

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 565 029**

51 Int. Cl.:

**H02J 3/12** (2006.01)

**H02J 3/18** (2006.01)

**H02M 5/44** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.09.2003 E 03750550 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.02.2016 EP 1665493**

54 Título: **Procedimiento de operación de un convertidor de frecuencia de un generador**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**30.03.2016**

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)**  
**1 River Road**  
**Schenectady, NY 12345, US**

72 Inventor/es:

**MENKE, DETLEF y**  
**JANSSEN, WILHELM**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 565 029 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**

Procedimiento de operación de un convertidor de frecuencia de un generador

**Antecedentes de la invención****Campo de la invención**

- 5 La presente invención se refiere a la operación de los convertidores de alimentación para suministrar alimentación eléctrica a una red y, en particular, a un convertidor de frecuencia de un generador de una turbina de energía eólica.

**Técnica anterior relacionada**

10 La alimentación eléctrica en las redes eléctricas públicas se suministra por diversas fuentes de energía que convierten la energía mecánica en energía eléctrica. Las principales fuentes de energía que soportan las redes eléctricas públicas son las centrales eléctricas de carbón y las centrales eléctricas nucleares. Varios otros tipos de fuentes de energía, en particular las centrales eléctricas de energía regenerativa, como las plantas de energía solar, las plantas de energía por agua o las turbinas de energía eólica, también contribuyen a soportar la red eléctrica pública.

15 En el pasado, en el caso de una caída significativa de la tensión de red en una red eléctrica pública, se requería que en tal caso las turbinas de energía eólica se apagasen de manera automática. Sin embargo, debido al aumento del número de turbinas de energía eólica, se vuelve más y más importante que estas turbinas soporten la red eléctrica pública en el caso de una caída sustancial de la tensión de red. Sin embargo, debido a los esfuerzos térmicos aplicados a los componentes electrónicos del convertidor de frecuencia de un generador que convierte la energía mecánica en energía eléctrica, es crítico y limitado aumentar la corriente de salida del convertidor en caso de una  
20 caída de tensión de la red.

El documento US 2003/0126060 analiza un sistema, un procedimiento y un programa de ordenador para mejorar el valor comercial de la alimentación eléctrica producida a partir de una instalación de producción de energía renovable en la que se emplea un procedimiento para gestionar una cartera de inversión de las unidades de alimentación de primera calidad.

- 25 En consecuencia, es un objeto de la presente invención aumentar la corriente de salida de un generador, en particular, de una turbina de energía eólica en el caso de una caída sustancial de la tensión de red.

**Sumario de la invención**

30 De acuerdo con la invención, se proporciona un procedimiento para operar un convertidor de frecuencia de un generador, en particular, de una turbina de energía eólica, en el caso de una caída sustancial de la tensión de red, en el que el convertidor de frecuencia incluye un convertidor de CA/CC, para conectarse al generador, un convertidor de CC/CA para conectarse a la red de tensión, y un circuito de enlace de CC para conectar el convertidor de CA/CC al convertidor de CC/CA, incluyendo el procedimiento la etapa de

- reducir una tensión de salida del circuito de enlace de CC para aumentar una corriente de salida del convertidor de CC/CA y/o
- 35 – reducir la frecuencia de operación de los conmutadores electrónicos del convertidor de CC/CA para aumentar la corriente de salida del convertidor de CC/CA.

40 La solución propuesta por la presente invención para resolver el objeto mencionado anteriormente se refiere a un aumento de la corriente a suministrar en la red eléctrica pública en el caso de una caída sustancial de la tensión de red. De acuerdo con un primer aspecto de la invención, el aumento de la corriente de salida del convertidor de CC/CA, es decir, del convertidor de frecuencia, se realiza reduciendo la tensión de salida del circuito de enlace de CC del convertidor de frecuencia, siendo la tensión de salida la tensión de operación para el convertidor de CC/CA del convertidor de frecuencia. Por medio de la reducción de la tensión de salida del circuito de enlace de CC, es posible aumentar la corriente que fluye a través de los conmutadores electrónicos (normalmente unos transistores) del convertidor de CC/CA sin aumentar las pérdidas de energía de los conmutadores electrónicos que se producen  
45 en condiciones normales de operación del convertidor de frecuencia. En particular, los conmutadores electrónicos incluyen unos transistores, (por ejemplo, unos módulos IGBT) como se conoce, en general, por los expertos en la materia.

50 De acuerdo con un segundo aspecto de la presente invención, se reduce la frecuencia de conmutación de los conmutadores electrónicos del convertidor de CC/CA dando como resultado un aumento de la corriente de salida del convertidor de CC/CA suministrada a la red eléctrica. También, de acuerdo con este aspecto de la invención, cuando se produce una caída sustancial de la tensión de red, no hay sustancialmente cambios de las pérdidas de energía en los conmutadores electrónicos que se producen en condiciones normales de operación del convertidor de frecuencia.

De acuerdo con un aspecto adicional de la presente invención, las etapas descritas anteriormente pueden ocurrir de manera simultánea con lo que se reducen la tensión de salida y la frecuencia de operación.

En otra realización, la tensión de salida del circuito de enlace de CC puede reducirse reduciendo la tensión de salida del circuito de enlace de CC dentro del propio circuito de enlace de CC, es decir, activando los divisores de tensión o similares. Sin embargo, otro enfoque ventajoso se refiere al control del intervalo de tiempo para el que los conmutadores electrónicos del convertidor de CA/CC están en su estado de encendidos. Concretamente, en función del estado de operación (encendido o apagado) de los conmutadores electrónicos, (normalmente unos tiristores), puede controlarse la tensión de salida del convertidor de CA/CC. Cuanto más corto sea el intervalo de tiempo para el estado de encendido de los conmutadores electrónicos del convertidor de CA/CC, menor será la tensión de salida del convertidor de CA/CC.

De acuerdo con otro aspecto de la presente invención, la etapa de reducción descrita anteriormente o al menos una de las etapas de reducción se realiza cuando, durante un corto periodo tiempo (de ms hasta s), se reduce la tensión de red. El nivel de disminución de tensión para iniciar al menos una de las etapas de reducción depende del diseño de los componentes. La etapa de reducción o al menos una de las etapas de reducción se termina cuando, durante un corto periodo tiempo (de ms hasta s), se aumenta de nuevo la tensión de red normal hasta un cierto nivel (cerca del valor nominal).

### **Breve descripción de los dibujos**

Una divulgación completa y permisiva la de la presente invención; que incluye el mejor modo de la misma, para un experto en la materia, se expone más específicamente en el resto de la memoria descriptiva, incluyendo la referencia al dibujo adjunto que muestra esquemáticamente la circuitería del convertidor de frecuencia dispuesto entre un generador y una red eléctrica.

### **Descripción de una realización de referencia**

A continuación, se hará referencia en detalle a las diversas realizaciones de la invención, uno o más ejemplos que se ilustran en los dibujos. Cada ejemplo se proporciona a modo de explicación de la invención, y no se entiende como una limitación de la invención.

En el dibujo, se muestra la circuitería de un convertidor 10 de frecuencia que se usa para proporcionar alimentación eléctrica a una red eléctrica. El convertidor de frecuencia está dispuesto entre la salida 12 de un generador 14 de una turbina de energía eólica (no mostrada) y la entrada 16 de una red 18 eléctrica.

El convertidor 10 de frecuencia incluye tres etapas principales, concretamente, una etapa de entrada, una etapa intermedia, y una etapa de salida. La etapa de entrada está configurada como un convertidor 20 de CA/CC, mientras que la etapa de salida incluye un convertidor 22 de CC/CA. Estos dos convertidores 20,22 están conectados por la etapa intermedia que está configurada como un circuito 24 de enlace de CC.

En esta realización, el convertidor 20 de CA/CC y el convertidor 22 de CC/CA normalmente incluyen ambos unos elementos de alimentación de semiconductores electrónicos. Sin embargo, también pueden usarse otros elementos electrónicos o eléctricos. En particular, en esta realización, el convertidor 20 de CA/CC incluye seis tiristores controlados por una unidad 26 de control, que a su vez se controla en función de los parámetros de operación actuales de la turbina de energía eólica y las condiciones ambientales. Como una alternativa, pueden usarse unos diodos en lugar de los tiristores 25. Como se muestra en el presente documento, el convertidor 22 de CC/CA incluye seis transistores 28, que también se controlan por la unidad 26 de control. Diversos tipos de transistores pueden usarse de acuerdo con la presente invención para los convertidores de alimentación eléctricos, tales como los módulos IGBT. Como también se conoce por los expertos en la materia, el convertidor 22 de CC/CA incluye un dispositivo de filtrado en su extremo de salida, que en esta realización incluye tres inductores 30.

El circuito 24 de enlace de CC incluye normalmente al menos un filtro para la corriente de enlace de CC que puede configurarse como unos estranguladores de enlace de CC (no mostrados). Por otra parte, el circuito de enlace de CC incluye un dispositivo 32 de almacenamiento de energía eléctrica que puede ser, por ejemplo, una batería de condensadores, una batería, un súper-condensador o similares.

Las caídas tensión de la red pueden detectarse por medio de un sensor 34 de tensión de red conectado a la unidad 26 de control. De una manera similar, la tensión de salida del generador 14 puede detectarse por un sensor de tensión de estator 36 también conectado a la unidad 26 de control.

En el caso de una caída de tensión de red, es necesario que el generador 14 de una turbina de energía eólica sea capaz de soportar la red de tal manera que se genere y se suministre a la red 18 la alimentación eléctrica necesaria. Hay dos enfoques de acuerdo con la invención que pueden usarse para aumentar la alimentación eléctrica suministrada a la red en el caso de una caída de tensión de red. El primer enfoque de acuerdo con la presente invención se refiere a la reducción de la tensión  $V_z$  de salida del circuito 24 de enlace de CC, que puede lograrse, por ejemplo, controlando en consecuencia el convertidor 20 de CA/CC. Para hacerlo, los tiristores 25 del convertidor 20 de CA/CC necesitan controlarse de acuerdo con los cambios de fase del estator del generador 14. Además, debe

detectarse o determinarse la frecuencia del estator. De acuerdo con estos parámetros, el control de los tiristores 25 se modifica con el fin de reducir la tensión  $V_z$  de salida del circuito 24 de enlace de CC.

Debido a la reducción de la tensión  $V_z$  de salida del circuito 24 de enlace de CC, en el caso de una caída de tensión de red, la corriente  $I_c$  de salida del convertidor 22 de CC/CA puede aumentarse sin cambiar las pérdidas de alimentación en los transistores 28 de tal manera que estas pérdidas de alimentación se dejan sustancialmente sin cambios en comparación con las condiciones en una operación normal.

A continuación, se proporciona un ejemplo que muestra un aumento de la corriente en el caso de una caída de tensión de red.

Suponiendo que, en condiciones normales, se proporcionan los siguientes parámetros al convertidor 10 de frecuencia. La tensión  $V_z$  de salida del circuito 24 de enlace de CC es 600 V y la corriente  $I_c$  de salida es 1600 A. La temperatura admisible de un transistor 28 es 125 °C y el ciclo de trabajo de los transistores 28 es 1. Las pérdidas  $E_{encendido}$  de energía cuando está conmutándose a encendido un transistor 28 son 210 mW, las pérdidas  $E_{apagado}$  de energía cuando está conmutándose a apagado un transistor 28 son 260 mW y las pérdidas  $E_{rec}$  de energía durante el intervalo en el que un transistor 28 se conmuta a apagado son 115 mW. Debería observarse que estos parámetros son simplemente ejemplos y que en consecuencia son posibles unas variaciones.

Suponiendo además que la frecuencia  $f$  de conmutación es de 2500 1/s, las pérdidas de potencia basándose en  $E_{encendido}$ ,  $E_{apagado}$ , y  $E_{rec}$ , así como la pérdida  $P_{sw}$  de potencia durante el estado de encendido de un transistor 28 son las siguientes:

$$\begin{aligned}
 P_{encendido} + P_{apagado} + P_{rec} &= (E_{encendido} + E_{apagado} + E_{rec}) * f \\
 &= (0,210 \text{ Ws} + 0,260 \text{ Ws} + 0,115 \text{ Ws}) * 2500 \text{ 1/s} \\
 &= 0,585 \text{ Ws} * 2500 \text{ 1/s} \\
 &= \underline{1462,5 \text{ W}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{sw} &= V_{ce} * I_c * (\text{intervalo de estado encendido}) / (\text{intervalo de estado encendido} + \text{apagado}) \\
 &= 2,4 \text{ V} * 1600 \text{ A} * 1/2 \\
 &= \underline{1920 \text{ W}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P &= P_{encendido} + P_{apagado} + P_{rec} + P_{sw} \\
 &= \underline{3382,5 \text{ W}}
 \end{aligned}$$

Suponiendo además que la tensión  $V_z$  de salida del circuito 24 de enlace de CC se reduce un 30 % y suponiendo además que  $P_{encendido}$ ,  $P_{apagado}$  y  $P_{rec}$  se reducen sustancialmente en el mismo porcentaje, la suma total de estas pérdidas de potencia es de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 P_{encendido} + P_{apagado} + P_{rec} &= 1/3 * 1462,5 \text{ W} \\
 &= 487,5 \text{ W}
 \end{aligned}$$

$$P = 1920 \text{ W} + 487,5 \text{ W} = 2407,5 \text{ W}$$

Con el fin de no superar las pérdidas de potencia como en las condiciones de operación normales, puede aumentarse la corriente  $I_c$  de salida en aproximadamente un 30 % hasta

$$I_c = 2100 \text{ A (por } 2407,5 \text{ W)}.$$

Debería observarse que el porcentaje del aumento de la tensión  $I_c$  de salida máxima es independiente del tipo de transistor 28 usado.

Otra medida para aumentar la tensión  $I_c$  de salida en el caso de una caída de tensión de red es reducir la frecuencia  $f$  de conmutación de los transistores 28. Concretamente, cuando los transistores 28 se conmutan a encendidos durante un período de tiempo más corto, cuando se mantiene la corriente sin cambios, las pérdidas de energía se reducen. En consecuencia, si las pérdidas de energía pueden dejarse sin cambios, puede aumentarse la corriente.

A continuación, se proporcionará un ejemplo basado en los parámetros mencionados anteriormente para este escenario.

Suponiendo que la frecuencia  $f$  de conmutación se reduce de 2500 1/s a 500 1/s, pueden obtenerse las siguientes ecuaciones:

## ES 2 565 029 T3

$$\begin{aligned} P_{\text{encendido}} + P_{\text{apagado}} + P_{\text{rec}} &= (E_{\text{encendido}} + E_{\text{apagado}} + E_{\text{rec}}) * f \\ &= (0,210 \text{ Ws} + 0,260 \text{ Ws} + 0,115 \text{ Ws}) * 500 \text{ 1/s} \\ &= 0,585 \text{ Ws} * 500 \text{ 1/s} \\ &= \underline{292,5 \text{ W}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 5 \quad P_{\text{SW}} &= V_{\text{ce}} * I_{\text{c}} * (\text{intervalo de estado encendido}) / (\text{intervalo de estado encendido} + \\ &\quad \text{apagado}) \\ &= 2,4 \text{ V} * 16000 \text{ A} * 1/2 \\ &= \underline{1920 \text{ W}} \end{aligned}$$

$$P = 1920 \text{ W} + 292,5 \text{ W} = 2212,5 \text{ W}$$

- 10 Por lo tanto, para obtener las mismas pérdidas de potencia globales, como en el caso de operación normal, la corriente  $I_{\text{c}}$  de salida, puede aumentarse hasta

$$I_{\text{c}} = 2200 \text{ A (para } 2212,5 \text{ W).}$$

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Un procedimiento de operación de un convertidor de frecuencia de un generador, en particular de una turbina de energía eólica, en el evento de una caída sustancial de la tensión de la red, en el que el convertidor (10) de frecuencia comprende un convertidor (20) de CA/CC, para ser conectado al generador (14), un convertidor (22) de CC/CA para conectarse a la red (18) de tensión, y un circuito (24) de enlace de CC para conectar el convertidor (20) de CA/CC al convertidor (22) de CC/CA, caracterizado el procedimiento por comprender la etapa de
- reducir una tensión de salida del circuito (24) de enlace de CC para aumentar una corriente de salida del convertidor (22) de CC/CA y/o
  - reducir la frecuencia de operación de los conmutadores (28) electrónicos del convertidor (22) de CC/CA para
- 10 aumentar la corriente de salida del convertidor (22) de CC/CA.
2. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la etapa de reducción o al menos una de las etapas de reducción se realiza cuando, durante unos pocos segundos, la tensión de red se reduce en al menos un 10 % de su valor normal y en el que la etapa de reducción de al menos una de las etapas de reducción se termina cuando, durante unos pocos segundos, la tensión de red normal se aumenta en al menos un 80 % de su valor normal.
- 15 3. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la etapa de reducción o al menos una de las etapas de reducción se realiza cuando, durante unos pocos segundos, la tensión de red se reduce en al menos un 20 % de su valor normal y en el que la etapa de reducción de al menos una de las etapas de reducción se termina cuando, durante unos segundos, la tensión de red normal se aumenta en al menos un 90 % de su valor normal.
- 20 4. El procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la etapa de reducción de la tensión de salida del circuito (24) de enlace de CC comprende reducir el intervalo de anchura de pulso del conmutador (25) electrónico del convertidor (20) de CA/CC.
- 25 5. El procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la reducción de la tensión de salida del circuito (24) de enlace de CC y/o la reducción de la frecuencia de operación del convertidor (22) de CC/CA se realiza/realizan de tal manera que una corriente aumentada fluye sin un cambio sustancial de las pérdidas de energía en los conmutadores (28) electrónicos del convertidor (22) de CC/CA.

