metal-óxido-semiconductor que están adaptados para producir un nivel de potencia relativamente menor que el producido por el inversor de compensación de potencia reactiva (300);
35 y en el que los transistores de efecto de campo metal-óxido-semiconductor son transistores de efecto de campo metal-óxido-semiconductor de carburo de silicio para lograr una frecuencia de conmutación relativamente alta, tal como en el intervalo de 20 kHz a 50 kHz.
2. El sistema de potencia eléctrica (46, 105) de la reivindicación 1, en el que el inversor de compensación de potencia reactiva (300) comprende un primer elemento de conmutación (302) y un segundo elemento de conmutación (304) en serie entre sí.
40
3. El sistema de potencia eléctrica (46, 105) de la reivindicación 2, en el que el primer elemento de conmutación (302) y el segundo elemento de conmutación (304) son transistores bipolares de puerta aislada.
45
4. El sistema de potencia eléctrica (46, 105) de la reivindicación 1, en el que el inversor de compensación de potencia reactiva (300) y el filtro de armónicos activo (320) se acoplan eléctricamente en la misma localización dentro del sistema de potencia eléctrica (46, 105).
5. El sistema de potencia eléctrica (46, 105) de la reivindicación 1, en el que el inversor de compensación de potencia reactiva (300) y el filtro de armónicos activo (320) se acoplan eléctricamente en diferentes localizaciones dentro del sistema de potencia eléctrica (46, 105).
50
6. El sistema de potencia eléctrica (46, 105) de la reivindicación 1, en el que al menos uno del inversor de compensación de potencia reactiva (300) o el filtro de armónicos activo (320) se configura como un puente en H.
55
7. El sistema de potencia eléctrica (46, 105) de cualquiera de las reivindicaciones 1-6, que comprende además un transformador de agrupación (145, 146, 147) para conectar cada agrupación (137) de subsistemas de potencia eléctrica (102) a la red de potencia y un conmutador de agrupación (150, 151, 152) configurado con el transformador de agrupación (145, 146, 147);
60
8. El sistema de potencia eléctrica (46) de cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en el que el transformador (34) de cada subsistema de potencia eléctrica (27) es un transformador de tres devanados entre la ruta de potencia de estátor (62), la ruta de potencia de convertidor (63), y la ruta de potencia de agrupación (60).
65

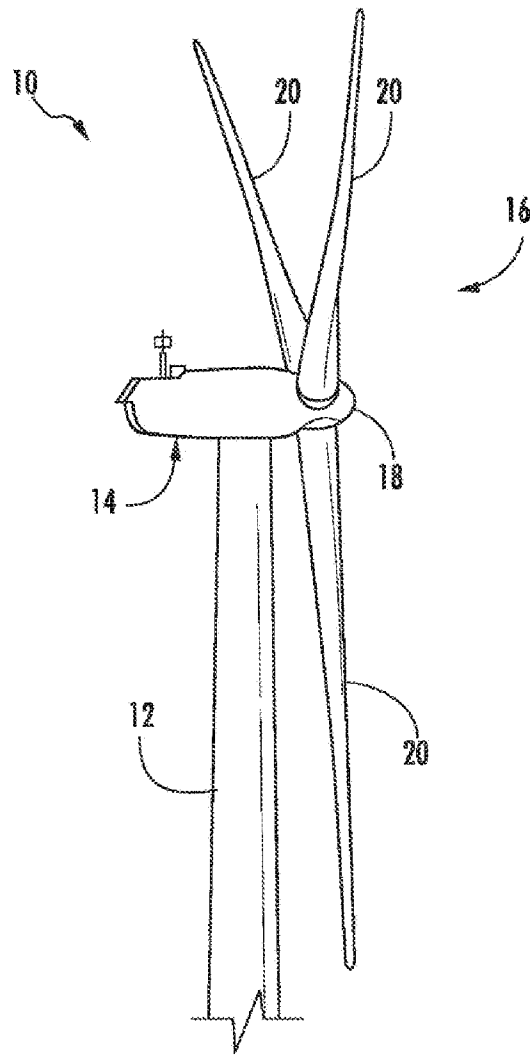


FIG. 1

TÉCNICA ANTERIOR

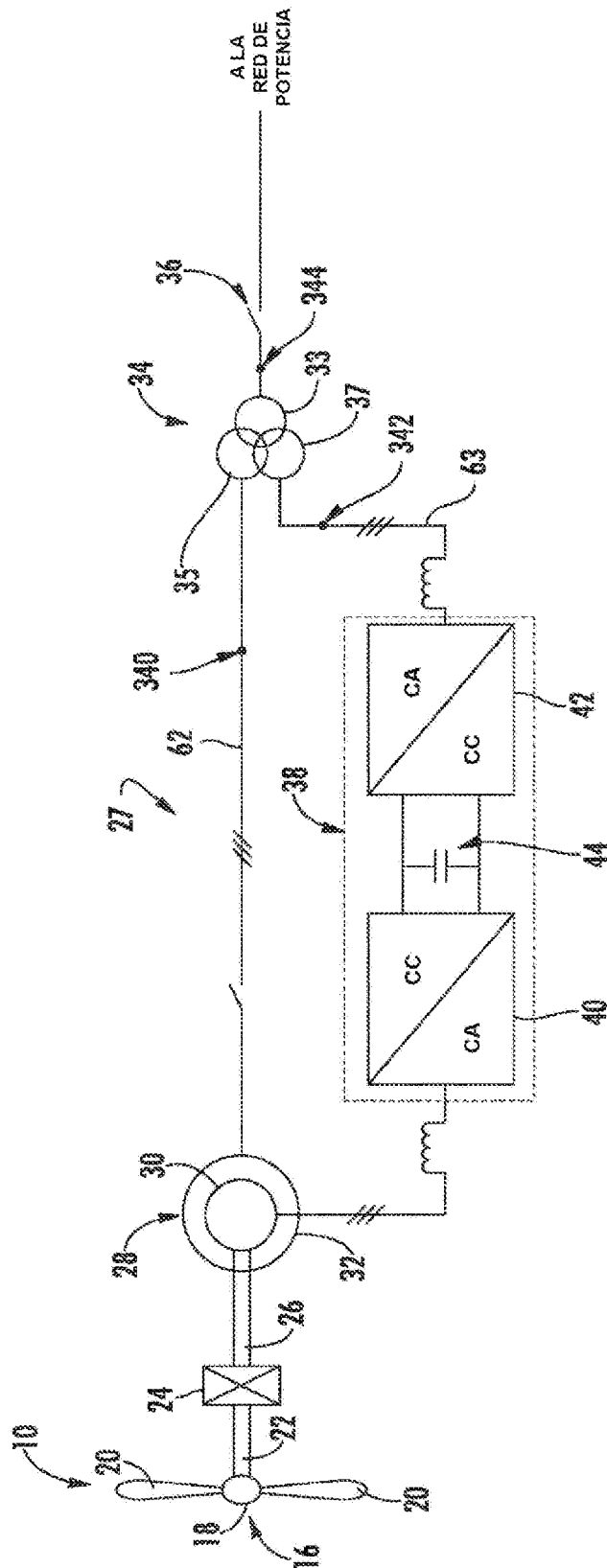


FIG. 2

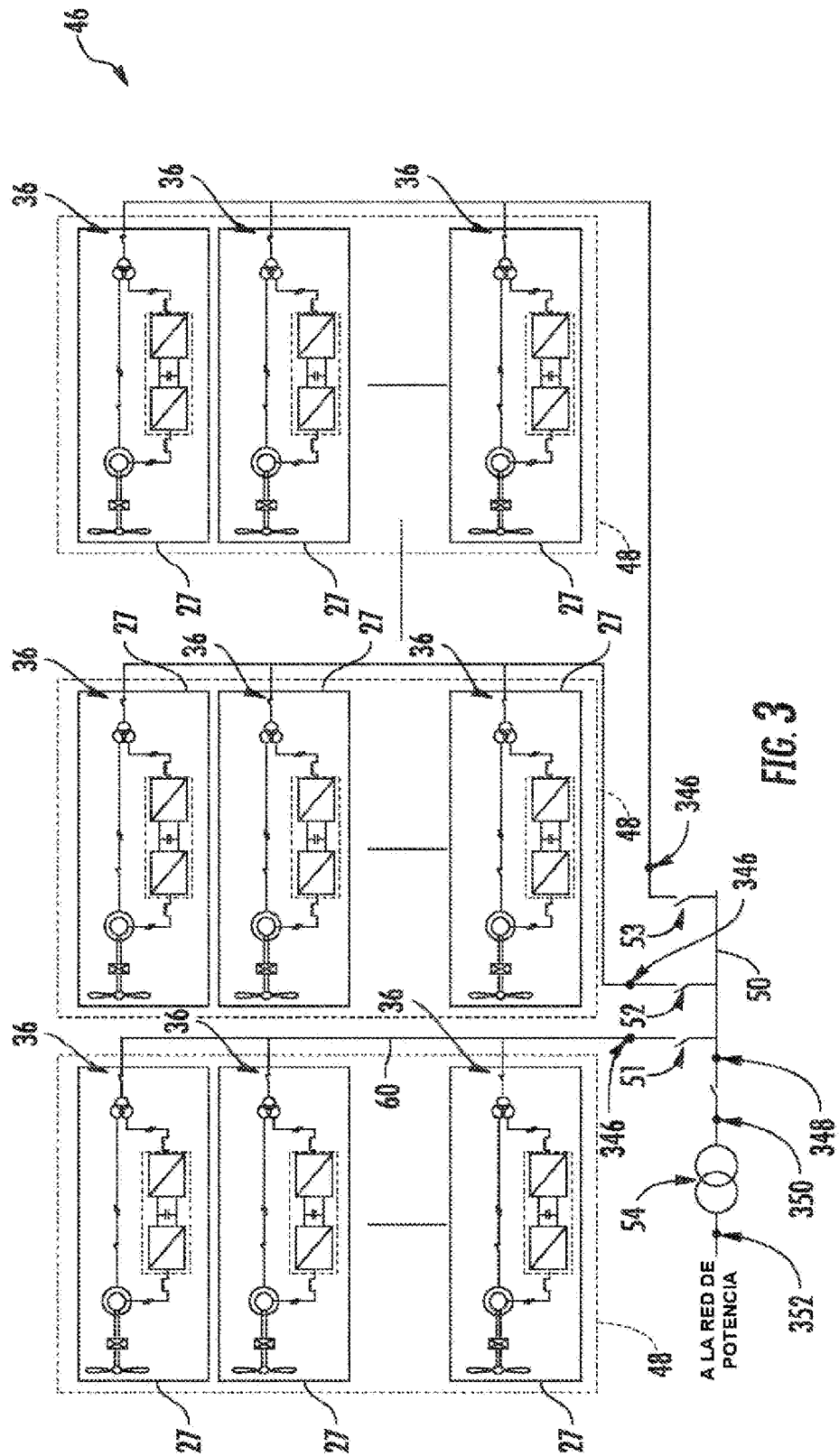


FIG. 3

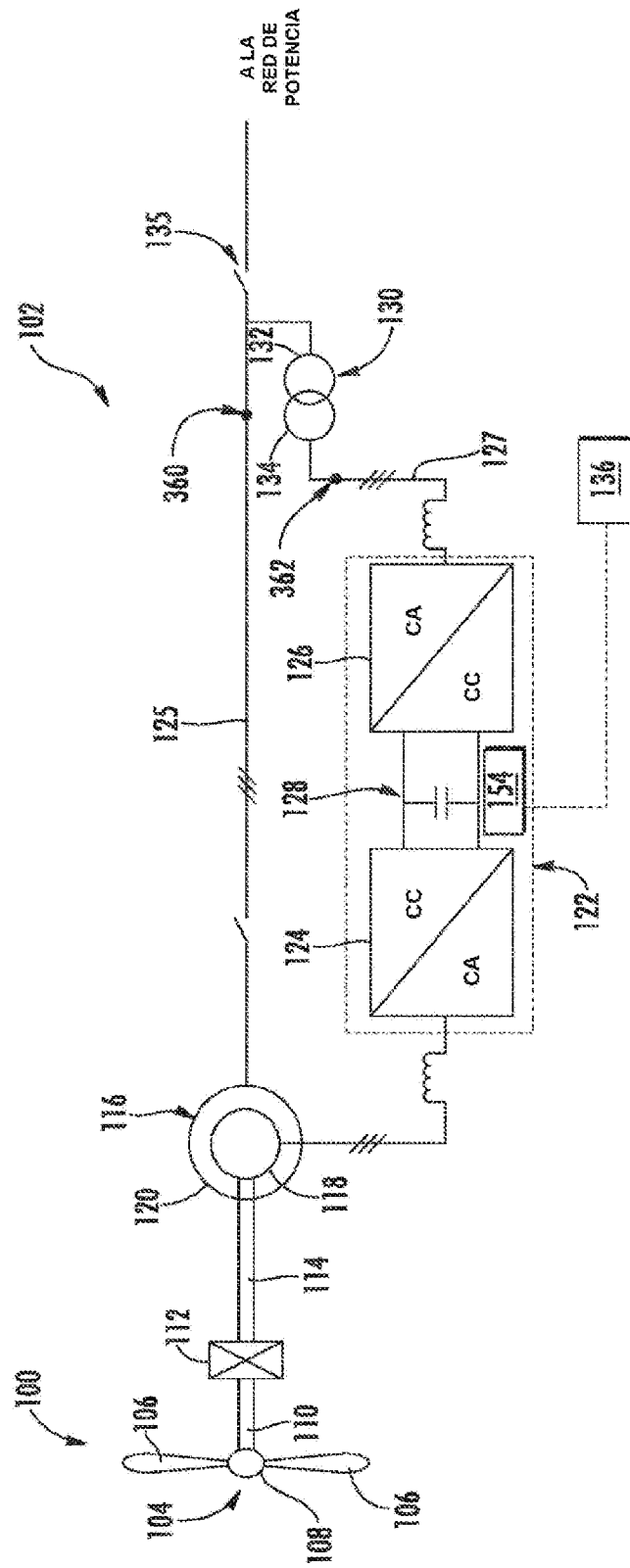
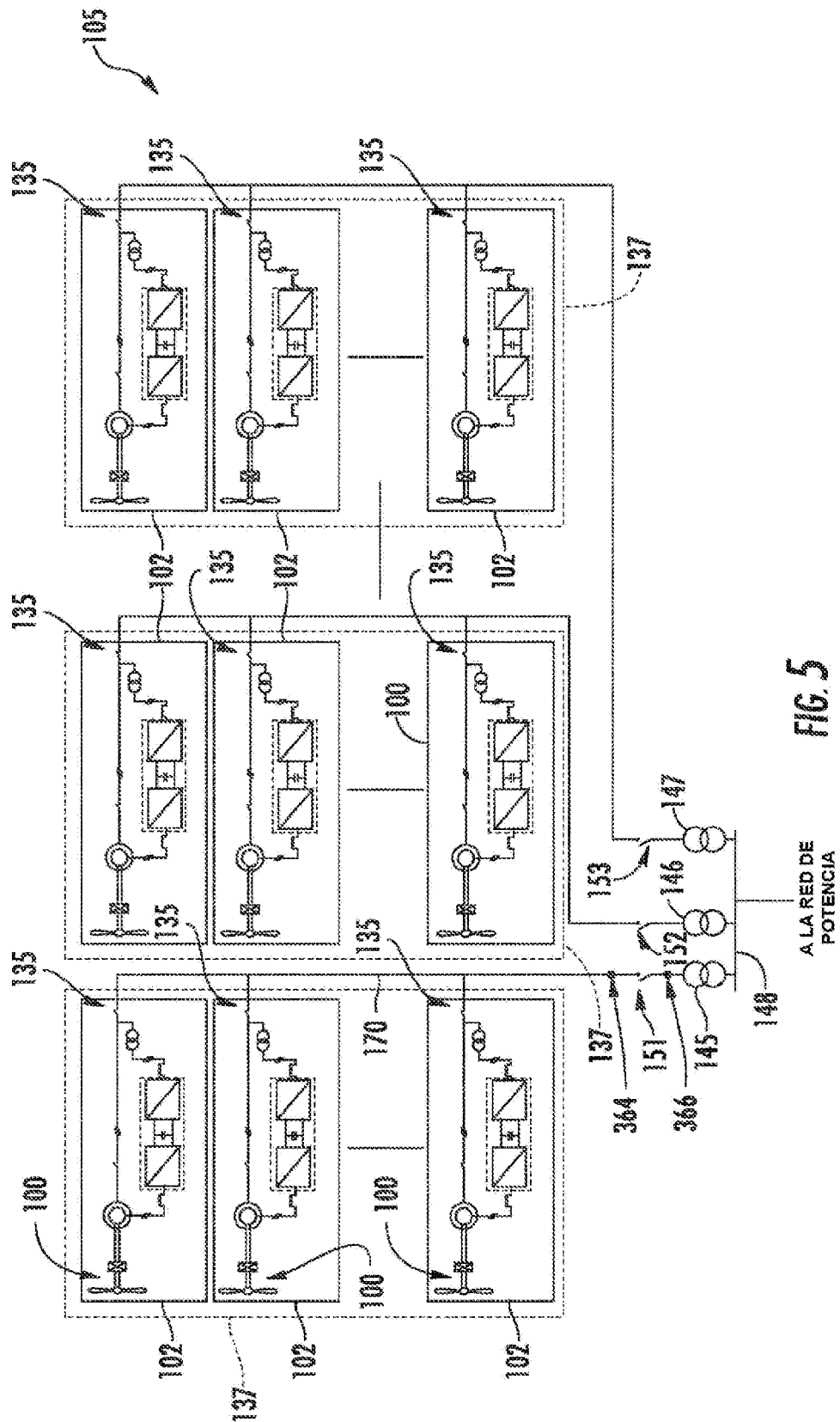


FIG. 4



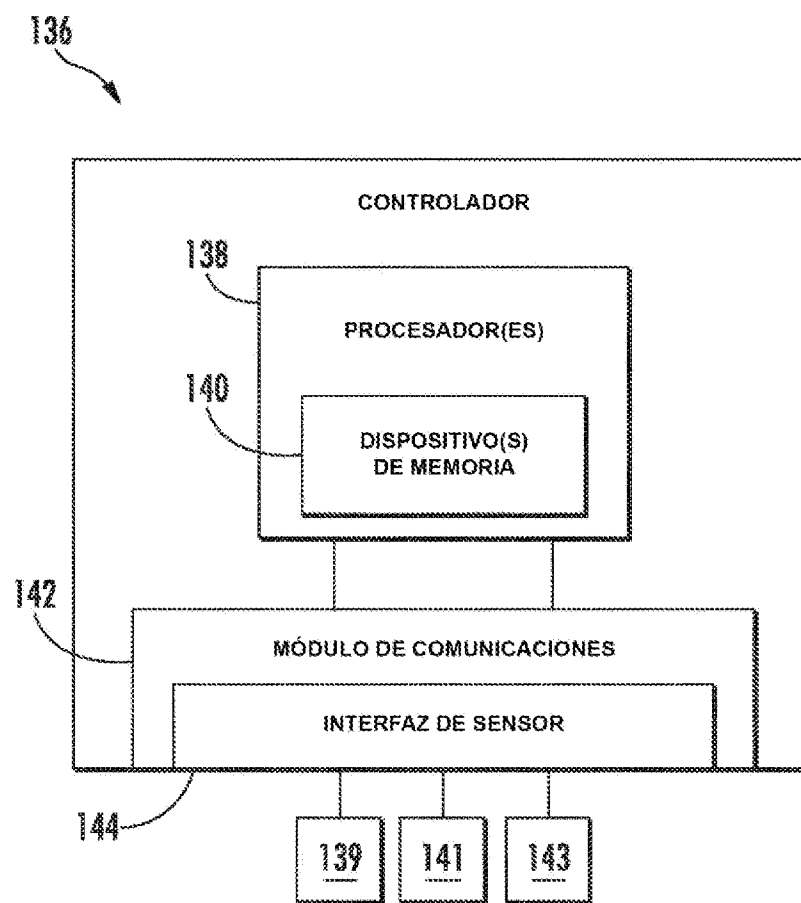
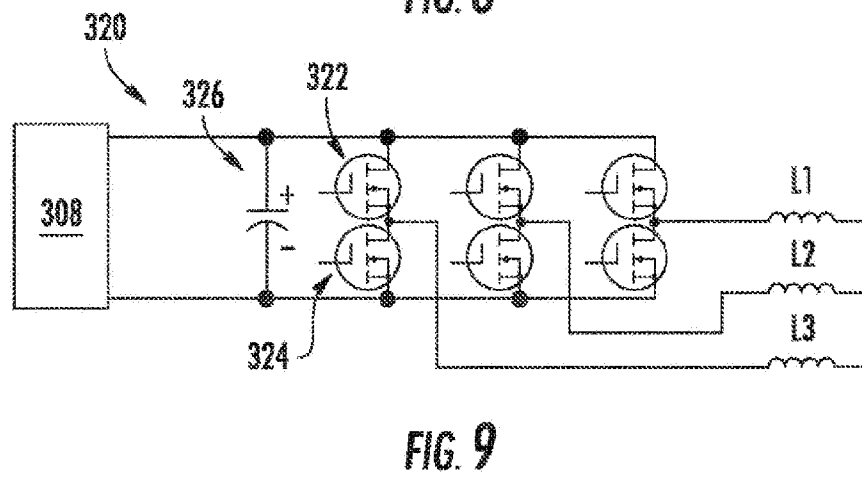
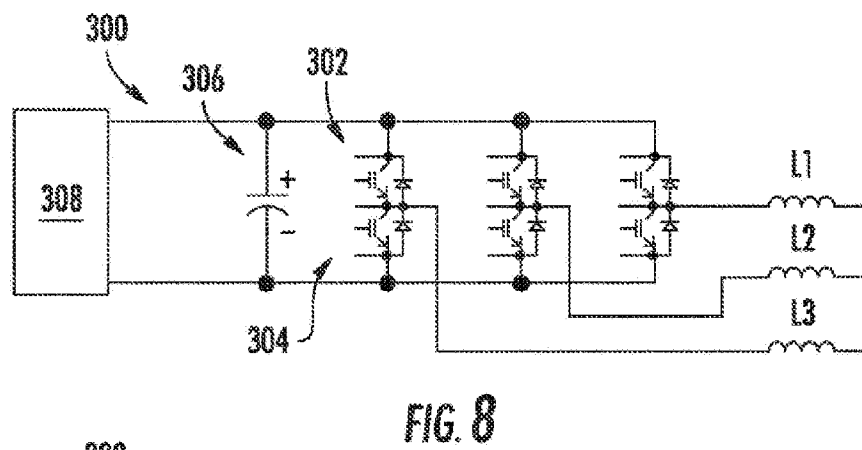
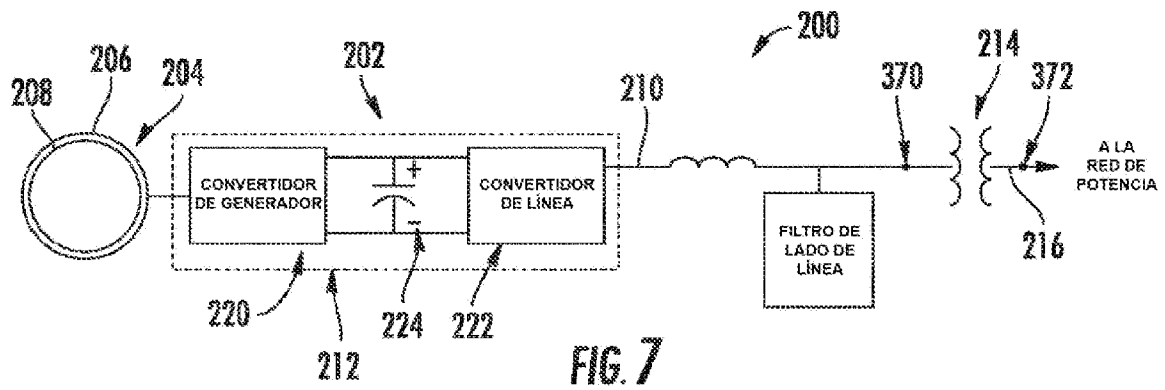


FIG. 6



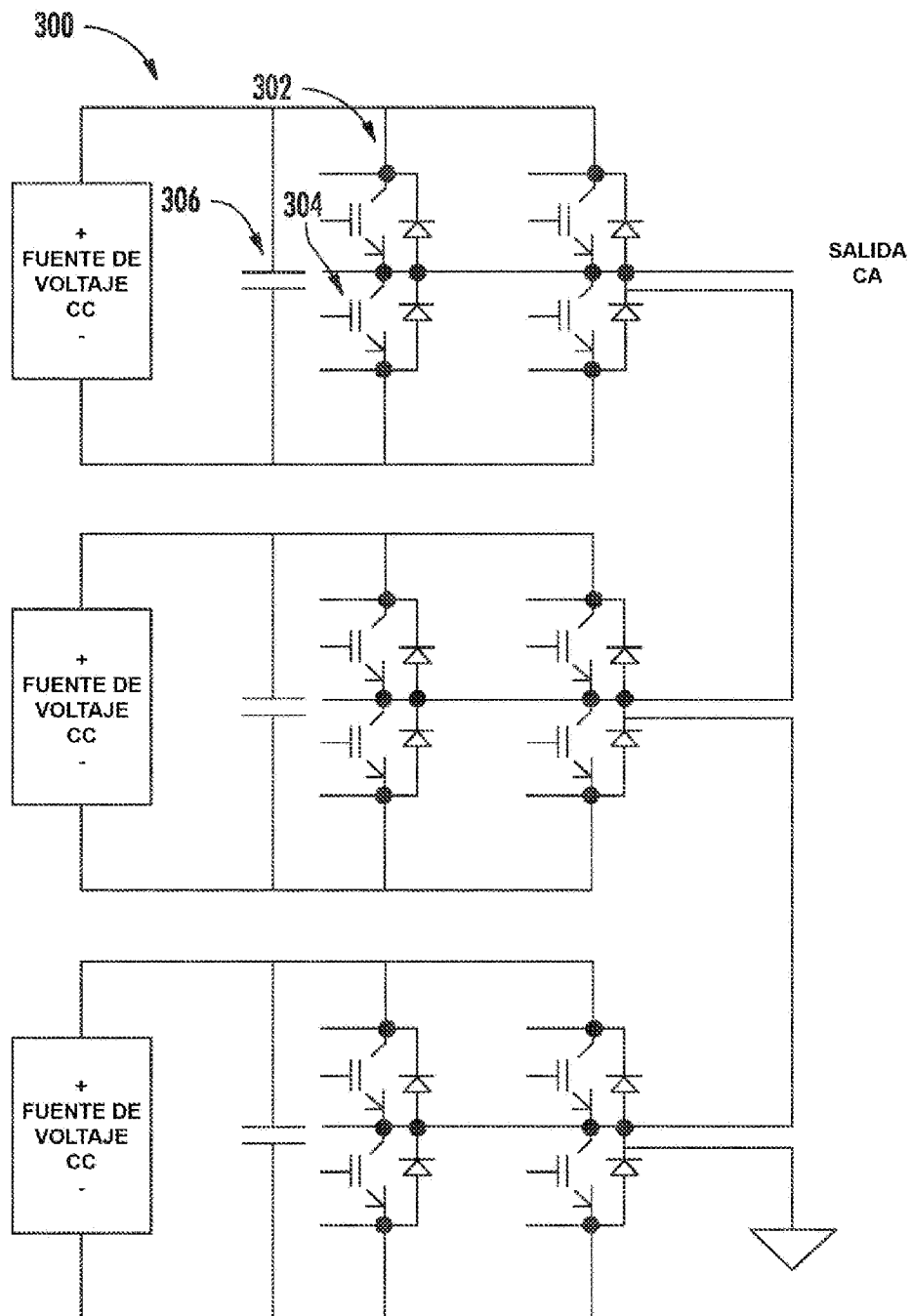


FIG. 10

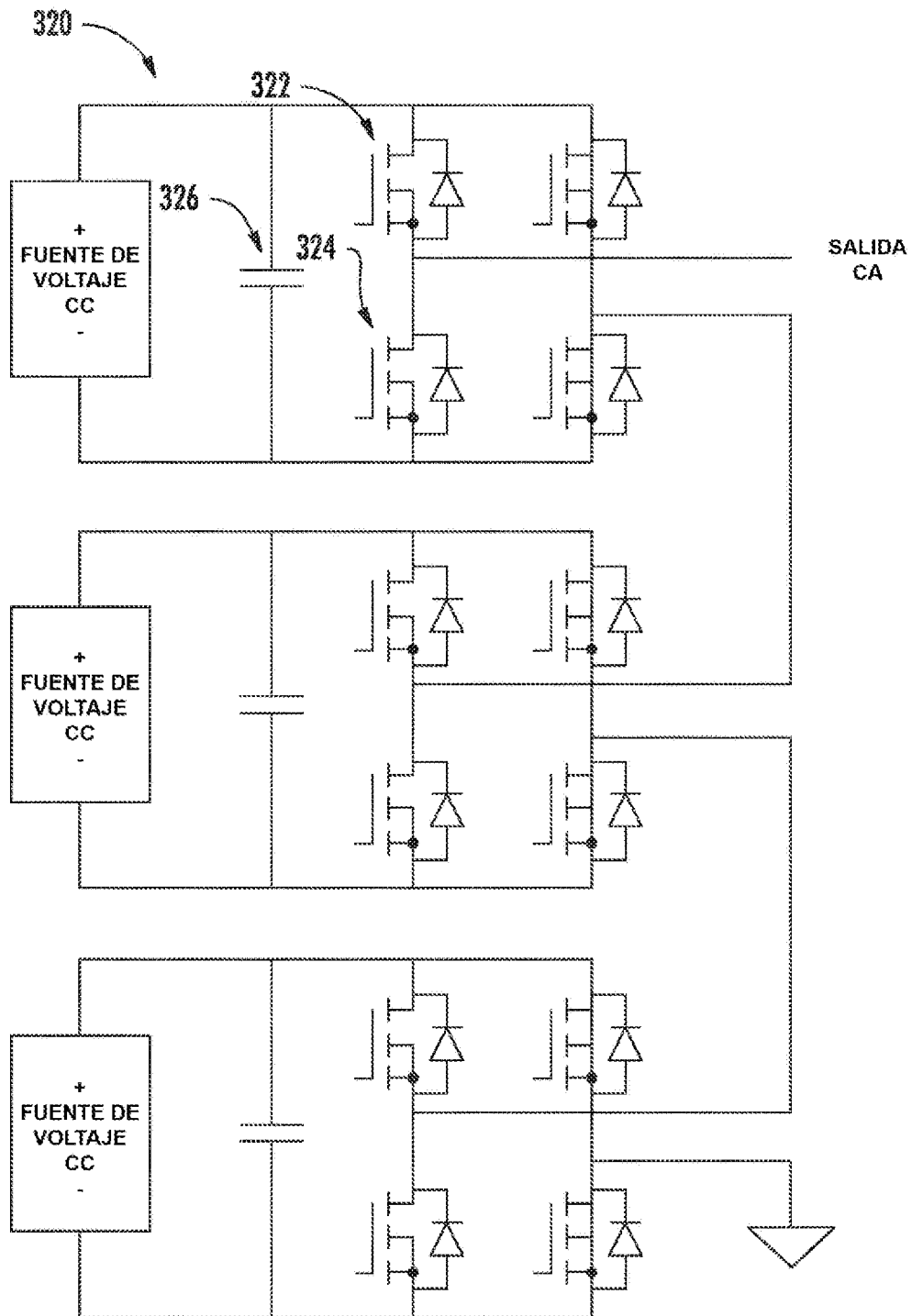


FIG. 11