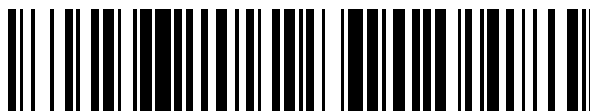


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 644 691**

51 Int. Cl.:

H02P 9/10 (2006.01)

H02P 9/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.12.2006 E 06125643 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.09.2017 EP 1796259**

54 Título: **Sistema de operación de generadores de inducción de doble alimentación**

30 Prioridad:

08.12.2005 US 297775

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

30.11.2017

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)
1 RIVER ROAD
SCHENECTADY, NY 12345, US**

72 Inventor/es:

**WENG, HAIQING;
DELMERICO, ROBERT WILLIAM;
YUAN, XIAOMING y
WANG, CHANGYONG**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 644 691 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistema de operación de generadores de inducción de doble alimentación

5 La presente invención se refiere, en general, al campo de los generadores de inducción de doble alimentación. En particular, la presente invención se refiere al control y a la protección de generadores de inducción de doble alimentación cuando se producen fallos en la red eléctrica.

10 Los generadores de inducción de doble alimentación (DFIGs) son utilizados en una amplia gama de aplicaciones debido a su eficiencia y fiabilidad. En general, los DFIGs son utilizados en sistemas de generación de velocidad variable (VSG) para generar energía eléctrica a partir de recursos energéticos intermitentes o variables, como por ejemplo granjas eólicas. La ventaja principal de un sistema de generación de velocidad variable con respecto a un sistema de velocidad fija es la posibilidad de controlar electrónicamente la velocidad del eje para mantener la máxima eficiencia del proceso de conversión de energía. Por ejemplo, un generador de turbina eólica típicamente utiliza un DFIG que comprende un convertidor de ca / cc acoplado a un convertidor de cc / ca para la generación de energía eólica. La tecnología DFIG permite que sea extraída energía máxima del viento para velocidades bajas del viento optimizando la velocidad de la turbina, reduciendo al tiempo al mínimo los esfuerzos mecánicos aplicados sobre la turbina cuando se produzcan ráfagas de viento y corrientes de sobretensión de la red. Otra ventaja de la tecnología DFIG es la capacidad de los convertidores electrónicos de potencia de generar o absorber potencia reactiva, reduciendo con ello la necesidad de instalar bancos de condensadores. Véase, por ejemplo, el documento WO 2005/015012 y el documento WO 03/058789.

20 Los factores de diseño de los controladores DFIG se han generalmente concentrado en la provisión de una velocidad operativa ajustable para potenciar al máximo la salida de potencia de la turbina, manteniendo la tensión terminal del generador requerida o el factor de potencia, y controlar el par de torsión de los generadores para que se corresponda con el de la turbina eólica. Sin embargo, no se ha llevado cabo ninguna, o muy pocas, tentativas para conseguir la capacidad de contribuir a la estabilidad de una operación de red de energía. El uso ampliamente extendido de la generación de energía eólica requiere unas granjas eólicas que contribuyan a la estabilidad de la operación de la red de energía.

30 Las turbinas eólicas con generadores de inducción de doble alimentación son sensibles a los fallos de la red eléctrica. Un fallo de la red eléctrica dará lugar a la elevación de corrientes momentáneas severas en el par de torsión de entrehierro y el par de torsión de eje y pueden, por tanto, influir en la fiabilidad del sistema. Por ejemplo, cuando la tensión de la red cae por debajo de un valor de umbral debido a un fallo de la red, el par de torsión de entrehierro también cae, conduciendo con ello a una oscilación de la caja de engranajes y del eje motriz que pueden reducir la duración de la caja de engranajes. Las secuencias de recuperación de la red también se traducen en condiciones de corrientes momentáneas severas en los generadores de inducción de doble alimentación. Una técnica convencional para evitar los daños al DFIG y a la caja de engranajes incluye la desconexión de los generadores de la turbina eólica respecto de la red cuando se producen grandes caídas de la tensión en la red debido a un fallo de la red. Después de un periodo de tiempo vuelve a conectarse entonces la turbina a la red. Sin embargo, los nuevos códigos de red ahora requieren turbinas eólicas y granjas eólicas que se adapten a las caídas de tensión, lo que significa que la producción de energía normal debe inmediatamente reestablecerse una vez que se haya recuperado la tensión nominal de la red.

40 Se han propuesto diferentes técnicas para modificar el sistema de DFIG para conseguir el objetivo expuesto. Por ejemplo, pueden utilizarse unos tiristores antiparalelos en el circuito del estator para conseguir una rápida conexión (de, por ejemplo, 10 milisegundos) del circuito del estator, y conseguir también la capacidad de volver a imantar el generador y reconectar el estator a la red lo más rápidamente posible. Otra opción propuesta es utilizar un conmutador estático en el circuito del rotor, que pueda romper la corriente de cortocircuito del rotor. Un tercer procedimiento es utilizar un DVR (Restaurador de Tensión Dinámica) que pueda aislar el sistema de DFIG respecto de las caídas de tensión. Sin embargo, las primeras dos opciones no son eficaces para reducir el esfuerzo del eje, y la tercera opción es costosa.

45 Por consiguiente, es deseable proporcionar una técnica de control y protección que permita que un DFIG contribuya eficazmente a la operación de la red de energía y reduzca el esfuerzo del eje cuando se produzcan fallos de la red.

50 Resumiendo, de acuerdo con un aspecto de la presente invención, se proporciona un sistema de protección según se define en la reivindicación adjunta 1.

De acuerdo con otro aspecto de la presente invención, se proporciona un generador de turbina eólica según se define en la reivindicación 7.

55 Las diversas características, aspectos y ventajas de la presente invención se pondrán de manifiesto de manera más acabada de acuerdo con la descripción detallada subsecuente tomada en consideración con referencia a los dibujos que se acompañan, en los cuales los mismos caracteres representan las mismas partes a lo largo de los dibujos, en los que:

La FIG. 1 muestra un diagrama de bloques de un generador de turbina eólica ejemplar de acuerdo con aspectos de la presente invención;

la FIG. 2 es una representación algo más detallada del generador de turbina eólica de la FIG. 1 de acuerdo con un aspecto de la presente invención;

5 la FIG. 3 es una representación gráfica de unas formas de onda de tensión del estator, de la corriente del estator, de la corriente del rotor y del par de torsión de entrehierro junto con unas formas de onda de la tensión de la red y de la señal de disparo de un tiristor del generador de turbina eólica de la FIG. 2; y

la FIG. 4 es una representación algo más detallada del generador de turbina eólica de la FIG. 1 de acuerdo con otro aspecto de la presente invención.

10 Formas de realización de la presente invención se refieren en general al control y a la protección de los generadores de inducción de doble alimentación (DFIGs) y a unas cajas de engranaje que se producen en el curso de unos fallos de la red. Dichas formas de realización pueden ser utilizadas en diversas aplicaciones, por ejemplo en la generación de la energía eólica, en la generación hidráulica de velocidad variable, etc. Aunque el presente análisis proporciona ejemplos en un contexto de generación de energía eólica, el experto en la materia comprenderá fácilmente que la aplicación de estas formas de realización en otros contextos se incluye sin problema alguno en el ámbito de la presente invención.

20 Con referencia ahora a la FIG. 1, en ella se ilustra un diagrama de bloques de un generador 10 ejemplar de turbina eólica de acuerdo con aspectos de la presente invención. En la forma de realización ilustrada, el generador 10 de turbina eólica está acoplado a una red pública eléctrica 12 para la distribución de energía eléctrica e incluye una turbina 14 eólica acoplada a un DFIG 16. El DFIG 16 comprende un estator 18 y un rotor 20. El rotor 20 está mecánicamente acoplado al eje 22 de la turbina eólica por medio de una caja de engranajes 24. Los devanados del estator de DFIG 16 están acoplados a la red pública eléctrica 12 por medio de un convertidor 26 de ca / cc / ca y un filtro 28 eléctrico. El sistema 60 de protección está dispuesto entre el estator 18 y el lado de la red del convertidor 26 de espaldas con espaldas de acuerdo con aspectos de la presente invención para proteger el DFIG 16 y la caja de engranajes 24 cuando se produzcan situaciones transitorias. El sistema 30 de protección puede incluir un controlador 32 para controlar el sistema 30 de protección en base a los cambios de al menos un elemento entre la tensión de la red y la corriente de la red.

30 El convertidor 26 de cc / cc / ca incluye además un convertidor de ca - cc del lado de la red (rectificador) 34 y un convertidor (inversor) 36 de cc - ca del lado de la máquina que están acoplados entre sí en una configuración de ca / cc / ca. Entre los dos convertidores 34 y 36 puede disponerse un condensador 38 de enlace de cc como dispositivo de almacenamiento de energía para mantener la variación de la tensión (fluctuaciones) en la pequeña tensión de enlace de cc. Como apreciará el experto en la materia, el convertidor 34 del lado de la red proporciona una tensión de enlace de cc constante, mientras que el convertidor 36 del lado de la máquina posibilita el control del par de torsión o de la velocidad del DFIG 16 y también el factor de potencia de los terminales del estator. El filtro 28 eléctrico impide o reduce los armónicos generados por el convertidor 26 de ca / cc / ca impidiendo que sean inyectados en la red pública eléctrica 12.

40 El generador 10 de turbina eólica se ilustra con mayor detalle en la FIG. 2. El filtro 28 eléctrico puede comprender un filtro de ca y, más concretamente, puede comprender un filtro de cc acoplado a la red pública eléctrica 12 y sintonizado para impedir o reducir los armónicos generados por el convertidor 26 de ca / cc / ca impidiendo que sean inyectados en la red pública eléctrica 12. Así mismo, cada uno de los convertidores 34 y 36 incluye seis dispositivos 40 de conmutación de potencia conectados en una configuración en puente. Cada uno de los dispositivos 40 de conmutación de potencia puede estar provisto de un diodo 42 de rodamiento libre. Los dispositivos 40 de conmutación pueden ser unos conmutadores activos controlables de puerta, por ejemplo los GTOs, BJTs, IGBTs o cualquier otro conmutador activo controlable de puerta. Un controlador convertidor (no mostrado) puede estar dispuesto para controlar la operación de cada uno de los conmutadores 40 activos controlables de puerta. En una forma de realización, el controlador controla la corriente aplicada a los devanados del rotor para que se obtengan los valores deseados de potencia activa y reactiva suministrados por los devanados del estator del generador. Si se desea, el controlador del conversor y el controlador 32 del sistema de protección pueden estar integrados en una única unidad de control.

50 El sistema 30 de protección comprende un dispositivo 44 de impedancia controlado acoplado entre cada fase del devanado del estator del generador 16 de inducción de doble alimentación y una correspondiente fase del convertidor 34 del lado de la red. Cada uno de los dispositivos 44 de impedancia controlados incluye un dispositivo 46 de impedancia. En algunas formas de realización, el dispositivo 46 de impedancia está situado en paralelo con un dispositivo 48 semiconductor. El dispositivo 48 semiconductor está configurado para acoplar o desacoplar el dispositivo 46 de impedancia respecto de cada fase en respuesta a los cambios de la al menos una tensión medida y de la corriente medida de la red pública eléctrica 12 en base a las señales de control recibidas del controlador 32. El dispositivo 48 semiconductor puede ser un dispositivo semiconductor bidireccional como por ejemplo un triac, un conjunto de tiristores o unos tiristores antiparalelos. Durante la operación normal, el dispositivo 48 semiconductor está activado y, por tanto, ofrece una resistencia muy baja a la corriente del estator en comparación con la

- resistencia ofrecida por el dispositivo 46 de impedancia. Cada fase del devanado del estator, por tanto, está conectada a la red pública eléctrica 12 por medio de un dispositivo 48 semiconductor mientras que el dispositivo 46 de impedancia es puenteado. Sin embargo, cuando se produzcan fallos en la red pública eléctrica, el dispositivo 48 semiconductor es conmutado a la posición DESCONECTADA y, por tanto, ofrece una resistencia muy alta a la corriente del estator en comparación con la resistencia ofrecida por el dispositivo 46 de impedancia. Cada fase del devanado del estator, por tanto, está conectada a la red pública eléctrica 12 por medio del dispositivo 46 de impedancia, mientras que el dispositivo 48 semiconductor está DESCONECTADO. La corriente del estator, por tanto, fluye a través del dispositivo 46 de impedancia que está acoplado dentro del circuito cuando se producen fallos en la red pública eléctrica.
- El controlador 32 puede monitorizar al menos un elemento entre la tensión de la red pública eléctrica y la corriente de la red pública eléctrica por medio de uno o más sensores (no mostrados). Cuando la tensión de la red pública eléctrica cae por debajo de un determinado primer valor de umbral (por ejemplo, un 0,6 por unidad), o la corriente de la red pública eléctrica se eleva por encima de un determinado primer valor de umbral, el circuito quedará conmutado hasta un modo operativo de baja tensión, y el controlador 32 se desconectará del dispositivo 48 semiconductor para acoplar el dispositivo 46 de impedancia en una o más fases. El dispositivo 46 de impedancia conmutado entre una o más fases del devanado del estator y el convertidor 34 del lado de la red incrementa la tensión del estator. Así, el par de torsión de entrehierro del generador 16 de inducción de doble alimentación puede ser controlado hasta un valor deseado cuando se produzca el fallo de la red pública eléctrica y se reduzca la corriente transitoria provocada por la recuperación de la red pública eléctrica. La corriente del estator puede, por tanto, ser regulada para que el par de torsión de entrehierro siga el comando del par de torsión. En un modo operativo de baja tensión, la tensión del estator puede ser regulada en fase con la tensión de la red pública eléctrica para proporcionar un factor de potencia unitaria, o puede ser regulada para proporcionar una potencia reactiva a la red pública eléctrica. Así mismo, cuando la tensión de la red pública eléctrica se eleve por encima de un determinado segundo valor de umbral (por ejemplo, un 0,65 por unidad), la corriente de la red pública eléctrica caerá por debajo de un determinado segundo valor de umbral, el controlador 32 conmutará sobre el dispositivo 48 semiconductor para desacoplar el dispositivo 46 de impedancia en una o más fases, y retornar al modo normal operativo. Debe destacarse que, en diversas formas de realización, el primero y el segundo valores de umbral pueden ser los mismos. Además, debe destacarse que los primero y segundo valores de umbral pueden predeterminarse o pueden decidirse dinámicamente. En determinadas formas de realización, el dispositivo 46 de impedancia puede diseñarse adecuadamente y predeterminarse para que presente un valor de impedancia fijo, para que el par de torsión de entrehierro se pueda mantener cuando la tensión de la red pública eléctrica se sitúe entre el cero y el umbral, limitando al tiempo la sobrecorriente del estator. Como alternativa, se puede emplear un dispositivo de impedancia variable para que el dispositivo 46 de impedancia varíe durante la operación en base a las condiciones transitorias.
- La FIG. 3 muestra unas formas de onda 50 de tensión de la red pública eléctrica, la forma de onda 52 de tensión del estator, la forma de onda 54 del par de torsión de entrehierro, la forma de onda 56 de la corriente del rotor, la forma de onda 58 de la corriente del estator y la señal 60 de disparo para el dispositivo semiconductor para el generador de la turbina eólica de la FIG. 2 de acuerdo con aspectos de la presente invención. Como se ilustra en la simulación, cuando se produce un fallo de la red pública eléctrica (esto es, cuando la tensión de la red pública cae por debajo de un valor de umbral como se representa mediante una caída de la tensión), el controlador 32 DESCONECTA el dispositivo 48 semiconductor por medio de una señal de disparo. El dispositivo 46 de impedancia, por tanto, está acoplado en el circuito para proteger el DFIG 16, la caja de engranajes 24 y la turbina 14 eólica respecto de las corrientes transitorias. Como se muestra en el gráfico, la tensión 52 del estator aumenta y está en fase con la tensión de la red pública eléctrica en el curso de la corriente transitoria. El par de torsión de entrehierro es controlado para que se sitúe en un valor normal. Así mismo, la corriente del estator y del rotor es controlada para que se sitúe dentro de un valor normal. Cuando la tensión de la red pública eléctrica retorna a un valor normal, el controlador 32 cambia al estado CONECTADO del dispositivo 48 semiconductor por medio de la señal de disparo. Por tanto, la impedancia queda desacoplada del circuito y se reanuda la operación normal.
- Debe destacarse que, en determinadas formas de realización, el dispositivo 44 de impedancia controlado puede incluir una corriente dependiente del dispositivo 62 de impedancia variable, por ejemplo un resistor variable, un termistor PTC, etc., como se ilustra en la FIG. 4. Como apreciará el experto en la materia, el dispositivo de impedancia variable es un dispositivo con una característica significativa de corriente - tensión no lineal y es utilizado para proteger los circuitos contra las corrientes transitorias excesivas. Como se ilustra, el dispositivo 62 de impedancia variable dependiente de la corriente puede estar acoplado entre cada fase del devanado del estator del generador 16 de inducción de doble alimentación y de una correspondiente fase del convertidor 34 del lado de la red pública eléctrica. El dispositivo 62 de impedancia variable está configurado para ofrecer unas impedancias variables que dependen de la corriente del estator. La corriente es regulada por medio del controlador 32 en respuesta a los cambios de al menos un elemento entre la tensión y la corriente de la red pública eléctrica 12. El dispositivo 62 de impedancia variable ofrece una impedancia muy baja cuando la corriente del estator que fluye está por debajo de un umbral o de una corriente nominal (correspondiente a la operación normal). Sin embargo, el dispositivo 62 de impedancia variable ofrece una impedancia más elevada cuando la corriente del estator que fluye está por encima de un umbral o por encima de una corriente nominal (correspondiente a la situación de la tensión baja de la red

pública eléctrica cuando se produzcan fallos de la red). Así, el dispositivo 62 de impedancia variable funciona acoplando y desacoplando automáticamente la impedancia en base a la corriente del estator que fluye.

5 Las formas de realización de control y protección analizadas en las líneas anteriores contribuyen a la operación de la red y a la estabilidad cuando experimenten perturbaciones grandes y pequeñas (condiciones transitorias). Los límites de impedancia del par de torsión de entrehierro con respecto a los valores normales, limita la sobrecorriente del estator y del rotor y reduce la oscilación de la caja de engranajes durante los fallos de la red pública eléctrica. En una forma de realización la sobrecorriente del estator puede estar limitada a un 1,6 por unidad, por ejemplo, al regular el par de torsión de entrehierro al nominal. Así mismo, la impedancia reduce los movimientos transitorios provocados por la recuperación de la red pública eléctrica. Como se apreciará por parte del experto en la materia, la técnica descrita de las diversas formas de realización analizadas anteriormente pueden también ser aplicadas en un generador hidráulico de velocidad variable.

Lista de elementos

- 10 generador de turbina eólica
- 12 red pública eléctrica
- 15 14 turbina eólica
- 16 DFIG
- 18 estator
- 20 rotor
- 22 eje de turbina eólica
- 20 24 caja de engranajes
- 26 convertidor de ca / cc / ca
- 28 filtro eléctrico
- 30 sistema de protección
- 32 controlador del sistema de protección
- 25 34 convertidor del lado de la red pública eléctrica
- 36 convertidor del lado de la máquina
- 38 condensador de enlace de cc
- 40 dispositivos de conmutación
- 42 diodo de rodamiento libre
- 30 44 dispositivos de impedancia controlados
- 46 dispositivo de impedancia
- 48 dispositivos semiconductores
- 50 forma de onda de tensión de red pública eléctrica
- 52 forma de onda de tensión del estator
- 35 54 forma de onda del par de torsión de entrehierro
- 56 forma de onda de la corriente del rotor
- 58 forma de onda de la corriente del estator
- 60 señal de disparo del dispositivo semiconductor
- 62 resistor variable

40

REIVINDICACIONES

1.- Un sistema (30) de protección que comprende:

una pluralidad de dispositivos (44) de impedancia controlada, cada uno acoplado entre una fase respectiva de un devanado del estator de un generador (16) de inducción de doble alimentación y una fase respectiva de un convertidor (26) del lado de la red pública eléctrica; y **caracterizado por**:

un controlador (32) configurado para acoplar y desacoplar la impedancia de uno o más entre la pluralidad de dispositivos de impedancia controlada en respuesta a los cambios de al menos un elemento entre una tensión de la red pública eléctrica y una corriente de la red pública eléctrica para controlar un par de torsión de entrehierro del generador (16) de inducción de doble alimentación hasta un valor deseado cuando se produzca un fallo de la red pública eléctrica, en el que cada dispositivo (44) de impedancia controlada comprende un dispositivo de impedancia variable dependiente de la corriente, estando el dispositivo de impedancia variable dependiente de la corriente configurado para ofrecer una impedancia elevada cuando la corriente del estator se eleva por encima de un primer valor de umbral y una impedancia muy baja cuando la corriente del estator cae por debajo de un segundo valor de umbral.

2.- El sistema (30) de protección de la reivindicación 1, en el que cada dispositivo de impedancia controlada comprende un dispositivo (46) de impedancia en paralelo con un dispositivo (48) semiconductor, estando el dispositivo semiconductor configurado para acoplar y desacoplar el dispositivo de impedancia en base a las señales de control recibidas por el controlador.

3.- El sistema (30) de protección de la reivindicación 2, en el que el dispositivo (48) semiconductor comprende un dispositivo semiconductor bidireccional.

4.- El sistema (30) de protección de la reivindicación 2 o 3, en el que el dispositivo (48) semiconductor comprende un triac, un conjunto de tiristores o unos tiristores antiparalelos.

5.- El sistema (30) de protección de cualquier reivindicación precedente, en el que el controlador (32) está configurado para acoplar la impedancia en una o más de entre la pluralidad de dispositivos de impedancia controlada cuando la tensión de la red pública eléctrica cae por debajo o la corriente de la red pública eléctrica se eleva por encima de un primer valor de umbral.

6.- El sistema (30) de protección de cualquier reivindicación precedente, en el que el controlador (32) está configurado para controlar la tensión del estator en fase con la tensión de la red pública eléctrica para proporcionar un factor de potencia unitaria o para controlar la tensión del estator para conseguir una potencia reactiva en la red pública eléctrica.

7.- Un generador (10) de turbina eólica que comprende:

una turbina (24) eólica acoplada a un generador (16) de inducción de doble alimentación;

una pluralidad de dispositivos (44) de impedancia controlada cada uno acoplado entre una fase respectiva de un devanado del estator del generador de inducción de doble alimentación y de una respectiva fase de un convertidor (26) del lado de la red pública eléctrica; y **caracterizado por**:

un controlador (32) configurado para acoplar y desacoplar la impedancia de uno o más entre la pluralidad de dispositivos de impedancia controlada en respuesta a los cambios de al menos un elemento entre una tensión de la red pública eléctrica y una corriente de la red pública eléctrica para controlar un par de torsión de entrehierro del generador (16) de inducción de doble alimentación hasta un valor deseado cuando se produce un fallo de la red pública eléctrica, en el que cada dispositivo (44) de impedancia controlada comprende un dispositivo de impedancia variable dependiente de la corriente, estando el dispositivo de impedancia variable dependiente de la corriente configurado para ofrecer una impedancia elevada cuando la corriente del estator se eleva por encima de un primer valor de umbral y una impedancia muy baja cuando la corriente del estator cae por debajo de un segundo valor de umbral.

8.- El generador de turbina eólica de la reivindicación 7, en el que cada dispositivo de impedancia controlada comprende un dispositivo (46) de impedancia en paralelo con un dispositivo semiconductor (48), estando el dispositivo semiconductor configurado para acoplar y desacoplar el dispositivo de impedancia en base a las señales de control recibidas del controlador.

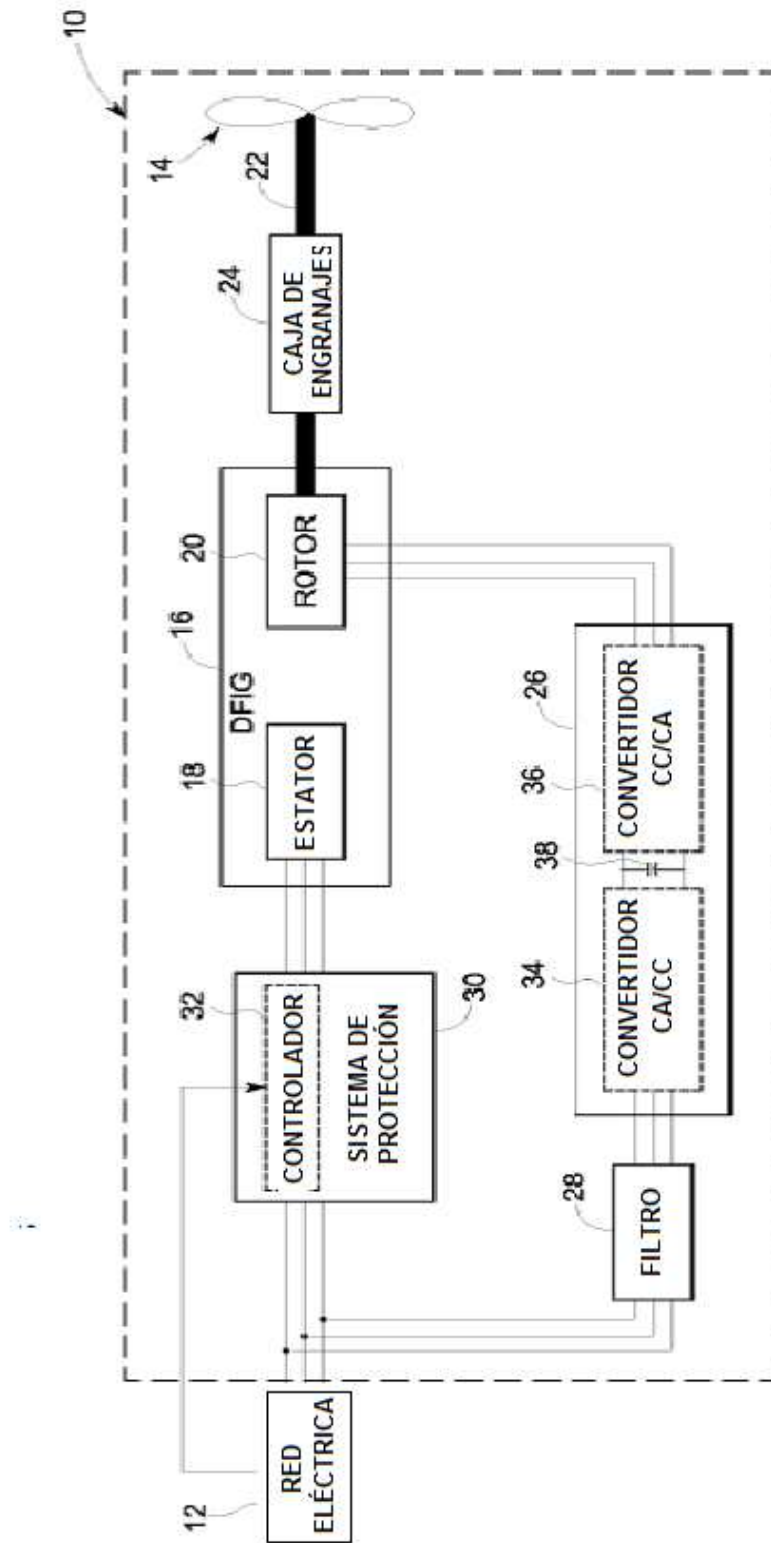


FIG. 1

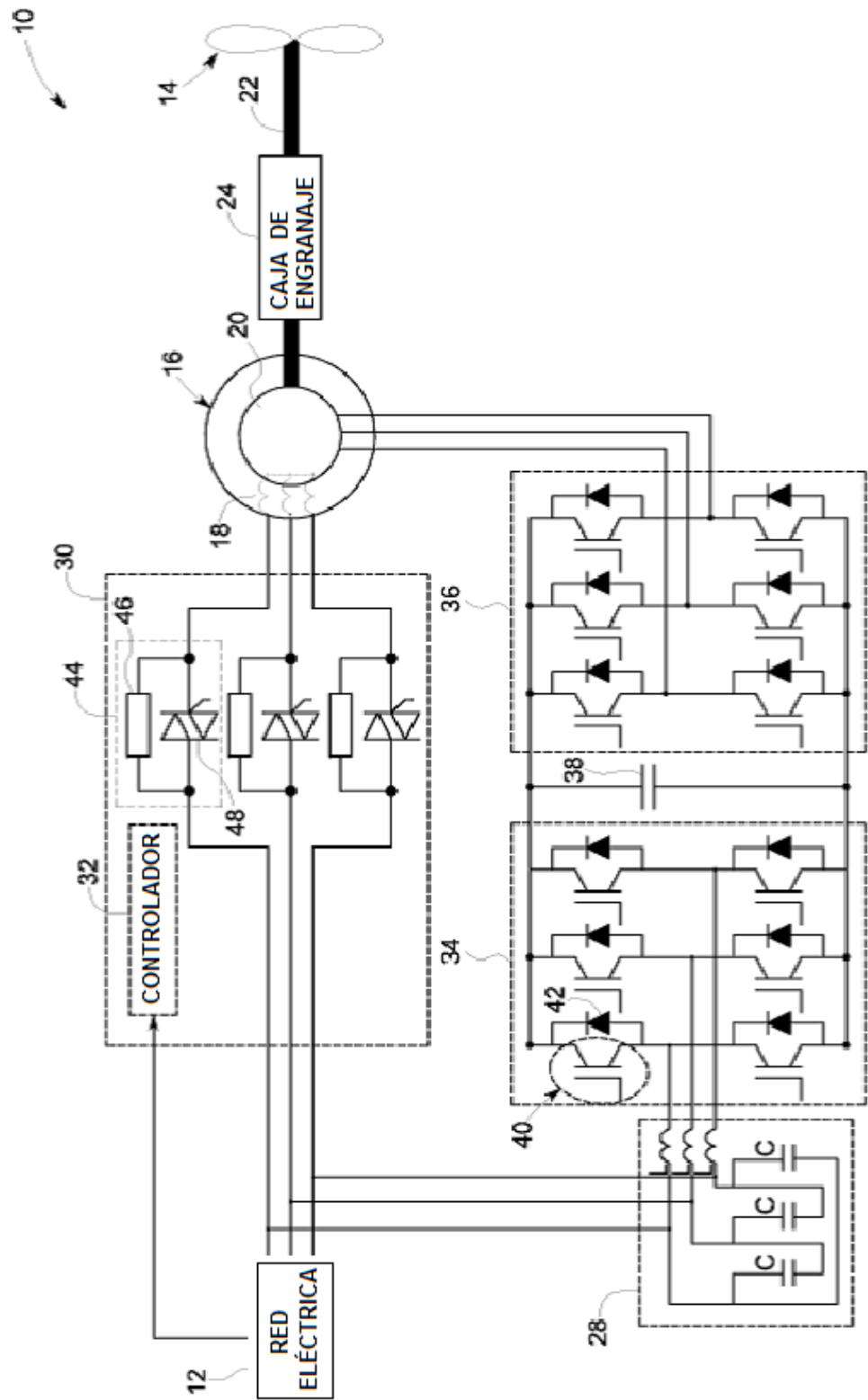


FIG. 2

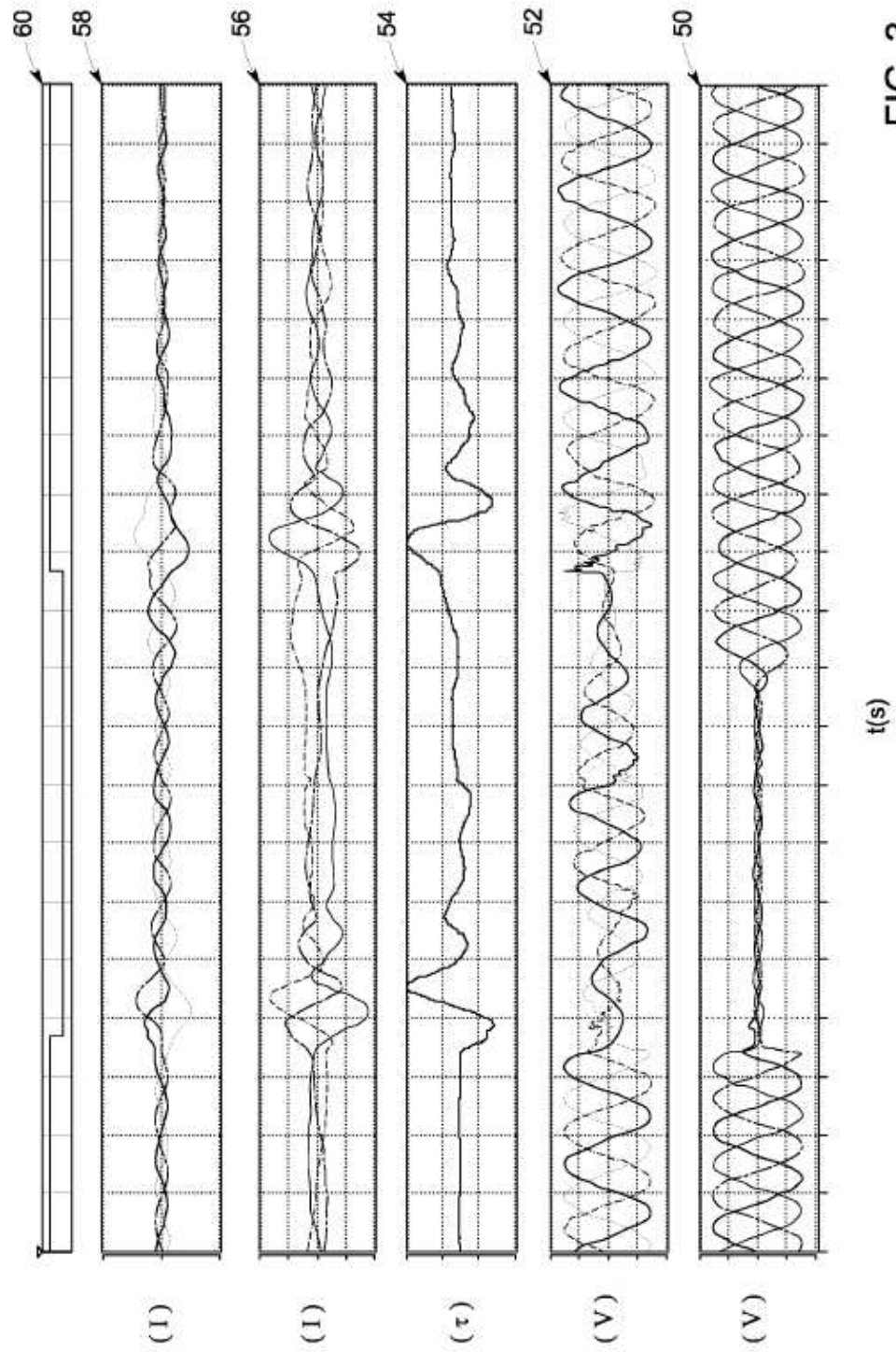


FIG. 3

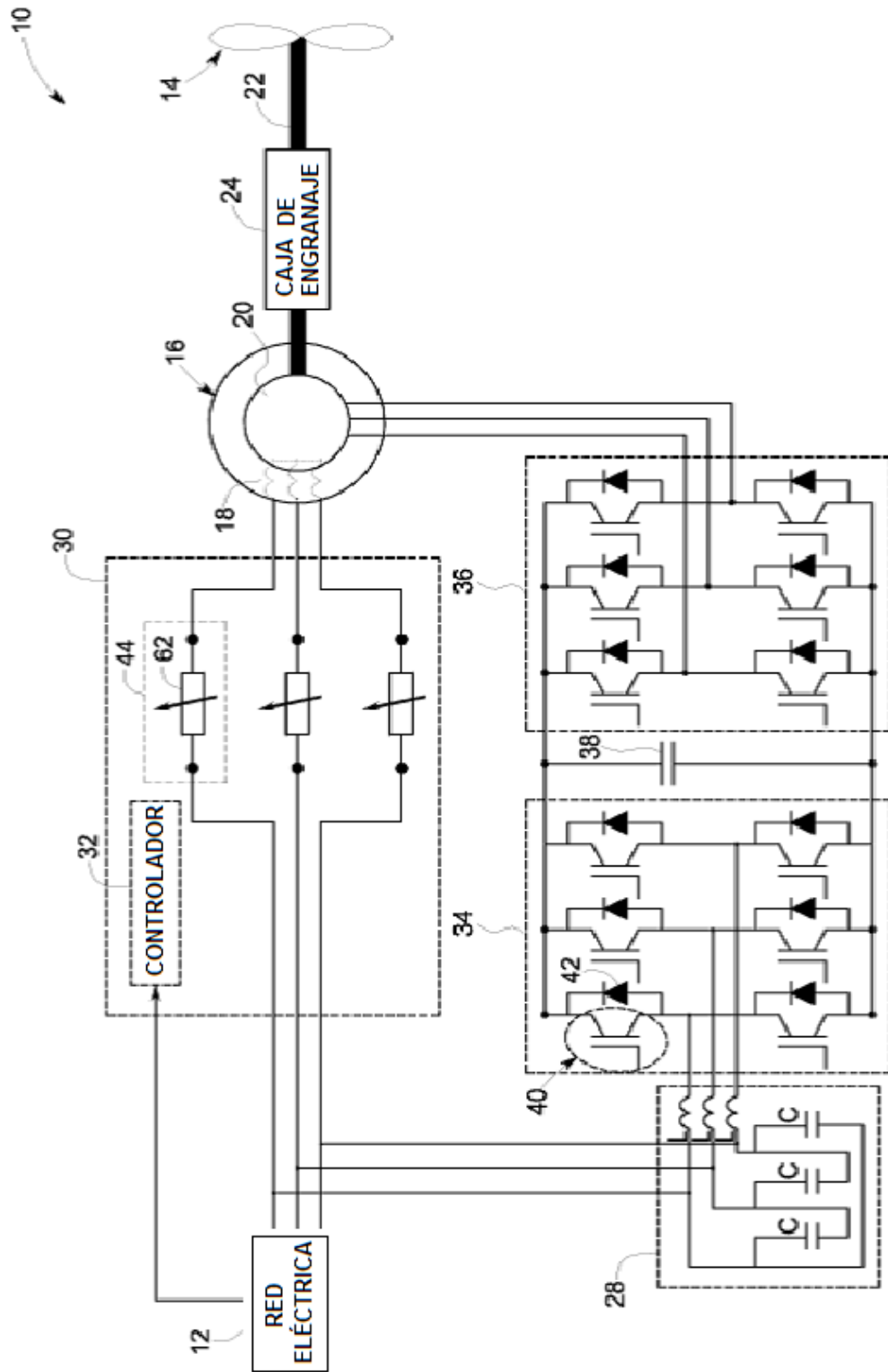


FIG. 4