

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 532 995**

51 Int. Cl.:

**H02J 3/38**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.12.2011** **E 11010072 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.02.2015** **EP 2475061**

54 Título: **Disposición de controladores de un sistema de transferencia de potencia eléctrica de una turbina eólica**

30 Prioridad:

**28.12.2010 US 979918**

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

**06.04.2015**

73 Titular/es:

**VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)  
Hedeager 44  
8200 Aarhus N, DK**

72 Inventor/es:

**OPINA, GIL JR LAMPONG;  
FONN, SWEE YEE;  
TRIPATHI, ANSHUMAN;  
LIAW, TZE YANG y  
GUPTA, AMIT KUMAR**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

**ES 2 532 995 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

Disposición de controladores de un sistema de transferencia de potencia eléctrica de una turbina eólica

5 La invención se refiere al campo de la conversión de energía eólica y, por ejemplo, a un sistema que comprende una turbina eólica, un generador eléctrico, un sistema de transferencia de potencia eléctrica, y una red de suministro eléctrico.

### Antecedentes

10 El documento EP 2 161 443 A2 describe una turbina eólica con un generador y un sistema de transferencia de potencia para suministrar potencia eléctrica a una red de distribución. El sistema de transferencia de potencia tiene un controlador maestro y dos convertidores de potencia, un convertidor principal y uno auxiliar, cada uno de los cuales incluye controladores esclavos adaptados adecuadamente. En caso de emergencia el controlador (anteriormente esclavo) del convertidor auxiliar funciona como un maestro independiente para regular el flujo de potencia a una red de suministro interna.

El documento EP describe, en relación a un generador eléctrico, un freno dinámico y un circuito de palanca, diseñados para cooperar con convertidores de potencia para descargar potencia tras una orden.

### 15 Resumen de la invención

20 Se proporciona un sistema que comprende una turbina eólica, un generador eléctrico, un sistema de transferencia de potencia eléctrica, y una red de suministro eléctrico. El sistema de transferencia de potencia se dispone para transferir potencia eléctrica del generador a la red de suministro eléctrico. El sistema de transferencia de potencia comprende al menos dos elementos eléctricos y al menos dos controladores dispuestos cada uno para controlar al menos un elemento, en el que al menos un controlador se dispone para controlar solo uno de los elementos así como al menos dos de los elementos. La disposición de controladores permite que un primer elemento sea controlado por un primer controlador y que un segundo elemento sea controlado por un segundo controlador, así como que el primer y el segundo elemento sean controlados por el primer controlador mientras que el primer o el segundo elemento no es controlado por el segundo controlador.

25 De acuerdo con otro aspecto, se proporciona un procedimiento de control de una disposición de controladores de un sistema de transferencia de potencia eléctrica de una turbina eólica. La turbina eólica comprende un generador eléctrico y se conecta a una red de suministro eléctrico. El sistema de transferencia de potencia se dispone para transferir potencia eléctrica del generador a la red de suministro eléctrico. Además, el sistema de transferencia de potencia comprende al menos dos elementos y al menos dos controladores dispuestos cada uno para controlar al menos un elemento, en el que al menos un controlador se dispone para controlar solo uno de los elementos así como al menos dos de los elementos. El procedimiento comprende: conmutar entre 1) controlar un primer elemento con un primer controlador y un segundo elemento con un segundo controlador y 2) controlar el primer y el segundo elemento con el primer controlador mientras no se controla el primer o el segundo elemento con el segundo controlador.

35 Otras características son inherentes a los productos y procedimientos dados a conocer o serán evidentes para aquellos expertos en la técnica de la siguiente descripción y de los dibujos adjuntos.

### Breve descripción de los dibujos

Los modos de realización de la presente invención se explican a modo de ejemplo con referencia los dibujos adjuntos, en los cuales:

40 la fig. 1 es un dibujo esquemático de una disposición de un sistema de transferencia de potencia con un enfoque en los elementos del sistema,

la fig. 2 es un dibujo esquemático de una disposición de la transferencia de potencia con un enfoque en los controladores del sistema,

45 las fig. 3a y 3b son dibujos esquemáticos de dos trayectorias de potencia del sistema de transferencia de potencia que muestran la repartición de los controladores,

la fig. 3c es un dibujo esquemático de etapas de traspaso, y

la fig. 4 es un diagrama esquemático que muestra la comunicación de los controladores.

Los dibujos y la descripción de los dibujos son de modos de realización de la invención y no de la propia invención.

### Descripción detallada

50 Los modos de realización se refieren a una disposición de controladores de un sistema de transferencia de potencia

eléctrica de una turbina eólica y a un procedimiento para su control. La turbina eólica produce potencia eléctrica al accionar el generador con un rotor de la turbina eólica. La potencia generada se transfiere mediante el sistema de transferencia de potencia del generador a una red de suministro eléctrico, por ejemplo una red pública conectada a la turbina eólica. Para esta funcionalidad, el sistema de transferencia comprende elementos eléctricos, por ejemplo un convertidor de potencia, componentes de potencia (por ejemplo, filtros, disyuntores/contactos, etc.) y/o un transformador, y controladores para controlar los elementos. El generador y la red son al menos una fuente y una carga de potencia eléctrica, respectivamente.

La repartición de controladores se ve facilitada mediante al menos un primer controlador que se dispone para controlar solo uno de los elementos así como al menos dos de ellos. Así pues, es posible conmutar entre al menos dos modos de funcionamiento: 1) controlar un primer elemento con el primer controlador y (controlar independientemente) un segundo elemento con un segundo controlador (denominado en lo que sigue como modo "independiente"). Y, para obedecer la repartición, 2) controlar el primer y el segundo elemento con el primer controlador mientras que no se controla el primer o el segundo elemento con el segundo controlador (denominado en lo que sigue como "modo de repartición"). En el modo de repartición, el segundo elemento (que se controlaba anteriormente mediante el segundo controlador, de acuerdo con el modo independiente) se controla ahora mediante el primer controlador, mientras que el primer controlador controla (todavía) el primer elemento. Así pues, el primer controlador se reparte para controlar ambos, el primer y el segundo elemento. La repartición del controlador puede mejorar el rendimiento y/o fiabilidad del sistema de transferencia de potencia y/o proporcionar redundancia.

Antes de volver a la descripción detallada de los modos de realización basándose en los dibujos, se analizarán unos pocos elementos más generales de modos de realización.

En algunos de los modos de realización, el modo independiente es un modo de funcionamiento normal de la turbina eólica. En lo que sigue, el término "modo normal" describe un modo de funcionamiento, en el que la turbina eólica está produciendo potencia eléctrica mientras que el sistema de transferencia de potencia está trabajando sin fallos. En algunos modos de realización, el modo de repartición es un modo normal de la turbina eólica. Como el primer controlador controla el segundo elemento en el modo de repartición, el segundo controlador se puede apagar, aumentando así la vida útil y la disponibilidad de potencia de la turbina a la red. En algunas implementaciones, el sistema de transferencia de potencia se dispone para operar en ambos modos, modo independiente y de repartición, como modos normales.

En algunos modos de realización, la conmutación entre los al menos dos modos de funcionamiento (modo independiente y de repartición) se dispara por una condición de fallo. No obstante, se debe indicar que la conmutación entre los al menos dos modos se puede disparar igualmente por cualquier otra condición relativa a la mejora de rendimiento del sistema de transferencia de potencia en otros modos de realización. En una implementación, el modo de funcionamiento conmuta del modo independiente al modo de repartición como respuesta a la condición de fallo, cancelando así el control del segundo elemento por el segundo controlador. (Así pues, el modo de repartición no es un modo normal). Por lo tanto, el segundo controlador ya no es necesario para controlar el segundo elemento y un fallo provocado por el segundo controlador no afectará al buen estado del sistema de transferencia de potencia. Modos de realización adicionales, relativos a la cooperación de los elementos y controladores, se describen a continuación.

En algunos modos de realización, los elementos están asociados con controladores, por ejemplo el número de controladores es el mismo que el número de elementos controlados por estos controladores, o, alternativamente, el número de elementos controlados es el doble del número de controladores correspondientes.

Antes de describir más detalles relativos al funcionamiento y repartición de los controladores, se discutirán unos pocos aspectos más del sistema de transferencia de potencia.

En algunos modos de realización, el generador es una única fuente de potencia, por ejemplo de una fuente de potencia eléctrica de CA. En otros modos de realización, el generador proporciona al menos dos fuentes de potencia, por ejemplo cada una de una fuente de potencia de CA. En algunas implementaciones, el generador proporciona al menos una fuente de potencia de CA monofásica. En algunas otras implementaciones, el generador proporciona al menos una de una fuente de potencia de CA multifásica, por ejemplo, una fuente de potencia de CA trifásica.

En una implementación, el generador se puede dividir en una pluralidad de segmentos de generador, que producen una pluralidad de salidas de potencia de CA independientes y por tanto representan fuentes de potencia separadas. Los generadores segmentados aumentan la fiabilidad de un generador así como la disponibilidad de potencia, ya que eventos de fallos de generador afectan principalmente tan solo a segmentos aislados de generador, de tal modo que los otros segmentos pueden continuar funcionando.

En algunos modos de realización, la red de suministro eléctrico es una única carga de potencia. En otros modos de realización, la red de suministro eléctrico es al menos dos cargas de potencia. En algunas implementaciones, la red proporciona al menos una carga de potencia de CA monofásica. En algunas otras implementaciones, la red proporciona al menos una de una carga de potencia de CA multifásica, por ejemplo, una carga de potencia de CA

trifásica.

El sistema de transferencia de potencia acopla la al menos una fuente de potencia a la al menos una carga al proporcionar al menos una trayectoria de potencia entre la al menos una fuente y la al menos una carga. Como la potencia generada por el generador depende de la velocidad de giro del rotor de la turbina eólica (por ejemplo, se pueden ver afectadas la frecuencia, amplitud y/o fase de la salida de tensión de CA), el sistema de transferencia de potencia convierte, en un ejemplo, potencia eléctrica de CA del generador de la turbina eólica en potencia de CA que satisface los requerimientos de la red o del operador del parque eólico y, finalmente, suministra la potencia a la red. Más detalles de esto se describen a continuación.

En algunos modos de realización, al menos dos de los elementos son convertidores de potencia eléctrica y al menos dos de los controladores son controladores del convertidor. Cada uno de los controladores del convertidor se dispone para controlar al menos un convertidor. Al menos uno de los controladores del convertidor se dispone para controlar uno así como dos convertidores.

En un modo de realización, por ejemplo si el sistema de transferencia acopla una única fuente de potencia a una carga común, los convertidores se pueden controlar eléctricamente en paralelo proporcionando diferentes trayectorias de potencia. En otros ejemplos, los convertidores pueden no estar conectados a sus entradas o a sus salidas o a ambas, por ejemplo si los convertidores están acoplados a diferentes fuentes de potencia o a diferentes cargas o a ambas. Si se proporciona un acoplamiento galvánico solo en un lado de los convertidores o no se proporciona en absoluto, se puede evitar o al menos limitar un flujo de corriente cruzada de un convertidor al otro.

Proporcionar una pluralidad de convertidores en paralelo permite que la corriente se redistribuya, con el resultado de que fluyen menos corrientes a través de los convertidores individuales. Además, implementaciones con convertidores plurales (no necesariamente estrictamente en paralelo) pueden mejorar la fiabilidad y disponibilidad del sistema de conversión de potencia y proporcionar redundancia. Por ejemplo, cada convertidor puede comprender o estar conectado con conmutadores controlables para aislar, y desactivar así, convertidores individuales de la al menos una fuente de potencia y/o la al menos una carga. Además, se pueden acoplar al menos dos convertidores por medio de conmutadores controlables para permitir la derivación de los convertidores desactivados. Así pues, en algunos ejemplos puede ser posible distribuir toda o parte de la potencia encaminada de otro modo a través del convertidor desactivado a uno o más de los otros convertidores o elementos del sistema de transferencia. En otras implementaciones que conectan los convertidores con fuentes de potencia dedicadas, por ejemplo segmentos de generador dedicados, el sistema de transferencia puede continuar funcionando con una potencia entregada reducida si uno de los convertidores se desactiva.

De acuerdo con algunos modos de realización, el sistema de transferencia de potencia comprende al menos un convertidor de CA/CC como un elemento, que se dispone, por ejemplo, para proporcionar potencia de CC convertida de una fuente de CA o del generador. En algunas implementaciones, el convertidor de CA/CC comprende un rectificador pasivo o un rectificador activo, por ejemplo un rectificador controlado en fase con conmutadores de semiconductor controlados por el controlador del convertidor.

En algunos modos de realización, el sistema de transferencia de potencia comprende al menos un convertidor de CC/CA como un elemento, que se dispone, por ejemplo, para proporcionar potencia de CA convertida de una fuente de CC, es decir la potencia del generador en el enlace de CC. En algunas implementaciones, el convertidor de CC/CA comprende conmutadores de semiconductor controlados por el controlador del convertidor. Conmutando adecuadamente los conmutadores de semiconductor con señales de modulación por ancho de pulso (PWM) se consigue una forma de onda de salida (esencialmente) sinusoidal en los terminales del convertidor para suministrar la potencia demandada en el sitio de carga.

En algunos modos de realización, el sistema de transferencia de potencia comprende al menos un enlace de CC dispuesto para acoplar al menos un convertidor de CA/CC y al menos un convertidor de CC/CA. En algunas implementaciones, al menos un convertidor de frecuencia del sistema de transferencia de potencia se construye mediante al menos un convertidor de CA/CC del lado de la fuente y al menos un convertidor de CC/CA del lado de la carga acoplado mediante al menos un enlace de CC. En lo que sigue, la expresión "lado de la fuente" denota que un elemento está más próximo a la fuente que a un elemento de referencia. La expresión "lado de la carga" denota que un elemento está más próximo a la carga que al elemento de referencia. En algunas implementaciones, el convertidor de frecuencia se dispone para convertir/transferir potencia eléctrica en la fuente de CA o el generador a potencia de CA demandada por la carga o la red adaptando las frecuencias, amplitudes y/o fases de CA. Por ejemplo, el controlador del convertidor sincroniza la frecuencia de la fase con la tensión de CA de red y regula la amplitud y la fase de la tensión de CA producida por el convertidor de potencia a un valor adecuado para suministrar la potencia demandada en la red. En algunas implementaciones, la información necesaria relativa a la frecuencia, fase y amplitud del lado de la fuente y del lado de la carga se proporciona mediante al menos un controlador de gestión de fuente-carga, descrito a continuación.

En algunos modos de realización, un convertidor de frecuencia es un elemento del sistema de transferencia, así pues el controlador del convertidor es un controlador del convertidor de frecuencia que se dispone para controlar diversos componentes de este elemento, por ejemplo el convertidor de CA/CC, el convertidor de CC/CA y el enlace

de CC intermedio, siendo todos miembros del convertidor de frecuencia como elemento.

En un ejemplo, al menos dos enlaces de CC se pueden acoplar mediante conmutadores controlables. Esto puede permitir la derivación de los convertidores, por ejemplo un convertidor de CC/CA del lado de la carga o un convertidor de CA/CC del lado de la fuente. Además, conectar los enlaces de CC puede mejorar el balance de tensión del enlace de CC de diferentes trayectorias de potencia.

Además, el sistema de transferencia puede comprender al menos un conmutador controlable para aislar al menos un convertidor de CA/CC del lado de la fuente y/o al menos un convertidor de CC/CA del lado de la carga de al menos una fuente de potencia y al menos una carga, respectivamente.

En algunos modos de realización, al menos dos de los elementos son unidades de disipación de potencia y al menos dos de los controladores son controladores de la unidad de disipación de potencia. El número de unidades de disipación puede ser el mismo que el número de convertidores o enlaces de CC o la mitad del número de convertidores, por ejemplo una unidad de disipación de potencia por convertidor de frecuencia.

Cada unidad de disipación puede comprender uno o más componentes de disipación que pueden convertir la potencia eléctrica que se va a disipar en calor o en una forma diferente de energía, por ejemplo una o más resistencias. En un ejemplo, la cantidad y/o velocidad de disipación de potencia se puede controlar, por ejemplo por medio de señales PWM que controlan conmutadores correspondientes.

En lo que sigue, la expresión "potencia que se va a disipar" se refiere a una potencia presente en una trayectoria de potencia del sistema de transferencia de potencia que no puede ser gestionada adecuadamente por los convertidores o por cualquier otro elemento del sistema debido a un evento de fallo de algún tipo. Por ejemplo, la unidad de disipación se dispone para disipar la potencia que es introducida a un convertidor desde la al menos una fuente de potencia, pero no puede ser convertida/transferida debido a un fallo del convertidor; o una entrada de potencia en exceso a un convertidor, debido a que el rotor de la turbina eólica conectado al generador que representa la al menos una fuente de potencia se acelera, produciendo así más potencia; o potencia residual en el enlace de CC tras la desactivación de un convertidor. Así pues, la al menos una unidad de disipación se puede acoplar con al menos una trayectoria de potencia del sistema de transferencia, por ejemplo con al menos un convertidor y/o con al menos un enlace de CC. Disipar tal potencia puede proteger componentes electrónicos del sistema y prolongar así su vida útil.

En algunos modos de realización, la unidad de disipación de potencia se acopla con la trayectoria de potencia por medio de uno o más conmutadores controlables. En algunos modos de realización alternativos, en concreto si la cantidad de disipación de potencia se puede controlar y la disipación no se inicia automáticamente tan pronto como se dispone de potencia como entrada a la unidad de disipación, la unidad de disipación puede acoplarse permanentemente a la trayectoria de potencia, especialmente al convertidor, sin utilizar conmutadores.

De acuerdo con algunos modos de realización, las al menos dos unidades de disipación se acoplan (entre sí) por medio de conmutadores controlables. Por un lado, esto permite distribuir la potencia que se va a disipar a al menos dos unidades de disipación, permitiendo así disipar mayores cantidades de potencia sin proporcionar unidades de disipación mayores y proteger las unidades de disipación separadas de sobrecargas o desgaste, por ejemplo durante eventos de fallo de larga duración. Por otro lado, las unidades de disipación se pueden acoplar para permitir la derivación, en un ejemplo, de una unidad de disipación (por ejemplo con fallos), proporcionando así redundancia. En algunos modos de realización, todas las unidades de disipación se pueden acoplar entre sí por medio de líneas que están interrumpidas por los conmutadores controlables.

En algunos modos de realización, por ejemplo si la potencia de entrada es una potencia de CA multifásica proporcionada por múltiples líneas de fase, las unidades de disipación pueden comprender un número de componentes de disipación (por ejemplo, resistencias) que es igual al número de fases (líneas de fase) de la potencia de entrada. En el caso de que se vaya a disipar la potencia de entrada de CA multifásica, cada componente de disipación se puede acoplar a una línea de fase correspondiente. Alternativamente, la unidad de disipación puede comprender un convertidor de CA/CC, por ejemplo un rectificador activo/pasivo, para convertir la potencia de CA en potencia de CC; la potencia de CC puede disiparse a continuación mediante un único componente de disipación de potencia. El único componente de disipación de potencia puede ser un banco de elementos de disipación de potencia.

En algunas implementaciones, el al menos un conmutador controlable en algunos modos de realización se controla mediante al menos un controlador. Por ejemplo, se controla mediante un controlador que controla un elemento contiguo a o asociado con el conmutador, por ejemplo el controlador de la unidad de disipación de potencia o el controlador del convertidor. En algunos modos de realización, el conmutador es una parte lógica o física del elemento. En algunos modos de realización, el conmutador es un elemento (separado) del sistema de transferencia de potencia con al menos un controlador del conmutador dispuesto para controlar tan solo uno así como al menos dos conmutadores. Alternativamente, el conmutador se puede controlar mediante un dispositivo electrónico que proporciona automáticamente conexión bajo ciertas condiciones predeterminadas (por ejemplo, diodos que se activan a una caída de tensión predeterminada).

En algunos modos de realización, al menos uno del generador y la red proporcionan como elementos al menos dos fuentes y cargas, respectivamente. Al menos dos de los controladores son controladores de gestión de fuente-carga, dispuesto cada uno para monitorizar al menos uno de la fuente y la carga. Tareas adicionales de este tipo de controlador se describen a continuación.

- 5 Generalmente, los aspectos de repartición de controlador deben ser entendidos como aplicables a cualquier tipo de controlador descrito antes y en lo que sigue.

Volviendo de nuevo a detalles adicionales de los controladores, en algunos modos de realización se dispone un controlador de un tipo específico para comunicarse con un controlador de un tipo diferente. Por ejemplo, el sistema de transferencia de potencia comprende al menos un controlador del convertidor, al menos un convertidor de potencia eléctrica y al menos un controlador de la unidad de disipación de potencia, en el que el controlador del convertidor se dispone para proporcionar al menos una de información acerca de sí mismo e información acerca del convertidor de potencia al controlador de la unidad de disipación de potencia (nota: este modo de realización comprende al menos un elemento más).

10

En algunos modos de realización, los controladores se disponen para satisfacer una única tarea o una combinación de diversas tareas, por ejemplo tareas enumeradas en los siguientes tres párrafos. En algunas implementaciones, los controladores del mismo tipo satisfacen la misma cobertura de tareas. En algunas implementaciones, los controladores del mismo tipo se pueden intercambiar libremente con relación al control de cualquier elemento del mismo tipo y/o sustituir dispositivos físicos que representan los controladores.

15

En algunos ejemplos, se dispone al menos un controlador de gestión de fuente-carga para gestionar al menos una de las siguientes tareas: monitorizar el estado de al menos una fuente y/o al menos una carga; proporcionar información de eventos a otros controladores, por ejemplo estado de la fuente y error, estado de la carga y error, estado del controlador de gestión de fuente-carga y error; proporcionar comandos del sistema, por ejemplo inicio, parada, generar potencia; proporcionar una señal de información (especialmente en tiempo real), por ejemplo acerca de puntos de ajuste de potencia deseados del convertidor individual, potencia de la fuente disponible y/o consumo de potencia de la carga.

20

25

En algunos ejemplos, al menos un controlador del convertidor se dispone para gestionar al menos una de las siguientes tareas: monitorizar y/o controlar convertidores y/o conmutadores contiguos; establecer un sistema de transferencia saludable y/u optimizar el rendimiento de potencia basándose en el viento disponible mediante la cooperación con otros controladores; proporcionar información de eventos a otros controladores, por ejemplo estado del convertidor y error, estado del controlador del convertidor y error; proporcionar una señal información (especialmente en tiempo real), por ejemplo acerca del flujo de potencia del convertidor, energía almacenada en la trayectoria de potencia, en el convertidor y/o en el enlace de CC.

30

En algunos ejemplos, al menos un controlador de la unidad de disipación de potencia se dispone para gestionar al menos una de las siguientes tareas: monitorizar y/o controlar unidades de disipación de potencia; optimizar el balance de potencia entre diferentes trayectorias de potencia, especialmente en lo que se refiere a diferentes segmentos del generador; proporcionar información de eventos a otros controladores, por ejemplo estado de la unidad de disipación de potencia y error, estado del controlador de la unidad de disipación de potencia y error; proporcionar una señal información (especialmente en tiempo real), por ejemplo acerca de la potencia disipada y/o el estado de buen funcionamiento de la unidad de disipación de potencia.

35

En algunos modos de realización, al menos un controlador se materializa como un dispositivo físico. Por ejemplo, el controlador comprende al menos un microcontrolador. A efectos de mantenimiento, todos o al menos dos controladores se construyen como dispositivos (físicos) separados en algunas implementaciones. Alternativamente, al menos dos controladores se integran en un único dispositivo (físico), por ejemplo algunos o todos los controladores relativos a la misma trayectoria de potencia y/o algunos o todos los controladores del mismo tipo se pueden integrar como módulos en un dispositivo físico.

40

45

En algunos modos de realización, al menos un controlador se materializa como una unidad lógica, por ejemplo como una parte lógica de un dispositivo físico común o como una parte lógica de un programa dispuesto para ser ejecutado por un ordenador. En algunos ejemplos, algunos o todos los controladores relativos la misma trayectoria de potencia y/o algunos o todos los controladores del mismo tipo o al menos dos de cualquiera de los controladores se implementan como unidades lógicas (separadas).

50

En algunos modos de realización, al menos un controlador se materializa como o con un proceso dispuesto para ser ejecutado en un programa del controlador o como una instancia de un programa del controlador genérico ejecutado por un ordenador. En algunas implementaciones, el programa del controlador comprende diversos procesos, cada uno de los cuales representa un controlador individual. En algunas implementaciones, diversos controladores se materializan por medio de diversas instancias de un programa del controlador, representando cada instancia un controlador individual. En algunas otras implementaciones, todos los controladores relativos a una trayectoria de potencia concreta o todos los controladores del mismo tipo se materializan en común mediante un único procesador o mediante una única instancia de un programa del controlador.

55

La comunicación entre controladores se materializa, por ejemplo, mediante al menos un enlace de comunicación físico, una memoria compartida y comunicación entre procesos.

5 En algunas implementaciones, la información proporcionada por un controlador se comparte con al menos un controlador contiguo, con al menos todos los controladores del mismo tipo, con al menos todos los controladores relativos a la misma trayectoria de potencia, con todos los controladores del sistema de transferencia de potencia, y/o con el controlador principal de la turbina eólica.

10 En algunos modos de realización, al menos el primer controlador se dispone para controlar al menos dos elementos al unísono. En este caso, el controlador trata estos elementos del mismo modo y no distingue entre ellos. En algunos ejemplos, el controlador no tiene que saber cuántos elementos está controlando. En algunas implementaciones los al menos dos elementos están conectados, por ejemplo física o lógicamente, al controlador en paralelo, por ejemplo mediante conmutadores o mediante una memoria compartida. Así pues, cada comando de control generado por el controlador puede ser transmitido (simultáneamente) a los elementos controlados. En algunas implementaciones, los al menos dos elementos se conectan en serie en cadena. Así pues, un comando de control concreto es entregado de un miembro precedente de la cadena a un miembro posterior de la cadena.

15 En algunos otros modos de realización, al menos el primer controlador se dispone para controlar (esencialmente) al menos dos elementos independientemente. En este caso, cada uno de estos controladores se dispone para distinguir entre al menos dos elementos, por ejemplo proporcionando diferentes comandos de control y/o diferente temporización de los comandos de control para elementos distintos. En algunas implementaciones, al menos un controlador se dispone para comportarse como al menos dos controladores independientes, controlando cada uno al menos un elemento separadamente.

20 En algunos modos de realización, un comando de control comprende una tarea compleja, por ejemplo convertir una potencia concreta o sincronizar fases de tensiones del lado de la fuente y/o del lado de la carga. En algunas implementaciones, el comando de control comprende al menos un parámetro, por ejemplo un valor de una amplitud de tensión de CA. Tales comandos de control se interpretan por un microcontrolador del elemento o por un proceso que representa el controlador, en algunas implementaciones.

En algunos otros modos de realización, un comando de control se dispone para accionar directamente un equipo físico o proceso, por ejemplo, una señal eléctrica para controlar un conmutador de semiconductor, una señal eléctrica para disparar un microcontrolador o valor específico en una memoria compartida.

30 En algunos modos de realización, al menos el segundo controlador se dispone para generar una señal destinada a al menos el primer controlador para proporcionar al menos una información acerca de sí mismo e información acerca de al menos uno de los elementos controlados por él. En algunas implementaciones, se encapsula información de dirección en la señal para ser enviada a al menos un controlador específico, por ejemplo para ser enviada a un controlador concreto, un grupo de controladores del mismo tipo o controladores relativos a la misma trayectoria de potencia. Esto permite una comunicación directa entre al menos dos controladores.

35 En algunos modos de realización, al menos el segundo controlador se dispone para generar una señal de radiodifusión para proporcionar al menos una información acerca de sí mismo e información acerca de al menos uno de los elementos controlados por él. En este caso el controlador proporciona (fácilmente) información a todos los controladores que escuchan esas emisiones, especialmente sin tener que saber nada acerca de los controladores que están escuchando.

40 En algunos modos de realización, un controlador que recibe la señal de otro controlador decide si ignorar o no la información de señales. Así pues, una señal de radiodifusión se puede enviar incluso a controladores que no necesitan la señal. Así pues el controlador que envía no necesita esforzarse en direccionar correctamente. En algunas implementaciones, los controladores se organizan y se comunican sin una estructura de maestro-esclavo. En algunos ejemplos, un sistema de controladores distribuidos se materializa con controladores de recepción que reaccionan (tan solo) a señales que les conciernen.

En algunos modos de realización, al menos dos controladores se disponen para soportar un intercambio de información síncrono. Por ejemplo, el primer controlador se dispone para requerir información del segundo controlador, que se dispone para proporcionar esta información bajo petición.

50 En el mismo o en modos alternativos de realización, al menos dos controladores se disponen para soportar un intercambio de información asíncrono. Por ejemplo, el segundo controlador se dispone para enviar información sin ser preguntado, por ejemplo a intervalos de tiempo fijos, tan pronto como se encuentra disponible nueva información y/o tan pronto como un valor cambia en más de un umbral especificado.

55 En algunos modos de realización, todos o al menos dos controladores interaccionan con un controlador principal, por ejemplo un controlador principal de la turbina eólica, véase lo que sigue. Este controlador principal puede distinguirse de los (otros) controladores descritos hasta el momento. En algunas implementaciones, el controlador principal se dispone para funcionar como maestro para los (otros) controladores, que se disponen así para funcionar

como esclavos. Así pues, el controlador principal puede gestionar la repartición de controladores.

En algunos otros modos de realización, al menos el primer controlador se dispone para decidir de un modo aislado si controlar solo un elemento o controlar al menos dos elementos al mismo tiempo. Así pues, el controlador principal no necesita repartición de controladores. En algunas implementaciones, los controladores se disponen para actuar como una red auto organizada. Por ejemplo, si tiene lugar un fallo del segundo controlador, el primer controlador puede asumir las tareas del segundo controlador autónomamente, por ejemplo encontrando una decisión basada en información de estado o de error enviada por el segundo controlador o basándose en el hecho de que el segundo controlador ya no envía señales.

En algunos modos de realización, el generador y la red proporcionan al menos una fuente y una carga respectivamente. El sistema de transferencia de potencia comprende al menos dos convertidores de potencia eléctrica y al menos una unidad de disipación de potencia como elementos, al menos dos controladores del convertidor, al menos un controlador de la unidad de disipación y una trayectoria de potencia dispuesta para transferir potencia eléctrica a la carga. El procedimiento comprende: controlar un primer convertidor con un primer controlador del convertidor y un segundo convertidor con un segundo controlador del convertidor estando ambos convertidores conectados a la trayectoria de potencia (aquí, este es el modo normal descrito anteriormente). En respuesta a un estado de fallo provocado por el segundo controlador: desconectar el segundo convertidor de la trayectoria de potencia y conectar el canal de potencia a la unidad de disipación de potencia controlada por el controlador de la unidad de disipación de potencia; traspasar el segundo convertidor al primer controlador del convertidor; desconectar el segundo convertidor de la unidad de disipación de potencia y reconectar el segundo convertidor a la trayectoria de potencia.

En este modo de realización, el segundo convertidor se traspasa al primer controlador del convertidor, por ejemplo si el segundo controlador se avería. El segundo convertidor se puede desconectar tan pronto como sea posible de la trayectoria de potencia y conectar a la unidad de disipación de potencia, por ejemplo para minimizar la propagación del fallo más allá en el sistema y/o para proteger componentes de potencia y electrónica del sistema. A continuación, tiene lugar el traspaso, es decir, el controlador del primer convertidor (sin fallos) asume el control sobre el segundo convertidor. Así pues, el primer controlador del convertidor es repartido para controlar ambos convertidores, el primero y el segundo. Finalmente, el controlador del segundo convertidor (con fallos) ya no necesita controlar al segundo convertidor (y puede ser reajustado o sustituido).

En algunos modos de realización, el traspaso del control de un elemento se inicia por el segundo controlador, es decir, el controlador que controla el elemento antes del traspaso. En algunas implementaciones, el segundo controlador comunica una petición de traspaso de control a un (primer) controlador concreto. En algunas otras implementaciones, el segundo controlador comunica tal petición a al menos dos controladores, por ejemplo a todos los controladores del mismo tipo o a todos los controladores asociados con la misma trayectoria de potencia. Para enviar esta petición, el controlador puede utilizar cualquier tipo de comunicación, señal o información descritos antes o en lo que sigue.

En algunos modos de realización, el traspaso de un elemento para su control se inicia por el primer controlador, es decir, el controlador que controla el elemento tras el traspaso. En algunas implementaciones, el primer controlador comunica una petición de traspaso de control al segundo controlador. En algunas otras implementaciones, el primer controlador traspasa el control sin una petición, por ejemplo, si el segundo controlador se ha averiado y no es capaz de recibir una petición o de comunicarse.

En algunos modos de realización, el traspaso se realiza mediante la conmutación de una línea de información, es decir, cortando una línea para comandos de control entre el segundo controlador y el elemento que se va a controlar y estableciendo una línea para comandos de control entre el primer controlador y el elemento. Este corte y establecimiento se llevan a cabo mediante la conmutación de algunas líneas físicas de señal que conectan los controladores y el elemento mediante conmutadores de semiconductor, en alguna implementación. En algunas otras implementaciones, esto se consigue cambiando parámetros de programación o de memoria compartida, por ejemplo cambiando algunos punteros que apuntan a una memoria compartida o un proceso que representa el elemento.

Además de los controladores descritos aquí, en algunos modos de realización la turbina eólica comprende el controlador principal de la turbina eólica para diferentes tipos de tareas. Por ejemplo, el controlador de la turbina eólica determina si la turbina eólica debe funcionar, a la velocidad de viento actual, en un modo de carga parcial (en el cual la eficiencia de la conversión de energía está optimizada) o en un modo de carga nominal (en el cual se produce la potencia nominal, incluso aunque la velocidad del viento permitiera una mayor producción de potencia). Además de parámetros de funcionamiento mecánicos, tales como la velocidad del rotor y el paso de la pala, el controlador de la turbina eólica controla parámetros para la potencia eléctrica entregada total. El control de la potencia eléctrica entregada se realiza influyendo en el sistema de transferencia de potencia de la turbina eólica.

La turbina eólica se puede integrar en un parque eólico que combina una pluralidad de turbinas eólicas conectadas mediante una red de suministro eléctrico a través de un transformador principal. Cada turbina eólica suministra la potencia eléctrica producida por la misma a la red de suministro eléctrico. Puede haber un controlador del parque eólico que influye en la entrega de potencia de la turbina eólica.

Fig. 1: disposición del sistema de transferencia de potencia en relación a los elementos

Un modo de realización del sistema de transferencia de potencia 1 que se dispone para transferir potencia eléctrica de fuentes de CA 2 a cargas de CA 3 se muestra en la fig. 1 como un dibujo esquemático. El sistema de transferencia de potencia 1 parte de una turbina eólica con un generador eléctrico que proporciona las fuentes 1 y es accionado por un rotor de la turbina eólica. La turbina eólica se conecta a una red de suministro eléctrico que proporciona las cargas 3. Ni el generador ni la red son parte del sistema de transferencia de potencia 1. En este ejemplo, las fuentes 2 y las cargas 3 son físicamente elementos de conexión de potencia que conectan el sistema 1 con el generador y la red, respectivamente.

En la fig. 1, el generador comprende cuatro segmentos de generador, que se pueden tratar como cuatro salidas de potencia de CA independientes. Así pues, en la fig. 1 el símbolo 2 individual se debe entender como cuatro fuentes 2, como se muestra mediante los cuatro símbolos de conexión. Por ejemplo, los segmentos de generador son conjuntos de bobinados aislados del generador de la turbina eólica, que producen respectivas salidas de potencia de CA trifásica. Tales segmentos de generador se disponen a menudo en pares simétricos (por ejemplo, en pares de bobinados dispuestos distribuidos de modo simétricamente axial a lo largo del estator).

La red se puede tratar como cuatro cargas de CA trifásica 3, por ejemplo transformadores conectados con sus bobinados secundarios a la red de suministro eléctrico, representados por los cuatro símbolos de conexión del símbolo 3 individual. Así pues, todas las fuentes 2 y las cargas 3 se disponen para potencia de CA trifásica, en donde el sistema de transferencia de potencia 1 alimenta las cargas 3 al convertir la potencia de CA de las fuentes 2 para satisfacer los requerimientos de las cargas 3, como se describe en lo que sigue.

Además, el sistema 1 comprende cuatro convertidores de CA/CC (trifásicos) 4, cuatro convertidores de CC/CA (trifásicos) 5 y cuatro unidades de disipación de potencia 6 como elementos. Por ejemplo, los convertidores de CA/CC 4 son convertidores del lado del generador y los convertidores de CC/CA 5 son convertidores del lado de la red del sistema de transferencia de potencia 1, conectados mediante enlaces de CC. En otros ejemplos, el sistema 1 comprende más o menos de cuatro de estos elementos 3-6 y/o fuentes 2 y cargas 3. En algunos ejemplos, el número de unidades de disipación de potencia 6 es el mismo o la mitad del número de convertidores 4 y 5. En algunos ejemplos, el número de cada uno de los elementos 3-6 es un múltiplo del número de fases de CA proporcionadas por las fuentes 2 y/o las cargas 3.

Como se muestra esquemáticamente en la fig. 1, la fuente 2 y la carga 3 se agrupan lógicamente en un primer canal (interno), los convertidores 4, 5 en un segundo canal (intermedio) y las unidades de disipación de potencia 6 en un tercer canal (externo). Los canales externo e intermedio tiene algunos enlaces de CC 7 en común, así como los canales intermedio e interno tienen algunos enlaces de CA 8 en común, representado por líneas en la fig. 1.

Para transferir la potencia de CA de las fuentes 2 a las cargas 3, el sistema 1 proporciona diversas trayectorias de potencia, es decir, trayectorias de potencia lo largo de los elementos 2-6 y los enlaces de CA y de CC 8, 7. El flujo de potencia eléctrica se puede guiar mediante conmutadores controlables 9-14 situados a lo largo de las trayectorias de potencia entre los elementos 2-6.

Los conmutadores 9-14 así como todos los otros conmutadores controlables mencionados anteriormente y a continuación pueden ser cualquier dispositivo que permite romper y establecer una conexión controlablemente dependiendo de señales de control de un controlador. Por ejemplo, los conmutadores pueden ser disyuntores, contactos con o sin un fusible, conmutadores de potencia de semiconductor, por ejemplo transistores bipolares de puerta aislada (IGBT), transistores de efecto campo de semiconductor de óxido metálico (MOS-FETs), tiristores de desactivación de puerta (GTO), tiristores anti-paralelos o diodos controlables. Un conmutador controlable puede comprender uno o más conmutadores. Por ejemplo, un conmutador controlable para romper y establecer una línea trifásica puede comprender tres conmutadores, uno para cada línea de fase. En otro ejemplo, un conmutador controlable comprende conmutadores redundantes, por ejemplo dos conmutadores paralelos, lo que permite establecer y romper selectivamente la conexión correspondiente incluso si uno de los conmutadores está dañado. Aquí, la expresión "cerrar" un conmutador designa controlar el conmutador para realizar una conexión; la expresión "abrir" un conmutador designa controlar el conmutador para romper una conexión.

A continuación, se describirá la disposición mediante el siguiente flujo de potencia. Comenzando en las fuentes 2, cada fuente es conectable individualmente a un enlace de CA 8 asociado cerrando un conmutador de fuente 9 asociado. Este enlace de CA 8 es conectable directamente a un convertidor de CA/CC 4 asociado cerrando un conmutador de convertidor 11 del lado de CA asociado. (Para una mejor exposición, la fig. 1 muestra ejemplarmente tan solo uno de los correspondientes signos de referencia 7-14). Alternativamente o además de, el flujo de potencia se puede redirigir o dividir mediante conmutadores de enlace de CA 10, cada uno de los cuales conecta dos enlaces de CA 8. Opuesto a cada enlace de CA 8, se asocia un conmutador de convertidor 12 del lado de CC a cada convertidor 4, con el conmutador 12 dispuesto para conectar o desconectar el convertidor 4 asociado y el enlace de CA 7. Además, cada enlace de CC 7 se puede acoplar con al menos un enlace de CC 7 contiguo mediante conmutadores de enlace de CC 13.

Hasta ahora, la potencia ha alcanzado los enlaces de CC 7. En general, el enlace de CC 7 puede comprender un

almacenamiento de energía capacitivo (por ejemplo, un condensador), o, especialmente cuando solo tienen lugar corrientes bajas, un almacenamiento de energía inductivo (por ejemplo, un inductor).

De aquí, la potencia puede ser guiada hasta una carga 3 que pasa por al menos un convertidor de CC/CA 5 en sentido inverso a lo que se describió anteriormente, de acuerdo con el convertidor de CA/CC 4, en el que las cargas 3 son conectables individualmente a enlaces de CA 8 contiguos mediante conmutadores de carga 9'. Alternativa o adicionalmente, parte o toda la potencia en el enlace de CC 7 y/o procedente de uno o más controladores 4, 5 contiguos se puede disipar con una unidad de disipación de potencia 6 cerrando un conmutador 14 de la unidad de disipación de potencia. Por ejemplo, esto puede ser útil en el caso de un fallo del convertidor, un fallo de las fuentes 2 o cargas 3, especialmente para asegurar una tensión simétrica de segmentos simétricos del generador segmentado, en el caso de un desequilibrio de fuentes 2 y cargas 3 y en el caso de un transitorio, por ejemplo cuando se conmutan trayectorias de potencia, en una alternación de la carga, iniciando o apagando una fuente 2 y/o una carga 3.

Cada una de las unidades de disipación de potencia 6 puede comprender una resistencia en serie con el conmutador 14. La cantidad y velocidad de la disipación de potencia se puede controlar variando ciclos de trabajo de un funcionamiento de modulación de ancho de pulso (PWM) del conmutador (de electrónica de potencia) 14 en serie con la resistencia. La disipación de potencia puede aumentar conectando al menos una unidad de disipación de potencia 6 adicional mediante el cierre de al menos un conmutador de enlace de CC 13 para acoplar enlaces de CC 7 contiguos. En otros ejemplos, una unidad de disipación de potencia se puede conectar con un enlace de CA. Por ejemplo, tal unidad de disipación de potencia puede comprender una pluralidad de resistencias, cada resistencia conectable a una fase de CA separada.

La disposición del sistema de transferencia de potencia 1 permite diversas combinaciones de conexión al menos un controlador de CA/CC 4 con al menos un controlador de CC/CA 5 utilizando al menos un enlace de CC 7. Estas combinaciones construyen al menos un convertidor de frecuencia, que se conecta a la fuente 2 y la carga 3 a través de al menos dos enlaces de CA 8. Tal convertidor de frecuencia se puede configurar (libremente) para involucrar uno o más convertidores de CA/CC 4 individuales y/o uno o más convertidores de CC/CA 5 individuales, en donde los números de convertidores 4 y 5 diferentes pueden ser iguales o distintos. Así pues, el flujo de potencia (máximo) de los convertidores de frecuencia así construidos se puede configurar (bajo petición) mientras se acciona el sistema 1.

Fig. 2: Disposición del sistema de transferencia de potencia en relación a los controladores

La fig. 2 muestra el mismo sistema 1 que la fig. 1, pero como un diagrama de circuito esquemático de controladores 15-17. La disposición de controladores soporta funcionalidad del controlador independiente así como funcionalidad de controlador compartido, por ejemplo en el caso de que uno o más controladores se dañen o durante eventos transitorios, por ejemplo cuando la funcionalidad del controlador existente es asumida por un controlador contiguo.

Como muestra la comparación de las figs. 1 y 2, cada uno de los elementos 2-6 mostrados en la fig. 1 se asocia con un controlador 15-17 mostrado en la fig. 2: controladores de gestión de fuente-carga 15 se asocian con el canal interno y con las fuentes 2 y cargas 3, respectivamente; controladores del convertidor 16 se asocian con el canal intermedio y con los convertidores 4, 5 y controladores 17 de la unidad de disipación de potencia se asocian con el canal externo y con las unidades de disipación de potencia 6.

Además de esta asociación, cada controlador 15-17 se dispone para controlar un segundo elemento 2-6 además de su elemento asociado. Así pues, todos los controladores 15-17 están dispuestos para controlar solo un elemento 2-6 individual (el asociado) así como para controlar dos elementos al mismo tiempo, es decir, el (primer) elemento 2-6 asociado y un (segundo) elemento 2-6 adicional asociado con otro controlador 15-17 (del mismo tipo). Por ejemplo, al operar el sistema 1, en un momento un controlador del convertidor 15 específico puede controlar (solo) el convertidor 4 asociado, en otro momento el mismo controlador 15 puede controlar ambos, el convertidor 4 asociado y un segundo convertidor 4 del mismo tipo. En otro ejemplo, el controlador 16 se dispone para controlar dos elementos 4, 5 de distinto tipo, es decir, un convertidor de CA/CC 4 y un convertidor de CC/CA 5, al mismo tiempo.

Antes de describir más detalles de la repartición del controlador, se mencionarán en primer lugar algunos aspectos generales.

Los controladores 15, 16 y 17 se disponen para monitorizar el estado de elementos asociados 2-6 para pasarse información entre sí relativa al estado de buen funcionamiento del sistema 1 y otra información relevante para el funcionamiento optimizado y auto organizado del sistema 1.

Los controladores de gestión de fuente-carga 15 se disponen para monitorizar el estado de las fuentes 2 y cargas 3. Además, los controladores de gestión de fuente-carga 15 controlan los conmutadores de fuente 9 y los conmutadores de carga 9' para conectar (y desconectar) individualmente fuentes 2 y cargas 3 individuales. Por ejemplo, en el caso de una carga excesiva del sistema 1 o en un estado de fallo del generador, se puede desconectar al menos una fuente 1; en otros casos, la red o una subred de la red se pueden desconectar del sistema 1.

Los controladores del convertidor 16 se disponen para monitorizar y controlar el buen funcionamiento de los convertidores 4, 5. Tienen la función principal de establecer un buen funcionamiento del convertidor y optimizar el flujo de potencia a través de cada uno de los convertidores 4, 5 y, todavía más, el flujo de potencia total producida por el generador a la red basándose en el viento disponible. Además, los controladores del convertidor se disponen para controlar los conmutadores 11, 12 del convertidor contiguos a los convertidores 4, 5, controlando así si los convertidores 4, 5 se conectan o no a los enlaces de CC 7 o los enlaces de CA 8. Además, los controladores 16 controlan directamente los semiconductores de conmutación del convertidor, es decir, semiconductores de un rectificador del convertidor de CA/CC 4 y/o semiconductores de conmutación de un inversor del convertidor de CC/CA 5, respectivamente. Así pues, controlan el suministro de potencia al enlace de CC 7 (por ejemplo, la tensión de CC y/o corriente de CC) y/o la potencia (por ejemplo, frecuencia, amplitud, fase) suministrada al enlace de CA 8.

Los controladores 17 de la unidad de disipación de potencia se dispone para monitorizar y controlar el buen funcionamiento de las unidades de disipación de potencia 6 y para optimizar el balance de potencia del sistema 1 en su conjunto, especialmente entre trayectorias de potencia conectadas (mediante diferentes fuentes) a diferentes segmentos del generador. Los controladores 17 controlan si las unidades 6 se conectan o no a los enlaces de CC 7. Además, controlan la cantidad de potencia disipada controlando directamente los conmutadores 14 con señales PWM. Tareas adicionales de los diferentes tipos de controladores se describen en la fig. 4.

En otros ejemplos, los controladores 16 y 17 no controlan directamente semiconductores de conmutación de los elementos 4, 5 y 6. Controlan los elementos proporcionando comandos de control y/o puntos de ajuste, por ejemplo para referencia de potencia, tensiones y/o corriente de CA o de CC, frecuencia, amplitud y fase de una señal de CA, frecuencia de PWM y/o velocidad de encendido/apagado. En ese caso, los elementos 16 y 17 son más "inteligentes", por ejemplo tienen un microcontrolador dispuesto para satisfacer estos requerimientos autónomamente.

En un modo de realización, cada uno de los controladores 15-17 está representado por un proceso que es parte de un programa del controlador común que se ejecuta mediante un ordenador de la turbina eólica. Cada proceso se asocia con algunos puertos de entrada y/o salida (puertos de I/O) del ordenador que son también partes del controlador. Así pues, el controlador se implementa mediante una combinación de equipo y programa. (Alternativamente, los puertos de I/O se pueden asignar a los elementos, así pues, el controlador se crea tan solo mediante programación). En este modo de realización, los controladores se comunican (véase la fig. 4) utilizando una memoria compartida que es accesible por todos los procesos de controlador y mediante comunicación entre procesos. Los elementos 2-6 están conectados eléctricamente a los puertos de I/O para establecer una comunicación entre controlador y elemento controlado.

En otro modo de realización, cada controlador está representado por un único dispositivo físico, cada uno de los cuales tiene un microcontrolador para controlar el al menos un elemento y para su comunicación con otros controladores. Todos los elementos que son controlables en principio por un controlador específico son conectables eléctricamente a este controlador mediante líneas de señal 18 y conmutadores. Además, los controladores se conectan entre sí mediante líneas de comunicación 19, por ejemplo mediante un bus de datos común o mediante líneas de señal individuales, conectando cada una dos controladores (véanse las figs. 3a, 3b).

Ahora, volviendo a la repartición de controladores, la disposición de controladores permite que un primer elemento se controle mediante un primer controlador y un segundo elemento se controla mediante un segundo controlador (modo independiente), así como que se controlen ambos, el primer y el segundo elemento mediante el primer controlador mientras el primer o el segundo elemento no se controla por el segundo controlador (modo compartido). Los controladores 15-17 se organizan como una red que construye un sistema distribuido. Están conectados entre sí mediante líneas de comunicación 19.

En un modo independiente, un controlador controla activamente un elemento (asociado) individual. Así pues, (otros) elementos contiguos se pueden controlar mediante (otros) controladores contiguos. Además de esto, la funcionalidad de control compartida es el estado en el que un controlador asume responsabilidad funcional de un elemento que estaba gobernado (anteriormente) por otro controlador activo. El modo compartido puede limitar efectos de fallos o aumentar el flujo de potencia a la carga.

En un modo de realización, en modo compartido, un controlador controla dos elementos contiguos al unísono, por ejemplo mediante control especular de los puertos de I/O o mediante la conexión de líneas de señal correspondientes entre controlador y elemento controlado.

En un modo de realización alternativo, en modo compartido, un controlador controla dos elementos contiguos independientemente. En este modo de realización, cada uno de los controladores está equipado con dos unidades de control independientes, una unidad que controla el primer elemento asociado y la otra unidad que controla el segundo elemento. En el modo independiente, solo una de estas unidades está activa, ya que la otra puede estar en reposo y se puede designar como de respaldo, aumentando así la redundancia. Por ejemplo, estas unidades son hilos separados del proceso del controlador.

Sin embargo, todos los controladores 15-17 actúan como un controlador independiente gestionando únicamente

su(s) elemento(s) controlado(s) basándose en el conocimiento de qué controladores controlan elementos contiguos a sí mismos. Además, el control se basa en entradas de otros controladores presentes en el mismo y en otros canales. Así pues, cada controlador decide de un modo aislado si controlar tan solo un elemento o dos elementos al mismo tiempo; no hay maestro que asigne un elemento concreto a un controlador concreto. Decidir de un modo aislado significa que el controlador toma su propia decisión basándose en su conocimiento acerca de los otros elementos y controladores y su propio estado. El traspaso de un elemento de otro (segundo) controlador se puede iniciar por el otro (segundo) controlador bajo petición, por ejemplo si el segundo controlador identifica un fallo interno por sí mismo. Además, el traspaso se puede iniciar por el (primer) controlador que toma el control del elemento, por ejemplo, si el primer controlador descubre un fallo del segundo controlador, por ejemplo observando activamente y/o analizando la información recibida acerca de elementos y controladores contiguos. Incluso el hecho de que el segundo controlador (con fallos) no envíe ya ninguna información se puede utilizar para iniciar un traspaso (toma de control) del elemento asociado con el segundo controlador.

Fig. 3a-c: traspaso

El traspaso se explica mediante el siguiente ejemplo. La fig. 3a muestra esquemáticamente una parte del sistema 1 con dos trayectorias de potencia (mediante línea continua) antes del traspaso. La fig. 3b muestra la misma parte tras el traspaso. Las líneas de señal 18 se dibujan como flechas continuas, mientras que los sentidos de las flechas muestran la relación "control-controlado". Se dibujan líneas de comunicación 19 como líneas de puntos. El ejemplo se muestra en un "primer" controlador 16 del convertidor y convertidor de CA-CC 4 y un "segundo" controlador del convertidor 16 y convertidor de CA-CC 4 en la mitad izquierda de las figs. 3a, 3b. Diferentes etapas del traspaso se muestran esquemáticamente en la fig. 3c.

De acuerdo con 20 (véase la fig. 3c) antes de un traspaso, el primer controlador del convertidor es el controlador funcional del primer convertidor mientras que el segundo controlador del convertidor es el controlador funcional del segundo convertidor. De acuerdo con las figs. 1 y 2, el primer controlador se asocia con el primer convertidor y el segundo controlador se asocia con el segundo convertidor. En el caso de que (por ejemplo) el segundo controlador se averíe en 21 (línea mixta en la fig. 3b), el primer controlador asume el control funcional del segundo convertidor. Esto ocurre sin que el primer controlador pierda ninguna funcionalidad de control sobre el primer convertidor. Como consecuencia de la avería, el segundo convertidor ya no está controlado. La información acerca de la avería se proporciona mediante las líneas de comunicación 19, por ejemplo mediante una señal de radiodifusión enviada por el segundo controlador o ajustando la memoria compartida a un valor que indica el estado de error (si todavía es capaz de comunicar). Esta información se puede suministrar igualmente por el hecho de que el segundo controlador no muestra ya ningún signo de vida.

Esta información es recibida (por todos los controladores y especialmente) por los controladores 17 de la unidad de disipación de potencia asociados con la trayectoria de potencia del segundo convertidor. En 22, este controlador 17 comenzará (autoactuando) a controlar los conmutadores 14 para conectar la unidad de disipación de potencia 6 al enlace de CC para disipar la potencia del lado de CC del segundo convertidor. En otro ejemplo, la potencia (del lado de la fuente) que debía ser gestionada por el segundo convertidor se disipa.

Además, la información acerca de la avería es recibida por el primer controlador, igualmente, que analiza (continuamente) toda la información recibida acerca del sistema 1. Como el primer controlador controla tan solo el primer elemento individual en ese momento del tiempo, es en principio capaz de controlar un elemento adicional.

Así pues, el primer controlador comienza el traspaso (o "toma de control", ya que el segundo controlador no está involucrado activamente debido a la avería) con la desconexión del segundo convertidor del enlace de CA 8 del lado de la fuente en 22. Así pues, no se guiará más potencia al segundo convertidor no controlado. Para traspasar el elemento, el primer controlador desconecta igualmente el segundo controlador del segundo convertidor en 22, por ejemplo cambiando los punteros del proceso de control del segundo controlador a un valor NIL (es decir, apuntando a ningún sitio), o desconectando físicamente las líneas de señal 18 entre el segundo controlador y el segundo convertidor utilizando conmutadores de semiconductor.

A continuación, el segundo convertidor se conecta al primer controlador en 23, por ejemplo mediante la conmutación física de líneas de señal 18 de conexión o duplicando los comandos de control (de programa) para el primer convertidor al segundo convertidor (en el caso de controlar dos convertidores mediante el primer controlador al unísono), o conectando una segunda unidad de controlador (hasta ahora inactiva) del primer controlador al segundo convertidor. Así pues, la funcionalidad del segundo convertidor se traspassa al primer controlador. A continuación, las unidades de disipación de potencia 6 son desconectadas por el controlador 17 en 23 y el enlace de CA 8 del lado de la fuente se conecta al segundo controlador.

Finalmente, en 24, el primer controlador controla ambos, el primer y el segundo elemento, mientras que el segundo controlador no controla nada, ya que se ha averiado. Esto asegura que el sistema de transferencia de potencia 1, y por tanto la turbina eólica, no se desconectarán de la red en el caso de una avería del controlador.

Por ejemplo, esto aplica a cualquiera de dos controladores del convertidor 16 así como a cualquiera de dos controladores 17 de la unidad de disipación de potencia que controlan dos convertidores 4 y/o 5 y dos unidades de

disipación de potencia 6, respectivamente. Esto se aplica asimismo a controladores de gestión de fuente-carga 15 y fuentes 2 y cargas 3, respectivamente.

5 En otro modo de realización, adicional o alternativamente, un controlador en buen estado (sin ningún estado de fallo) es controlado por otro controlador. Así pues, un único controlador está controlando dos elementos en un modo normal. Así pues, si (posteriormente) surge un fallo del sistema, el efecto del fallo se mitiga, el flujo de potencia a la carga se optimiza y/o la estabilidad mecánica del generador se mantiene.

Fig. 4: comunicación de controladores

10 La fig. 4 muestra la información que está siendo compartida entre diferentes tipos de controladores. Cada círculo representa todos los controladores 15-17 del mismo tipo. En este modo de realización, se intercambia información mediante radiodifusión a todos los controladores de todos los tipos con controladores individuales que extraen inteligentemente la información que necesitan para una toma de decisiones funcional. Como se mencionó anteriormente, se lleva a cabo una comunicación entre controladores mediante una memoria compartida y una comunicación entre procesos (en algunos modos de realización alternativos, el controlador de envío se dirige a un controlador de recepción concreto. En algunos modos de realización, esta comunicación entre controladores se lleva a cabo mediante enlaces de comunicaciones físicos).

Las líneas continuas representan el intercambio de información de eventos 18, por ejemplo acerca de estado y error; líneas de puntos representan el intercambio de información de señal 19, por ejemplo acerca de parámetros del sistema.

20 Los controladores de gestión de fuente-carga 15 proporcionan información de eventos a todos los otros controladores, por ejemplo acerca del estado y/o errores de las fuentes 2, las cargas 3 y/o los propios controladores 15, o acerca de comandos globales del sistema, por ejemplo inicio, apagado, generación de potencia. Además, proporcionan información de señal en tiempo real a todos los otros controladores, por ejemplo acerca de puntos de ajuste de potencia individuales deseados de convertidores, potencia de fuente disponible, consumo de potencia de la carga.

25 Los controladores del convertidor 16 proporcionan información de eventos a todos los otros controladores, por ejemplo acerca de estado y/o error de los convertidores 4, 5 y/o de los propios controladores 16. Además, proporcionan información de señal en tiempo real a todos los otros controladores, por ejemplo acerca de la razón de potencia que se va a convertir y/o la energía almacenada en los enlaces 7,8.

30 Los controladores 17 de la unidad de disipación de potencia proporcionan información de eventos a todos los otros controladores, por ejemplo acerca del estado y/o error de las unidades de disipación de potencia 6 y/o de los propios controladores 17. Además, proporcionan información de señal en tiempo real a todos los otros controladores, por ejemplo acerca de la cantidad y/o razón de potencia que se va a disipar y/o condiciones de buen funcionamiento de los elementos de disipación de potencia, por ejemplo, temperatura.

35 La información compartida permite que cada controlador tome decisiones funcionales independientemente con el fin de conseguir el comportamiento deseado del sistema en ambos modos independiente y compartido descritos anteriormente.

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema que comprende una turbina eólica, un generador eléctrico, un sistema de transferencia de potencia eléctrica (1) y una red de suministro eléctrico, en el que el sistema de transferencia de potencia (1) se dispone para transferir potencia eléctrica del generador a una red de suministro eléctrico;
- 5 en el que el sistema de transferencia de potencia (1) comprende al menos dos elementos eléctricos (2-6) y al menos dos controladores (15-17), dispuesto cada uno para controlar al menos un elemento (2-6);  
en el que al menos un controlador (15-17) se dispone para controlar solo uno de los elementos (2-6) así como al menos dos de los elementos (2-6); y  
la disposición de controladores permite que un primer elemento (2-6) sea controlado por un primer controlador (15-17) y un segundo elemento (2-6) sea controlado por un segundo controlador (15-17), así como que el primer y el segundo elemento (2-6) sean controlados por el primer controlador (15-17) mientras que el primer o el segundo elemento (2-6) no es controlado por el segundo controlador (15-17).
- 10 2. El sistema de la reivindicación 1, en el que al menos dos de los elementos (4, 5, 6) son convertidores de potencia eléctrica y al menos dos de los controladores son controladores del convertidor (16).
- 15 3. El sistema de la reivindicación 1 o 2, en el que el sistema de transferencia de potencia (1) comprende al menos un convertidor de CA/CC (4) y al menos un convertidor de CC/CA (5) como elementos y comprende al menos un enlace de CC (7) dispuesto para acoplar al menos un convertidor de CA/CC (4) y al menos un convertidor de CC/CA (5).
- 20 4. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que al menos dos de los elementos son unidades de disipación de potencia (6) y al menos dos de los controladores son controladores (17) de la unidad de disipación de potencia.
- 25 5. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que al menos uno del generador y de la red de suministro eléctrico proporcionan como elementos al menos dos fuentes (2) y al menos dos cargas (3), respectivamente, y en el que al menos dos de los controladores son controladores de gestión de fuente-carga (15), dispuesto cada uno para monitorizar al menos una de la fuente (2) y la carga (3).
6. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que al menos el primer controlador (15-17) está dispuesto para controlar uniformemente al menos dos elementos (2-6).
7. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que al menos el primer controlador (15-17) se dispone para controlar al menos dos elementos (2-6) independientemente.
- 30 8. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que al menos el segundo controlador (15-17) se dispone para generar una señal destinada a al menos el primer controlador (15-17) para proporcionar al menos una de información acerca de sí mismo e información acerca de al menos uno de los elementos (2-6) controlados por él.
- 35 9. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que al menos el segundo controlador (15-17) se dispone para generar una señal de radiodifusión para proporcionar al menos una de información acerca de sí mismo e información acerca de al menos uno de los elementos (2-6) controlados por él.
- 40 10. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que al menos el primer controlador (15-17) se dispone para decidir aisladamente si controlar tan solo un elemento (2-6) o controlar al menos dos elementos (2-6) al mismo tiempo.
- 45 11. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que el sistema de transferencia de potencia (1) comprende al menos un convertidor de potencia eléctrica (4, 5), al menos un controlador del convertidor (16) y al menos un controlador (17) de la unidad de disipación de potencia, en el que el controlador del convertidor (16) se dispone para proporcionar al menos una de información acerca de sí mismo e información acerca del convertidor (4, 5) al controlador (17) de la unidad de disipación de potencia.
- 50 12. Un procedimiento para controlar una disposición de control de un sistema de transferencia de potencia eléctrica (1) de una turbina eólica, en el que la turbina eólica comprende un generador eléctrico y se conecta a una red de suministro eléctrico, y en el que el sistema de transferencia de potencia (1) se dispone para transferir potencia eléctrica del generador a la red de suministro eléctrico;  
en el que el sistema de transferencia de potencia (1) comprende al menos dos elementos (2-6) y al menos dos controladores (15-17), dispuestos cada uno para controlar al menos un elemento (2-6);  
en el que al menos un controlador (15-17) se dispone para controlar solo uno de los elementos así como al

menos dos de los elementos (2-6);

comprendiendo el procedimiento:

conmutar entre

5 controlar un primer elemento (2-6) con un primer controlador (15-17) y un segundo elemento (2-6) con un segundo controlador (15-17) y

controlar el primer y el segundo elemento (2-6) con el primer controlador (15-17) mientras no se controla el primer o el segundo elemento (2-6) con el segundo controlador (15-17).

13. El procedimiento de la reivindicación 12, en el que el conmutador se dispara por una condición de fallo.

10 14. El procedimiento de la reivindicación 12 o 13, en el que el generador y la red de suministro eléctrico proporcionan al menos un fuente (2) y una carga (3), respectivamente; en el que el sistema de transferencia de potencia (1) comprende al menos dos convertidores de potencia eléctrica (4, 5) y al menos una unidad de disipación de potencia (6) como elementos, al menos dos controladores del convertidor (16), al menos un controlador (17) de la unidad de disipación de potencia y una trayectoria de potencia dispuesta para transferir potencia eléctrica a la carga (3);

15 comprendiendo el procedimiento:

controlar un primer convertidor (4, 5) con un primer controlador del convertidor (16) y un segundo convertidor (4, 5) con un segundo controlador del convertidor (16) estando conectados ambos convertidores (4, 5) a la trayectoria de potencia,

y, en respuesta a una condición de fallo provocada por el segundo controlador (16),

20 desconectar el segundo convertidor (4, 5) de la trayectoria de potencia y conectarlo a la unidad de disipación de potencia (6) controlada por el controlador (17) de la unidad de disipación de potencia,

traspasar el segundo convertidor (4, 5) al primer controlador del convertidor (16),

desconectar el segundo convertidor (4, 5) de la unidad de disipación de potencia (6) y reconectar el segundo convertidor (4, 5) a la trayectoria de potencia.

25

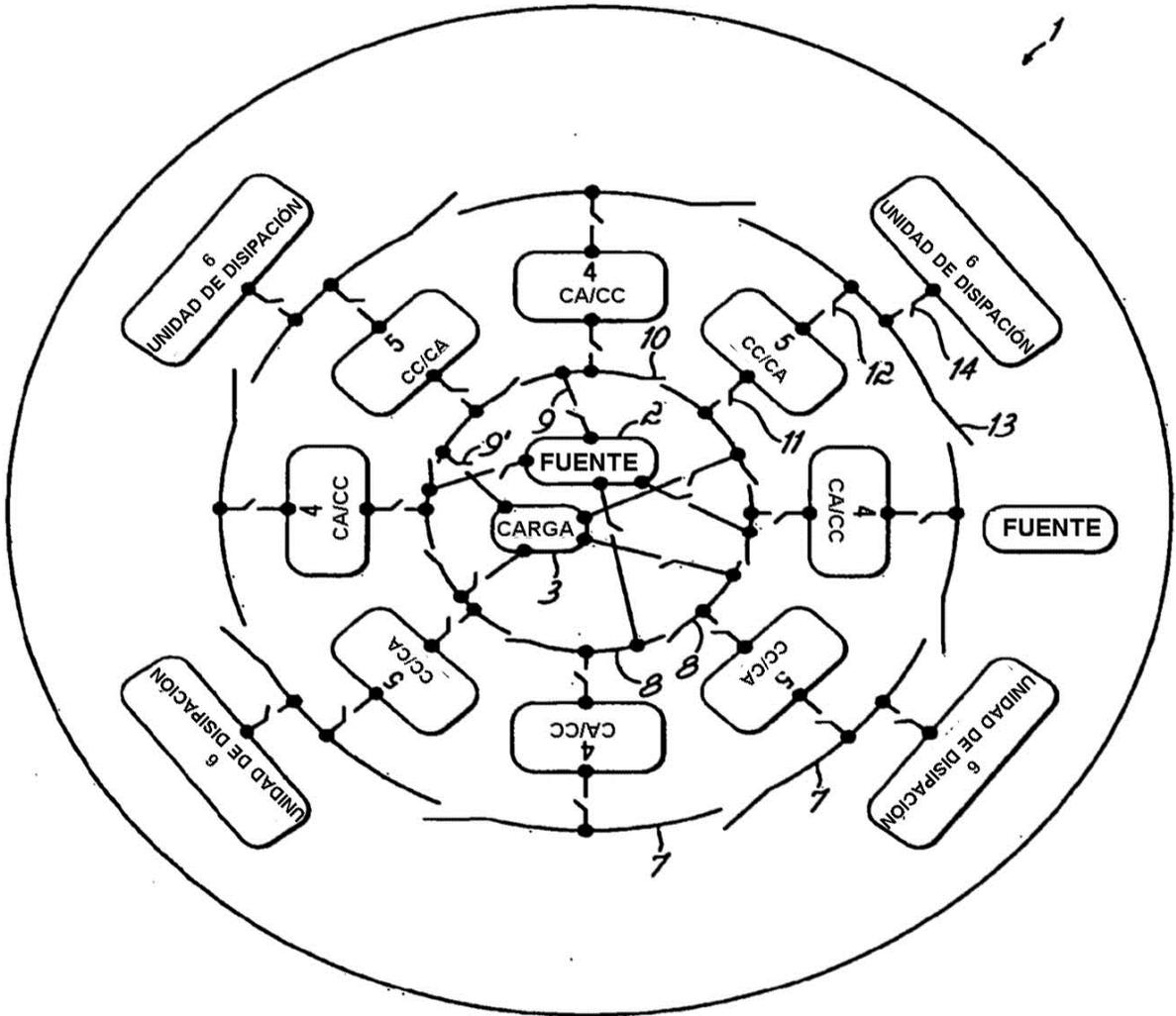


FIG. 1



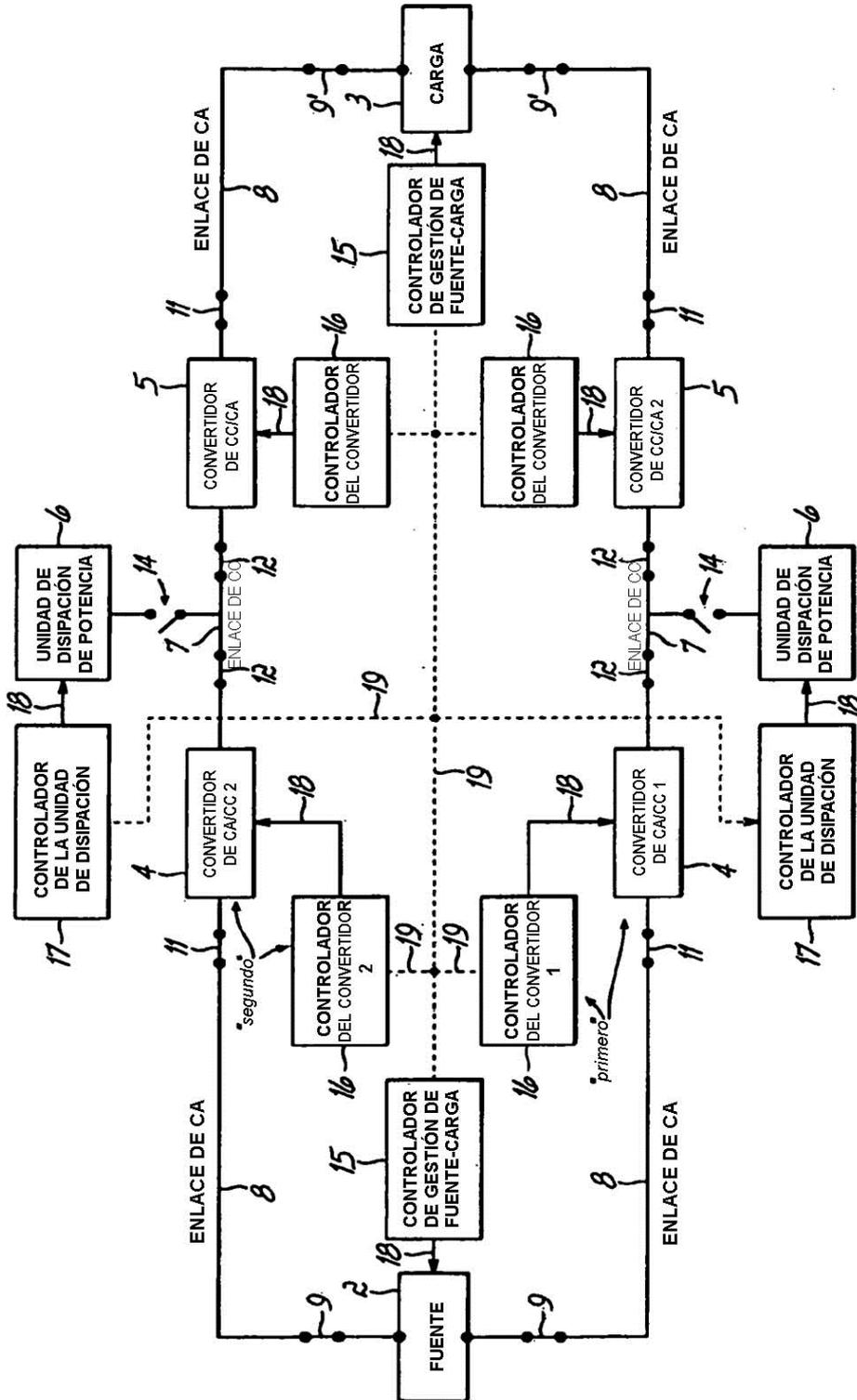


FIG. 3A

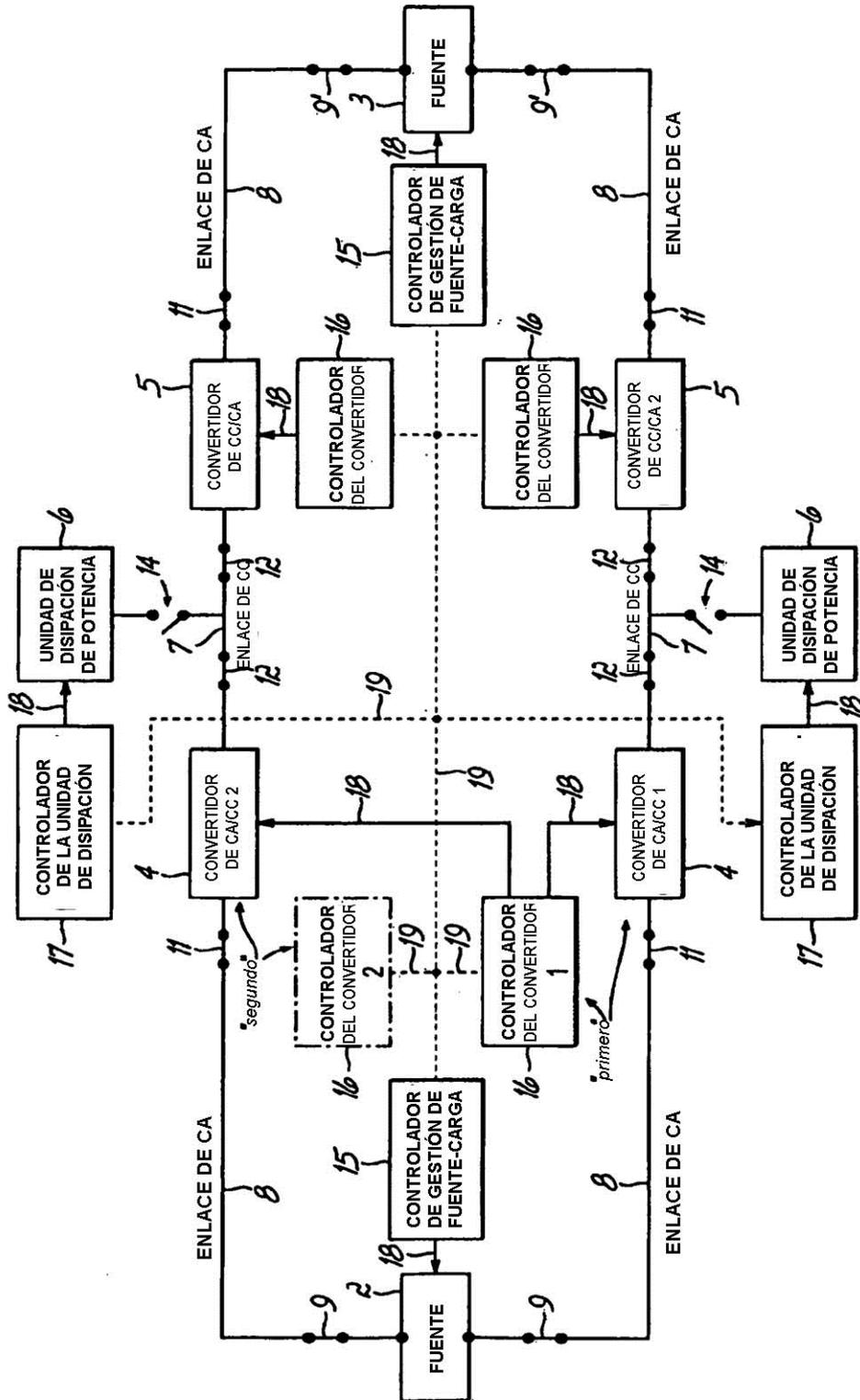


FIG. 3B

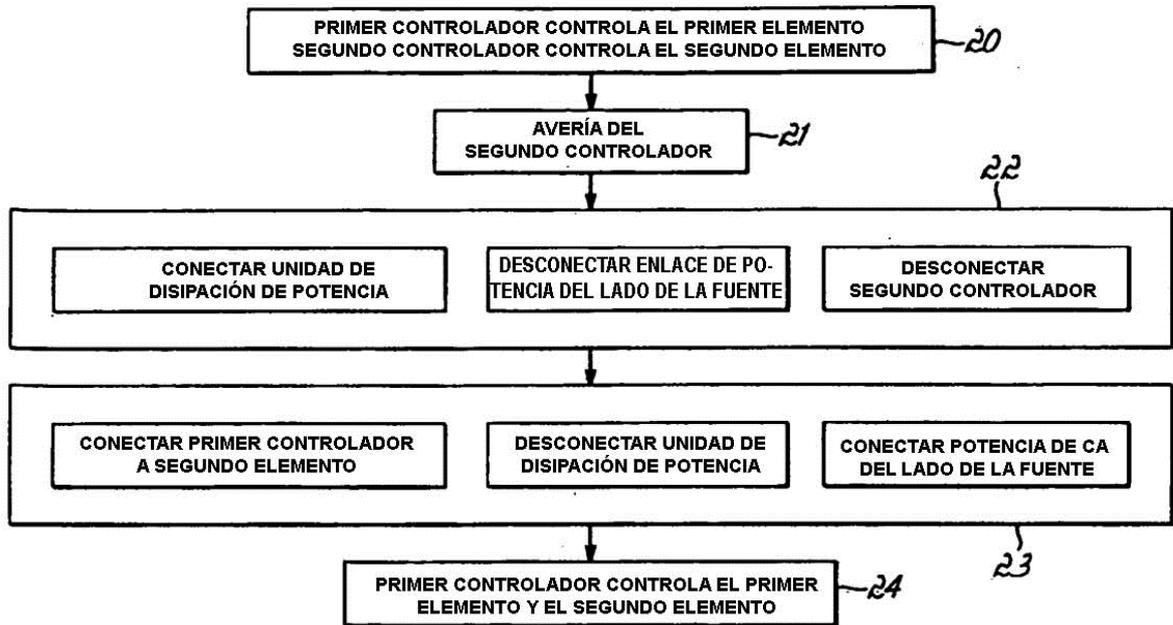


FIG. 3C

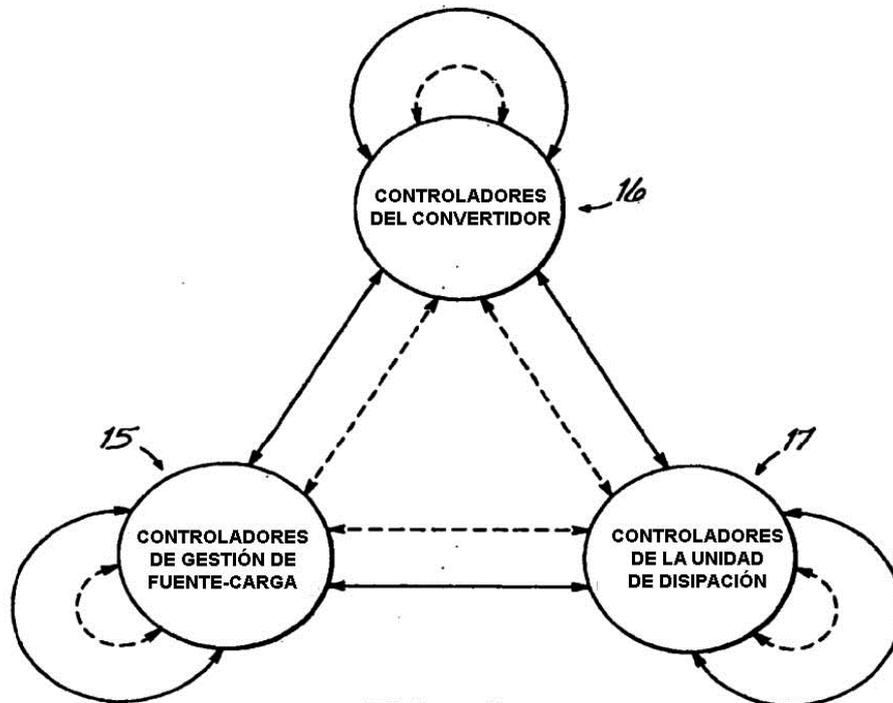


FIG. 4