

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 690 481**

51 Int. Cl.:

H02J 3/48 (2006.01)

F03D 9/00 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.01.2012 PCT/DK2012/050014**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.07.2012 WO12097816**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.01.2012 E 12701432 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.09.2018 EP 2666223**

54 Título: **Funcionamiento de turbinas eólicas bajo fallos de convertidor**

30 Prioridad:

17.01.2011 US 201113007825

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

21.11.2018

73 Titular/es:

**VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)
Hedeager 42
8200 Aarhus N, DK**

72 Inventor/es:

HJORT, THOMAS

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 690 481 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

Funcionamiento de turbinas eólicas bajo fallos de convertidor

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a una tecnología de turbina eólica y, por ejemplo, a métodos de funcionamiento de turbinas eólicas bajo fallos de convertidor, y a turbinas eólicas relacionadas.

10 Antecedentes de la invención

El documento WO 2004/100102 A1 describe una instalación de energía eólica con un sistema convertidor y generador dividido en cuatro bifurcaciones independientes. Las bifurcaciones de generador y convertidor pueden conectarse de manera selectiva por conmutadores (figura 3). Tras un fallo de un componente de convertidor en una bifurcación del componente que se desconecta por la apertura de conmutadores y la trayectoria de corriente se conecta a componentes correspondientes de las otras bifurcaciones [0074]. Los componentes de convertidor correspondientes en las otras bifurcaciones se accionan automáticamente con un nivel más alto de potencia de salida. Con el fin de evitar la sobrecarga de los componentes de convertidor intactos que han permanecido, estos componentes están sobredimensionados alrededor del 20% de modo que incluso cuando estos componentes restantes se cargan con la potencia de salida de un componente fallido, esto no provoca ninguna sobrecarga [0054].

El documento WO 2006/107548 A1 describe un sistema convertidor de potencia adaptado para funcionar en un modo normal y en un modo de fallo. El sistema convertidor tiene una pluralidad de convertidores paralelos, denominados "puentes". En el caso de un fallo de un puente el modo de fallo se introduce y se deriva el puente defectuoso.

El documento WO 2009/118433 A1 se refiere a un método de funcionamiento de turbinas eólicas con convertidores de potencia. En el caso de un fallo de convertidor parcial, una transición de modo se realiza de un modo de funcionamiento (FC) de convertidor completo a un modo de funcionamiento de generador de inducción doblemente alimentado (DIFG). En ambos modos de funcionamiento la potencia nominal completa puede producirse.

El documento EP 1 523 088 A2 describe un convertidor con módulos de convertidor paralelos, en el que en un modo de carga parcial solo un subconjunto de los módulos de convertidor paralelos se hace funcionar, para que se aumente la eficiencia del convertidor. Potencia activa y reactiva se produce en respuesta a una señal de demanda. La disposición de módulo-convertidor se configura en respuesta a un fallo de un módulo determinado.

Sumario de la invención

La invención se define por las reivindicaciones independientes.

Se proporciona un método, también denominados el "aspecto de margen de corriente reactiva", funcionamiento de una turbina eólica que comprende un generador y un sistema convertidor eléctrico dispuesto para producir y convertir potencia eléctrica hasta una potencia activa nominal. La turbina eólica se dispone para funcionar en al menos dos modos diferentes de convertidor, denominados un "modo de convertidor completamente funcional" y un "modo de convertidor defectuoso". El sistema convertidor eléctrico comprende una pluralidad de convertidores paralelos. Los convertidores están dimensionados no solo para funcionar a corriente activa nominal, es decir, corriente eléctrica correspondiente a producción de potencia activa nominal, sino que están dimensionados para proporcionar un margen de sobrecorriente para permitir que la corriente reactiva se produzca en la parte superior de la corriente activa nominal en el modo de convertidor completamente funcional. El método comprende:

- provocar, en el modo de convertidor completamente funcional, que los convertidores produzcan corriente reactiva en la parte superior de la corriente activa nominal tras la solicitud,
- cambiar, en respuesta a un fallo de uno o más de los convertidores, el funcionamiento del modo de convertidor completamente funcional al modo de convertidor defectuoso, y
- provocar, en el modo de convertidor defectuoso, que al menos otro convertidor del sistema convertidor produzca corriente activa adicional usando su margen de sobrecorriente para compensar al menos parcialmente una reducción de producción de corriente activa que resulta del fallo de uno de los convertidores, y para reducir la producción de corriente reactiva, o la habilidad para producir corriente reactiva, por el al menos otro convertidor de manera correspondiente.

Una turbina eólica que pertenece al "aspecto de margen de corriente reactiva" también se proporciona. La misma comprende un generador y un sistema convertidor eléctrico dispuesto para producir y convertir potencia eléctrica hasta una potencia activa nominal, y un controlador dispuesto para controlar el sistema convertidor eléctrico. El controlador se dispone, en el modo de convertidor completamente funcional, para provocar que los convertidores produzcan corriente reactiva en la parte superior de la corriente activa nominal, por ejemplo según un punto establecido correspondiente. La turbina eólica se dispone para funcionar en al menos dos modos diferentes de

convertidor, el modo de convertidor completamente funcional y el modo de convertidor defectuoso. El controlador se dispone, en respuesta a un fallo de uno o más de los convertidores, para cambiar el funcionamiento del modo de convertidor completamente funcional al modo de convertidor defectuoso. el sistema convertidor eléctrico comprende una pluralidad de convertidores paralelos. Los convertidores están dimensionados no solo para funcionar a corriente activa nominal, sino que están dimensionados para proporcionar un margen de sobrecorriente para permitir que la corriente reactiva se produzca en la parte superior de la corriente activa nominal en el modo de convertidor completamente funcional. El controlador se dispone, en el modo de convertidor completamente funcional, para provocar que los convertidores produzcan corriente reactiva en la parte superior de la corriente activa nominal tras la solicitud. El mismo se dispone además, en el modo de convertidor defectuoso, para provocar que al menos otro convertidor del sistema convertidor produzca corriente activa adicional usando su margen de sobrecorriente para compensar al menos parcialmente una reducción de producción de corriente activa debido al fallo de uno de los convertidores, y para provocar que la producción de corriente reactiva por el al menos otro convertidor se limite de manera correspondiente.

15 En una realización, también se denomina el "aspecto de margen de baja tensión", se proporciona un método de funcionamiento de turbina eólica. Este método comprende además:

- provocar, en el modo de convertidor completamente funcional, que los convertidores de la turbina eólica produzcan potencia activa nominal y aumente de ese modo la corriente activa por encima de la corriente activa nominal en el margen de sobrecorriente en respuesta a una tensión de red eléctrica más baja que la nominal,
- provocar, en el modo de convertidor defectuoso y a tensión de red eléctrica nominal, que al menos otro convertidor del sistema convertidor de la turbina eólica que funciona en el modo de convertidor defectuoso produzca corriente activa adicional usando su margen de sobrecorriente para compensar al menos parcialmente una reducción de producción de corriente activa debido al fallo de uno de los convertidores.

25 Una turbina eólica que pertenece al "aspecto de margen de baja tensión" también se proporciona. El controlador se dispone además para provocar que, en el modo de convertidor defectuoso y a tensión de red eléctrica nominal, al menos otro convertidor del sistema convertidor de la turbina eólica produzca corriente activa adicional usando su margen de sobrecorriente para compensar al menos parcialmente una reducción de producción de corriente activa debido al fallo de uno de los convertidores.

30 En una realización, un sistema de enfriamiento de convertidor también se proporciona, con un refrigerante que tiene una temperatura de refrigerante. Los convertidores están dimensionados para funcionar a corriente activa nominal, es decir, corriente eléctrica correspondiente a producción de potencia activa nominal, a una temperatura de refrigerante predeterminada. Menos potencia eléctrica se convierte por el sistema convertidor en el modo de convertidor defectuoso que en el modo de convertidor completamente funcional, de manera que se produce menos calor por el sistema convertidor en el modo de convertidor defectuoso que en el modo de convertidor completamente funcional. El método según la realización del "aspecto de margen de baja temperatura" comprende:

- cambiar, en respuesta a un fallo de uno o más de los convertidores, el funcionamiento del modo de convertidor completamente funcional al modo de convertidor defectuoso,
- descender la temperatura de refrigerante, o detectar una señal que indica una temperatura de refrigerante descendida, y
- provocar que al menos otro convertidor del sistema convertidor produzca corriente activa adicional usando una habilidad de sobrecorriente debido a la temperatura de refrigerante más baja para compensar al menos parcialmente una reducción de producción de corriente activa debido al fallo de uno de los convertidores.

50 Una turbina eólica que pertenece a la realización del "aspecto de margen de baja temperatura" también se proporciona. La turbina eólica comprende un generador, un sistema convertidor eléctrico dispuesto para producir y convertir potencia eléctrica hasta una potencia activa nominal, y un sistema de enfriamiento de convertidor con un refrigerante que tiene una temperatura de refrigerante. La turbina eólica se dispone para funcionar en al menos dos modos diferentes de convertidor, el modo de convertidor completamente funcional y el modo de convertidor defectuoso. El sistema convertidor eléctrico comprende una pluralidad de convertidores paralelos. Los convertidores están dimensionados para funcionar a corriente activa nominal, es decir, corriente eléctrica correspondiente a producción de potencia activa nominal, a una temperatura de refrigerante predeterminada. La cantidad de potencia eléctrica convertible por el sistema convertidor se reduce en el modo de convertidor defectuoso, de manera que se produce menos calor por el sistema convertidor en el modo de convertidor defectuoso que en el modo de convertidor completamente funcional. El controlador se dispone, en respuesta a un fallo de uno o más de los convertidores, para cambiar el funcionamiento del modo de convertidor completamente funcional al modo de convertidor defectuoso. También se dispone para provocar que la temperatura de refrigerante descienda, o para detectar una señal que indica una temperatura de refrigerante descendida. Más aún, el controlador se dispone para provocar que al menos otro convertidor del sistema convertidor produzca corriente activa adicional usando una habilidad de sobrecorriente debido a la temperatura de refrigerante más baja para compensar al menos parcialmente una reducción de producción de corriente activa debido al fallo de uno de los convertidores.

65 Otras características son inherentes en los métodos y productos divulgados o serán evidentes para los expertos en

la técnica a partir de la descripción detallada siguiente de realizaciones y sus dibujos adjuntos.

Breve descripción de los dibujos

- 5 Se explican realizaciones de la presente invención, a modo de ejemplo, y con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:
- la figura 1 es un diagrama esquemático de un ejemplo de implementación de turbinas eólicas y un parque eólico;
- 10 la figura 2 es un diagrama de bloques de un ejemplo de implementación de un convertidor;
- la figura 3 es un diagrama de bloques similar de un ejemplo de implementación de un sistema convertidor con dos convertidores paralelos, en el que la figura 3a ilustra el funcionamiento en el modo de convertidor completamente funcional y la figura 3b ilustra el funcionamiento en el modo de convertidor defectuoso;
- 15 la figura 4 es un diagrama de estados que ilustra además los dos modos de funcionamiento;
- la figura 5 ilustra la producción de potencia activa por los convertidores del sistema convertidor de la figura 3 en los dos modos de funcionamiento;
- las figuras 6a-6c ilustran el funcionamiento usando el margen de potencia reactiva (figura 6a), margen de baja tensión (figura 6b), y margen de baja temperatura (figura 6c), al nivel de turbina eólica;
- 20 las figuras 7a-7b ilustran el funcionamiento usando el margen de potencia reactiva, al nivel del parque eólico;
- las figuras 8a-8c ilustran el funcionamiento usando el margen de baja tensión, al nivel del parque eólico.

Descripción de las realizaciones

- 25 La figura 1 es un diagrama de una realización de un parque eólico con una pluralidad de turbinas eólicas. Antes de proceder adicionalmente con la descripción detallada de la figura 1, se comentarán algunos artículos de una manera más general.

- 30 Normalmente, cuando un sistema convertidor de una turbina eólica se construye tolerante al fallo (que también se denomina a veces "redundante") al menos dos convertidores paralelos, o "trayectorias de potencia" se proporcionan. En el caso de un fallo de una de las trayectorias de potencia, La trayectoria de potencia referida puede interrumpirse, y el funcionamiento puede continuar a través de la(s) otra(s) trayectoria(s); esto se denomina "modo de convertidor defectuoso", o simplemente "funcionamiento de fallo". Convencionalmente, el funcionamiento de fallo solo puede realizarse en potencia reducida de $(n-1)/n$ de la potencia nominal (donde n es el número de trayectorias de potencia paralelas). Por ejemplo, con dos trayectorias de potencia paralelas la potencia total se reduciría convencionalmente a $1/2$ de la potencia nominal durante el funcionamiento de fallo.

- 40 El documento WO 2004/100102 A1 mencionado al principio, propone que los convertidores paralelos se sobredimensionan, por ejemplo, el 20%. Aunque sin tal sobredimensionamiento, la potencia total restante se reduciría a 0,75 de la potencia nominal ($n=4$ en el documento WO 2004/100102 A1), sobredimensionar los convertidores el 20% permite que la reducción se limite al 0,9 de la potencia nominal. Sin embargo, el sobredimensionamiento del sistema convertidor solo para proporcionar un funcionamiento de fallo mejorado es relativamente costoso.

- 45 El inventor ha reconocido que márgenes de sobrecorriente proporcionados en sistemas convertidores para otras funciones que la tolerancia al fallo puede emplearse para aumentar la potencia activa producida durante el funcionamiento de fallo deshabilitando la otra función en el caso de un fallo, es decir, deshabilitando por ejemplo el margen de potencia reactiva y/o el margen de baja tensión (estos márgenes se explicarán en detalle a continuación). Este es el concepto subyacente de los aspectos del margen de corriente reactiva y el margen de baja tensión mencionados en la sección de sumario. El inventor ha reconocido además que un margen de sobrecorriente puede crearse si la potencia activa total se reduce por debajo de la nominal en el caso de un fallo, y que esto puede emplearse para aumentar la potencia activa producida durante el funcionamiento de fallo. Este es el concepto subyacente del aspecto de margen de baja temperatura. Esencialmente, el concepto es que se consigue más potencia activa en el caso de un fallo de convertidor sin coste adicional.

- 55 Aunque una máquina eléctrica, por ejemplo, puede sobredimensionarse normalmente de manera significativa durante intervalos de tiempo cortos debido a su gran capacidad de calor e inercia térmica, conmutadores semiconductores de un sistema convertidor apenas pueden sobredimensionarse en absoluto, ni siquiera para intervalos de tiempo relativamente cortos, debido a su pequeña capacidad de calor e inercia térmica.

- 60 Al asumir que el margen de potencia reactiva es del 15% y el margen de baja tensión es del 10%, y al asumir además un sistema convertidor con dos trayectorias de potencia, un fallo de una de estas trayectorias de potencia sin el uso de ninguno de estos márgenes reducirá la potencia producida al 50% de la potencia nominal, sino que puede producirse con el uso de estos márgenes del 62.5% de la potencia nominal. Adicionalmente, con producción reducida, el enfriamiento necesario del sistema convertidor también se reduce, que significa que el refrigerante estará más frío, o, en un sistema de enfriamiento con una retroalimentación, temperatura de refrigerante controlada,

el punto establecido de la temperatura de refrigerante puede descenderse, que permite una producción aún más alta que finaliza en el 65 - 67.5% de potencia nominal. Esto es una mejora importante en producción de energía en escenarios donde el funcionamiento con tolerancia al fallo está activo. También se permite un funcionamiento más largo en condición de fallo de manera que el mantenimiento/repación es menos urgente lo cual es particularmente útil en parques eólicos en alta mar en los que la accesibilidad de turbinas eólicas a menudo está limitada.

Usando el margen de potencia reactiva y/o el margen de baja tensión durante el funcionamiento de fallo produce al menos una fracción de la potencia activa que se produciría normalmente por el convertidor defectuoso significa que estos márgenes no estarán disponibles más para la producción de potencia reactiva y/o producción de potencia activa a baja tensión de red eléctrica. Sin embargo, en algunas de las realizaciones en las que la turbina eólica con el convertidor defectuoso es parte de un parque eólico las turbinas restantes del parque eólico compensan el déficit y/o aumento de potencia reactiva la tensión "observado" por la turbina eólica con el convertidor defectuoso en el caso de a baja tensión de red eléctrica produciendo potencia reactiva. Esto funcionalmente en el nivel de parque eólico, por ejemplo, está controlado por un controlador de parque eólico. El controlador de parque eólico se informa por las turbinas eólicas del parque eólico sobre cualquier fallo que requerirá el controlador de parque eólico para dirigir las otras turbinas eólicas para compensar el déficit y/o aumento de potencia reactiva la tensión en el parque eólico.

En algunas realizaciones, la turbina eólica comprende un generador y un sistema convertidor eléctrico dispuesto para producir y convertir potencia eléctrica hasta una potencia activa nominal. En velocidades de viento relativamente bajas, en el que se denomina el modo de carga parcial, la turbina eólica de algunas realizaciones se hace funcionar a máxima eficiencia, es decir, intenta convertir tanta energía eólica en potencia eléctrica como sea posible. Cuando la velocidad del viento aumenta, como desde un valor de velocidad de viento determinado (habitualmente entre 10 y 18 m/s) el funcionamiento se cambia al que se denomina el modo de carga completa. En el modo de carga completa, la potencia eléctrica producida se limita a un valor sustancialmente constante y predeterminado, aunque el viento permitiese que se produzca más potencia. Esta limitación de potencia eléctrica producida puede, por ejemplo, en turbinas eólicas con palas inclinables, lograrse retrayendo las palas (es decir, inclinando las palas lejos del viento). La potencia eléctrica producida en el modo de carga completa es la denominada la "potencia activa nominal".

En algunas realizaciones, el sistema convertidor eléctrico comprende una pluralidad de convertidores paralelos, o trayectorias de potencia, y es tolerante al fallo o "redundante". En algunas realizaciones, los convertidores se conectan eléctricamente con sus entradas y salidas a un punto de entrada común y un punto de salida común; por tanto siendo "paralelos" en un sentido estrictos. En otras realizaciones, sin embargo, el estator del generador que se bobina está subdividido en subbobinados eléctricamente independientes, estando cada subbobinando, por ejemplo, conectado a un convertidor o grupo de convertidores. Estos convertidores (o grupos de convertidores), aunque compartiendo la corriente producida por el generador, no están eléctricamente conectados tanto en sus entradas como salidas. "Paralelo" se usa en el presente documento en un sentido más amplio de una configuración en la que los convertidores comparten la corriente producida por el generador que abarca, por ejemplo, el ejemplo de generador subdividido.

La red de electricidad a la que la potencia eléctrica se suministra por el parque eólico y a la que las turbinas eólicas del parque eólico se conectan, por ejemplo, en un punto de acoplamiento común (denominados "PCC"), normalmente tiene una tensión nominal. Desviaciones de la tensión de red eléctrica de la tensión de red eléctrica nominal están normalmente en un intervalo del $\pm 10\%$ aproximadamente de la tensión de red eléctrica nominal. Si la tensión de red eléctrica se define que sea la tensión en un punto distante en la red eléctrica (por ejemplo, en el punto donde una línea de bifurcación que conecta el parque eólico a la red eléctrica se encuentra con la red eléctrica) la tensión en el PCC no es necesariamente igual a la tensión de red eléctrica que pertenece a una caída de tensión posible o aumento de tensión a través de la bifurcación, provocado por la corriente producida por el parque eólico y que fluye a través de la impedancia de la línea de bifurcación. Sin embargo, la tensión en el PCC está vinculada a la tensión de red eléctrica en el punto distante, de modo que una tensión nominal también puede asignarse al PCC (por ejemplo, definida como la tensión en el PCC cuando la tensión de red eléctrica en el punto distante es nominal, y el parque eólico suministra potencia activa nominal pero no potencia reactiva en el PCC. La tensión real en el PCC seguirá aproximadamente las variaciones de tensión de red eléctrica del $\pm 10\%$ en el punto distante.

El término "corriente activa nominal" a través de un elemento de circuito del convertidor (tal como una trayectoria de potencia, o todas las trayectorias de potencia paralelas juntas) se refiere a la corriente activa (opuesta a la corriente reactiva) que fluye a través de este elemento en el modo de convertidor completamente funcional a tensión nominal en el PCC.

Como ya se ha mencionado anteriormente, en algunas de las realizaciones la turbina eólica se dispone para funcionar en al menos dos modos diferentes de convertidor, denominados el "modo de convertidor completamente funcional" y el "modo de convertidor defectuoso". En el modo de convertidor completamente funcional, en algunas realizaciones, todos los convertidores paralelos están operativos, al menos en potencia activa nominal (por debajo de la potencia activa nominal, sin embargo, algunos de los convertidores pueden estar inactivos, en algunas realizaciones).

En el caso de un fallo de una de las trayectorias de potencia, la trayectoria de potencia referida se interrumpe, y el funcionamiento continúa a través de la(s) otra(s) trayectoria(s) en el “modo de convertidor defectuoso”. Por tanto, en respuesta a un fallo de un convertidor, el funcionamiento se cambia del modo de convertidor completamente funcional al modo de convertidor defectuoso. Este cambio de modo, por ejemplo, se realiza por un controlador del sistema convertidor, también denominado el “controlador de convertidor”, que puede ser una parte de un controlador de turbina eólica. En algunas realizaciones el convertidor monitoriza el sistema convertidor, por ejemplo, midiendo tensiones y/o corrientes en bifurcaciones diferentes del sistema convertidor, y se de ese modo se da cuenta de que de fallos de únicos convertidores en el sistema convertidor. En otras realizaciones otra entidad, por ejemplo, una unidad de monitorización de convertidor, realiza una función de monitorización de este tipo y notifica al controlador de convertidor sobre el fallo de convertidor.

Un número de actividades se llevan a cabo, por ejemplo, por el controlador de convertidor, cuando el cambio del modo de convertidor completamente funcional al modo de convertidor defectuoso va a realizarse:

- 15 - En algunas realizaciones, las trayectorias de potencia paralelas, si no están conectadas permanentemente en sus entradas y/o salidas, pueden conectarse por líneas de conexión de bifurcación conmutables. Las trayectorias de potencia por sí mismas también pueden interrumpirse por conmutadores en las trayectorias de potencia. Con el fin de interrumpir la trayectoria de potencia defectuosa y continuar el funcionamiento a través de la(s) otra(s) trayectoria(s), los conmutadores en la trayectoria de potencia defectuosa se abren y los conmutadores en las líneas de conexión de bifurcación se cierran, por ejemplo, bajo la dirección del controlador de convertidor. En algunas realizaciones los conmutadores son interruptores, en otras realizaciones los conmutadores son dispositivos electrónicos con transición controlable entre resistencia alta y baja, tales como transistores.
- 20
- 25 En algunas realizaciones en las que las trayectorias de potencia comprenden un convertidor de lado de generador, un convertidor de lado de red eléctrica y un enlace de CC en entre, líneas de conexión de bifurcación intermedia conmutables también pueden proporcionarse entre los enlaces de CC de las bifurcaciones de potencia, y conmutadores también pueden proporcionarse en las trayectorias de potencia antes y/o después de las líneas de conexión de bifurcación de CC, por ejemplo tal como se muestra en la figura 2 del documento WO 2004/100102 A1 mencionado al principio. En estas realizaciones, en el caso de un fallo de un convertidor de lado de red eléctrica o de lado de generador la trayectoria de potencia completa referida no se interrumpe sino que solo el convertidor defectuoso de lado de red eléctrica o de lado de generador se interrumpe, y el funcionamiento continúa a través del convertidor de lado de red eléctrica aún puede hacerse funcionar o un convertidor de lado de generador de esa trayectoria de potencia. Para cambiar del modo de convertidor completamente funcional al modo de convertidor defectuoso los conmutadores para interrumpir solo el elemento defectuoso en la trayectoria de potencia se abren y los conmutadores en las líneas de conexión de bifurcación intermedias correspondientes se cierran, por ejemplo, bajo la dirección del controlador de convertidor.
- 30
- 35
- 40 - La corriente activa a través de la otra trayectoria de potencia, o trayectorias, que continúa el funcionamiento se aumenta más allá de la corriente activa nominal de modo que la corriente disminuye debido al fallo de convertidor está al menos parcialmente compensado. El aumento de corriente, por ejemplo, se provoca por el controlador de convertidor, por ejemplo, aumentando las anchuras de pulso en un convertidor de modulación de anchura de pulso (PWM).
- 45 - En realizaciones en las que la otra bifurcación de potencia, o bifurcaciones, pueden compensar solo parcialmente la potencia activa producida de manera normal por la bifurcación de potencia defectuosa, la potencia activa total producida por la turbina eólica es más baja en el modo de convertidor defectuoso que en el modo de convertidor completamente funcional. Cuando la turbina eólica estaba funcionando en el modo de carga completa antes del fallo producido (o, cuando estaba en modo de carga parcial pero cerca de la línea límite entre los dos modos, y ahora tiene que entrar en un “modo de carga completa efectivo” debido a la reducción de producción de potencia máxima) el coeficiente de conversión de la turbina ahora ha descendido para adaptar la producción de potencia a la reducción de potencia máxima provocada por el fallo de convertidor. En algunas realizaciones, el controlador de convertidor informa por tanto a un controlador de conversión de energía eólica sobre el nuevo límite de potencia reducida. En turbinas eólicas con palas inclinables, por ejemplo, el controlador de conversión de energía eólica provoca entonces que las palas que van a retraerse (es decir, inclinarse fuera del viento) en una mayor medida que antes el fallo para la conversión de potencia para cumplir con el nuevo límite de potencia. El “controlador de convertidor” y “controlador de conversión de energía eólica” deben entenderse como entidades funcionales; por ejemplo, en realizaciones en las que el controlador de convertidor y el controlador de conversión de energía eólica no son controladores independientes pero funciones de un controlador general de turbina eólica del nuevo límite de potencia determinado por la función de control de convertidor se comunica a la función de control de conversión de potencia que controla la cantidad de potencia producida, por ejemplo, por control de inclinación.
- 50
- 55
- 60
- 65 - En algunas realizaciones, una o más de las turbinas restantes eólicas del parque eólico también se ven

afectadas por la transición al modo de convertidor defectuoso ya que pueden estar implicadas en la compensación de a un déficit y/o aumento de potencia reactiva de la tensión en el parque eólico, ya que se explicará con mayor detalle a continuación. En algunas realizaciones, el controlador de parque eólico es responsable de determinar las contribuciones de la turbina eólica restante y dirigir las mismas de manera correspondiente. Por consiguiente, en algunas realizaciones el controlador de convertidor de la turbina eólica que experimenta el fallo de convertidor notifica al controlador de parque eólico sobre el fallo y sus características (por ejemplo, la capacidad restante de la turbina eólica para producir corriente reactiva y/o su habilidad para hacer frente a subtensión). En algunas realizaciones, esta notificación se realiza explícitamente cuando la transición al modo de convertidor defectuoso se produce. En otras realizaciones en las que suficiente información (por ejemplo, capacidad de producción de corriente reactiva y/o capacidad de subtensión) se proporciona periódica y frecuentemente al controlador de parque eólico no se realiza notificación explícita pero el controlador de parque eólico se da cuenta de la condición de fallo en el transcurso de su monitorización en curso usando la información proporcionada periódicamente. Más aún, la notificación del controlador de parque eólico por el controlador de convertidor no implica que la notificación sea una notificación directa; en algunas realizaciones con otro controlador (por ejemplo, un controlador de comunicaciones, u otra función de un controlador general de turbina eólica) que se ha dado cuenta de la transición al modo de convertidor defectuoso notifica al controlador de parque eólico. En las últimas realizaciones, la notificación del controlador de parque eólico es solo indirecta.

Actividades adicionales se llevan a cabo, por ejemplo, por el controlador de convertidor y/o el controlador de parque eólico, que son específicas a los márgenes de sobrecorriente diferentes que pueden usarse para aumentar la corriente activa que fluye a través de las trayectorias de potencia restantes más allá de la corriente activa nominal (margen de potencia reactiva, margen de baja tensión, y margen de baja temperatura). Estas actividades específicas de margen se describirán ahora en detalle.

Margen de potencia reactiva:

La fracción de potencia reactiva producida se expresa comúnmente por lo que se denomina "factor de potencia". El factor de potencia PF se define como la razón de potencia activa P con respecto a potencia aparente S. El cuadrado de la potencia aparente S es la suma de los cuadrados de la potencia activa P y la potencia reactiva Q, $S^2 = P^2 + Q^2$. Por tanto, el factor de potencia es el valor absoluto del coseno del ángulo de fase φ , $PF = |\cos \varphi|$. La potencia reactiva que fluye a lo largo de una línea de transmisión que tiene una impedancia provoca una caída de tensión o un aumento de tensión a través de la impedancia (dependiendo del signo de la impedancia y el signo de φ , es decir, si la potencia reactiva es inductiva o capacitiva). Como consecuencia, la producción de potencia reactiva puede usarse en el control de tensión. Produciendo una cantidad adecuada de potencia reactiva (con el signo adecuado de φ) un parque eólico puede aumentar o disminuir la tensión en el PCC o un punto más distante en la red eléctrica. Parques eólicos se requieren por tanto normalmente que puedan proporcionar potencia reactiva bajo demanda por el operario de red eléctrica, con un valor del factor de potencia y signo del ángulo de fase que puede elegirse libremente por el operario de red eléctrica dentro de determinados límites. La demanda puede representarse, por ejemplo, en términos relativos por un factor de potencia requerido o ángulo de fase, o en términos absolutos por una señal de demanda de potencia reactiva o corriente reactiva requerida. Sin ningún intento de limitar, todas estas alternativas se refieren normalmente en el presente documento como "señal de demanda de factor de potencia". En algunas realizaciones, por ejemplo, la señal de demanda de factor de potencia se proporciona por el operario de red eléctrica al controlador de parque eólico. En otras realizaciones, el controlador de parque eólico mide por sí mismo la tensión, por ejemplo, en el PCC y produce una señal de demanda de factor de potencia en sí mismo, sin ninguna prescripción por el proveedor de red eléctrica. En ambos casos el controlador de parque eólico transforma la señal de demanda relacionada con el parque eólico global en señales de demanda individual de turbina eólica para cada turbina eólica. Las señales de demanda individual de turbina eólica pueden ser la misma para todas las turbinas eólicas del parque eólico, o puede ser diferente para las turbinas eólicas individuales.

Con el fin de hacer frente a tales requisitos de potencia reactiva, en algunas realizaciones el sistema convertidor se dimensiona no solo para funcionar a corriente activa nominal, sino que se dimensiona especialmente para producir corriente reactiva que va a producirse en la parte superior de la corriente activa nominal en el modo de convertidor completamente funcional. Con este fin, un margen de sobrecorriente de potencia reactiva se proporciona (donde "sobrecorriente" se refiere a "por encima de la corriente activa nominal") para permitir que los convertidores soporten la corriente reactiva adicional. Por ejemplo, con el fin de permitir producir electricidad con cualquier factor de potencia demandada en el intervalo $0.85 \leq PF \leq 1$ (con cualquier signo de φ) el margen de sobrecorriente de potencia reactiva se dimensiona para estar alrededor de 1 menos el límite de factor de potencia inferior, es decir, sobre el 15%. El controlador de convertidor se dispone, en el modo de convertidor completamente funcional, para provocar que los convertidores dimensionados de esta manera produzcan corriente reactiva en la parte superior de la corriente activa nominal. En particular, el cambio de fase requerido φ entre corriente y tensión se obtiene cambiando los tiempos de encendido/apagado de los conmutadores semiconductores de convertidores.

Cuando el cambio de modo del modo de convertidor completamente funcional al modo de convertidor defectuoso se realiza, en algunas realizaciones el controlador provoca que el margen de sobrecorriente de potencia reactiva de lo(s) convertidor(es) restante(s) se use(n) parcial o completamente para la producción de potencia activa para

compensar parcialmente el déficit de potencia activa provocada por el fallo de convertidor. Como resultado, el margen de sobrecorriente de potencia reactiva no está disponible (o no completamente) más para la producción de corriente reactiva. Por tanto, la producción de corriente reactiva se reduce o detiene completamente por el controlador, según se requiere por la producción de potencia activa aumentada (reducir y detener la producción de corriente reactiva se denominan completamente “limitación de la producción de corriente reactiva”). En algunas realizaciones la limitación de la producción de corriente reactiva se realiza de manera autónoma por el convertidor de controlador de la turbina eólica. Es decir, en algunas realizaciones, el controlador de convertidor, cuando se usa la sobrecorriente de potencia reactiva para la producción de potencia activa adicional en el convertidor defectuoso, no cumple ninguna demanda de factor de potencia señalada por el controlador de parque eólico.

Este incumplimiento con la demanda de factor de potencia se soluciona, en algunas realizaciones, por otras turbinas del parque eólico que compensa el déficit de producción de corriente reactiva por la turbina eólica que funciona en el modo de convertidor defectuoso. Para este fin, el controlador de parque eólico, que en algunas realizaciones, está notificado sobre el funcionamiento en el modo de convertidor defectuoso de la turbina eólica, dirige una o más de las turbinas restantes eólicas del parque eólico para aumentar la producción de corriente reactiva para compensar la producción de corriente reactiva reducida por la turbina eólica que está funcionando en el modo de convertidor defectuoso. Por tanto, el funcionamiento coordinado colectivo de una pluralidad de turbinas eólicas en el parque eólico permite que la producción de potencia activa se maximice en el caso de un fallo de convertidor, siempre que las turbinas restantes eólicas ya no se requieran para producir la producción de corriente reactiva máxima antes el fallo.

Margen de baja tensión:

Tal y como se ha indicado anteriormente, la tensión en una red de servicios de electricidad no es constante pero se permite habitualmente que varíe, por ejemplo, en un intervalo del $\pm 10\%$ sobre la tensión de red eléctrica nominal. Tales variaciones, por ejemplo, se deben al hecho de que el consumo de potencia eléctrica tiene lugar de una manera que no se controla o predetermina por el operario de red eléctrica. Debido al aumento de penetración de conversión de energía eólica, y a las características bastante impredecibles del viento, el lado de producción contribuye también de manera creciente a tales variaciones de tensión. Operarios de red eléctrica a menudo intentar no agotar el intervalo de variación de tensión permitido a lo largo de periodos de tiempo más largos, es decir, devolver una tensión baja de, por ejemplo, el 90 % de la tensión nominal, a tensión nominal después de unos pocos segundos o minutos.

Además de tales variaciones de tensión en el intervalo permitido hay fallos de red eléctrica con más caídas de tensión importantes, por ejemplo, cortocircuitos que provocan que la tensión de red eléctrica bajen por ejemplo, el 15% de la tensión nominal en las proximidades de la ubicación del cortocircuito. Tales fallos se resuelven normalmente dentro de un segundo. La presente descripción trata principalmente con las variaciones de tensión en el intervalo permitido en lugar de tales fallos de red eléctrica.

Variaciones de tensión de red eléctrica también se “observan” por las turbinas eólicas de un parque eólico, por ejemplo, en el PCC de las turbinas eólicas, incluso si el parque se conecta a la red eléctrica por una línea de bifurcación a través de la que puede haber algún aumento o caída de tensión debido a la corriente que fluye del parque eólico a la red eléctrica. Por tanto, hay una tensión nominal en el PCC (por ejemplo, definida como la tensión en el PCC cuando la tensión de red eléctrica en el punto distante es nominal, y el parque eólico suministra potencia activa nominal pero no potencia reactiva en el PCC). La tensión real en el PCC seguirá aproximadamente las variaciones de tensión de red eléctrica. Por simplicidad, se asume en el presente documento que la tensión en el PCC iguala la tensión en los terminales de la turbina eólica en cuanto lo que será una buena aproximación si la distancia entre la turbina eólica y el PCC es relativamente pequeña; Sin embargo, si hay una diferencia significativa entre la tensión en el PCC y que en los terminales el último debe usarse en su lugar.

La potencia activa es el producto de tensión y corriente. Para proporcionar potencia activa nominal P_{nom} una tensión nominal V_{nom} el sistema convertidor produce una corriente nominal I_{nom} : $P_{nom} = V_{nom} \cdot I_{nom}$. Sin embargo, si la tensión disminuye por un determinado factor lv (para “baja tensión”); por ejemplo, 0,9 ms, la corriente producida por el sistema convertidor tiene que aumentarse de manera correspondiente (por el inverso del factor lv^{-1} , por ejemplo, por 1/0,9) para mantener producción de potencia nominal: $P_{nom} = lv \cdot V_{nom} \cdot lv^{-1} \cdot I_{nom}$.

Por tanto, para mantener potencia nominal en tales situaciones de subtensión, en algunas realizaciones el sistema convertidor se dimensiona no solo para funcionar a corriente activa nominal, pero se dimensiona para proporcionar un margen de sobrecorriente para permitir que se produzca potencia activa nominal en el caso de una tensión de red eléctrica más baja que la nominal en el modo de convertidor completamente funcional, es decir, para aumentar la corriente más allá de la corriente nominal para compensar la tensión reducida, por ejemplo, aumentan la corriente a $lv^{-1} \cdot I_{nom}$. Por tanto, en algunas realizaciones la anchura del margen de sobrecorriente de baja tensión es lv^{-1} . El controlador de turbina eólica se dispone, en el modo de convertidor completamente funcional, para provocar que los convertidores de la turbina eólica produzcan potencia activa nominal y de ese modo, en periodos en los que la tensión en el PCC está por debajo de la tensión nominal, para aumentar la corriente activa por encima de la corriente activa nominal en el margen de sobrecorriente de baja tensión. Este aumento puede obtenerse aumentando los

tiempos de encendido de los conmutadores semiconductores de los convertidores.

5 Cuando el cambio de modo del modo de convertidor completamente funcional al modo de convertidor defectuoso se realiza, en algunas realizaciones el margen de sobrecorriente de baja tensión se usa para compensar parcialmente el déficit de potencia activa provocada por el fallo de convertidor. El controlador provoca el margen de sobrecorriente de baja tensión de lo(s) convertidor(es) restante(s) para usarse parcial o completamente para la potencia activa aunque la tensión de red eléctrica esté en tensión de red eléctrica nominal (o por encima de la tensión nominal, que se incluye en el término “en tensión de red eléctrica nominal”). Por tanto, en el fallo modo de convertidor y en tensión de red eléctrica nominal, el controlador provoca que lo(s) convertidor(es) restante(s) produzca(n) corriente activa más allá de la nominal, tal como se permite por el margen de sobrecorriente de baja tensión. Lo(s) convertidor(es) restante(s) produce(n) de ese modo más potencia activa que su(s) potencia(s) activa(s) nominal(es).

15 Si la tensión de red eléctrica es baja, por ejemplo, en el límite inferior del intervalo de tensión permitido el convertidor restante continúa para producir corriente activa más allá de la nominal, pero ya que la tensión es baja el convertidor solo produce corriente activa nominal; es decir, el margen de sobrecorriente de baja tensión no permite compensación del déficit provocada por el fallo de convertidor si la tensión está en el límite inferior del intervalo de tensión permitido. Esto es aceptable ya que la duración de periodos con tensión baja normalmente es corto.

20 En algunas realizaciones en las que la turbina eólica es una de una pluralidad de turbinas eólicas de un parque eólico, las otras, turbinas restantes del parque eólico pueden incluso permitir que la turbina eólica esté funcionando en el modo de convertidor defectuoso para mantener su producción más allá de la potencia activa nominal en el caso de tensión baja en la red eléctrica (distante). Tal como se explicó anteriormente, la tensión en el PCC puede elevarse por la producción de corriente reactiva, ya que la corriente reactiva (con un signo adecuado de ϕ) que fluye a través de la línea de bifurcación del PCC a la red eléctrica distante provoca una tensión a través de la línea de impedancia de bifurcación. Por tanto, en algunas realizaciones el controlador de parque eólico, después de haber notificado que la turbina eólica en cuestión funciona en el modo de convertidor defectuoso, dirige, en respuesta a una tensión más baja que la nominal en el PCC, una o más de las turbinas restantes eólicas del parque eólico para producir potencia con un factor de potencia adecuado para aumentar la tensión en el PCC a la tensión nominal. A la tensión de red eléctrica en el punto distante en la red eléctrica es más baja que nominal la turbina eólica funcionamiento en el modo de convertidor defectuoso entonces “observará” la potencia nominal, y sus convertidores restantes pueden usar su margen de sobrecorriente de baja tensión para producir potencia activa más allá de su potencia activa nominal.

35 Margen de baja temperatura:

Tal y como se ha indicado anteriormente, la sensibilidad de conmutadores semiconductores habituales de un sistema convertidor se refiere parcialmente a su sensibilidad térmica, en el sentido de que ninguna sobrecorriente puede provocar que la temperatura se eleve lo que puede dañar inmediatamente o incluso destruir el conmutador de semiconductor debido a su pequeña capacidad calorífica y a su pequeña inercia térmica. Sin embargo, la cantidad de corriente que realmente dañará o destruirá un conmutador de semiconductor depende fuertemente de la temperatura de refrigerante a la que el conmutador de semiconductor se somete. Una temperatura de refrigerante más baja permite que un conmutador de semiconductor soporte corriente más alta.

45 En realizaciones con compensación basada en un uso del margen de sobrecorriente de potencia reactiva en el modo de convertidor defectuoso, la potencia activa total se reducirá, por ejemplo, en los dos convertidores de ejemplo a sobre el 62.5% de la potencia activa total en el modo completamente funcional.

50 La producción de potencia activa total reducida también significa que la pérdida de potencia (que iguala el calor producido) en el sistema convertidor se reducirá de manera aproximadamente proporcional, ya que la pérdida de potencia es aproximadamente proporcional a la corriente total conmutado por el sistema convertidor. En algunas realizaciones, un sistema de enfriamiento se proporciona para transferir el calor producido por el sistema convertidor al entorno. La potencia de enfriamiento del sistema de enfriamiento aumenta con la temperatura de refrigerante creciente. La “temperatura de refrigerante nominal” puede definirse que es la temperatura de refrigerante necesaria en el límite de diseño superior de temperatura ambiente (por ejemplo, 40° C) para permitir transferir el calor producido por el sistema de generador en producción de potencia activa nominal al entorno. A medida que la potencia de enfriamiento del sistema de enfriamiento aumenta con la temperatura de refrigerante creciente, en algunas realizaciones, la reducción de la potencia activa total producida en el modo de convertidor defectuoso permite que la temperatura de refrigerante descienda por debajo de la temperatura de refrigerante nominal.

60 Una temperatura de refrigerante más baja, a su vez, permite que la corriente conmutada por los convertidores restantes se aumente, proporcionando de ese modo un “margen de baja temperatura de sobrecorriente” adicional.

65 En algunas realizaciones, la temperatura de refrigerante se controla por retroalimentación. El descenso de la temperatura de refrigerante puede entonces lograrse descendiendo el punto establecido de temperatura para el controlador que controla la potencia de enfriamiento. En otras realizaciones en las que la temperatura de refrigerante no se controla por retroalimentación, la temperatura de refrigerante se ajusta por sí misma a un valor de temperatura

de equilibrio entre el calor que fluye al interior del sistema de enfriamiento y el calor que fluye fuera del mismo. La reducción de la potencia activa total producida desplaza este equilibrio a una temperatura más baja de modo que, en estas realizaciones, la temperatura de refrigerante cae por sí misma, provocada por la reducción de potencia.

5 Por consiguiente, en algunas realizaciones el controlador de convertidor se dispone, en respuesta a un fallo de uno o más de los convertidores, para cambiar el funcionamiento del modo de convertidor completamente funcional al modo de convertidor defectuoso. El mismo se dispone además, en realizaciones con temperatura de refrigerante controlada por retroalimentación para provocar que la temperatura de refrigerante descienda tras el cambio de modo, por ejemplo, teniendo un cambio de refrigerante controlador del punto establecido de temperatura. En algunas
10 realizaciones (con o sin control por retroalimentación de la temperatura de refrigerante) el controlador de convertidor se dispone para detectar una señal indicativa de la temperatura de refrigerante más baja. El controlador de convertidor también se dispone, una vez que ha detectado que la temperatura de refrigerante es más baja, para provocar que una o más de los convertidores restantes produzcan corriente activa adicional usando el margen de baja temperatura de sobrecorriente.

15 Combinaciones de márgenes:

Algunas de las realizaciones solo usan el margen de corriente reactiva, para aumentar la potencia producida durante el funcionamiento de fallo. Otras realizaciones usan dos o tres márgenes para aumentar la potencia producida
20 durante el funcionamiento de fallo. Estas pueden ser, por ejemplo el margen de corriente reactiva y el margen de baja tensión; el margen de corriente reactiva y el margen de baja temperatura; o el margen de corriente reactiva, el margen de baja tensión, y el margen de baja temperatura. En algunas realizaciones un margen adicional se proporciona para hacer frente a desequilibrios de compartir cargas entre las trayectorias de potencia paralelas. Durante el funcionamiento de fallo, sin embargo, el número de trayectorias de potencia paralelas se reduce, o es
25 incluso cero (lo que significa que solo se deja la trayectoria de potencia, sin trayectoria de potencia paralela a la misma). Esto permite que el margen de compartir carga se use completa o parcialmente para aumentar la potencia producida durante el funcionamiento de fallo. Más aún, sobredimensionar como en el documento WO 2004/100102 A1 puede usarse en la parte superior de esto.

30 Se observa que los márgenes diferentes no tienen individualidad. En un sistema convertidor dimensionado para proporcionar una pluralidad de márgenes de sobrecorriente (por ejemplo, un margen de potencia reactiva y un margen de baja tensión), si la corriente activa se eleva por encima de la corriente activa nominal en el caso de un fallo, no puede asignarse directamente el margen usado entonces específicamente a un margen de sobrecorriente particular (por ejemplo, específicamente al margen de potencia reactiva, o el margen de baja tensión). Sin embargo,
35 si en el mismo momento, la producción de potencia reactiva (parcial o completamente) se deshabilita para hacer que el margen diseñado en para la producción de potencia reactiva disponible para sobrecorriente activa se justifica para decir que la corriente activa se aumenta "en el margen de potencia reactiva". Asimismo, si en el mismo momento, la habilidad para aumentar la corriente activa inversamente con respecto a la tensión en los terminales de la turbina eólica se deshabilita y, opcionalmente, otras turbinas eólicas del parque eólico evitan que se produzca subtensión,
40 para realizar el margen diseñado para la producción de tensión baja disponible para la sobrecorriente activa para compensar la reducción de potencia activa con respecto a un fallo de convertidor, se justifica para decir que la corriente activa se aumenta "en el margen de baja tensión".

45 Controladores:

En algunas realizaciones, los controladores (el controlador de convertidor, un controlador de enfriamiento, un controlador de conversión de energía eólica, el controlador de turbina eólica, y/o el controlador de parque eólico) comprenden microprocesadores digitales. En estas realizaciones, por ejemplo, la definición de que un controlador
50 "se dispone" para realizar una determinada actividad puede significar que el controlador está programado de manera que cuando el programa se ejecuta en el microprocesador del controlador, se lleva a cabo la actividad.

La mención de controladores diferentes no implica que se basen en hardware o software independientes. Por ejemplo, el convertidor, enfriamiento, y controladores de conversión de energía eólica pueden ser partes funcionales del hardware y software de controlador de turbina eólica, sin ninguna separación estructural.

55 Figura 1: Turbinas eólicas y parque eólico

Volviendo ahora a la figura 1, se muestra un ejemplo de implementación de un parque eólico 1 con una pluralidad de turbinas eólicas. Una de las turbinas eólicas que desempeña un papel particular en la siguiente descripción que
60 sufrirá un fallo de convertidor se indica por "2". Las turbinas restantes eólicas se indica colectivamente por "3".

Cada turbina eólica 2, 3 tiene un rotor 4 con palas 5 de rotor inclinables. El rotor 4 acciona un generador 6. Con el fin de permitir una velocidad de rotor variable, la corriente eléctrica producida por el generador 6 se convierte por un sistema convertidor 7 a corriente adaptada a una frecuencia de red eléctrica sustancialmente fija (por ejemplo, 50 Hz o 60 Hz; una tolerancia típica de la frecuencia de red eléctrica es $\pm 1\%$). El sistema convertidor 7 permite que se produzca corriente con una fase arbitraria, como se desee, relativa a la tensión de red eléctrica, permitiendo de ese

modo que potencia reactiva variable se produzca. Cada turbina eólica 2, 3 tiene un controlador 8 de turbina eólica. Una de sus tareas es controlar el sistema convertidor 7 y para ordenarle producir electricidad con una determinada frecuencia, fase y amplitud. Estas funciones del controlador 8 de turbina eólica que se refieren al control del sistema convertidor 7 también se denominan "controlador de convertidor".

5 Cada turbina eólica 2, 3 se conecta con sus terminales a una red 9 eléctrica interna de parque eólico que conduce a un punto 10 de acoplamiento común (PCC). En el PCC 10 la electricidad producida por el parque eólico 1 se alimenta en una línea de bifurcación 11 que conecta el parque eólico 1 en un punto 11 de conexión distante a una red 13 de servicios eléctrica. La impedancia de la línea de bifurcación 11 se ilustra por un símbolo de impedancia en 10 11a. La tensión en los terminales de las turbinas eólicas 2, 3 se asume en el presente documento que es aproximadamente igual a la tensión en el PCC 10, es decir, una aproximación se realiza en la que la impedancia de las líneas de red eléctrica interna se descuida.

15 Un controlador 14 de parque eólico se dispone para comunicar bidireccionalmente con el controladores 8 de turbina eólica por medio de una red de comunicación 15. El controlador 14 de parque eólico también se dispone para medir las tensiones en el PCC 10 y el punto 12 de conexión distante y la electricidad producida (por ejemplo, corriente y ángulo de fase) en el PCC 10 por sensores 16a, b. El controlador de parque eólico también está disponible para recibir señales que representa requisitos por el operario de red eléctrica en la línea de entrada 17, tal demanda que indica un valor de factor de potencia que va a producirse por el parque eólico 1.

20 Figura 2: Convertidor

El sistema convertidor 7 incluye una pluralidad de convertidores paralelos 18, también denominadas "trayectorias de potencia". en el ejemplo de implementación mostrado, cada convertidor 18 incluye un subconvertidor 18' de lado de generador y un subconvertidor 18" de lado de red eléctrica que se disponen "consecutivamente" por un enlace 19 de CC intermedio. El enlace 19 de CC está equipado con un elemento 20 de almacenamiento de energía, por ejemplo, un condensador. La entrada de lado de generador al convertidor 18 se indica por "21", y su salida de lado de generador se indica por "22".

30 En los ejemplos de implementación descritos a continuación el elemento más pequeño del sistema convertidor es el convertidor 18. Por tanto, un fallo de uno de los subconvertidores 18', 18" se trata como un fallo del convertidor completo 18. En otros ejemplos de implementación, sin embargo, los subconvertidores 18', 18" son las unidades más pequeñas, y si un subconvertidor 18', 18" falla, solo el subconvertidor fallido se detiene mientras el otro subconvertidor permanece operativo. Tal implementación puede tener conexiones conmutables entre los enlaces de CC de los convertidores paralelos 18, similares a la figura 2 del documento WO 2004/100102 A1 mencionado al principio.

35 Figura 3: Sistema convertidor que funciona en diferentes modos

40 En un ejemplo de implementación ilustrada en las figuras 3a y 3b, el sistema convertidor 23 incluye dos convertidores paralelos 18, indicados por "18A" y "18B". Las entradas 21 de los convertidores 18A, 18B se conectan a una entrada común 25 del sistema convertidor. Asimismo, las salidas 22 de los convertidores 18A, 18B se conectan a una salida común 27 del sistema convertidor 23. Opcionalmente, conmutadores de entrada 24a, 24b y/o conmutadores de salida 26a, 26b se proporcionan en la conexión de los convertidores individuales 18A, 18B a la 45 entrada 25 y salida 27 común. La función de estos conmutadores 24a, 24b, 26a, 26b pueden tomarse también por conmutadores semiconductores de la etapa de inversor de convertidor. Sin embargo, se garantiza la funcionalidad de separar un convertidor defectuoso cuando los conmutadores semiconductores en la etapa de inversor de convertidor son inoperativos. Un generador 28 suministra electricidad de frecuencia variable a la entrada 25. Un transformador 29 eleva la tensión de la electricidad suministrada por el sistema convertidor 23 en su salida 27 a un nivel de tensión más alto adaptado al nivel de tensión en los terminales de las turbinas eólicas 2, 3. En el ejemplo de 50 implementación mostrada, el sistema convertidor 23 está por tanto un convertidor a "escala completa" a través del que se pasa toda la electricidad producida. En otros ejemplos de implementación, el sistema convertidor 23 es el convertidor de un generador de inducción doblemente alimentado (DFIG).

55 Un sistema 30 de enfriamiento se proporciona para disipar el calor producido por los convertidores 18A, 18B del sistema convertidor 23. Este incluye, en un ejemplo de implementación, un refrigerante líquido que circula en un circuito 31 de enfriamiento cerrado que incluye un intercambiador de calor 32. El intercambiador de calor 32 permite que se transfiera calor del refrigerante al entorno, por ejemplo, a la atmósfera o al agua de mar. La potencia de enfriamiento puede regularse, por ejemplo, controlando el flujo de aire, o de agua (marina), a través del 60 intercambiador de calor 32.

El controlador 8 de turbina eólica monitoriza el funcionamiento de los convertidores 18A, 18B, provoca cambios de modo del modo de convertidor completamente funcional al modo de convertidor defectuoso y viceversa, y acciona conmutadores semiconductores de los convertidores 18A, 18B, y se acciona de ese modo como un controlador de 65 convertidor. En este ejemplo de implementación, también es responsable de controlar la temperatura del refrigerante en el sistema 30 de enfriamiento.

La figura 3a ilustra el funcionamiento en el modo de convertidor completamente funcional. Todos los conmutadores 24a, 24b, 26a, 26b (si está presente) se cierran. La corriente se comparte de igual manera entre los controladores 18. Cada convertidor 18 funciona con corriente activa nominal. En el ejemplo de implementación mostrado con dos convertidores paralelos 18, Cada uno de los convertidores 18A, 18B porta el 50% de la potencia activa total producida, que es la potencia activa nominal de la turbina eólica 2.

Por otro lado, la figura 3b ilustra el funcionamiento en el modo de convertidor defectuoso. En el ejemplo mostrado, el convertidor 18A es defectuoso y por tanto, se ha parado. Sus conmutadores 24a, 26a entrada y salida se han abierto por el controlador 8, mientras que los conmutadores 24b, 26b entrada y salida se mantienen cerrados por el controlador 8. La producción de corriente activa por el convertidor restante 18B se ha aumentado de la corriente activa nominal a una corriente activa más alta que la nominal, usando el margen de corriente reactiva y opcionalmente el margen de baja tensión y el margen de baja temperatura, bajo la dirección del controlador 8. En el ejemplo mostrado, mientras que la potencia activa nominal producida por el convertidor 18B corresponde al 50% de la potencia total nominal en el modo de convertidor completamente funcional (figura 3a), el convertidor restante 18B produce ahora, por ejemplo, sobre el 67.5% de la potencia nominal total. Por tanto, compensa sobre 1/3 del déficit provocado por el fallo del convertidor 18A.

Para que el margen de baja temperatura pase a estar disponible, en algunos ejemplos de implementación cuando el cambio del modo de convertidor completamente funcional al modo de convertidor defectuoso se realiza, el controlador 8 desciende el punto establecido de temperatura de refrigerante y, opcionalmente, verifica que la temperatura de refrigerante más baja requerida se alcanza antes de provocar que la corriente a través del convertidor 18B aumente al margen de baja temperatura controlada por punto establecido, el controlador 8 solo verifica que la temperatura de refrigerante más baja requerida se alcanza antes de provocar que la corriente a través del convertidor 18B aumente al margen de baja temperatura.

Figura 4: Diagrama de estados

La figura 4 ilustra los dos estados, "modo de convertidor completamente funcional" y "modo de convertidor defectuoso", y las transiciones entre los mismos. En el modo de convertidor completamente funcional la turbina eólica 2 se hace funcionar con un factor de potencia PF que puede ser más pequeño que 1, si se solicita por el controlador 14 de parque eólico. Más aún, el sistema convertidor 23 es capaz de continuar para producir potencia activa nominal aunque la tensión en el PCC 10 sea baja, pero aún está dentro del intervalo de tensión permitido; esto se simboliza por "lv" (para "tensión baja"). La temperatura de refrigerante está en su valor nominal, simbolizado por "nT" (para "temperatura nominal"). Cada uno de los convertidores 18A, 18B produce corriente activa nominal I_{act} (asumiendo que la velocidad del viento es suficiente para producir potencia activa nominal).

En el modo de convertidor defectuoso, sin embargo, el convertidor defectuoso (18A en la figura 3b) ya no funciona más. El convertidor restante (18B en la figura 3b) ahora se ordena que funcione con $PF=1$, y sin una habilidad para aumentar la corriente en respuesta a una baja tensión en los terminales de la turbina eólica. La temperatura de refrigerante se reduce. La corriente activa I_{act} del convertidor restante está ahora por encima de la nominal, usando el margen de potencia reactiva, el margen de baja tensión y/o el margen de baja temperatura.

Un cambio de modo del modo de convertidor completamente funcional al modo de convertidor defectuoso se realiza cuando el controlador 8 observa un fallo de convertidor y viceversa cuando se resuelve el fallo de convertidor. Durante el cambio de modo los conmutadores 24a, 26a se abren, la temperatura de refrigerante se desciende, la producción de corriente se aumenta en los márgenes y el paso de pala está adaptado a la producción de potencia reducida, y viceversa, bajo la dirección del controlador 8.

Figuras 5 y 6: Diagramas de funcionamiento al nivel de turbina eólica

Las figuras 5 y 6 permiten que se realicen comparaciones entre parámetros de funcionamiento diferentes entre el modo de convertidor completamente funcional y el modo de convertidor defectuoso en el nivel de turbina eólica.

En todas de las figuras 5 y 6, el lado izquierdo ilustra un intervalo de primer tiempo con funcionamiento en el modo de convertidor completamente funcional mientras que el lado derecho ilustra el funcionamiento en el modo de convertidor defectuoso, con un cambio de modo entre los mismos. "Antes del cambio de modo" se refiere al modo de convertidor completamente funcional, mientras que "después del cambio de modo" se refiere al modo de convertidor defectuoso (lo mismo se aplica a las figuras 7 y 8).

La figura 5 muestra la potencia activa total producida por la turbina eólica 2, en el que las contribuciones de los diferentes convertidores 18A, 18B también se indican. La potencia activa total producida se escala en unidades de "pu" (= por unidad) que se refiere generalmente a un valor nominal (en este caso "1 pu" indica potencia nominal).

Antes del cambio de modo ambos convertidores de potencia 18A, 18B están operativos. La potencia activa total producida por la turbina eólica 2 es 1 pu. Cada convertidor 18A, 18B porta el 50% de la potencia activa total (en el

ejemplo de implementación con dos convertidores paralelos). Después del cambio de modo el convertidor defectuoso 18A se detiene, y toda la potencia producida ahora solo viene del convertidor restante 18B (en el ejemplo de implementación con solo dos convertidores paralelos mostrados). Sin embargo, la potencia activa producida por el convertidor restante 18B ahora se aumenta más de 1/3, por ejemplo, desde 0,5 pu hasta aproximadamente 0,675 pu, usando el margen de factor de potencia(PF), el margen de baja tensión (lv), y el margen de baja temperatura (1T). Por ejemplo, las anchuras del margen PF, el margen lv, el margen 1T pueden ser de alrededor del 15%, 10%, 10%, respectivamente, de la potencia activa nominal del único convertidor 18B. Para expresar estos porcentajes como unidades de potencia de la potencia activa total de la turbina eólica 2, el margen PF es de la cantidad de alrededor de 0,075 pu, el margen lv margen a alrededor de 0,05 pu y el margen 1T a alrededor de 0,05 pu, en este ejemplo de implementación.

La figura 6a ilustra el uso del margen de factor de potencia. Se muestran tres parámetros para ambos modos de funcionamiento, en una manera de ejemplo: el factor de potencia demandada por el controlador 14 de parque eólico (línea discontinua), el factor de potencia producida realmente por el convertidor 18B (línea continua), y la corriente activa producida por el convertidor 18B (línea continua, en unidades pu correspondiente a un potencia nominal para este convertidor), antes y después del cambio de modo.

En el ejemplo mostrado, el factor de potencia demandada por el controlador 14 de parque eólico, por ejemplo, basado en una demanda correspondiente del operario de red eléctrica es constante; es decir, no está afectada por el fallo de convertidor. La demanda es en este caso, a modo de ejemplo, en alrededor de $PF = 0,925$. La corriente activa producida por el convertidor 18B es nominal (1 pu) antes del cambio de modo, porque se asume en este ejemplo, que todos los convertidores de potencia 18 (incluyendo el 18B) funcionan en su corriente nominal antes del cambio de modo. El factor de potencia producida realmente antes del cambio de modo cumple con la demanda, es decir, está alrededor de 0,925. El componente de corriente reactiva correspondiente a este factor de potencia se produce usando el margen de potencia reactiva que permite que se produzca corriente reactiva en la parte superior de la corriente activa nominal. Esto es realmente el uso normal pretendido del margen de potencia reactiva.

Después del cambio de modo, el margen de potencia reactiva se usa para aumentar la producción de corriente activa por el convertidor 18B más allá de su corriente activa nominal en lugar de producir corriente reactiva. Con este fin, el controlador 8 no cumple más la demanda de factor de potencia del controlador 14 de parque eólico y de manera correspondiente provoca que el factor de potencia de la corriente se produce que sea 1. Esto puede lograrse, por ejemplo, inhibiendo la señal demandada al controlador 8. El margen de potencia reactiva es ahora completa, o al menos parcialmente, usado para la producción de corriente activa más allá de la nominal. Por ejemplo, como se muestra en la figura 6a, la corriente activa se aumentan al 115% de corriente nominal, es decir, a 1,15 pu.

La figura 6b ilustra el uso del margen de baja tensión. Dos parámetros se muestran para ambos modos de funcionamiento, en una manera de ejemplo: la tensión en los terminales de la turbina eólica 2, y la corriente activa producida por la turbina eólica 2.

En el ejemplo mostrado, la tensión en los terminales de la turbina eólica es normalmente una tensión nominal (=1pu), pero hay dos caídas de tensión, una antes y otra después del cambio de modo, durante las que la tensión se desciende al 90% de la tensión nominal (= 0,9 pu).

Antes del cambio de modo la corriente activa producida por el convertidor 18B es normalmente nominal (=1pu). Sin embargo, durante el intervalo de baja tensión, se aumenta en el margen de baja tensión de modo que la caída de tensión se compensa y la potencia activa producida (= el producto de tensión y corriente) es la potencia activa nominal. En el ejemplo mostrado, la corriente activa producida por la potencia convertidor 18B está alrededor de 1,1 pu. Esto es el uso normal pretendido del margen de baja tensión.

Después del cambio de modo la corriente activa producida por el convertidor 18B se mantiene constantemente en un valor aumentado usando el margen de baja tensión (por ejemplo, en 1,1 pu en la figura 6b) independientemente de si la tensión en los terminales de la turbina eólica está en, por debajo de o por encima de la tensión nominal. Por tanto, la segunda caída de tensión en la figura 6b (después del cambio de modo) no tiene efecto sobre la producción de corriente activa. Sin embargo, aunque la producción de corriente activa se mantiene constante durante la segunda caída de tensión, la producción de potencia activa cae en proporción con respecto a la caída de tensión, ya que $P = I \cdot V$.

La figura 6c ilustra el uso del margen de baja temperatura. Dos parámetros se muestran para ambos modos de funcionamiento, en una manera de ejemplo: la temperatura del refrigerante, y la corriente activa producida por el convertidor 18B.

Antes del cambio de modo la temperatura del refrigerante está en la temperatura nominal T_{nom} . Por tanto, el margen de baja temperatura no está disponible en esta etapa. En consecuencia, la corriente activa producida por el convertidor 18B es nominal (= 1 pu).

Después del cambio de modo, se reduce la temperatura del refrigerante, que es posible debido a la reducción de la corriente total conmutada por el sistema convertidor 23 en el modo de convertidor defectuoso. La temperatura de refrigerante más baja establece el margen de baja temperatura que se usa entonces para aumentar la producción de potencia activa por el convertidor 18B más allá de la nominal. Por ejemplo, esto es para aumentar el 10% de la corriente activa nominal, es decir, un 1,1 pu.

Figuras 7 y 8: Diagramas de funcionamiento en el nivel de parque eólico

Las figuras 7 y 8 permiten que se realicen comparaciones entre parámetros de funcionamiento diferentes entre el modo de convertidor completamente funcional y el modo de convertidor defectuoso en el nivel de parque eólico. Como en las figuras 5 y 6, el lado izquierdo ilustra un intervalo de primer tiempo con funcionamiento en el modo de convertidor completamente funcional mientras que el lado derecho ilustra el funcionamiento en el modo de convertidor defectuoso, con un cambio de modo entre los mismos.

Las figuras 7a y 7b se refieren al funcionamiento con uso del margen de potencia reactiva en el nivel de parque eólico. La figura 7a ilustra el factor de potencia producida por la turbina eólica defectuosa 2 antes y después del fallo. Esta corresponde al diagrama que representa el "factor de potencia producida" en la figura 6a. Como en la figura 6a, el factor de potencia producida por la turbina eólica defectuosa 2 se muestra para esta en alrededor del 0,925 antes del cambio de modo, de acuerdo con una señal de demanda de factor de potencia correspondiente por el controlador 14 de parque eólico. Sin embargo, después del cambio de modo el factor de potencia de la turbina eólica defectuosa 2 se aumenta a 1 por el controlador 8, independientemente de la demanda de factor de potencia por el controlador 14 de parque eólico, como en la figura 6a.

Por otro lado, la figura 7b ilustra el factor de potencia producida por cualquier otra turbina eólica restante 3 que no experimenta un fallo de convertidor. El factor de potencia producida (línea continua) coincide con el factor de potencia demandada por el controlador 14 de parque eólico (línea discontinua) ya que el margen de potencia reactiva de la turbina restante 3 se usa solo para su propósito pretendido normal, que es la producción de corriente reactiva en la parte superior de nominal producción de corriente activa. Antes del cambio de modo, la turbina eólica restante 3 también se demanda para producir un factor de potencia de, por ejemplo, 0,925, como la turbina eólica 2. Sin embargo, después del cambio de modo, el controlador de parque eólico intenta tener el déficit de corriente reactiva provocada por el fallo de convertidor de la turbina eólica 2 compensado por la producción de corriente reactiva aumentada por una o más de las turbinas eólicas restantes 3. Por ejemplo, en y después del cambio de modo, el controlador de parque eólico reduce el factor de potencia demandado a la turbina eólica restante 3 de 0,925 a 0,85, es decir, el requisito de que corriente reactiva se produzca por la turbina eólica restante 3 se aumenta de manera significativa. El factor de potencia producida real por la turbina eólica restante 3 cumple con esta demanda, tal como se muestra en la figura 7b. Como un resultado de esta compensación, la corriente reactiva total inyectada colectivamente por el parque eólico 1 en el PCC 10 corresponde a la señal demanda de corriente reactiva por el operario de red eléctrica en la entrada 17 del controlador de parque eólico aunque una de las turbinas eólicas 2, 3 tiene un fallo de convertidor y no produce ninguna potencia reactiva, o solo una cantidad reducida de potencia reactiva.

La figura 8 ilustra una funcionalidad opcional en el nivel del parque eólico para soportar el funcionamiento de margen de baja tensión mostrada en la figura 6b.

La figura 8a corresponde al diagrama de tensión de la figura 6b con dos caídas de tensión, una antes y otra después del cambio de modo. Sin embargo, mientras que la tensión en la figura 6b referida a la tensión en los terminales de la turbina eólica, la tensión indicada en la figura 8a se refiere a la tensión en el punto 12 de conexión distante.

La figura 8b ilustra el factor de potencia producida por otra turbina eólica 3 del parque eólico 1 (línea continua) y el factor de potencia demandada del mismo por el controlador 14 de parque eólico (línea discontinua). Como en la figura 7b, la producción real y la demandada coincide ya que la turbina eólica 3 no sufre un fallo de convertidor y no usa por tanto su margen de potencia reactiva para la producción de corriente activa más allá de la nominal. Antes del cambio de modo, no se necesita producción de potencia reactiva en el presente contexto de soporte de baja tensión. Por tanto, el factor de potencia demandada por el controlador 14 de parque eólico es 1 antes del cambio de modo.

La figura 8c ilustra la tensión en los terminales de la turbina eólica defectuosa 2 y la corriente activa producida por la misma, antes y después del cambio de modo. El comportamiento de la turbina eólica defectuosa corresponde al que se muestra en la figura 6b antes del cambio de modo. Es decir, antes del cambio de modo, el controlador 8 aumenta la corriente activa producida por la turbina eólica 2 en el margen de baja tensión para mantener la producción de potencia activa en el valor nominal, mientras que después del cambio de modo el margen de baja tensión se usa independientemente de la tensión en los terminales de la turbina eólica 2, como en la figura 6b.

Sin embargo, después del cambio de modo el controlador de turbina eólica 14 ordena a la(s) turbina(s) eólica(s) restante(s) 3 para contrarrestar la caída de tensión en el punto 12 de conexión distante produciendo potencia reactiva. Esto se representa por la señal de demanda de factor de potencia de la figura 8b que se reduce, por ejemplo, a 0,85 durante la caída de tensión después del cambio de modo; es decir, la segunda caída de tensión.

5 La potencia reactiva inyectada por la(s) turbina(s) durante la segunda caída de tensión en la línea de bifurcación 11 provoca el aumento de la tensión a través de la línea de bifurcación 11 en el punto 12 de conexión distante. De ese modo, la tensión en la red 9 eléctrica interna de parque eólico se mantiene aproximadamente constante. Como un resultado de esta intervención del controlador 14 de parque eólico y la(s) turbina(s) eólica(s) restante(s) 3 para soportar la tensión, la turbina eólica defectuosa 2 no "observa" la segunda caída de tensión en el punto 12 de conexión distante, y por tanto se puede mantener la producción de potencia activa nominal durante la caída de tensión después del cambio, en contraste con la situación ilustrada en la figura 6b.

10 Aunque se han descrito en el presente documento determinados métodos y productos construidos según las enseñanzas de la invención, el ámbito de aplicación de esta patente se limita a los mismos. Por el contrario, esta patente cubre todas las realizaciones de las enseñanzas de la invención que caen justo dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas o bien literalmente o bien bajo la doctrina de equivalentes.

REIVINDICACIONES

1. Método de funcionamiento de una turbina eólica (2) que comprende un generador (6, 28) y un sistema (7, 23) convertidor eléctrico dispuesto para producir y convertir potencia eléctrica hasta una potencia activa nominal y controlado por un controlador de convertidor, en el que la turbina eólica (2) se dispone para funcionar en al menos dos modos diferentes de convertidor, que es un modo de convertidor completamente funcional y un modo de convertidor defectuoso, comprendiendo el sistema (7, 23) convertidor eléctrico una pluralidad de convertidores paralelos (18, 18A, 18B), comprendiendo el método cambiar, en respuesta a un fallo de uno o más de los convertidores (18, 18A, 18B), el funcionamiento del modo de convertidor completamente funcional al modo de convertidor defectuoso, en el que el sistema (7, 23) convertidor electrónico es un convertidor de escala completa a través del que se pasa toda la electricidad producida, y los convertidores (18, 18A, 18B) están dimensionados no solo para funcionar a corriente activa nominal, que es corriente eléctrica correspondiente a producción de potencia activa nominal, sino que están dimensionados para proporcionar un margen de sobrecorriente de potencia reactiva para permitir que corriente reactiva se produzca en la parte superior de la corriente activa nominal en el modo de convertidor completamente funcional, comprendiendo además el método provocar, en el modo de convertidor completamente funcional, que los convertidores produzcan corriente reactiva en la parte superior de la corriente activa nominal usando el margen de sobrecorriente de potencia reactiva que permite que los convertidores (18, 18A, 18B) soporten la corriente reactiva adicional, provocar, en el modo de convertidor defectuoso, que al menos otro convertidor (18, 18B) del sistema (7, 23) convertidor eléctrico produzca corriente activa adicional, caracterizado por que cuando se realiza el cambio de modo del modo de convertidor completamente funcional al modo de convertidor defectuoso, el controlador de convertidor provoca que el al menos otro convertidor (18, 18B) produzca la corriente activa adicional usando su margen de sobrecorriente de potencia reactiva para compensar al menos parcialmente una reducción de producción de corriente activa que resulta del fallo de uno de los convertidores (18, 18A), y reduzca la producción de corriente reactiva por el al menos otro convertidor (18, 18B) de manera correspondiente, en el que el margen de sobrecorriente de potencia reactiva ya no está disponible para la producción de corriente reactiva, y por tanto la producción de corriente reactiva se detiene por el controlador de convertidor, según se requiere por la producción de potencia activa aumentada.
2. Método según la reivindicación 1, en el que la turbina eólica (2) es una de una pluralidad de turbinas eólicas (2, 3) de un parque eólico (1), comprendiendo además el método: dirigir al menos una de las otras turbinas eólicas (3) del parque eólico (1) para aumentar la producción de corriente reactiva para compensar la producción de corriente reactiva reducida por la turbina eólica (2) que está funcionando en el modo de convertidor defectuoso.
3. Método según la reivindicación 1 o 2, en el que los convertidores (18, 18A, 18B) de la turbina eólica (2) están también dimensionados para proporcionar un margen de sobrecorriente de baja tensión para permitir que se produzca potencia activa nominal en el caso de una tensión de red eléctrica más baja que la nominal en el modo de convertidor completamente funcional, comprendiendo además el método: provocar, en el modo de convertidor completamente funcional, que los convertidores (18, 18A, 18B) de la turbina eólica (2) produzca potencia activa nominal y aumente de ese modo la corriente activa por encima de la corriente activa nominal en el margen de sobrecorriente de baja tensión en respuesta a una tensión de red eléctrica más baja que la nominal, provocar, en el modo de convertidor defectuoso y a tensión nominal, que al menos otro convertidor (18, 18B) del sistema (7, 23) convertidor eléctrico distinto del convertidor defectuoso (18A) de la turbina eólica (2) que funciona en el modo de convertidor defectuoso produzca corriente activa adicional usando su margen de sobrecorriente de baja tensión, para compensar al menos parcialmente una reducción de producción de corriente activa debido al fallo de uno de los convertidores (18, 18A, 18B).
4. Método según la reivindicación 3, en el que la turbina eólica (2) es una de una pluralidad de turbinas eólicas (2, 3) de un parque eólico (1), comprendiendo además el método: dirigir, en el modo de convertidor defectuoso y en respuesta a una tensión de red eléctrica más baja que la nominal, la al menos una de las otras turbinas eólicas (3) del parque eólico (1) para producir potencia reactiva, o para cambiar una cantidad de potencia reactiva producida, para aumentar la tensión más baja que la nominal en el parque eólico (1).
5. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la turbina eólica (2) comprende además un sistema (30) de enfriamiento de convertidor con un refrigerante que tiene una temperatura de refrigerante, los convertidores (18, 18A, 18B) están dimensionados para funcionar a corriente activa nominal a una temperatura de refrigerante predeterminada, en el que menos potencia eléctrica se convierte por el sistema (7, 23) convertidor eléctrico en el modo de convertidor defectuoso que en el modo de convertidor completamente funcional, de manera que se produce menos calor por el

sistema (7, 23) convertidor eléctrico en el modo de convertidor defectuoso que en el modo de convertidor completamente funcional, comprendiendo además el método:

descender la temperatura de refrigerante, o detectar una señal que indica una temperatura de refrigerante descendida,

provocar al menos otro convertidor (18, 18B) del sistema (7, 23) convertidor eléctrico distinto del convertidor defectuoso (18A) para producir corriente activa adicional usando una habilidad de sobrecorriente debido a la temperatura de refrigerante más baja, para compensar al menos parcialmente una reducción de producción de corriente activa debido al fallo de uno de los convertidores (18, 18A, 18B).

6. Turbina eólica (2) que comprende un generador (6, 28) y un sistema (7, 23) convertidor eléctrico dispuesto para producir y convertir potencia eléctrica hasta una potencia activa nominal, y un controlador (8) dispuesto para controlar el sistema (7, 23) convertidor eléctrico,

en el que la turbina eólica (2) se dispone para funcionar en al menos dos modos diferentes de convertidor, que es un modo de convertidor completamente funcional y un modo de convertidor defectuoso, en la que el controlador (8) se dispone, en respuesta a un fallo de uno o más de los convertidores (18, 18A, 18B), para cambiar el funcionamiento del modo de convertidor completamente funcional al modo de convertidor defectuoso,

comprendiendo el sistema (7, 23) convertidor eléctrico una pluralidad de convertidores paralelos (18, 18A, 18B), el sistema (7, 23) convertidor electrónico es un convertidor de escala completa a través del que se pasa toda la electricidad producida,

los convertidores (18, 18A, 18B) estando dimensionados no solo para funcionar a corriente activa nominal, que es corriente eléctrica correspondiente a producción de potencia activa nominal, sino que están dimensionados para proporcionar un margen de sobrecorriente de potencia reactiva para permitir que la corriente reactiva se produzca en la parte superior de la corriente activa nominal en el modo de convertidor completamente funcional,

en la que el controlador (8) se dispone, en el modo de convertidor completamente funcional, para provocar que los convertidores (18, 18A, 18B) produzcan corriente reactiva en la parte superior de la corriente activa nominal usando el margen de sobrecorriente de potencia reactiva que permite que los convertidores (18, 18A, 18B) soporten la corriente reactiva adicional,

en la que el controlador (8) se dispone, en el modo de convertidor defectuoso, para provocar que al menos otro convertidor (18, 18B) del sistema (7, 23) convertidor eléctrico produzca corriente activa adicional, caracterizado por que

cuando se realiza el cambio de modo del modo de convertidor completamente funcional al modo de convertidor defectuoso, el controlador (8) provoca que el al menos otro convertidor (18, 18B) produzca la corriente activa adicional usando su margen de sobrecorriente de potencia reactiva para compensar al menos parcialmente una reducción de producción de corriente activa debido al fallo de uno de los convertidores (18, 18A), y para provocar que la producción de corriente reactiva por el al menos otro convertidor (18, 18B) se limite de manera correspondiente, en el que el margen de sobrecorriente de potencia reactiva ya no está disponible para la producción de corriente reactiva y por tanto la producción de corriente reactiva se detiene por el controlador (8), según se requiere por la producción de potencia activa aumentada.

7. Turbina eólica (2) según la reivindicación 6, en el que los convertidores (18, 18A, 18B) de la turbina eólica (2) están también dimensionados para proporcionar un margen de sobrecorriente de baja tensión para permitir que se produzca potencia activa nominal en el caso de una tensión de red eléctrica más baja que la nominal en el modo de convertidor completamente funcional,

el controlador (8) se dispone, en el modo completamente funcional, para provocar que los convertidores (18, 18A, 18B) de la turbina eólica (2) produzcan potencia activa nominal y aumente de ese modo la corriente activa por encima de la corriente activa nominal en el margen de sobrecorriente de baja tensión en respuesta a una tensión de red eléctrica más baja que la nominal, y

el controlador (8) se dispone, en el modo de convertidor defectuoso a tensión nominal, para provocar que al menos otro convertidor (18, 18B) del sistema (7, 23) convertidor eléctrico distinto del convertidor defectuoso (18A) de la turbina eólica (2) produzca corriente activa adicional usando su margen de sobrecorriente de baja tensión, para compensar al menos parcialmente una reducción de producción de corriente activa debido al fallo de uno de los convertidores (18, 18A, 18B).

8. Turbina eólica (2) según la reivindicación 6 o 7, en la que la turbina eólica (2) comprende además un sistema (30) de enfriamiento de convertidor con un refrigerante que tiene una temperatura de refrigerante, los convertidores (18, 18A, 18B) están dimensionados para funcionar a corriente activa nominal a una temperatura de refrigerante predeterminada,

en el que menos potencia eléctrica se convierte por el sistema (7, 23) convertidor eléctrico en el modo de convertidor defectuoso que en el modo de convertidor completamente funcional, de manera que se produce menos calor por el sistema (7, 23) convertidor eléctrico en el modo de convertidor defectuoso que en el modo de convertidor completamente funcional,

estando dispuesto el controlador (8), en respuesta a un fallo de uno o más de los convertidores (18, 18A, 18B), para cambiar el funcionamiento del modo de convertidor completamente funcional al modo de convertidor defectuoso,

estando dispuesto el controlador (8) para provocar que la temperatura de refrigerante descienda, o para detectar una señal que indica una temperatura de refrigerante descendida,

estando dispuesto el controlador (8) para provocar que al menos otro convertidor (18, 18B) del sistema (7, 23) convertidor eléctrico para producir corriente activa adicional usando una habilidad de sobrecorriente debido a la temperatura de refrigerante más baja para compensar al menos parcialmente una reducción de producción de corriente activa debido al fallo de uno de los convertidores (18, 18A, 18B).

5 9. Parque eólico (1) con una turbina eólica (2) según una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, otras turbinas eólicas (3), y un controlador (14) de parque eólico, en el que el controlador (14) de parque eólico se dispone para dirigir una o más de las otras turbinas eólicas (3) para aumentar la producción de corriente reactiva para compensar la producción de corriente reactiva reducida por la turbina eólica (2) que está funcionando en el modo de convertidor defectuoso.

10 10. Parque eólico (1) según la reivindicación 9, en el que el controlador (14) de parque eólico se dispone para dirigir, en respuesta a la turbina eólica (2) que funciona en el modo de convertidor defectuoso y a una tensión de red eléctrica más baja que la nominal, una o más de las otras turbinas eólicas (3) para producir potencia reactiva o para cambiar una cantidad de potencia reactiva producida, para aumentar la tensión más baja que la nominal en el parque eólico (1).

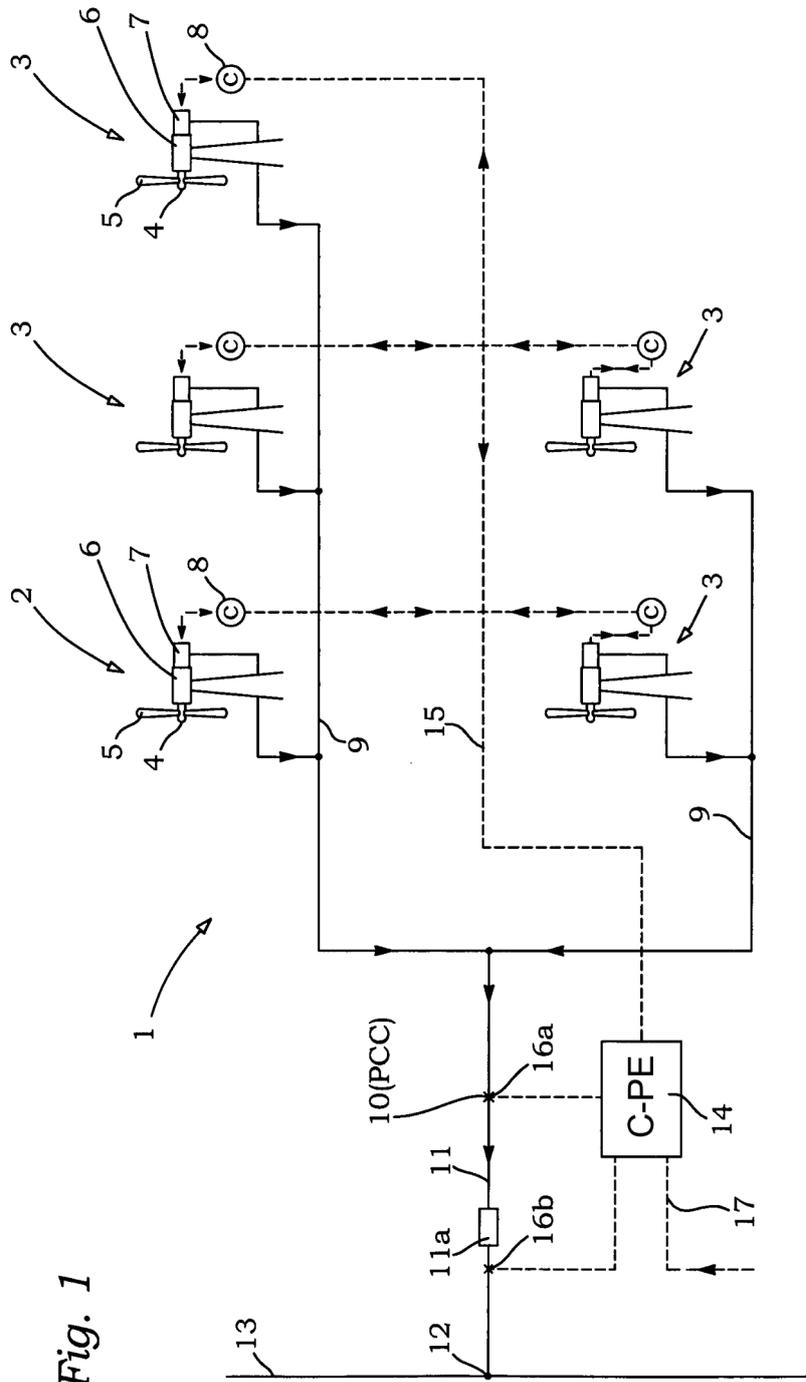


Fig. 1

Fig. 2

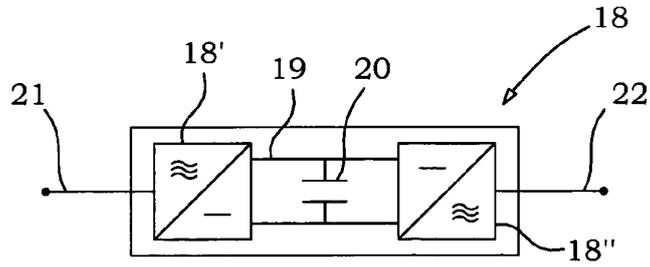


Fig. 3a

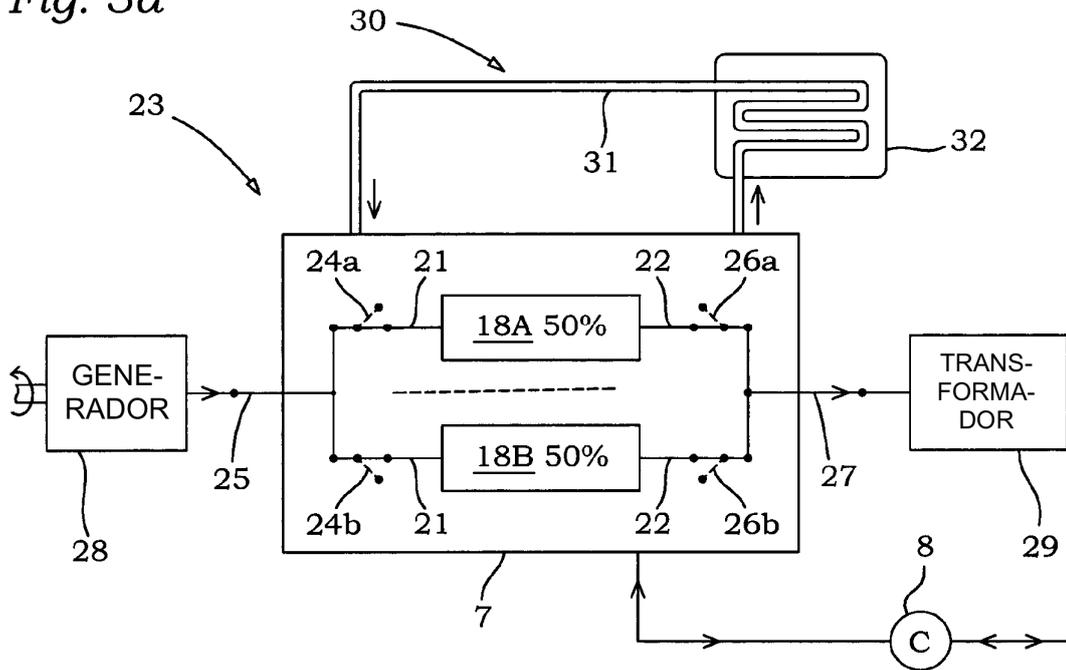


Fig. 3b

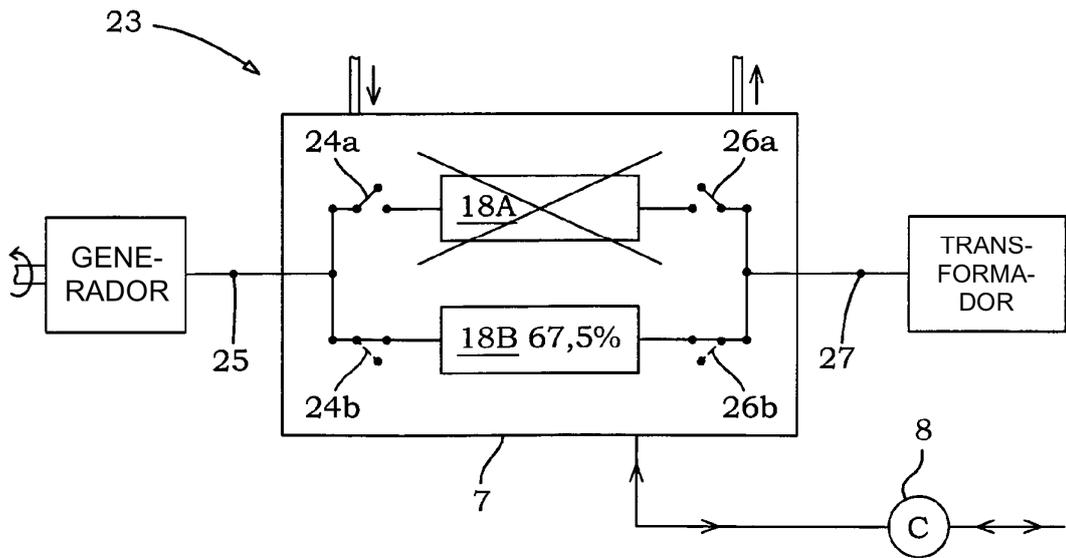


Fig. 4

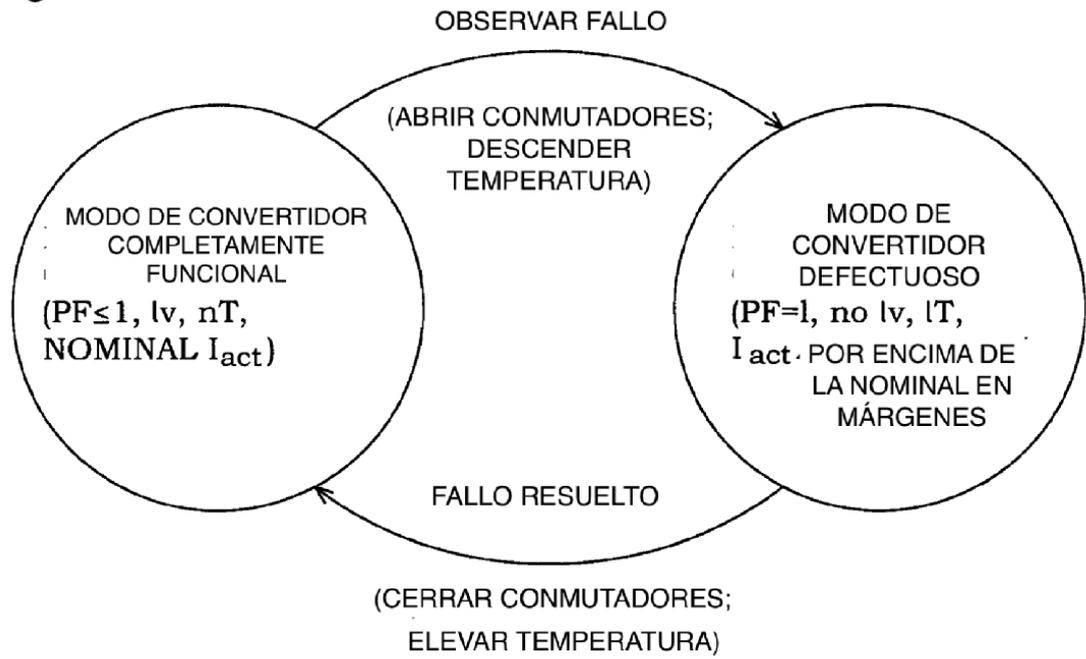


Fig. 5

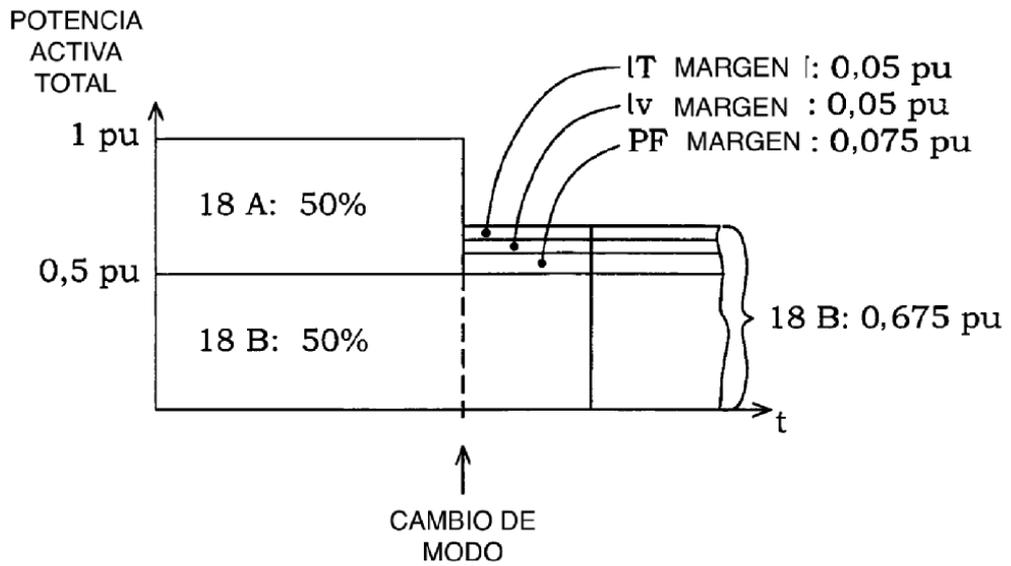


Fig. 6a

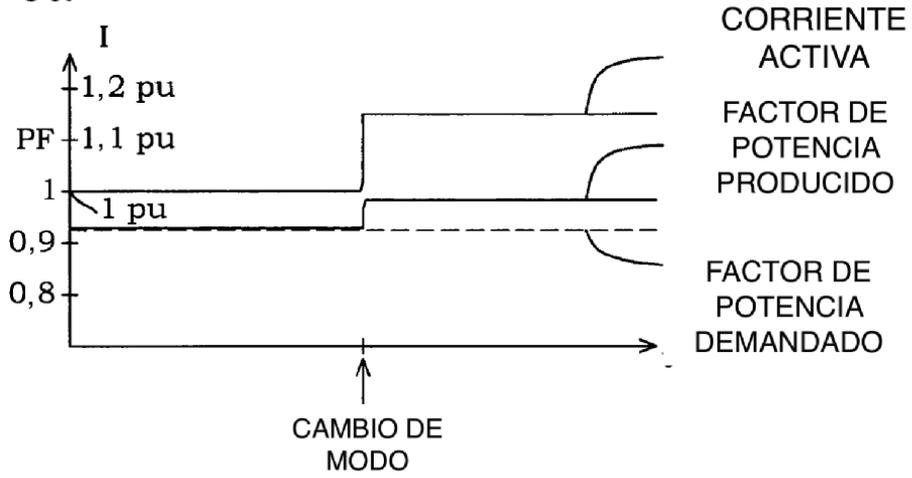


Fig. 6b

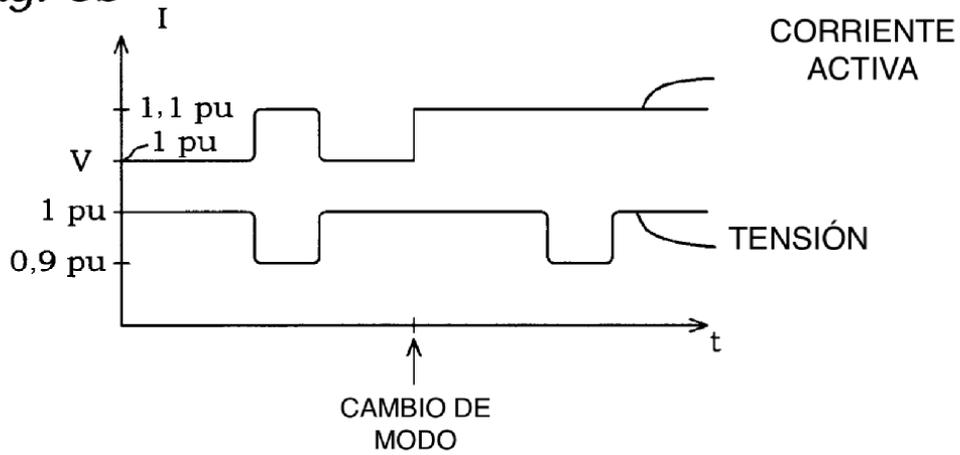
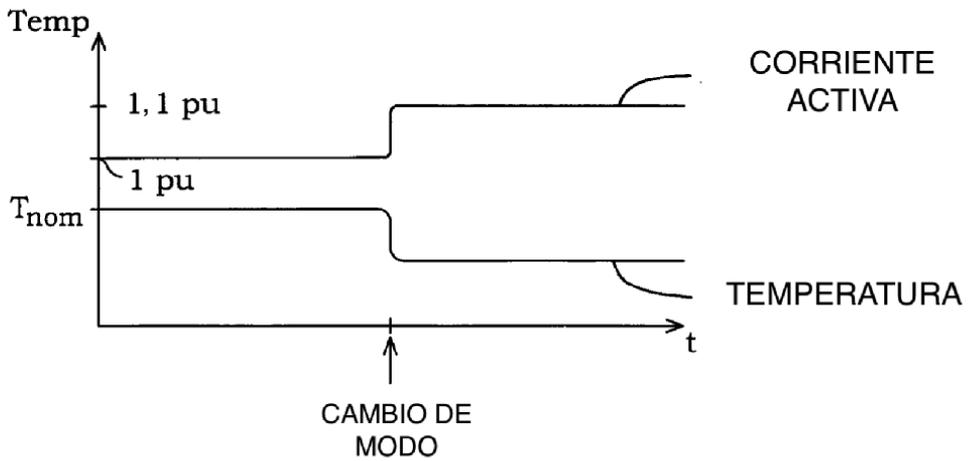


Fig. 6c



MODO DE CONVERTIDOR
COMPLETAMENTE FUNCIONAL

MODO DE CONVERTIDOR
DEFECTUOSO

Fig. 7a

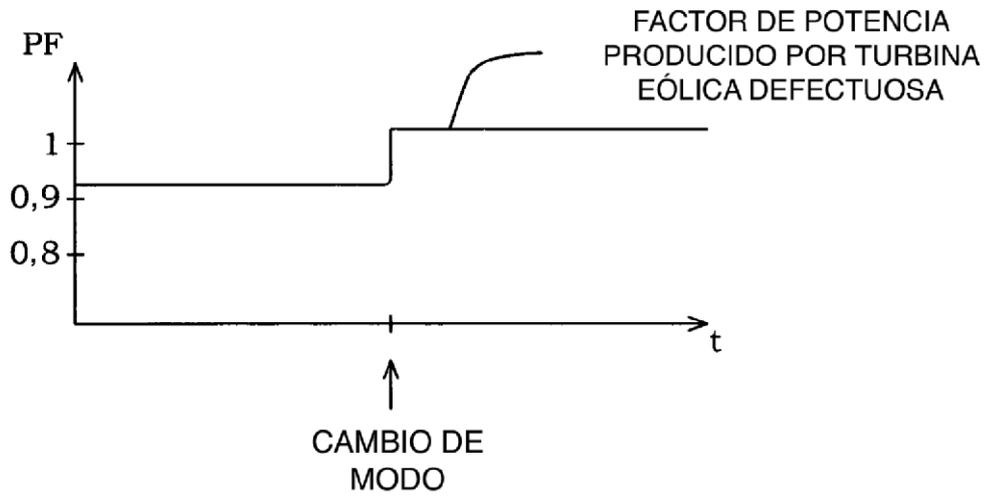


Fig. 7b

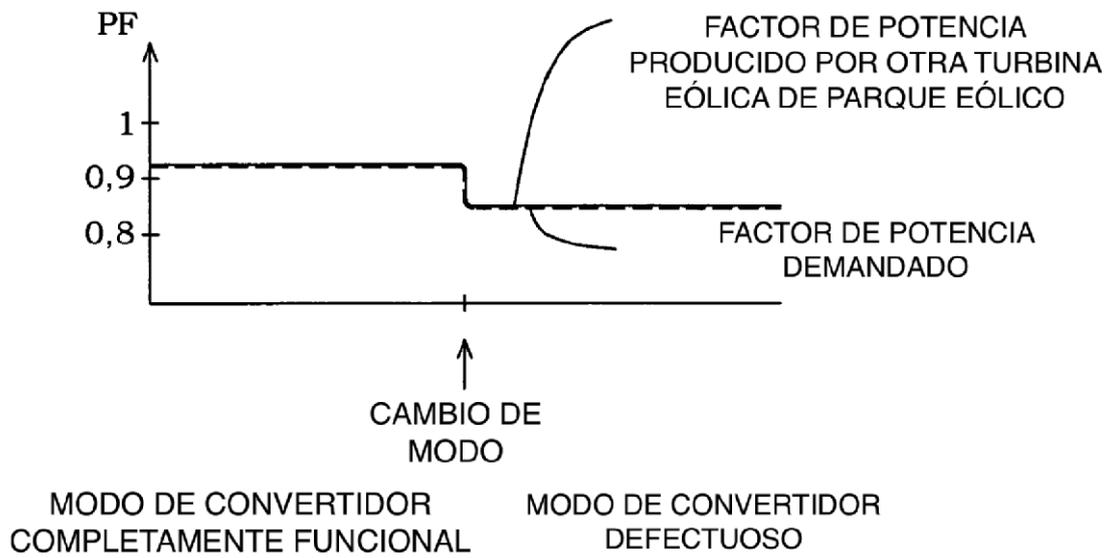


Fig. 8a

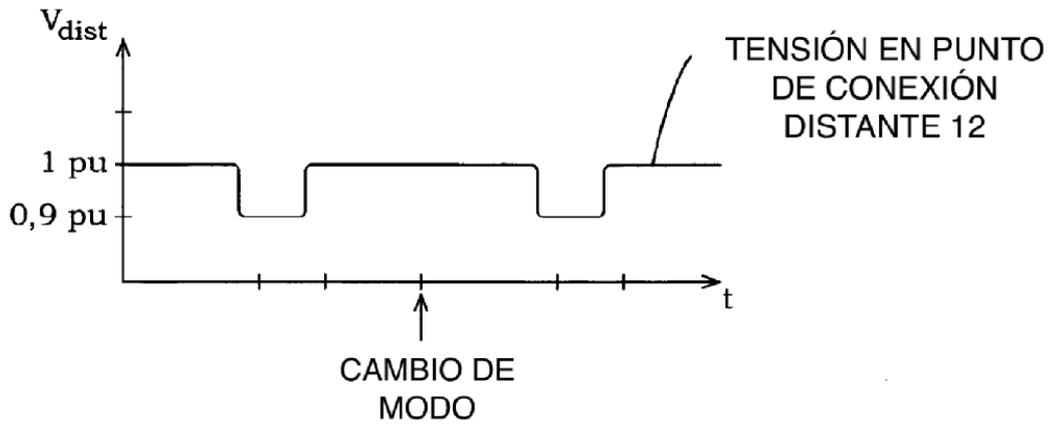


Fig. 8b

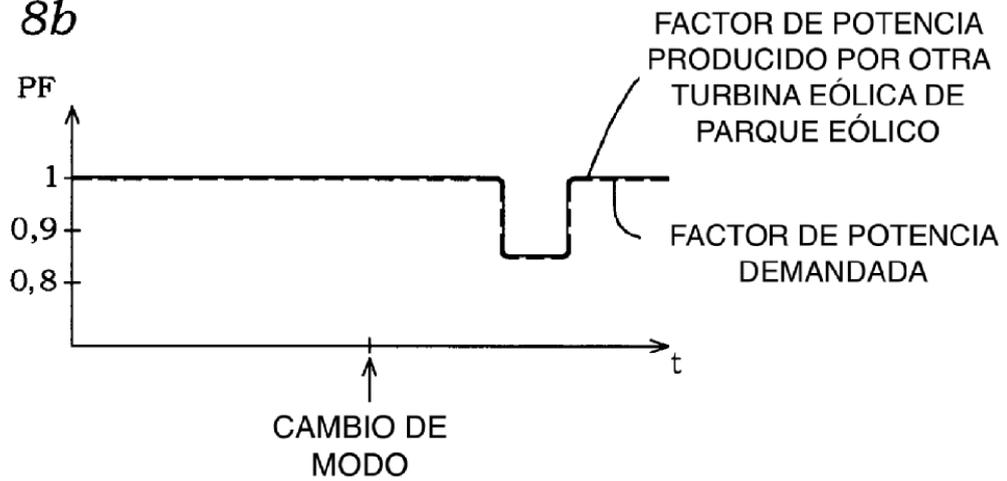


Fig. 8c

