

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 950 289**

51 Int. Cl.:

H02H 7/06 (2006.01)
H02J 3/50 (2006.01)
H02J 3/18 (2006.01)
H02P 9/10 (2006.01)
H02J 3/38 (2006.01)
H02P 9/16 (2006.01)
G05F 5/00 (2006.01)
H02P 9/00 (2006.01)
F03D 9/25 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.12.2014 PCT/IB2014/003222**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **25.06.2015 WO15092553**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.12.2014 E 14856785 (2)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.06.2023 EP 3084907**

54 Título: **Dispositivo de impedancia variable para una turbina eólica**

30 Prioridad:

18.12.2013 US 201361917538 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
06.10.2023

73 Titular/es:

**INGETEAM POWER TECHNOLOGY, S.A. (100.0%)
Parque Tecnológico de Bizkaia, Edificio 106, 2a
planta
48170 Zamudio (Bizkaia), ES**

72 Inventor/es:

**ZABALZA, FRANCISCO JAVIER, CHIVITE;
REMIREZ, CARLOS, GIRONES;
OREGI, ENEKO, OLEA y
TABERNA, JESUS, LOPEZ**

74 Agente/Representante:

IGARTUA IRIZAR, Ismael

ES 2 950 289 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

Dispositivo de impedancia variable para una turbina eólica

Referencia cruzada a la solicitud relacionada

Esta solicitud reivindica el beneficio de la solicitud de patente provisional estadounidense n.º 61/917,538 presentada el 18 de diciembre de 2013 en la Oficina de Patentes y Marcas de Estados Unidos.

Antecedentes

1. Campo técnico

Los aparatos y métodos consistentes con realizaciones a modo de ejemplo se refieren al uso de dispositivos de impedancia variable y redes de impedancia variable en sistemas de turbinas eólicas, para mitigar los efectos provocados por perturbaciones en la red eléctrica tales como caídas de tensión. Determinadas realizaciones están configuradas para facilitar el cumplimiento de los códigos de red que se imponen a tales sistemas.

2. Técnica anterior

Recientemente se han desarrollado dispositivos de impedancia variable, como los dispositivos FCL, que pueden mitigar los crecientes niveles de corriente de falla durante la transmisión y distribución en las redes de energía eléctrica. Algunos de estos desarrollos han ido acompañados de avances recientes en tecnologías de superconductores, que han dado como resultado, por ejemplo, el desarrollo de dispositivos limitadores de falla de superconductores (SFCL). Los dispositivos FCL pueden dividirse en dos tipos principales: tipo de “aumento de impedancia permanente” y tipo de “aumento de impedancia basado en las condiciones”, que también pueden denominarse “cambio de impedancia permanente” y “cambio de impedancia basado en las condiciones”, respectivamente. El primero presenta el mismo modo de operación tanto en condiciones normales como de falla, mientras que el segundo experimenta un rápido cambio de impedancia durante una falla.

Algunos ejemplos de dispositivos FCL de “cambio de impedancia permanente” incluyen reactores limitadores de corriente, generalmente transformadores de alta impedancia con núcleo de aire, que pueden aumentar el nivel de tensión y cualquier otra medida topológica que pueda disminuir la rigidez del sistema al reducir el grado de mallado, tal como la división del sistema en subredes o cualquier tipo de división de barras colectoras. La rigidez del sistema es alta o rígida cuando la impedancia de la fuente es baja y la corriente de falla disponible es alta. Por tanto, cualquier medida topológica que aumente la impedancia y reduzca la corriente de falla puede reducir la rigidez del sistema. Según otro entendimiento, en un sistema “rígido” la reducción de la tensión del terminal fuente es mucho menor de lo que sería en un sistema “blando” durante una condición de cortocircuito.

Los dispositivos FCL de “cambio de impedancia basado en las condiciones” pueden ser pasivos o activos, y pueden conectarse en serie o en una disposición de derivación. Un ejemplo de un dispositivo de cambio de impedancia basado en las condiciones de tipo pasivo es un fusible limitador de corriente. Estos desarrollan una tensión de arco lo suficientemente alta como para limitar efectivamente la corriente. Los dos tipos de fusibles limitadores de corriente que pueden usarse incluyen fusibles autónomos de alto voltaje (HV) y limitadores basados en fusibles de conmutación.

Tanto los dispositivos FCL de “cambio de impedancia permanente” como los dispositivos FCL de “cambio de impedancia basado en las condiciones” podrían ser del tipo “pasivo” o “activo”. En el caso de dispositivos FCL “pasivos”, el cambio de impedancia puede producirse de manera natural, ya que el dispositivo está sometido a tensión por la presencia de corrientes de falla, sin ser controlado por otro dispositivo o circuito y, por tanto, puede denominarse dispositivo sin control, no controlado o pasivo. En el caso de dispositivos FCL “activos”, el cambio de impedancia puede provocarse mediante un conjunto de circuitos de control y pueden denominarse dispositivo controlado o activo. Los dispositivos FCL pueden conectarse en serie con el flujo de potencia, aunque a veces se conectan en forma de derivación, desviando algunas de las corrientes de falla, por ejemplo, a la tierra del sistema. Cuando se conectan en serie, pueden presentar una baja impedancia que aumenta rápidamente durante un evento de falla. Por el contrario, cuando se conectan en forma de derivación, experimentan una alta impedancia que se reduce rápidamente durante una condición de falla.

Los avances en la tecnología de materiales superconductores han contribuido al desarrollo de dispositivos FCL, particularmente aquellos de tipo pasivo de “cambio de impedancia basado en las condiciones”. Por ejemplo, los materiales superconductores muestran una resistencia eléctrica muy baja, manteniendo de ese modo simultáneamente la densidad de corriente, la temperatura y el campo magnético por debajo de determinados valores umbral. Si cualquiera de esos valores, normalmente la densidad de corriente o el campo magnético, supera el umbral en presencia de un nivel de corriente de falla, el material experimenta un cambio sustancial de impedancia que contribuye a la mitigación del nivel de corriente de falla. Este aumento de impedancia provoca una disipación de

calor adicional, lo que provoca un aumento de temperatura posterior que obliga al conductor a salir más de la región superconductor. El umbral de temperatura para la operación superconductor es muy bajo, en la proximidad de 4 K, o en la región de 70 K, en el caso de superconductividad de alta temperatura (HTS). Por ese motivo, los materiales superconductores se almacenan en cámaras criogénicas. No todas las tecnologías FCL pasivas requieren el uso de tecnologías superconductoras.

Las turbinas eólicas basadas en el generador de inducción doblemente alimentado (DFIG), como la máquina doblemente alimentada (DFM) que se muestra en la figura 1A o la máquina doblemente alimentada basada en una excitatriz (xDFM) que se muestra en la figura 1B, pueden ser muy sensibles a las perturbaciones de la red y especialmente sensibles a caídas de tensión. Pueden producirse sobretensiones y sobrecorrientes en los devanados del rotor en respuesta a caídas abruptas en la tensión de la red que pueden dañar el convertidor de potencia si no se proporciona protección. Una forma de mitigar este transitorio mientras se protege el convertidor incluye conectar un llamado circuito de crowbar en forma de derivación, también conocido como disposición de derivación, entre las terminales del rotor y el convertidor. La figura 1A muestra un generador 10 de turbina eólica con un circuito 20 de crowbar activo convencional acoplado a un convertidor 30 de tipo en oposición y un DFIG 40. El convertidor 30 en oposición (B2B) incluye un convertidor 31 de lado de rotor o de lado de máquina (MSC) y un convertidor 32 de lado de la red (GSC), también conocido como convertidor de entrada o convertidor de lado de línea, que están conectados a través de un enlace de CC o un bus de CC. Pueden conectarse tres fases del rotor del DFIG al circuito de crowbar 20 y al MSC 31, tal como se muestra en la figura 1A. Tres fases del estator del DFIG 40 están conectadas a la red eléctrica a través de un transformador y tres fases del transformador están conectadas al GSC 32. Al detectar una falla de tensión, el circuito de crowbar 20 activo cortocircuita el rotor del DFIG 40 por medio de un elemento de resistencia, desactivando simultáneamente el MSC 31. Entonces la corriente del rotor fluye a través del crowbar 20, desviándola del MSC 31, o según otro ejemplo dirigiéndola desde el GSC 30, protegiendo así el convertidor 30 en oposición. La resistencia impuesta por el crowbar 20 ayuda amortiguando el cambio de transitorio de flujo, reduciendo la duración y magnitud de las sobretensiones y sobrecorrientes. Sin embargo, el circuito de crowbar 20 es costoso y voluminoso. Por ejemplo, el crowbar puede incluir dispositivos pasivos y activos, como diodos y transistores bipolares de puerta aislada (IGBT), y un conjunto de resistencias de alta potencia. Además, el bucle de corriente establecido entre el circuito de crowbar y el convertidor tiene una alta inductancia y está destinado a producir una sobretensión significativa en los terminales IGBT de crowbar en el momento del apagado. Por ese motivo, el crowbar puede incorporar redes de amortiguación de resistencia/capacitancia (RC) y/o dispositivos de varistor para mitigar esa sobretensión. El circuito de crowbar puede tener varios IGBT y ramas de resistencia que se activan gradualmente a medida que evoluciona el transitorio. Además, cuando el crowbar se apaga, el MSC 31 puede generar una tensión que contribuye a mitigar el transitorio de flujo del estator creado por la caída de tensión.

En la figura 1B se muestra otra configuración de una turbina eólica, que emplea una máquina doblemente alimentada basada en una excitatriz (xDFM). En la figura 1B una máquina 50 de excitatriz está conectada entre el DFIG 40 y el lado de convertidor de entrada del convertidor 30. Un chopper de frenado 20 convencional está conectado en el enlace de CC del convertidor 30, entre el convertidor de lado de máquina 31 (MSC) y un convertidor de lado de la red 32 (GSC).

Existen varias alternativas al circuito de crowbar de derivación o el chopper de frenado mostrados en las figuras 1A y 1B, mediante lo cual las resistencias de amortiguamiento están conectadas en serie con el flujo de potencia. Por ejemplo, la figura 2 muestra un generador 10 de turbina eólica equipado con un crowbar 21 activo en serie conectada entre el estator del DFIG 40 y la red que está configurado para proteger el DFIG 40, el MSC 31 y el GSC 32. Estas opciones pueden clasificarse como un tipo de dispositivo FCL de cambio de impedancia basado en las condiciones, activo, conectado en serie. Por ejemplo, una red 21 FCL resistiva está conectada en serie con los devanados del estator del DFIG 40, tal como se observa en la figura 2. La red FCL resistiva 21 puede incluir un elemento de resistencia R_{crow} 22, que podría ser un conjunto de tres resistencias cada una en paralelo con conmutadores 23a y 23b estáticos bidireccionales. Estos conmutadores pueden estar compuestos, por ejemplo, de dos tiristores bloqueables con puerta (GTO) o tiristores conmutados con puerta integrados (IGCT), conectados de una manera en oposición. También puede emplearse una combinación de redes FLC activas en serie y de derivación. Una alternativa a esto es conectar el dispositivo FCL a un conjunto de terminales de extremos abiertos en el estator. Estos circuitos pueden complicarse por la presencia de los conmutadores estáticos, que no sólo requieren el uso de conjuntos de circuitos de control y accionamiento de puerta, sino que también necesitan una protección contra sobretensiones durante el encendido.

Puede existir una familia de dispositivos FCL de cambio de impedancia basados en las condiciones, activos y conectados en serie que están conectados fuera de la turbina eólica. Estos dispositivos sirven para múltiples generadores de turbinas eólicas, tales como los generadores de turbinas eólicas en un parque eólico. Estos dispositivos tienen un inversor conectado en serie con el flujo de potencia principal, de manera que puede inyectarse tensión para mitigar el transitorio provocado por la caída de tensión. Sin embargo, tales sistemas añaden un alto grado de complejidad que afecta al coste y la fiabilidad de toda la solución.

Por ejemplo, el uso del limitador de corriente de falla FCL del tipo de cambio de impedancia pasivo basado en las condiciones puede usarse a nivel de parque eólico. La figura 3 muestra un diagrama unifilar de un superconductor FCL (SFCL) conectado antes del punto de interconexión del parque eólico en el punto de acoplamiento común

(PCC) del parque eólico. El FCL empleado a nivel de parque eólico puede ser un SFCL 50. Específicamente, el SFCL 50 se coloca fuera de todas las turbinas 10 eólicas del parque eólico entre el PCC 51 y la red 52 eléctrica. El SFCL 50 colocado entre el PCC 51 y la red 52 eléctrica no sólo sirve para múltiples turbinas eólicas para controlar las corrientes de falla, sino que también pueden suprimir las extracorrientes de conexión cuando un parque eólico ha adoptado un SFCL en el punto de interconexión del sistema.

Otro tipo de FCL activo basado en las condiciones, también conectado entre el PCC y la red eléctrica, se basa en una red de impedancia variable conectada a tierra en forma de derivación. Una red de impedancia variable de este tipo puede implementarse usando un inductor variable, que tiene un devanado principal para conducir corriente alterna y un devanado de control de CC para conducir corriente continua. Este tipo de inductor habitualmente tiene el devanado de control enrollado de manera ortogonal al flujo principal en el núcleo, de modo que el devanado de CC no recibe nada de la corriente alterna, lo que facilita el suministro de energía de control. Estos dos enfoques convencionales no conectan el FCL a nivel de turbina eólica individual, sino que conectan el FCL a nivel de sistema de parque eólico.

Aunque estos FCL a nivel de parque eólico pueden ayudar a mitigar los efectos adversos en la tensión de suministro de la turbina eólica, no garantizan la protección del equipo convertidor de la turbina eólica ante perturbaciones de la red. Además, no ayudan a satisfacer el cumplimiento por parte de la turbina eólica con los códigos de red y los requisitos del cliente, ya que la validación de la turbina eólica habitualmente es un tipo de prueba realizada en una turbina eólica individual, en sus terminales de entrada de potencia. Por consiguiente, el uso convencional de los FCL a nivel de parque eólico no ayuda a que las turbinas eólicas individuales cumplan con tales códigos de red y requisitos del cliente. Como tal, existe una necesidad sentida desde hace mucho tiempo, pero no satisfecha de satisfacer estos requisitos de cumplimiento de códigos de red y del cliente en la interfaz de la turbina eólica individual con una red o rejilla, así como para proteger el convertidor de la turbina eólica, evitando la necesidad de soluciones costosas a nivel de parque eólico.

El documento EP2581601A1 da a conocer un sistema de generación de electricidad que soporta caídas de tensión. El sistema comprende una primera impedancia adicional conectada en paralelo entre el rotor del generador y el convertidor en oposición, una segunda impedancia adicional conectada al estator y una unidad de control capaz de gobernar las impedancias adicionales.

El documento EP2293431A2 da a conocer un método y un sistema para controlar una central eólica en caso de fallas en la red eléctrica. El sistema comprende una impedancia resistiva conectada al generador, que cortocircuita dicho generador cuando se activa, y un conmutador para activar o desactivar selectivamente dicha impedancia de resistencia.

El documento EP2472532A1 da a conocer un conjunto de bobina y un limitador de corriente de falla superconductor que pueden usarse para conectar generadores de potencia, tales como turbinas eólicas, a una red.

El documento WO9827635A1 da a conocer un dispositivo y un método en una central eléctrica para la protección de un objeto (por ejemplo, un generador) contra sobrecorrientes de una red, comprendiendo el sistema un dispositivo de conmutación conectado entre la red y el objeto, estando conectado dicho dispositivo al objeto y por medio de una línea. El sistema comprende además una disposición conectada a la línea para reducir las sobrecorrientes hacia el objeto.

El documento WO03065567A1 da a conocer una turbina eólica que comprende un generador asíncrono configurado para conectarse eléctricamente a una conexión de red eléctrica, y un circuito de convertidor de potencia configurado para conectarse eléctricamente al generador asíncrono.

Sumario

La invención se define en las reivindicaciones independientes 1 y 9. Según un aspecto de una realización a modo de ejemplo, se proporciona una turbina eólica que incluye un alojamiento; un generador asíncrono dispuesto en el alojamiento y configurado para conectarse eléctricamente a una conexión de red eléctrica; un circuito de convertidor de potencia dispuesto en el alojamiento y configurado para conectarse eléctricamente al generador asíncrono; y un dispositivo de impedancia inductiva variable dispuesto en el alojamiento, conectado entre el circuito de convertidor de potencia y el rotor del generador y configurado para limitar la corriente variando la impedancia en respuesta a una corriente transitoria.

Seleccionándose el dispositivo de impedancia inductiva variable de un grupo que consiste en un inductor variable, un amplificador magnético y un limitador de corriente de falla de núcleo saturable, un limitador de corriente de falla de puente de diodos con bobina CC polarizada y un dispositivo de limitador de corriente de falla de núcleo saturable e imán incorporado.

Según un aspecto de aún otra realización a modo de ejemplo, la turbina eólica incluye además un dispositivo de impedancia fija conectado en paralelo con el dispositivo de impedancia variable.

Según un aspecto de todavía otra realización a modo de ejemplo, el dispositivo de impedancia variable es un inductor variable.

5 Según un aspecto de otra realización a modo de ejemplo, el dispositivo de impedancia fija es una resistencia.

Según un aspecto de una realización a modo de ejemplo, el dispositivo de impedancia variable está conectado en una disposición de derivación entre el generador asíncrono y un punto neutro.

10 Según un aspecto de una realización a modo de ejemplo, la turbina eólica incluye además un controlador configurado para controlar el dispositivo de impedancia variable en respuesta a la detección de la corriente transitoria para variar la impedancia.

15 Según un aspecto de otra realización a modo de ejemplo, el dispositivo de impedancia variable limita la corriente variando de manera pasiva la impedancia en respuesta a la corriente transitoria.

20 Según un aspecto de otra realización a modo de ejemplo, la turbina eólica incluye además un segundo dispositivo de impedancia variable dispuesto en el alojamiento, conectado eléctricamente al generador asíncrono, y configurado para variar la impedancia en respuesta al transitorio.

Según un aspecto de aún otra realización a modo de ejemplo, la turbina eólica suministra potencia reactiva a la red eléctrica cuando el dispositivo de impedancia variable varía la impedancia en respuesta a la corriente transitoria.

25 Según un aspecto de una realización a modo de ejemplo, un método para controlar la corriente en una turbina eólica incluye generar una corriente usando un generador asíncrono dispuesto en un alojamiento de la turbina eólica; convertir la corriente usando un circuito de convertidor de potencia dispuesto en el alojamiento; limitar la corriente convertida en respuesta a una corriente transitoria en una red eléctrica variando la impedancia de un dispositivo de impedancia variable seleccionado de un grupo que consiste en un inductor variable, un amplificador magnético y limitador de corriente de falla de núcleo saturable, un limitador de corriente de falla de puente de diodos con bobina CC polarizada y un dispositivo de limitador de corriente de falla de núcleo saturable e imán incorporado, dispuesto en el alojamiento y conectado eléctricamente entre el circuito de convertidor de potencia y el rotor del generador asíncrono; y emitir la corriente limitada a una conexión a la red eléctrica.

35 Según un aspecto de otra realización a modo de ejemplo, el método incluye además controlar el dispositivo de impedancia variable en respuesta a la detección de la corriente transitoria para variar la impedancia.

40 Según un aspecto de aún otra realización a modo de ejemplo, el método incluye además el dispositivo de impedancia variable que limita la corriente variando de manera pasiva la impedancia en respuesta a la corriente transitoria.

Otros aspectos y ventajas resultarán evidentes a partir de la siguiente descripción y las reivindicaciones adjuntas.

Breve descripción de los dibujos

45 Las figuras 1A y 1B ilustran turbinas eólicas equipadas con un circuito de crowbar de derivación activo.

La figura 2 ilustra una turbina eólica equipada con un circuito de crowbar activo en serie.

50 La figura 3 ilustra un diagrama unifilar de un SFCL conectado antes del PCC de un parque eólico.

La figura 4A ilustra una configuración de turbina eólica que incluye un dispositivo de impedancia variable según una realización a modo de ejemplo que no forma parte de la invención. Las figuras 4B y 4C ilustran configuraciones de turbinas eólicas que incluyen un dispositivo de impedancia variable según una o más realizaciones a modo de ejemplo.

55 La figura 5 muestra una vista detallada de una configuración de convertidor de potencia de DFIG.

60 La figura 6 muestra una red de impedancia variable de tipo activo o pasivo, para formar parte de un dispositivo FCL de "cambio de impedancia basado en las condiciones" según una o más realizaciones a modo de ejemplo.

La figura 7 muestra una red de impedancia variable del tipo dispositivo FCL de "cambio de impedancia basado en las condiciones" en paralelo con una red de impedancia fija según una o más realizaciones a modo de ejemplo.

65 La figura 8 muestra un inductor variable de dispositivo FCL de "cambio de impedancia basado en las condiciones" de tipo activo o pasivo según una o más realizaciones a modo de ejemplo.

La figura 9 muestra un inductor variable del tipo de dispositivo FCL de “cambio de impedancia basado en las condiciones” activo con un devanado principal para conducir corriente alterna, y un devanado auxiliar, normalmente dispuesto de manera ortogonal al mismo núcleo magnético, conectado a una fuente de suministro de CC, para variar el valor de inductancia, según una o más realizaciones a modo de ejemplo.

La figura 10 ilustra un dispositivo FCL en serie según uno o más ejemplos que no forman parte de la invención.

La figura 11 ilustra una disposición eléctrica de dispositivo FCL de núcleo saturable o amplificador magnético según una o más realizaciones a modo de ejemplo.

La figura 12 es un diagrama esquemático del FCL con puente de diodos con una bobina CC polarizada y una fuente externa de tensión de CC, según una o más realizaciones a modo de ejemplo.

la figura 13 ilustra un ejemplo de un dispositivo FCL de núcleo saturable con imán incorporado según una o más realizaciones a modo de ejemplo.

La figura 14 muestra un circuito activo de impedancia variable conectado de una manera en serie, según uno o más realizaciones a modo de ejemplo.

La figura 15 muestra un circuito de impedancia variable conectado en una configuración de derivación, según una o más realizaciones a modo de ejemplo.

La figura 16 muestra un circuito de impedancia variable conectado en forma de derivación en serie con una red de impedancia fija, según una o más realizaciones a modo de ejemplo.

La figura 17 ilustra un alojamiento de turbina eólica.

Las figuras 18A a 18C ilustran configuraciones de turbina eólica con DFIG que muestran las ubicaciones en las que pueden colocarse uno o más dispositivos FCL de tipo inductancia variable y en las que se proporcionan transformadores elevadores/reductores para cumplir diferentes niveles de tensión, según una o más realizaciones a modo de ejemplo.

Las figuras 19A y 19B muestran configuraciones de estrella y triángulo de un devanado del rotor y devanado del estator de un generador y un dispositivo de impedancia variables conectado al mismo.

La figura 20 muestra un sistema de turbina eólica que incluye un alojamiento y los elementos ubicados dentro del alojamiento según un ejemplo que no forma parte de la invención.

Descripción detallada

La siguiente descripción detallada se proporciona para ayudar al lector a comprender los métodos, aparatos y/o sistemas descritos en el presente documento. Por consiguiente, se sugerirán diversos cambios, modificaciones y equivalentes de los métodos, aparatos y/o sistemas descritos en el presente documento a los expertos habituales en la técnica. La progresión de las etapas y/u operaciones de procesamiento descritos es un ejemplo; sin embargo, la secuencia de y/u operaciones no están limitadas a lo expuesto en el presente documento y pueden cambiarse tal como se conoce en la técnica, con la excepción de etapas y/u operaciones que se producen necesariamente en un orden particular. Además, las descripciones respectivas de funciones y construcciones bien conocidas pueden omitirse para mayor claridad y concisión.

Ahora se describirán realizaciones a modo de ejemplo más completamente a continuación en el presente documento con referencia a los dibujos adjuntos. Las realizaciones a modo de ejemplo pueden llevarse a cabo, sin embargo, en muchas formas diferentes y no deben interpretarse como limitadas a las realizaciones expuestas en el presente documento. Estas realizaciones se proporcionan de modo que esta divulgación será exhaustiva y completa y transmitirá completamente las realizaciones a modo de ejemplo a los expertos habituales en la técnica. El alcance no está definido por la descripción detallada, sino por las reivindicaciones adjuntas. Números de referencia similares indican elementos similares en todo.

Se entenderá que cuando se usan los términos “incluye”, “comprende”, “que incluye” y/o “que comprende,” en esta memoria descriptiva, especifican la presencia de elementos y/o componentes mencionados, pero no excluyen la presencia o adición de uno o más elementos y/o componentes de los mismos. Tal como se usa en el presente documento, el término “módulo” se refiere a una unidad que puede realizar una función u operación y puede implementarse utilizando cualquier forma de hardware, software, o una combinación de los mismos.

Una o más realizaciones a modo de ejemplo incluye la conexión de dispositivos de impedancia variable a una turbina eólica, en una ubicación tal como se define en las reivindicaciones, que logra una limitación sustancial de las corrientes y la tensión del convertidor durante un transitorio creado por una caída de tensión o cualquier otra

5 perturbación de la red. Según una o más realizaciones a modo de ejemplo, los dispositivos de impedancia variable, tal como se describen en este caso, se entenderán como dispositivos adicionales instalados en la turbina eólica, y no como parte de componentes de la instalación necesaria para la generación de potencia eléctrica a partir del viento que, debido a su construcción o características, cambian su impedancia dependiendo de sus condiciones de funcionamiento, tales como un cambio de impedancia de conductor con la frecuencia o una saturación de transformador o de generador con corrientes altas. Dicho de otra manera, y según una o más realizaciones a modo de ejemplo, existen componentes de sistema que tienen características de impedancia que varían de manera natural, pero que un experto habitual en la técnica no consideraría como que son un dispositivo de impedancia variable, tal como, por ejemplo, un cambio de impedancia de conductor con la frecuencia, o una saturación de transformación o de generador. Si se conectan en serie con el flujo de potencia, los dispositivos FCL pueden ser del tipo de “cambio de impedancia basado en las condiciones” activo o pasivo, de modo que cambian la impedancia durante el transitorio, con o sin la intervención de cualquier circuito de control externo. Si se conectan en forma de derivación, por ejemplo, entre los devanados del lado de rotor de una máquina con DFIG y el convertidor de lado de máquina (MSC), incluirán una red de impedancia variable del tipo de “cambio de impedancia basado en las condiciones” activo.

10 Los componentes de sistema dentro de la turbina eólica están conectados eléctricamente entre sí. Estar conectados eléctricamente significa que existe un trayecto eléctrico entre los componentes de sistema que pueden no tener otros componentes entre los mismos. Los componentes de sistema pueden estar conectados eléctricamente en paralelo, en serie, de derivación, y/o una combinación de estas disposiciones. Además, los componentes de sistema pueden estar eléctricamente conectados entre sí a través de otros elementos o pueden estar conectados directamente entre sí. Por ejemplo, múltiples resistencias pueden estar conectadas eléctricamente en serie. Además, las resistencias primera y última están conectadas eléctricamente entre sí a pesar de que las resistencias intermedias están conectadas entre las mismas. De manera similar, un dispositivo de impedancia variable que puede estar diseñado para limitar la corriente a un generador ya que su función está conectada eléctricamente al generador, aunque posiblemente tenga otros elementos entre los mismos. Según una o más realizaciones a modo de ejemplo, los componentes de sistema pueden incluir un generador, un convertidor, un dispositivo de impedancia variable, un FCL, una resistencia y/o un transformador. Por consiguiente, se entenderá que los dispositivos, elementos u otros componentes descritos como conectados están conectados eléctricamente a menos que se especifique lo contrario.

15 Según una o más realizaciones a modo de ejemplo, un dispositivo de impedancia variable está configurado de manera que responderá a una corriente en lugar de una tensión. Por ejemplo, en una realización a modo de ejemplo que utiliza un inductor variable, un alto nivel de corriente puede llevar al inductor fuera de saturación cuando el inductor está normalmente saturado por la presencia de un imán incorporado. En otro ejemplo que no forma parte de la invención, el dispositivo de impedancia variable se implementa con un FCL superconductor (SFCL). En este caso, un alto nivel de corriente forzará el dispositivo fuera de la región superconductora. En otro ejemplo, un inductor controlable está colocado en serie con el estator y la conexión de red y está controlado por un sistema de control que responde a un aumento de corriente detectado por un sensor de corriente. En aún otro ejemplo que no forma parte de la invención, el dispositivo de impedancia variable es un elemento resistivo variable. Por tanto, según una o más realizaciones a modo de ejemplo, cuando el dispositivo de impedancia variable está conectado en serie, puede mitigar de manera eficiente un transitorio de corriente provocado por una sobretensión de suministro al configurarlo para que corresponda al cambio en la corriente. Según otra realización a modo de ejemplo, un dispositivo de impedancia variable puede estar conectado en serie con un devanado del rotor de una turbina eólica con DFIG. En esta realización, el dispositivo de impedancia variable todavía puede hacerse funcionar de una manera automática, pero pasiva. Alternativamente, el dispositivo de impedancia variable puede controlarse de manera activa usando un circuito de control. En ambos casos el dispositivo de impedancia variable está configurado de manera que reacciona en respuesta a una corriente, o un transitorio de corriente como puede ser el caso. En sistemas de DFIG, una sobretensión de rotor se produce como consecuencia de caídas de tensión de la red. Por tanto, en el caso en el que un dispositivo de impedancia variable esté conectado en serie a los devanados del rotor y diseñado para aumentar su impedancia cuando disminuye la tensión en sus terminales, el efecto resultante no será beneficioso. En este caso, la impedancia no aumentaría cuando se produjera una caída de tensión. Una solución es usar una impedancia que cambia con el flujo de corriente en lugar de la tensión para dispositivos de tipo pasivo, o un control basado en la medición de corriente en lugar de tensión para dispositivos de tipo activo.

20 Según otra realización a modo de ejemplo, el dispositivo de impedancia variable en serie puede implementarse usando cualquiera de una variedad de dispositivos donde el dispositivo seleccionado puede colocarse en cualquiera de una variedad de ubicaciones en los circuitos de potencia en la turbina eólica. Además, según una o más realizaciones a modo de ejemplo, el dispositivo de impedancia variable también puede usarse en una disposición en serie y/o de derivación.

25 Según un ejemplo que no forma parte de la invención mostrado en la figura 4A, una turbina 400 eólica incluye un dispositivo de impedancia variable 410 conectado en serie entre un generador 440 (que puede tener un estator 444 y un rotor 442) y un transformador 430. Según otra realización a modo de ejemplo, el dispositivo de impedancia variable está conectado en serie entre el generador y la red directamente sin un transformador, y está ubicado con el generador dentro del alojamiento de turbina eólica. De la misma manera, las realizaciones descritas en este caso

pueden usarse con otras configuraciones de turbina eólica en las que el transformador elevador/reductor principal tiene diferentes puntos de conexión y potencia nominal (figura 18). Los expertos en la técnica conocen las diferentes configuraciones usadas en turbinas eólicas, tales como configuraciones en las que el convertidor está conectado a la red a través de un tercer devanado del transformador principal, una configuración en la que el convertidor está conectado a la red a través de un transformador dedicado de la potencia nominal del convertidor y el estator está conectado directamente a la red, o una configuración en la que el convertidor está conectado a la salida de la turbina eólica o el estator, y luego a un transformador principal. Los expertos en la técnica entenderán cuál de estas configuraciones de turbina eólica usar dependiendo de las circunstancias. Los límites de tamaño y activación del dispositivo de impedancia variable empleado dependerán de la configuración de turbina eólica específica. En cada caso, el nivel de tensión puede ser diferente en las ubicaciones diferentes en las que podría conectarse el dispositivo de impedancia variable, y debido a las diferentes impedancias de cada tipo de transformador, pueden variar los niveles máximos de corriente y tensión que debería soportar el dispositivo de impedancia variable.

La disposición puede incluir otros componentes de sistema convencionales para la generación de potencia, tal como, por ejemplo, un circuito 420 de convertidor de potencia conectado entre el generador 440 y el transformador 430, paralelo al dispositivo de impedancia variable 410. Por consiguiente, la turbina eólica, que usa el circuito 420 de convertidor de potencia y/o el transformador 430, convierte la corriente cambiando la corriente de CA a CC o de CC a CA, cambiando la tensión, y/o cambiando la frecuencia.

La disposición puede incluir componentes de sistema adicionales tales como, por ejemplo, un dispositivo de impedancia de valor fijo, que puede ser una resistencia RA 450, conectada en paralelo a través del dispositivo de impedancia variable 410. La resistencia puede ser una resistencia de valor fijo conectada en paralelo con el dispositivo de impedancia variable y puede tener una resistencia fija tanto en un estado pasivo como en un estado apagado, cuando la resistencia no tiene corriente o tensión a través de la misma, y un estado activo o estado encendido. El dispositivo de impedancia variable 410 puede tener un valor bajo durante el funcionamiento normal cuando la inductancia y la impedancia son ambas bajas. Sin embargo, cuando una corriente transitoria incide en el sistema mostrado en la figura 4A que induce alta impedancia, el dispositivo de impedancia variable 410, aumentando su impedancia, deriva la corriente a través de la resistencia RA disipando de ese modo potencia. Esta disposición puede reducir adicionalmente la respuesta de tiempo del circuito total haciendo que responda y se estabilice rápidamente. El dispositivo de impedancia variable 410 puede usar, por ejemplo, cualquiera de los dispositivos de impedancia variable no controlados pasivos descritos en este caso, o dispositivos equivalentes. Alternativamente, un dispositivo de impedancia variable controlado, tal como los descritos en este caso o dispositivos equivalentes, pueden usarse para el dispositivo de impedancia variable 410.

El dispositivo de impedancia fija puede ser una resistencia RA de valor fijo conectada en paralelo a través del dispositivo de impedancia variable 410. La resistencia RA puede dimensionarse de manera que sólo tiene una pequeña cantidad de corriente que fluye a través de la misma durante un funcionamiento normal cuando la inductancia y la impedancia son ambas bajas. Sin embargo, cuando una corriente transitoria incide en el sistema mostrado en la figura 4A que induce alta impedancia, el dispositivo de impedancia variable 410 aumenta su impedancia, lo cual deriva la mayoría de la corriente a través de la resistencia RA para disipar potencia. Esta disposición, debido a la constante de tiempo L/R , puede acelerarse adicionalmente la respuesta del circuito total haciendo que responda y se estabilice rápidamente.

Cuando una caída de tensión tiene lugar en un sistema de DFIG, puede generarse una sobrecorriente en los devanados del estator. La duración del transitorio de corriente puede relacionarse con la constante de tiempo L_{eq}/R_{eq} . L_{eq} se define principalmente por la inductancia de fuga combinada de los devanados del estator y rotor. R_{eq} se define por la suma de la resistencia en serie de los devanados del estator y rotor, cualquier resistencia en serie que puede colocarse en serie con los devanados del estator, tales como la resistencia RA en paralelo con el dispositivo de impedancia variable 410 mostrado en la figura 4A, y la resistencia de crowbar mostrada en la figura 1 (o cualquier resistencia en serie conectada en forma de derivación a los devanados del rotor). En cambio, una resistencia conectada en forma de derivación con los devanados del estator, pueden tener un efecto pequeño o ninguno en la mitigación del transitorio de corriente para un sistema de DFIG.

En esta disposición de ejemplo, los siguientes son ejemplos de valores de parámetros que se proporcionan en función de su orden de magnitud, para ilustrar la eficacia del circuito mostrado en la figura 4A. Un transitorio de corriente en un generador DFIG de 3 MW típico pueden tener una constante de tiempo de alrededor de 30 ms, siendo la duración total del transitorio de aproximadamente 150 ms, independientemente de la duración de la caída de tensión que inició el transitorio. Este ejemplo contempla una resistencia de crowbar o de derivación conectada al lado de rotor, o una resistencia de chopper de frenado conectada al enlace de CC con un valor de 0,15 ohm, en una topología similar a la mostrada en las figuras 1 A o 1 B. Si se conecta una resistencia de 3 ohm en serie con los devanados del estator como la resistencia RA mostrada en la figura 4A, la constante de tiempo, y la duración total del transitorio se reducen sustancialmente hasta 5 ms y 25 ms respectivamente. Además, existe un límite para el valor máximo que puede tener la resistencia de crowbar de derivación, ya que la tensión a través de la misma nunca puede superar la tensión de enlace de CC del sistema 420 de convertidor. Puesto que, aparte de las consideraciones de coste y tamaño particulares, no existe un límite para la resistencia RA en serie, colocar una resistencia en serie en los devanados del estator de una manera adecuada, tal como se muestra en la figura 4A, es

una solución eficaz para mitigar los transitorios de corriente provocados por variaciones de tensión de la red.

Según una realización a modo de ejemplo, tal como se muestra en la figura 4B, un dispositivo de impedancia variable 411 puede incluirse y conectarse en serie con una resistencia RB 451 para formar una red de impedancia variable de derivación. Esa red de impedancia variable de derivación está conectada en un extremo de los devanados del rotor del generador 440 y el sistema 420 de convertidor de potencia en forma de derivación, mientras que el otro extremo puede conectarse en un punto 460 neutro. Específicamente, un punto 460 neutro puede ser un punto con un nivel de tensión diferente, tal como un potencial de tierra, tal como una tierra o puesta a tierra del sistema, o puede ser una disposición en la que la red de impedancia se deja abierta dependiendo de la disposición 451 de red de resistencia RB, por ejemplo, una disposición de resistencias en estrella o triángulo. La impedancia 411 variable puede ser del tipo activo, presentando un alto valor en el funcionamiento normal y un bajo valor en caso de falla.

Según otra realización a modo de ejemplo tal como se muestra en la figura 4C, puede haber otro dispositivo de impedancia variable 412 conectado en serie entre el convertidor de potencia y los devanados del rotor del generador 440. Este dispositivo de impedancia, que presenta un bajo valor durante el funcionamiento normal y un alto valor durante en caso de falla, pueden ser del tipo pasivo o del tipo activo. La red de impedancia variable de derivación, similar a la red de impedancia variable de derivación mostrada en la figura 4B, formada como la conexión en serie de un dispositivo de impedancia variable 413 activo y una resistencia Rc 452, está conectada al dispositivo de impedancia variable 412 en serie y el generador 440. Según una o más realizaciones a modo de ejemplo, cualquiera de los dispositivos mostrados en las figuras 4A a 4C están colocados dentro de un único alojamiento, en el que el alojamiento puede incluir toda la estructura de turbina eólica, o puede colocarse específicamente dentro de un alojamiento tal como una góndola de una turbina eólica.

Según la invención, las configuraciones de turbinas eólicas con DFIG totales que se muestran en las figuras 4B y 4C se colocan dentro de un único alojamiento, en el que el alojamiento puede incluir toda la estructura de turbina eólica, o pueden colocarse específicamente dentro de un alojamiento tal como una góndola de la turbina eólica.

La figura 5 muestra una vista detallada de una configuración de un circuito 520 de conversión de potencia de DFIG que puede implementarse en una o más de las realizaciones a modo de ejemplo. Por ejemplo, el circuito 420 de convertidor de potencia tal como se muestra en las figuras 4A-4C puede implementarse como el dispositivo 520 de conversión de potencia de DFIG mostrado en la figura 5. Tal como se muestra en la figura 5, el circuito de conversión de potencia puede incluir un filtro 525 de lado de la red, un convertidor 522 de lado de la red (GSC), un elemento de almacenamiento de energía, normalmente una batería 523 de condensadores (aunque podrían usarse otros elementos tales como inductores), un convertidor 521 de lado de máquina (MSC) y un filtro 524 de lado de máquina.

El dispositivo de impedancia variable en serie, tal como los dispositivos 411 y 412, puede ser una red 600 de impedancia variable autónoma tal como se muestra en la figura 6, que puede ser tipo activo o pasivo. Alternativamente, el dispositivo de impedancia variable en series puede estar formado por una red de impedancia variable 704 combinada con una rama 705 de impedancia fija Z, normalmente resistiva, conectada en paralelo tal como se muestra en la figura 7. La impedancia 600 variable autónoma o la red de impedancia variable mostrada en la figura 7 puede ser un inductor variable tal como se muestra en la figura 8 que muestra dispositivo de impedancia variable o red 801 del tipo activo o pasivo, para formar parte de un dispositivo FCL de "cambio de impedancia basado en las condiciones" según una realización a modo de ejemplo.

La figura 9 muestra un inductor variable en un dispositivo de impedancia variable activo como dispositivo FCL de tipo "cambio de impedancia basado en las condiciones". Específicamente, el dispositivo de impedancia variable activo incluye un inductor 900 que está controlado por un devanado 901 de control que está conectado a una fuente 903 de corriente controlada, que puede ser una fuente de suministro de CC. El inductor variable tiene un devanado 900 principal para conducir la corriente alterna, y un devanado 901 auxiliar, normalmente conectados de manera ortogonal en el mismo núcleo magnético, que está conectado a la fuente 903 de corriente controlada que suministra una corriente Id, para variar el valor de inductancia.

Ejemplos de dispositivos de impedancia variable pasivos que pueden usarse como dispositivos de impedancia variable mostrados en las figuras 4A-4C, como se ilustra en las figuras 10-13.

La figura 10 muestra un ejemplo que no forma parte de la invención, de un dispositivo SFCL en serie. El dispositivo SFCL conectado en serie incluye una bobina superconductora Rsc y una impedancia resistiva y/o inductiva Rderivación/Lderivación que está conectada en paralelo a través de sus terminales. Cuando la corriente de línea aumenta por encima de un determinado valor, aumenta la impedancia de la bobina superconductora, y la impedancia resultante de SFCL se determina principalmente mediante la rama de impedancia conectada en paralelo, que da como resultado una reducción de corriente de falla. Un ejemplo de un dispositivo SFCL de este tipo es la brida para cables superconductora con capacidades de limitador de corriente de falla inherentes. Una alternativa al dispositivo mostrado en la figura 10 es el FCL de núcleo blindado, mediante el cual se aísla una cámara criogénica de la región de alta tensión por medio de un transformador conectado en serie.

La figura 11 muestra un ejemplo de un amplificador magnético o dispositivo FCL de núcleo saturable. La figura muestra una disposición eléctrica. Específicamente, la figura 11 muestra otro ejemplo del FCL de tipo pasivo de “cambio de impedancia basado en las condiciones” formado con un amplificador magnético o núcleo saturable. El dispositivo mostrado en la figura 11 emplea dos núcleos magnéticos, teniendo cada uno un devanado de bobina de CA, y estando conectados eléctricamente en serie. Los núcleos están saturados permanentemente mediante un devanado de CC que se enrolla alrededor de los dos núcleos. De este modo, no sólo se saturan los dos núcleos de CC, sino que, al proporcionar dos bobinas de CA con el mismo número de vueltas, se cancela el flujo de CA resultante, permitiendo el uso de una fuente de corriente continua pura simple. Cuando la corriente de línea alcanza el nivel de falla, cada uno de los núcleos magnéticos sale de la saturación en semiciclos alternativos, imponiendo una impedancia limitante de falla. Puede apreciarse el uso de materiales superconductores en la bobina de CC para convertir el dispositivo en un SFCL.

Actualmente, los FCL no se conectan directamente a las turbinas eólicas, sino que simplemente se colocan de manera que aumenten el nivel de protección de corriente de falla de la red y la subestación de los parques eólicos que se componen de turbinas eólicas. La inserción del FCL puede reducir el nivel de corriente de falla haciendo posible el uso de cableado y aparataje convencionales.

La figura 12 muestra un FCL con puente de diodos con una bobina CC polarizada y una fuente externa de tensión de CC. Particularmente, determinadas disposiciones, tal como se observa en la figura 12, por ejemplo, usan una bobina de CC que puede implementarse usando un hilo superconductor, cuatro diodos y una fuente de tensión de CC que impone una corriente 10 continua circulante. La corriente 10 polariza directamente los cuatro diodos. Sin embargo, cuando la corriente de línea máxima se vuelve mayor de 10 en una situación de falla de línea, los diodos D3 y D4, o DJ y D2, pueden polarizarse inversamente durante el semiciclo positivo o negativo, respectivamente. Luego, el dispositivo FCL impone una inductancia L que limita el nivel de corriente de falla.

Según una realización a modo de ejemplo, los dispositivos mostrados en la figura 11 y la figura 12 también podrían controlarse activamente, aunque pueden tener un intervalo de funcionamiento limitado. Particularmente, el umbral limitante de corriente de falla puede ajustarse dentro de un cierto intervalo.

La figura 13 ilustra un ejemplo de un esquema de dispositivo FCL de núcleo saturable con imán incorporado. Una clase similar de núcleo saturable puede tener un imán permanente incorporado en el núcleo, tal como se muestra en la figura 13. Durante el funcionamiento normal, el imán está en un estado desmagnetizado. Su permeabilidad es cercana al valor del aire y el FCL magnético (MFCL) se comporta como un reactor con núcleo de aire con una baja inductancia. Cuando se produce la falla, la corriente de falla lleva al campo magnético más allá del valor coercitivo del imán. El imán se magnetiza y cierra el trayecto de flujo a través del circuito magnético. Por tanto, aumenta la inductancia del dispositivo, lo que reduce el nivel de corriente de falla.

Según una realización a modo de ejemplo, la figura 14 muestra una impedancia variable activa conectada en serie. Particularmente, la figura 14 muestra un dispositivo de impedancia variable, específicamente, un inductor variable del dispositivo FCL de tipo “aumento de impedancia basado en las condiciones”. Específicamente, el dispositivo de impedancia variable puede incluir un circuito 1407 de control que está conectado a un dispositivo 1408 de impedancia variable. También podría usarse una impedancia variable del tipo activo de “cambio de impedancia basado en las condiciones”, tal como se muestra en la figura 9, en lugar del tipo pasivo. En el caso de usar un dispositivo de impedancia variable activo, un circuito 1407 de control envía una orden para variar el valor de impedancia del dispositivo de impedancia variable 1408, al detectar que la corriente principal ha superado un determinado valor umbral.

La figura 15 muestra un dispositivo de impedancia variable 1508 conectado en forma de derivación. La impedancia variable puede formar un circuito trifilar o un circuito tetrafilar, si se conecta a tierra o cualquier otro punto conveniente en el circuito. Un circuito 1507 de control envía una señal de orden al dispositivo de impedancia variable 1508 dependiendo del nivel de corriente medido en la línea.

El inductor variable mostrado en la figura 15 es un dispositivo FCL de tipo “cambio de impedancia basado en las condiciones” activo. El dispositivo FCL puede tener un devanado principal para conducir la corriente alterna, y un devanado auxiliar, que normalmente estaría dispuesto de manera ortogonal al mismo núcleo magnético, conectado a una fuente de suministro de CC, para variar el valor de inductancia.

La figura 16 muestra un dispositivo de impedancia variable 1608 conectado en forma de derivación en serie con una red 1609 de impedancia fija. La impedancia variable puede formar un circuito trifilar o un circuito tetrafilar, si se conecta a tierra o cualquier otro punto conveniente en el circuito. El dispositivo de impedancia variable 1608 está conectado a un circuito 1607 de control. Cuando la corriente es baja, o está en un intervalo de funcionamiento normal, el circuito 1607 de control envía una señal de orden al inductor 1608 variable que mantiene un alto valor de impedancia en el inductor 1608 variable. Por consiguiente, la impedancia resultante de la rama de derivación formada por los elementos 1608 y 1609 que están conectados en serie es alta, y una cantidad despreciable de corriente fluye a través de los mismos. Cuando la corriente de línea supera un determinado valor umbral, tal como

durante una condición de falla, el circuito 1607 de control envía una señal a la impedancia 1608 variable haciendo que se reduzca su valor de impedancia. Luego, la impedancia de derivación se reduce y la corriente de línea se desvía hacia la misma, dependiendo del valor de la impedancia variable. Si el valor de la impedancia variable se vuelve muy bajo, la impedancia de la rama de derivación es equivalente a la impedancia de la red 1609 de impedancia fija.

La figura 17 ilustra una turbina eólica 700 que incluye una góndola 710 fijada encima de un pedestal 720. La góndola 710, el pedestal 720, o una combinación de la góndola y el pedestal pueden formar el alojamiento para la turbina eólica. La góndola 710 incluye el generador, el conjunto de circuitos de convertidor de potencia, así como otro engranaje electrónico. El dispositivo de impedancia variable y sus componentes asociados pueden instalarse dentro de la góndola o dentro del pedestal de la turbina 700 eólica.

La figura 18 muestra ubicaciones en una turbina eólica donde pueden colocarse dispositivos de impedancia variable en serie y/o de derivación del FCL de tipo cambio de impedancia basado en las condiciones. Una o más disposiciones a modo de ejemplo que no son según la invención pueden incluir un dispositivo FCL de impedancia variable conectado en serie con el flujo de potencia principal en una o más de las ubicaciones en una turbina eólica mostrada por uno o más de dispositivos FCL 1801, 1802, 1804, 1808, 1810, 1811 y 1813, mostrados en las ubicaciones en las figuras 18A a 18C. Además, el dispositivo 1809 podría estar conectado de una manera en estrella o triángulo en el lado a mano izquierda de los terminales de devanado de extremo abierto del estator, siempre que esté disponible una configuración de devanado de extremo abierto de estator. Estos dispositivos en serie pueden ser del tipo "cambio de impedancia basado en las condiciones" pasivo. Sin embargo, un dispositivo activo también serviría para el propósito de la una o más realizaciones a modo de ejemplo.

Una o más disposiciones a modo de ejemplo también pueden tener un dispositivo FCL conectado en una disposición de derivación con el flujo de potencia principal. Por ejemplo, uno cualquiera o más de los dispositivos FCL 1803, 1805, 1806, 1807, 1812 y 1814, pueden colocarse en las ubicaciones dentro de una turbina eólica tal como se muestra en las figuras 18A - 18C. Estos dispositivos son FLC del tipo "cambio de impedancia basado en las condiciones" activo e incluyen una red de impedancia variable 1508, tal como se muestra en la figura 15, o una combinación de redes de impedancia variable con una red 1609 de impedancia fija, normalmente resistiva, tal como se muestra en la figura 16. La red de impedancia variable presenta un valor de alta impedancia durante el funcionamiento normal, y presenta un valor de impedancia comparativamente mucho menor en presencia de niveles de corriente de falla. El cambio de impedancia está controlado por un sistema 1607 de control que puede detectar la corriente principal y actuar cuando esa corriente asciende por encima de un valor umbral determinado. Un dispositivo de impedancia variable de este tipo puede implementarse mediante inductor variable activo o controlado mostrado en la figura 9.

Una o más disposiciones a modo de ejemplo también podrían incluir uno cualquiera o más de los dispositivos FCL 1801, 1802, 1804, 1808, 1810, 1811 y 1813 conectados en serie, en combinación con uno cualquiera o más de los dispositivos FCL 1803, 1805, 1806, 1807, 1812 y 1814 conectados en derivación, mostrados en las figuras 18A-18C.

Específicamente, la figura 18A muestra una configuración de turbina eólica con DFIG que incluye un generador 1840 que tiene un estator y un rotor donde el estator, el rotor y el suministro de tensión de red presentan niveles de tensión diferentes. Puede proporcionarse un transformador 1830 elevador/reductor para cumplir con los diferentes niveles de tensión.

La figura 18B muestra una configuración de turbina eólica con DFIG que incluye un generador 1840 que tiene un estator y un rotor donde el estator y el suministro de tensión de red presentan la misma tensión, pero es diferente a la del rotor. Puede proporcionarse un transformador 1830 elevador/reductor para cumplir con los diferentes niveles de tensión.

La figura 18C muestra una configuración de turbina eólica con DFIG que incluye un generador 1840 que tiene un estator y un rotor donde el estator y el rotor presentan la misma tensión, pero la tensión es diferente de la de la red. Puede proporcionarse un transformador 1830 elevador/reductor para cumplir con los diferentes niveles de tensión. Una diferencia entre las estructuras mostradas en la figura 18B y 18C está en la tensión nominal del estator de la máquina de turbina eólica en cada figura.

Las disposiciones descritas en este caso pueden usarse para cualquiera de las configuraciones de turbina eólica presentadas en las que el transformador elevador/reductor principal tiene diferentes puntos de conexión y potencias nominales. Estas configuraciones definen una solución apropiada en cada caso, y los límites de tamaño y activación del dispositivo de impedancia variable variarán basándose en esas configuraciones. En cada caso, el nivel de tensión es diferente en las diferentes ubicaciones donde podría conectarse el dispositivo de impedancia variable, y puesto que las diferentes impedancias de cada tipo de transformador, pueden variar los niveles máximos de corriente y tensión que debe soportar el dispositivo de impedancia variable. Tal como se muestra en las figuras 18A a 18C, puede proporcionarse una pluralidad de dispositivos de impedancia variable, que pueden ser componentes FCL, dentro de una turbina eólica, tal como, por ejemplo, dispositivos 1802 y 1807, 1804 y 1806, y 1801 y 1805, etc. Sin embargo, una o más disposiciones a modo de ejemplo no requieren todos los elementos FCL individuales tal

como se muestran, y pueden implementar tanto como uno sólo de los FCL. Por tanto, según una o más realizaciones a modo de ejemplo, la colocación del FCL tal como se muestra en las figuras 18A a 18C puede entenderse como que es uno cualquiera, más de uno o todos los FCL mostrados, o cualquier combinación de los mismos. Por consiguiente, las figuras 18A a 18C muestran una pluralidad de las diferentes opciones para la colocación de un FCL, o combinación de los FCL, dentro de la turbina eólica. Cualquier FCL colocado en una cualquiera de las ubicaciones indicadas puede ser suficiente para suprimir un transitorio eléctrico. Específicamente, una o más disposiciones a modo de ejemplo podrían incluir un sólo dispositivo de impedancia variable conectado en serie tal como se muestra en la figura 4A. Según otras una o más disposiciones a modo de ejemplo podría haber sólo un dispositivo de impedancia variable conectado en una disposición de derivación tal como se muestra en la figura 4C.

Un conmutador S, mostrado en las figuras 18A -18C, normalmente puede instalarse en la turbina eólica para aislar los devanados del estator. Con el uso del dispositivo de impedancia variable en las diversas disposiciones descritas en este caso, el conmutador puede permanecer cerrado durante una falla de modo que el generador permanezca conectado a la red para proporcionar una capacidad de respuesta ante fallas. Además, puede haber más de uno de tales conmutadores de esta clase, dependiendo de la realización particular. Por ejemplo, puede instalarse un conmutador adicional entre un convertidor 1820, que puede ser un convertidor en oposición (B2B), y un transformador 1830.

Los dispositivos FCL descritos en el presente documento pueden cambiar la impedancia en etapas discretas y definidas.

Alternativamente, los dispositivos FCL pueden presentar una variación continua de valores de impedancia. Los dispositivos FCL también podrían servir para el propósito adicional de mitigar o amortiguar una posible resonancia, por ejemplo, la resonancia que se produce debido a la interacción de la red con el convertidor de turbina eólica, como los filtros del lado de la red.

Las configuraciones de turbina eólica mostradas en las figuras 18A a 18C pueden colocarse completamente dentro de un único alojamiento 1850, en el que el alojamiento puede incluir toda la estructura de turbina eólica, o pueden colocarse específicamente dentro de un alojamiento tal como una góndola de la turbina eólica.

Además, según una o más disposiciones a modo de ejemplo que no forman parte de la invención, uno o más de los dispositivos 1809 pueden conectarse en una manera en estrella o triángulo a los terminales de devanado de extremo abierto del estator, siempre que esté presente la configuración de devanado de extremo abierto de estator, tal como se muestra en las figuras 19A y 19B. Además, tal como se muestra en las figuras 19A y 19B, se muestra una inductancia de fuga de rotor Xr, así como una inductancia de fuga de estator XS en una configuración de devanado de extremos abierto de estator. La figura 19A muestra una configuración de devanado de extremo abierto de estator en una disposición de conexión en triángulo. La figura 19B muestra una configuración de devanado de extremo abierto de estator en una disposición de conexión en estrella. Adicionalmente, los dispositivos de impedancia variable 1809 están colocados en una o más disposiciones y ubicaciones tal como se muestra en las figuras 19A y 19B.

Según otras una o más disposiciones a modo de ejemplo que no forman parte de la invención, sólo uno de los dispositivos de impedancia variable 1809 mostrados puede incluirse en el devanado del estator en una de las ubicaciones mostradas en las figuras 19A y 19B. Alternativamente, todos los dispositivos de impedancia variable 1809 mostrados pueden incluirse tal como se muestra, o puede incluirse una subcombinación, por ejemplo, sólo dos de los dispositivos de impedancia variable.

Tal como se muestra en el ejemplo de la figura 20 que no forma parte de la invención, el dispositivo de impedancia variable 2010, por ejemplo, un limitador de corriente de falla descrito en este caso, puede instalarse en turbinas eólicas individuales de modo que el PCC, una turbina eólica individual satisface los requisitos eléctricos regulatorios y/o del cliente durante condiciones de baja tensión. Además, instalando el dispositivo de impedancia variable 2010 dentro de una turbina eólica individual y muy cerca del convertidor 2020 de potencia, el dispositivo 2010 de impedancia variable también puede hacerse funcionar para proteger el convertidor 2020 de potencia de turbina eólica del daño debido a corrientes excesivas provocadas por un evento de baja tensión, siempre que se haya diseñado para ese propósito. Por consiguiente, el dispositivo de impedancia variable 2010, que puede implementarse con los inductores variables en serie descritos en el presente documento y mostrados en las figuras, se instalan muy cerca del generador 2040 y el convertidor 2020 de potencia de turbina eólica y en ocasión se instalan dentro del mismo alojamiento de la turbina eólica que encierra el generador y el convertidor de potencia. Por ejemplo, en la figura 20, un dispositivo de impedancia variable 2010, tal como un FCL, un generador 2040 (que incluye un estator 2044 y un rotor 2042), y un convertidor 2020 de potencia, que puede ser un convertidor en oposición (B2B), así como un transformador 2030 pueden colocarse dentro del mismo alojamiento 2050, tal como se muestra. Además, estos elementos pueden colocarse específicamente dentro de la góndola de la turbina eólica.

El crecimiento de la generación eólica de energía está obligando a la creación de nuevas especificaciones de código de red, por lo que la generación eólica de energía debe adaptarse a estos nuevos requisitos. Estos requisitos se

centran en dos puntos principales: la no desconexión de la turbina eólica de la red y la contribución de la turbina eólica a la estabilidad de la red. El suministro de potencia reactiva a la red durante una falla puede ser un requisito para la conexión a la red. Pueden configurarse diversas realizaciones a modo de ejemplo para proporcionar potencia reactiva a la red cuando se produce una falla.

5 Los sistemas anteriores que usan circuitos resistivos para disipar la potencia activa durante una falla, tal como los circuitos de crowbar que se muestran en las figuras 1 y 2, no suministran potencia reactiva sustancial o suficiente desde el rotor o el estator para satisfacer los requisitos de los códigos de red, o no pueden suministrarla tan rápido como se requiere, puesto que la inyección no se controla mientras el crowbar está conectada.

10 Las realizaciones a modo de ejemplo de la invención pueden suministrar potencia reactiva sustancial a la red durante una falla tanto en la configuración de dispositivo de impedancia variable conectado en paralelo como la configuración de dispositivo de impedancia variable conectado en serie.

15 La realización a modo de ejemplo que emplea un dispositivo de impedancia variable conectado en paralelo, tal como las realizaciones mostradas en la figura 4B y 4C, y diversas configuraciones mostradas en las figuras 18A-C, permite proporcionar cantidades requeridas de potencia reactiva desde el estator hasta la red con un dimensionamiento apropiado del dispositivo de impedancia variable. Puesto que los terminales de rotor o estator no se cortocircuitan a través de una resistencia en estas realizaciones, se suministra potencia reactiva a la red cuando el dispositivo de impedancia variable se diseña para variar su impedancia dentro de un determinado intervalo de impedancia. En el caso en el que el dispositivo de impedancia variable sea un inductor, la inductancia cambia en un intervalo entre valor mínimo $L_{\text{mín}}$ y un valor máximo $L_{\text{máx}}$. Estos valores se seleccionan dependiendo de los componentes y los requisitos específicos de la instalación o las especificaciones del cliente, tales perfiles de tensión (capacidad de respuesta ante fallas baja y capacidad de respuesta ante fallas alta) que el sistema debe ser capaz de soportar, los niveles y tiempos de inyección de corriente reactiva, y los componentes del convertidor de potencia que deben protegerse.

20 Las disposiciones a modo de ejemplo que emplean un dispositivo de impedancia variable conectado en serie, tal como la disposición mostrada en la figura 4A, diversas configuraciones mostradas en las figuras 18A-C, y la realización mostrada en la figura 19, permiten proporcionar potencia reactiva desde el estator hasta la red con un dimensionamiento apropiado del dispositivo de impedancia variable. En algunas turbinas eólicas la dinámica de control de par mecánico es tan baja que se produce una aceleración del generador durante el comienzo de la falla. En el circuito mostrado en la figura 4A, por ejemplo, si se produjera tal aceleración, el dispositivo 450 de impedancia fija RA, que está conectado en paralelo al dispositivo de impedancia variable, disipa la potencia activa y, por tanto, mantiene la velocidad del generador mientras que el dispositivo de impedancia variable suministra corriente reactiva a la red.

30 Aunque se han descrito realizaciones a modo de ejemplo con respecto a un número limitado de realizaciones, los expertos en la técnica, que se benefician de esta divulgación, apreciarán que pueden idearse otras realizaciones que no se aparten del alcance dado a conocer en el presente documento. Por consiguiente, el alcance debe estar limitado únicamente por las reivindicaciones adjuntas.

45

REIVINDICACIONES

1. Una turbina eólica que comprende:
 5 un generador (440; 1840) asíncrono configurado para conectarse eléctricamente a una conexión de red eléctrica;
 un circuito de convertidor de potencia (420; 1820) configurado para conectarse eléctricamente al generador (1840) asíncrono; y
 un dispositivo de impedancia variable (411; 412; 413; 600; 704; 801; 900; 1408; 1508; 1608) conectado entre el circuito de convertidor de potencia (420) y el rotor (442) del generador (440, 1840)
 10 **caracterizada porque** la turbina eólica comprende además un alojamiento (1850), estando dispuestos el generador (440; 1840) asíncrono y el circuito de convertidor de potencia (420; 1820) en el alojamiento (1850);
 el dispositivo de impedancia variable (411; 412; 413; 600; 704; 801; 900; 1408; 1508; 1608) dispuesto en el alojamiento (1850) y configurado para limitar la corriente variando la impedancia en respuesta a una corriente transitoria, y seleccionándose de un grupo que consiste en
 15 un inductor variable,
 un amplificador magnético y limitador de corriente de falla de núcleo saturable (MFCL),
 un limitador de corriente de falla de puente de diodos con bobina CC polarizada, y
 un dispositivo de limitador de corriente de falla de núcleo saturable e imán incorporado.
2. La turbina eólica según la reivindicación 1, en la que el dispositivo de impedancia variable es un inductor variable.
3. La turbina eólica según la reivindicación 1 o 2, en la que el dispositivo de impedancia variable (411; 412; 413; 600; 704; 801; 900; 1408; 1508; 1608) está conectado en una disposición de derivación entre el generador (440; 1840) asíncrono y un punto neutro.
4. La turbina eólica según la reivindicación 3, que comprende además un dispositivo (R_B ; 451; R_C ; 452; 1609) de impedancia fija conectado en serie con el generador (440; 1840) asíncrono y el dispositivo de impedancia inductiva variable (411; 412; 413; 600; 704; 801; 900; 1408; 1508; 1608).
5. La turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1 - 4, que comprende además un controlador configurado para controlar el dispositivo de impedancia variable (411; 412; 413; 600; 704; 801; 900; 1408; 1508; 1608) en respuesta a la detección de la corriente transitoria para variar la impedancia.
6. La turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1 - 4, en la que el dispositivo de impedancia variable (411; 412; 413; 600; 704; 801; 900; 1408; 1508; 1608) limita la corriente variando de manera pasiva la impedancia en respuesta a la corriente transitoria.
7. La turbina eólica según la reivindicación cualquiera de las reivindicaciones 1 - 6, que comprende además un segundo dispositivo de impedancia variable dispuesto en el alojamiento (1850), conectado eléctricamente al generador (440; 1840) asíncrono, y configurado para variar la impedancia en respuesta al transitorio.
8. La turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1 - 7, en la que turbina eólica suministra potencia reactiva a la red eléctrica cuando el dispositivo de impedancia variable (411; 412; 413; 600; 704; 801; 900; 1408; 1508; 1608) varía la impedancia en respuesta a la corriente transitoria.
9. Un método para controlar la corriente en una turbina eólica, comprendiendo el método:
 50 generar una corriente usando un generador (440; 1840) asíncrono dispuesto en un alojamiento (1850; 2050) de la turbina eólica; y
 convertir la corriente usando un circuito (420; 1820) de convertidor de potencia dispuesto en el alojamiento (1850; 2050);
caracterizado porque el método comprende además
 55 limitar la corriente convertida en respuesta a una corriente transitoria en una red eléctrica variando la impedancia de un dispositivo de impedancia variable (411; 412; 413; 600; 704; 801; 900; 1408; 1508; 1608) seleccionado de un grupo que consiste en un inductor variable, un amplificador magnético y limitador de corriente de falla de núcleo saturable (MFCL), un limitador de corriente de falla de puente de diodos con bobina CC polarizada y un dispositivo de limitador de corriente de falla de núcleo saturable e imán incorporado, dispuesto en el alojamiento (1850) y conectado eléctricamente entre el circuito (420) de convertidor de potencia y un rotor (442; 2042) del generador (440; 1840) asíncrono; y
 60 emitir la corriente limitada a una conexión a la red eléctrica.
10. El método según la reivindicación 9, que comprende además controlar el dispositivo de impedancia variable (411; 412; 413; 600; 704; 801; 900; 1408; 1508; 1608) en respuesta a la detección de la corriente transitoria para variar la impedancia.

11. El método según la reivindicación 9, que comprende además el dispositivo de impedancia variable (411; 412; 413; 600; 704; 801; 900; 1408; 1508; 1608) que limita la corriente variando de manera pasiva la impedancia en respuesta a la corriente transitoria.

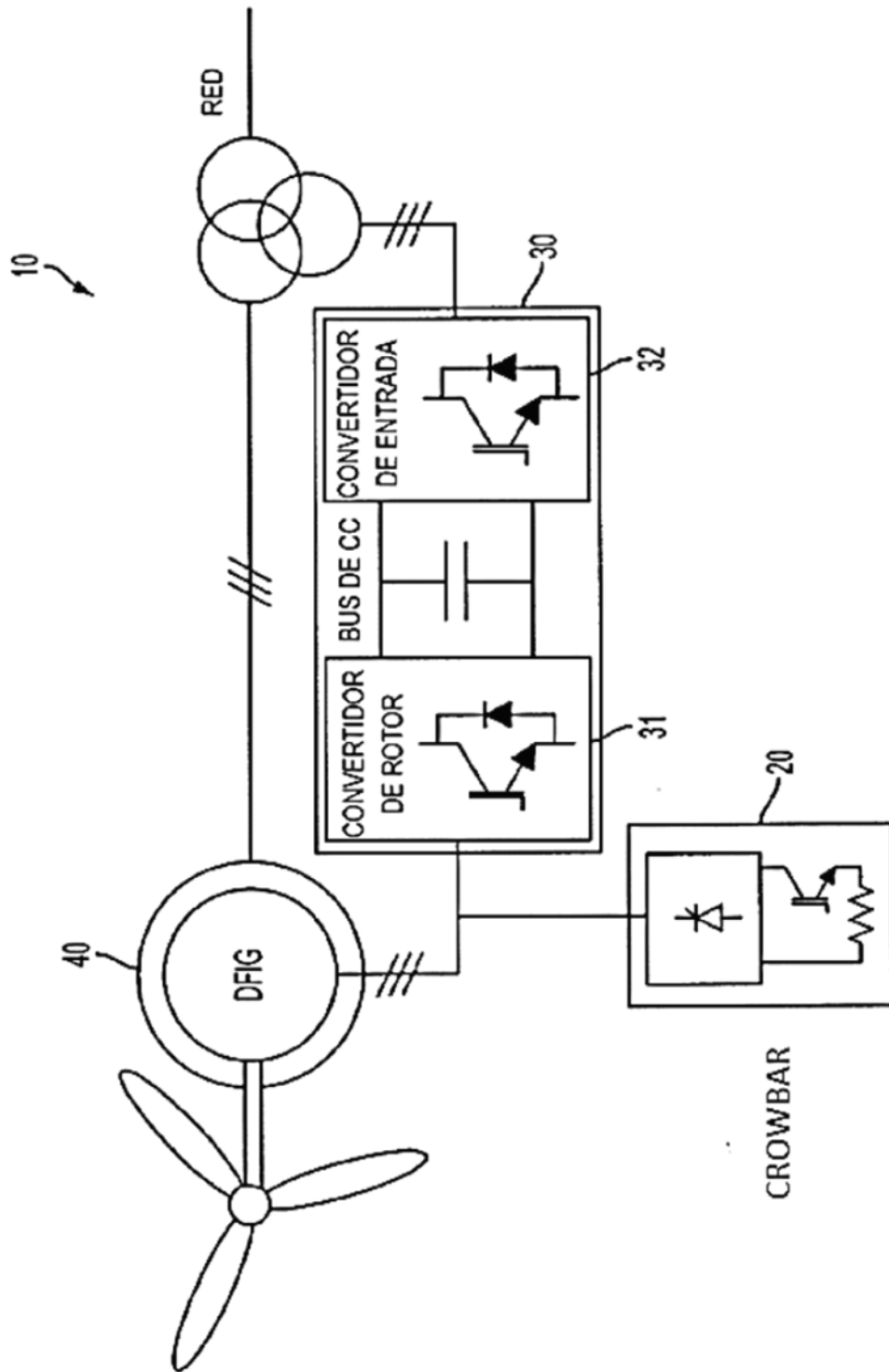


FIG. 1
TÉCNICA ANTERIOR

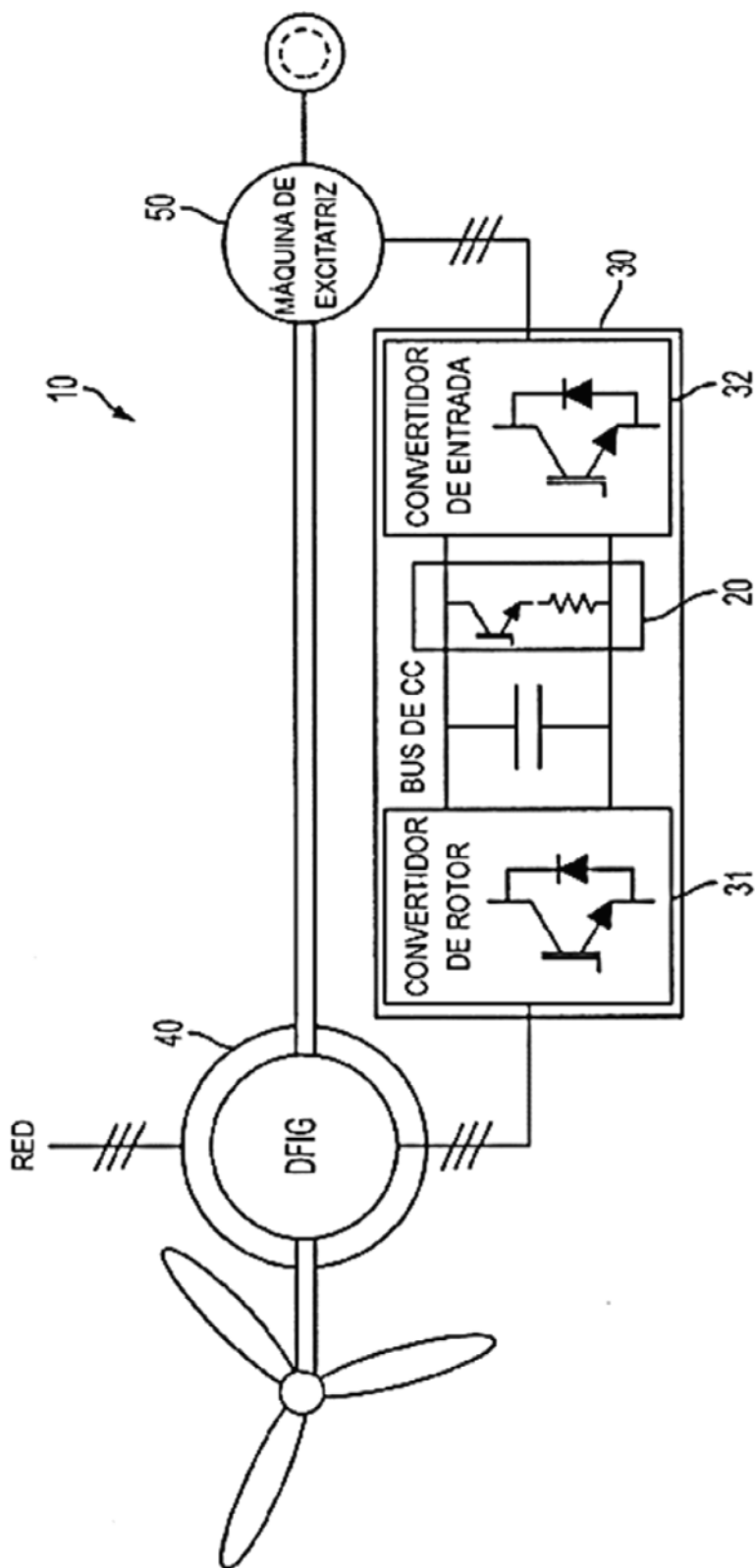


FIG. 1B
TÉCNICA ANTERIOR

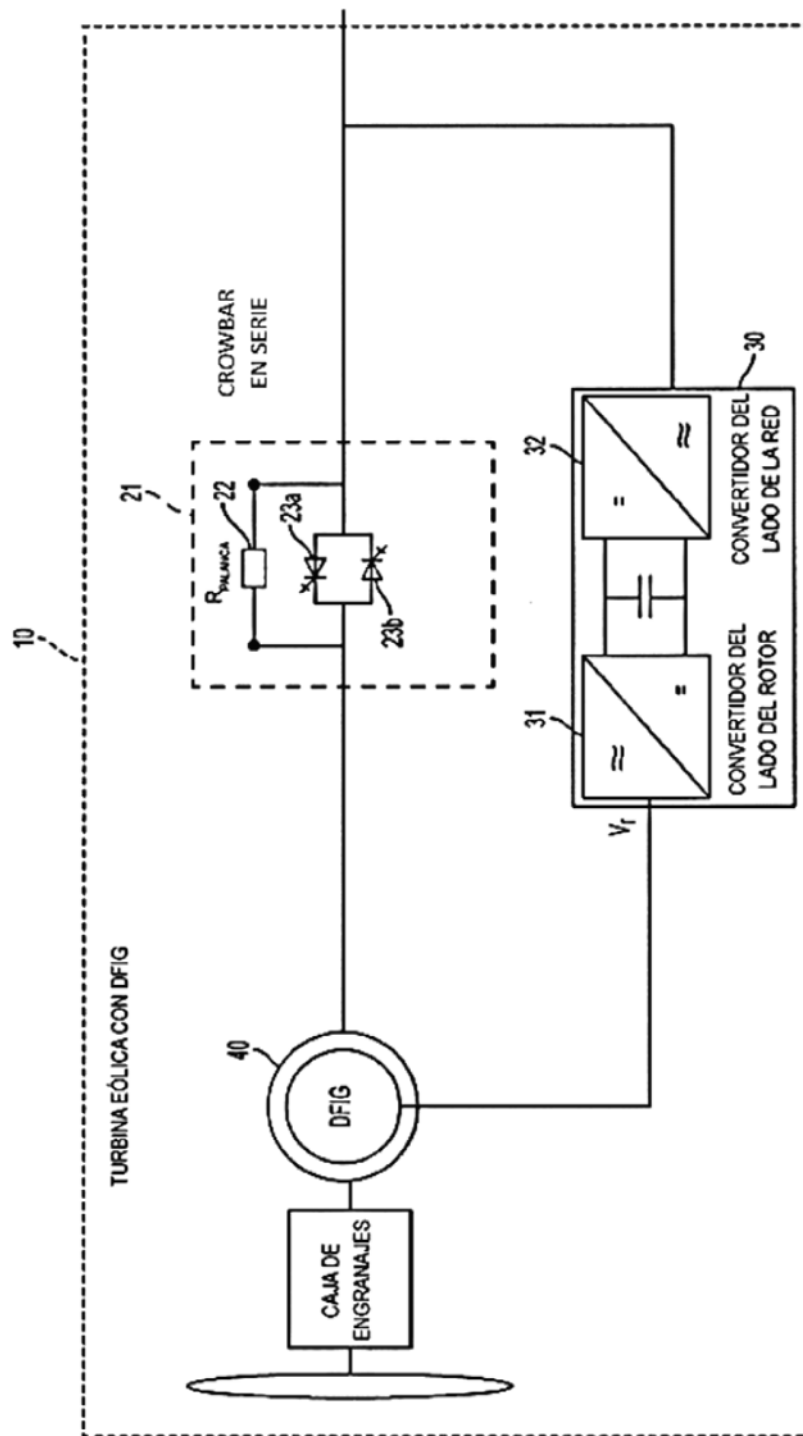


FIG. 2
TÉCNICA ANTERIOR

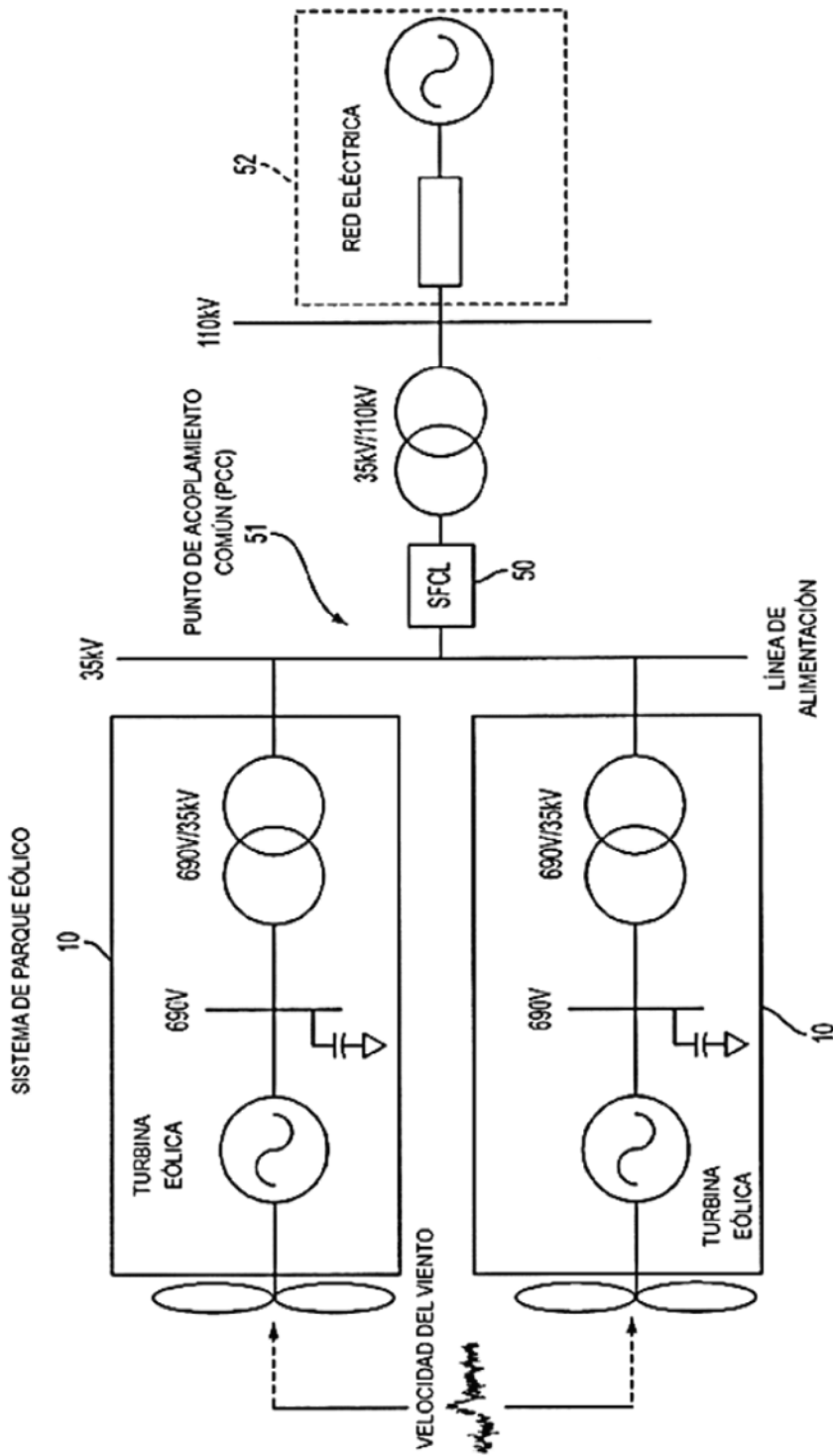


FIG. 3

TÉCNICA ANTERIOR

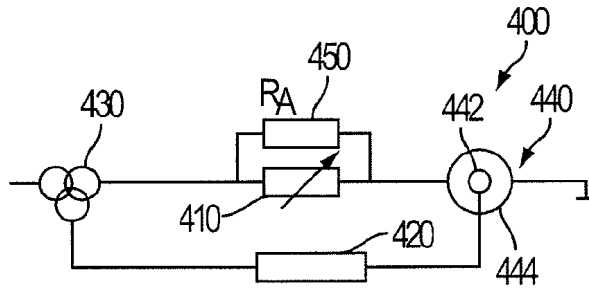


FIG. 4A

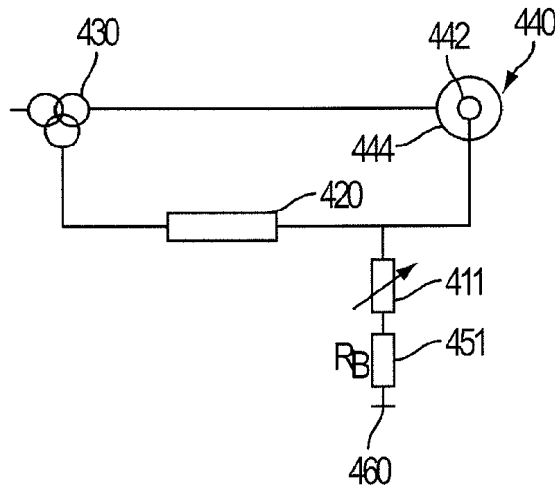


FIG. 4B

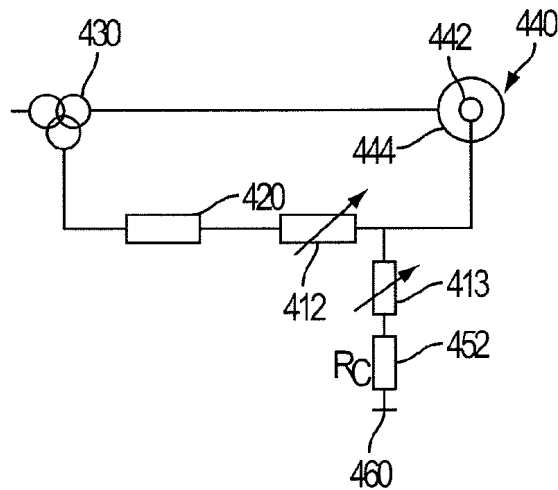


FIG. 4C

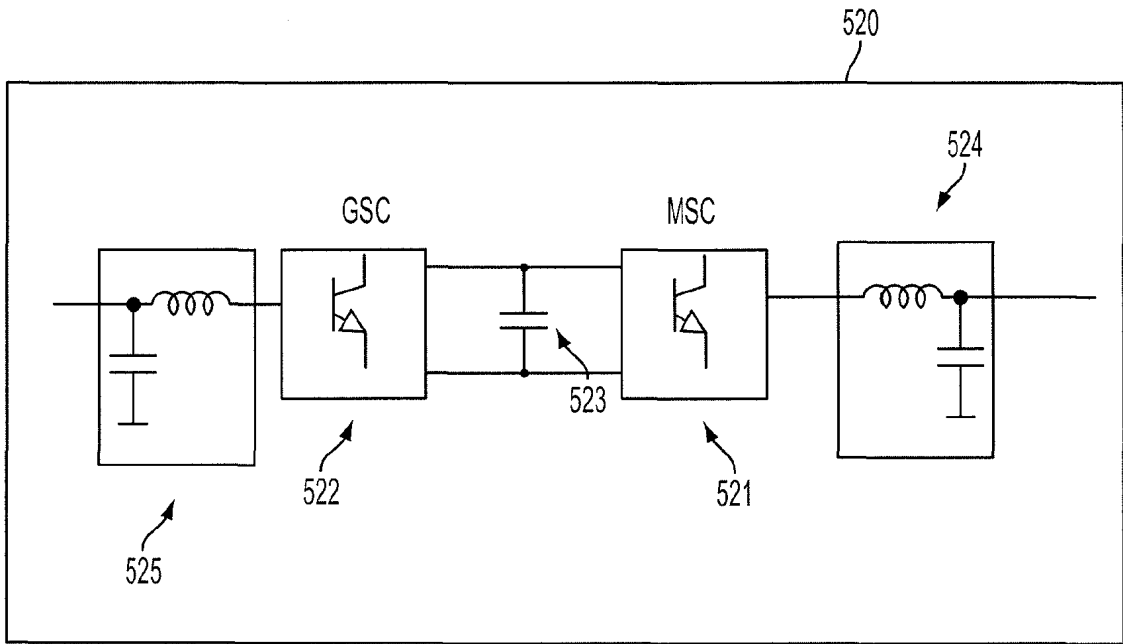


FIG. 5

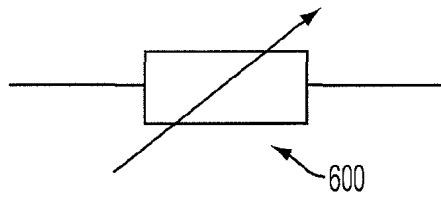


FIG. 6

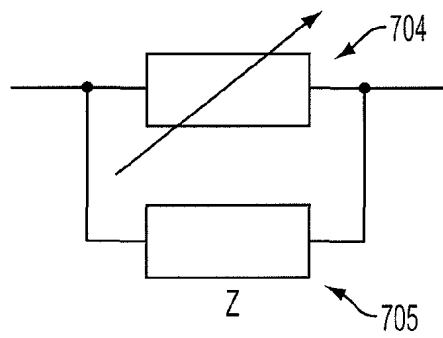


FIG. 7

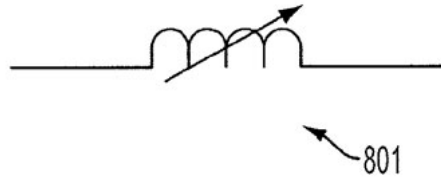


FIG. 8

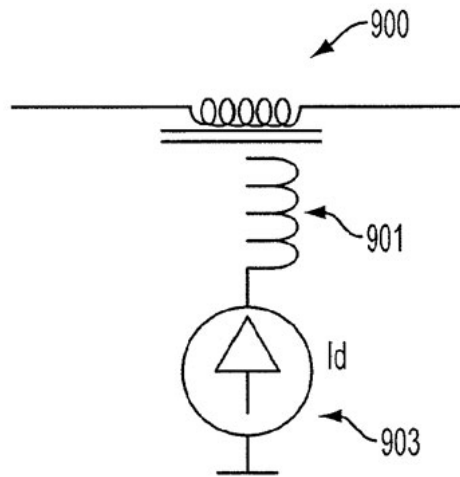


FIG. 9

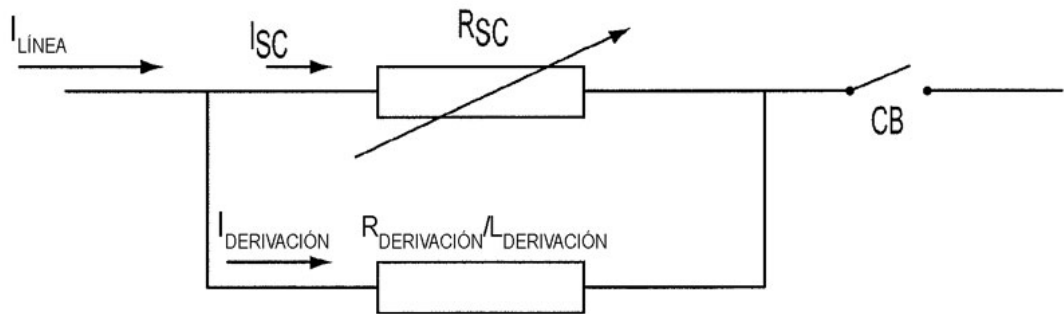


FIG. 10

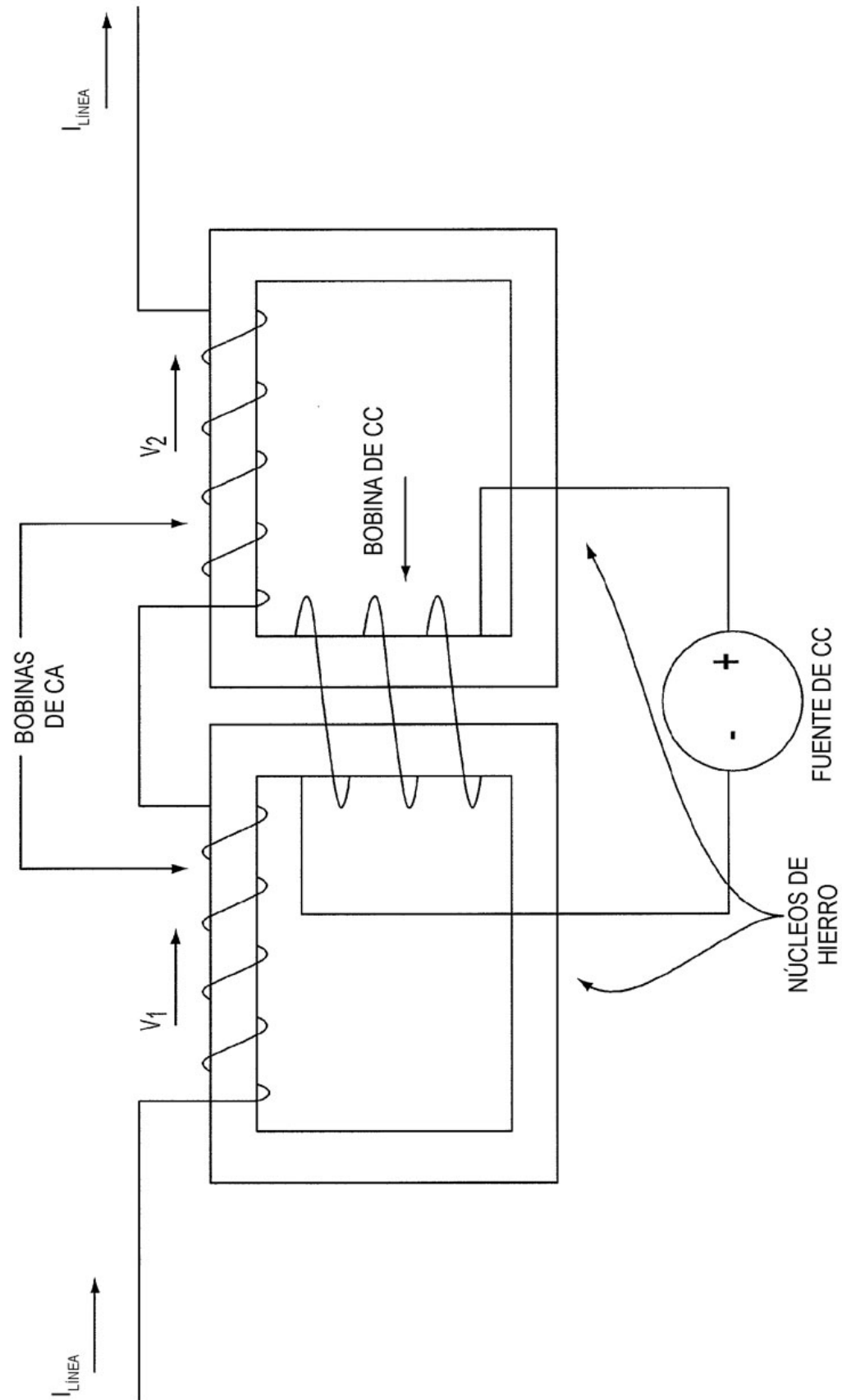


FIG. 11

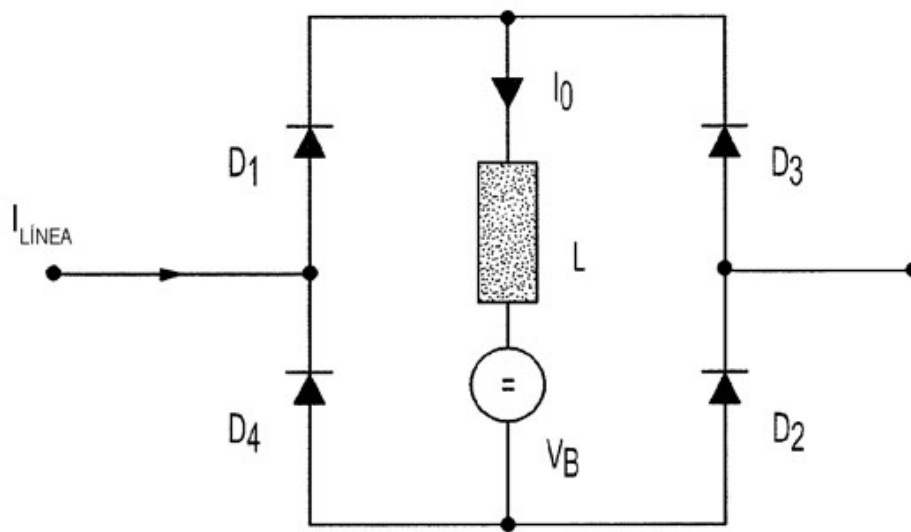


FIG. 12

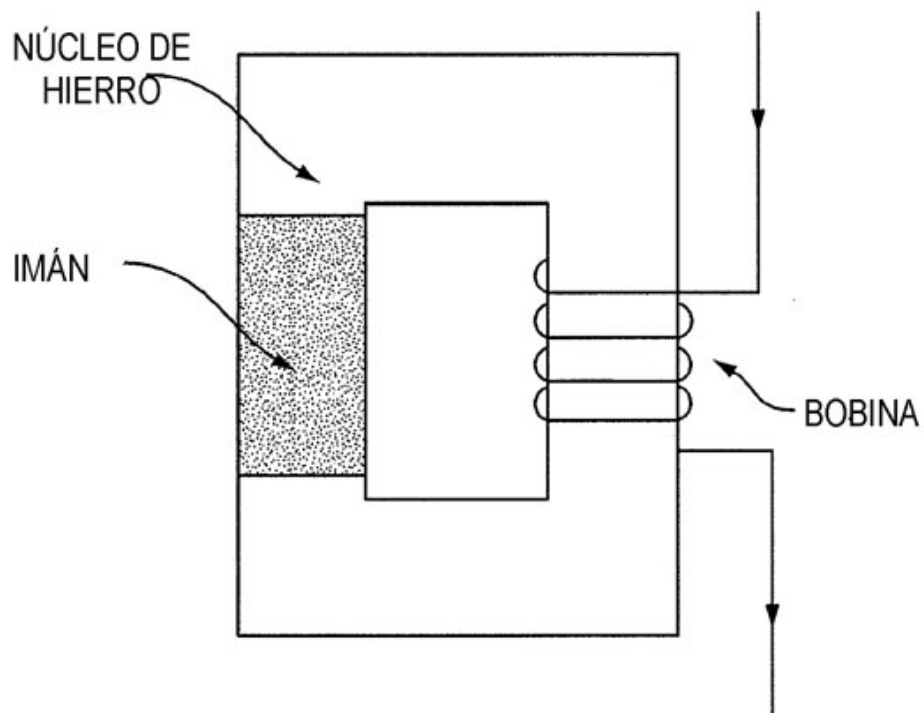


FIG. 13

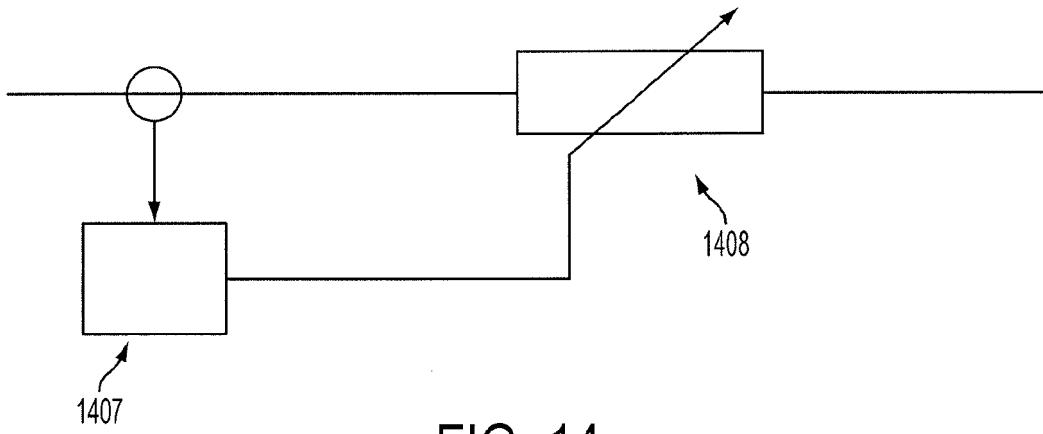


FIG. 14

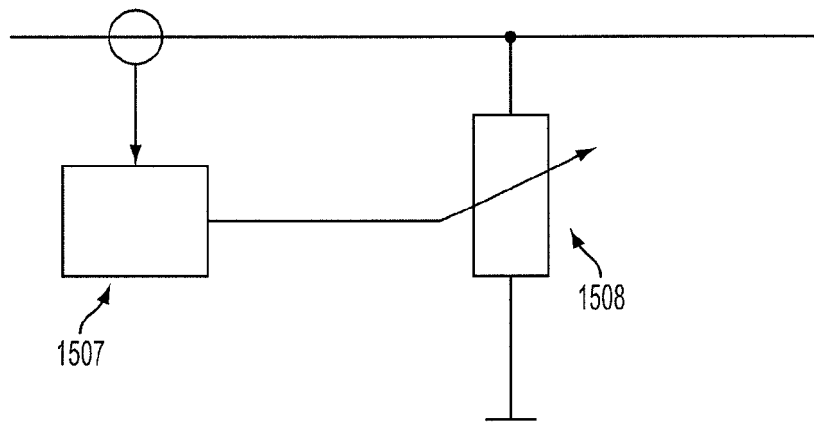


FIG. 15

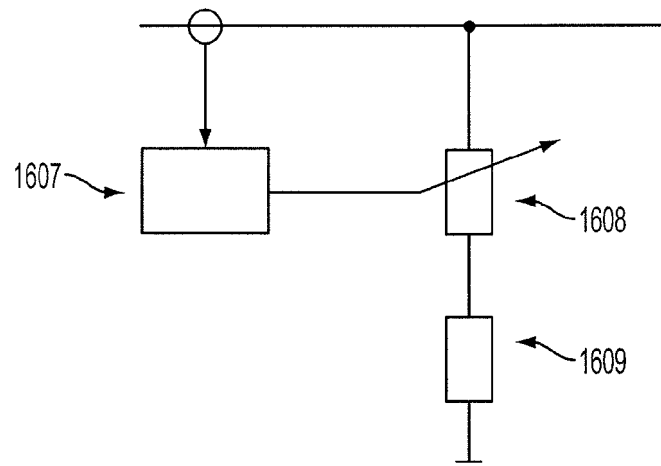


FIG. 16

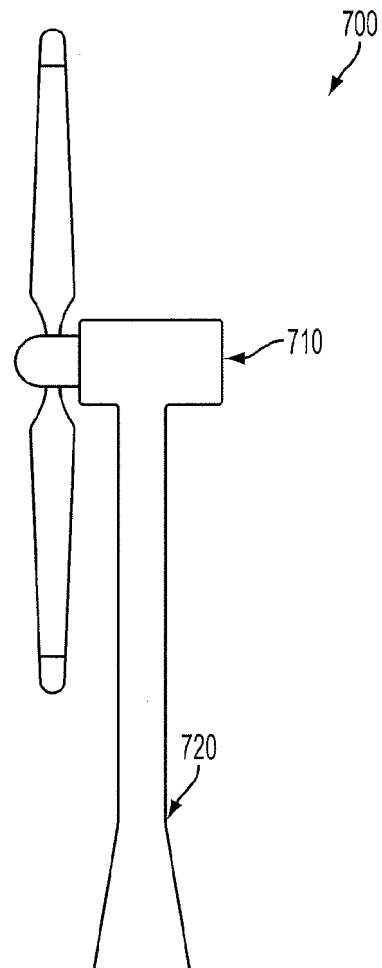


FIG. 17

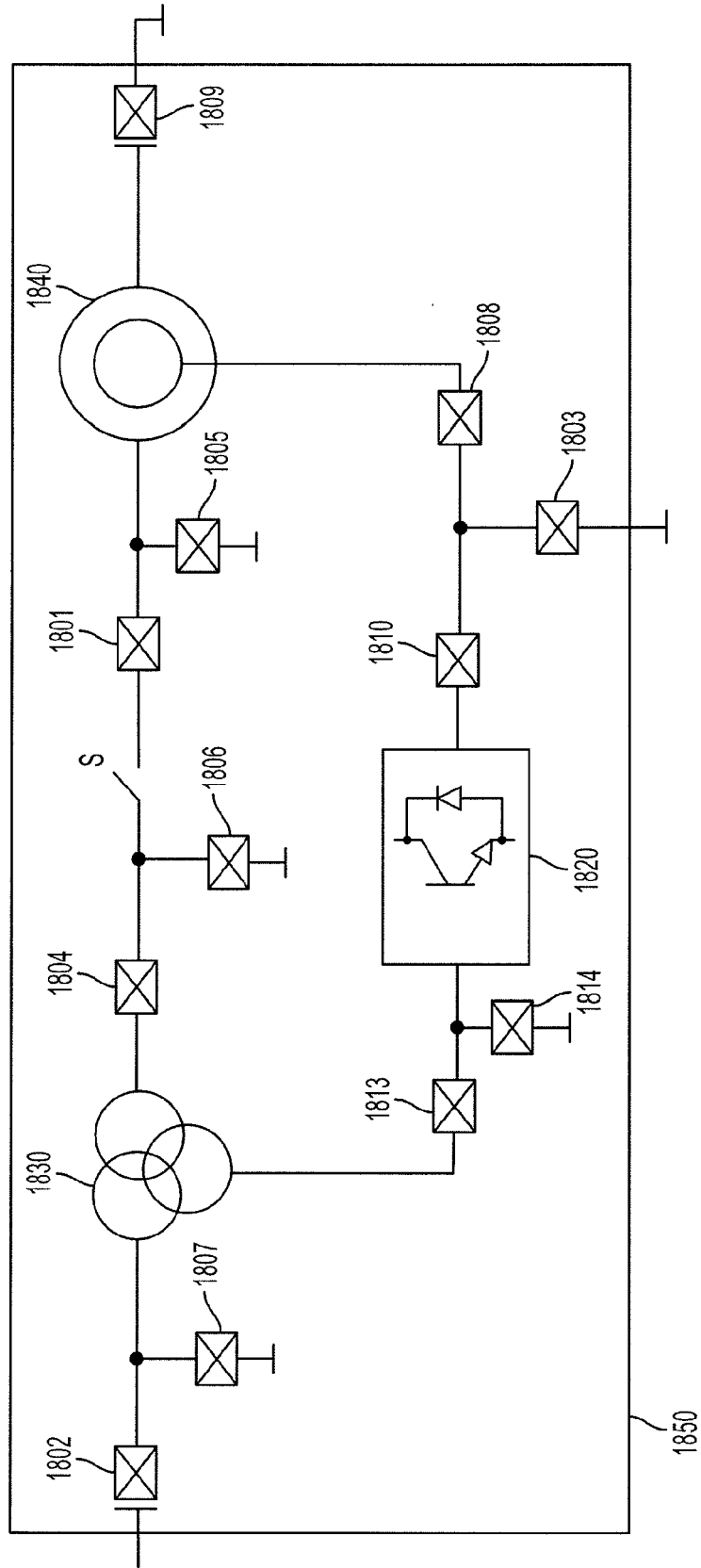


FIG. 18A

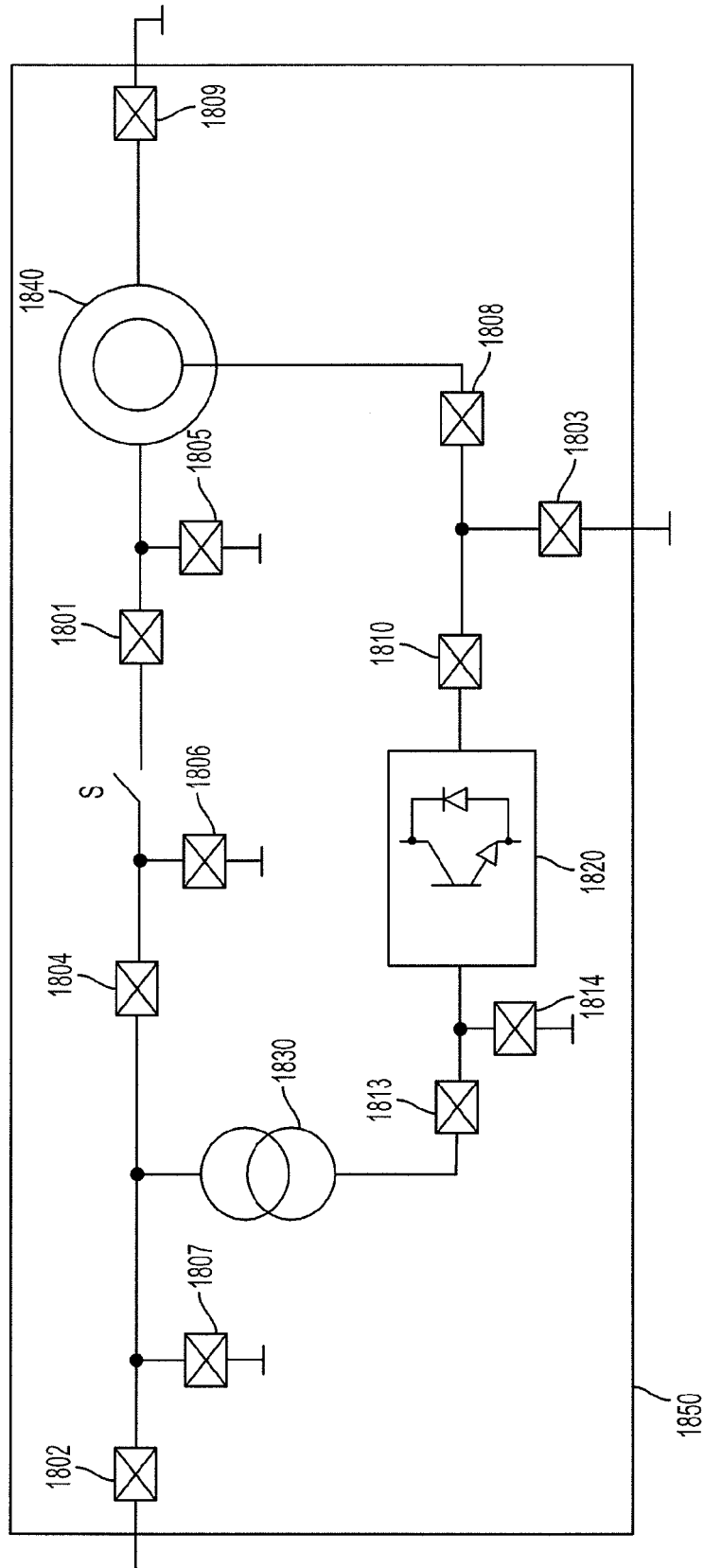


FIG. 18B

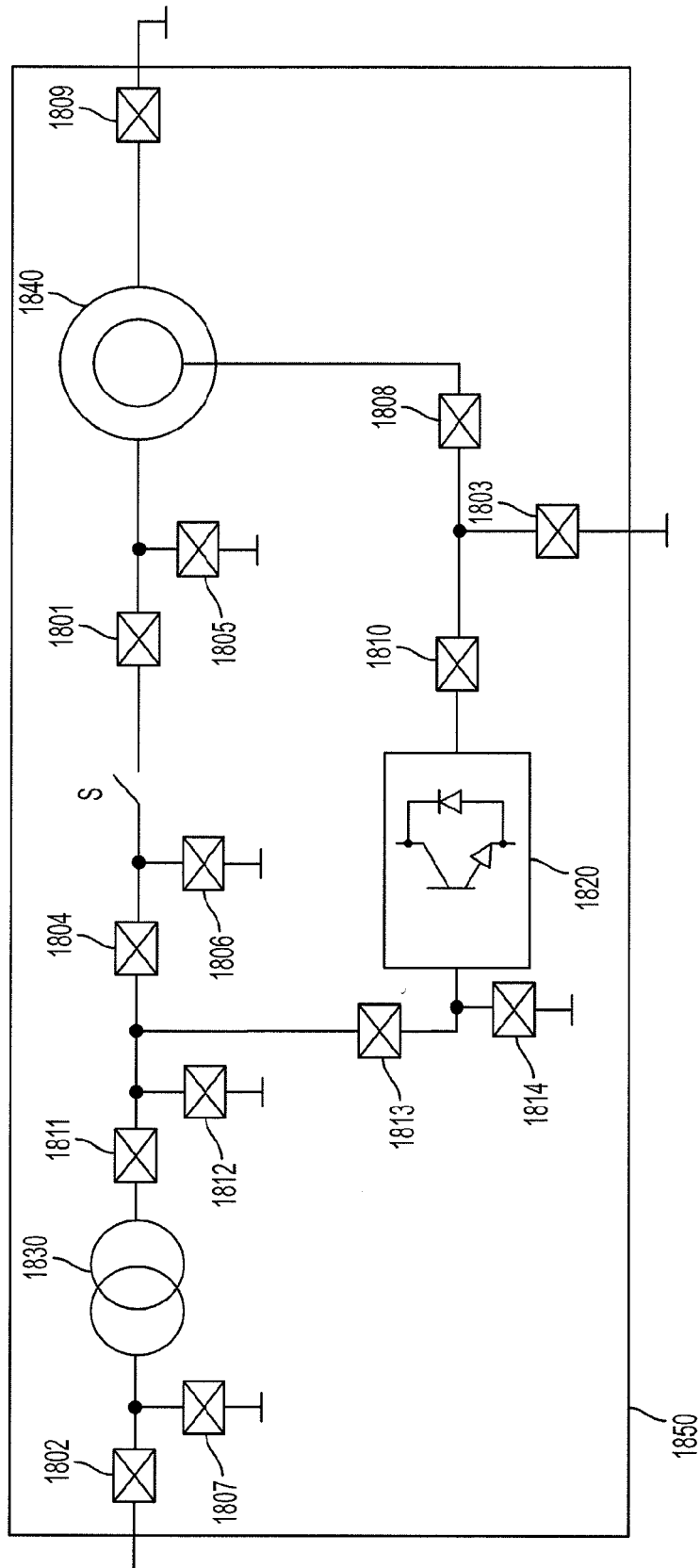


FIG. 18C

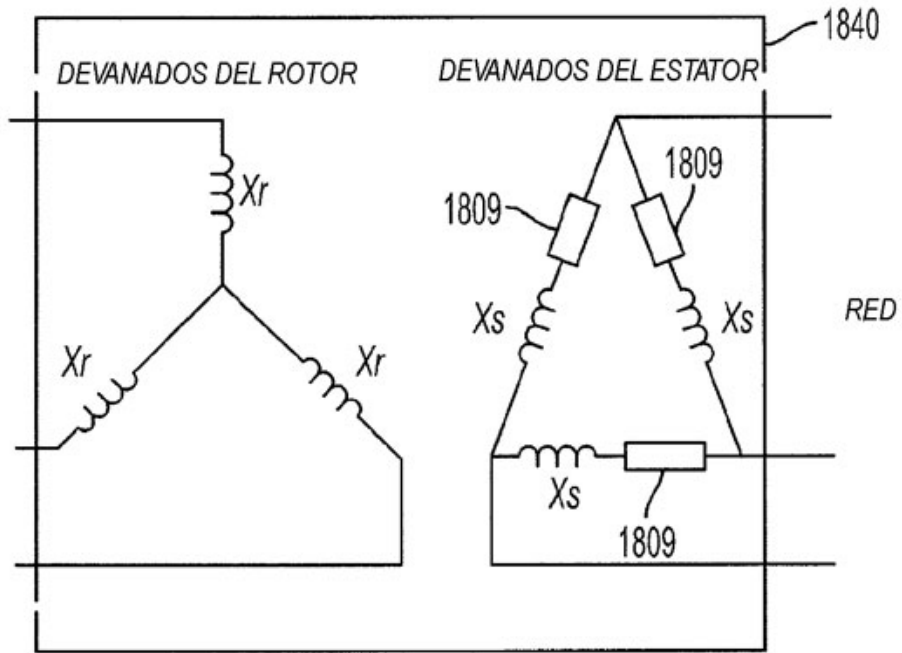


FIG. 19A

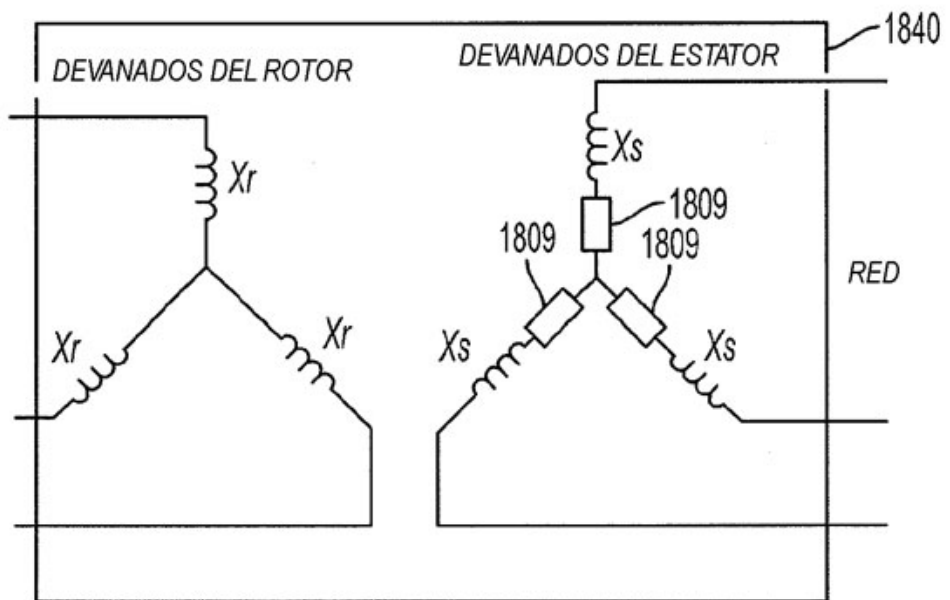


FIG. 19B

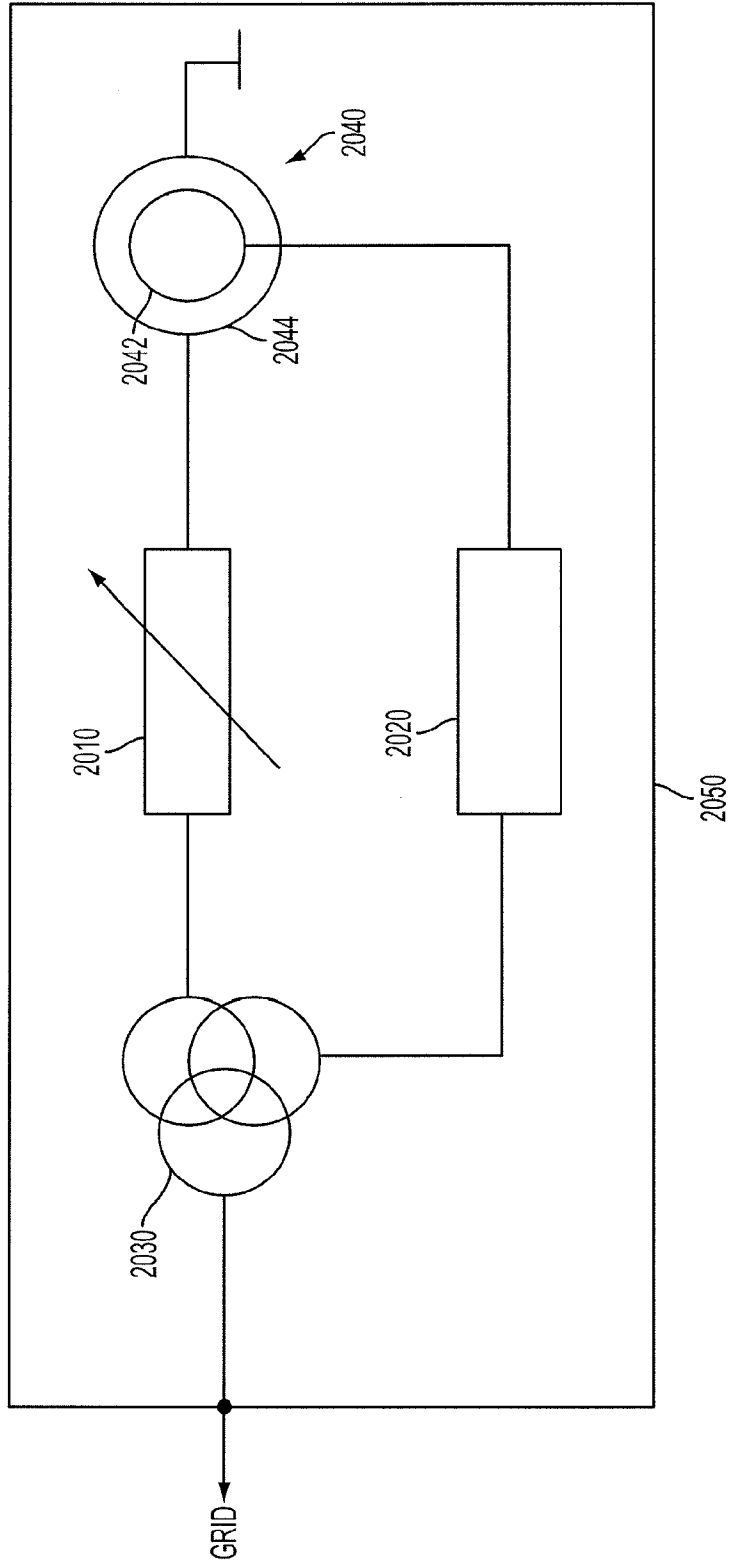


FIG. 20