

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 379 981**

51 Int. Cl.:
H02P 9/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **09726921 .1**
96 Fecha de presentación: **02.04.2009**
97 Número de publicación de la solicitud: **2263306**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **22.12.2010**

54 Título: **Procedimiento para el funcionamiento de una instalación de energía eólica con una máquina asíncrona de doble alimentación así como instalación de energía eólica con una máquina asíncrona de doble alimentación**

30 Prioridad:
02.04.2008 DE 102008017715

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
07.05.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
07.05.2012

73 Titular/es:
**Nordex Energy GmbH
Bornbarch 2
22848 Norderstedt, DE**

72 Inventor/es:
**SCHUBERT, Thomas y
BELLGARDT, Uwe**

74 Agente/Representante:
Roeb Díaz-Álvarez, María

ES 2 379 981 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 para el funcionamiento de una instalación de energía eólica con una máquina asíncrona de doble alimentación así como instalación de energía eólica con una máquina asíncrona de doble alimentación

5

La presente invención se refiere a un procedimiento para el funcionamiento de una instalación de energía eólica con una máquina asíncrona de doble fuente de alimentación así como a una instalación de energía eólica con una máquina asíncrona de doble alimentación.

- 10 Por el documento WO2005/027301A1 se conoce un procedimiento para el funcionamiento de un convertidor de frecuencia para un generador. El procedimiento se refiere a una instalación de energía eólica con un convertidor de frecuencia, que presenta un convertidor conectado con el generador y un convertidor conectado con la red. El procedimiento prevé que ante una caída manifiesta de la tensión de alimentación, se reduce la tensión en un circuito intermedio entre los convertidores y se incrementa una corriente de salida del convertidor del lado de la red. Además
- 15 de ello, se puede reducir la frecuencia de funcionamiento para la modulación del convertidor del lado de red para aumentar la corriente de salida del convertidor del lado de la red.

Por el documento WO2004/067958A1 se conoce un generador para una instalación de energía eólica, que presenta un mando de baja tensión para pasar fallos de red. El mando está previsto para alimentar de una forma fiable

20 potencia a la red, en donde particularmente se deben tener en cuenta las condiciones de conexión de red de las empresas de suministro energético. Los requisitos se especifican como "low voltage ride through" (LVRT) y predefinen que una instalación de energía eólica debe continuar alimentando de forma sincronizada a la red eléctrica cuando se produce una caída de tensión en la red. Para cumplir con estos requisitos se propone que, en caso de que se produzca una caída de tensión, varíen los ángulos de las palas de una o de varias palas del rotor.

25

En el pasado, las empresas de suministro de energía definieron continuamente nuevas reglas de conexión a la red para instalaciones de energía eólica, que daban especialmente importancia a las características FRT ("fault ride through") de las instalaciones de energía eólica. Las características FRT de una instalación de energía eólica definen la capacidad de la instalación de energía eólica para pasar un fallo de red sin desconexión o separación de

30 la red. Existen numerosas variantes FRT diferentes, que hacen siempre de nuevo necesaria una adaptación del mando de las instalaciones de energía eólica. De este modo se hace siempre necesario dimensionar de nuevo el mando de la instalación de energía eólica —particularmente el mando de los convertidores— y desarrollar nuevos procedimientos de mando. Debido al tiempo de desarrollo y a las pruebas posteriores del nuevo mando adaptado, se producen retrasos y costes, que van en contra de un uso flexible de la instalación de energía eólica.

35

Por el documento "Integration of wind power into the German high voltage transmission grid" de I. Erlich et al de Power Engineering Society General Meeting, 2007, IEEE, 24 a 28 de junio de 2007, páginas 1 a 8, se conoce el control correspondiente del convertidor del lado del rotor y del convertidor del lado de red en una máquina asíncrona de doble alimentación para una instalación de energía eólica con magnitudes eléctricas variables. Además se

40 conoce por este documento que una separación de la máquina asíncrona de la red sólo se puede producir cuando la tensión de red queda por debajo de una curva característica tensión-tiempo predeterminada.

El objeto de la invención es el de ofrecer un procedimiento para el funcionamiento de una instalación de energía eólica con una máquina asíncrona de doble alimentación, así como una instalación de energía eólica de este tipo,

45 que se pueda adaptar de una forma sencilla a los requisitos FRT variables.

El objetivo se resuelve mediante un procedimiento con las características de la reivindicación 1. El objetivo se resuelve asimismo mediante una instalación de energía eólica con las características de la reivindicación 12. Configuraciones ventajosas conforman los objetos de las reivindicaciones dependientes.

50

El procedimiento de acuerdo con la invención sirve para el funcionamiento de una instalación de energía eólica con una máquina asíncrona de doble alimentación, que presenta un convertidor en el lado de la red y otro en el lado del generador. Los convertidores se encuentran preferentemente unidos entre sí a través de un circuito intermedio de tensión continua. Además está previsto de acuerdo con la invención un mando que controla los convertidores. El

55 procedimiento de acuerdo con la invención presenta en el modo normal de funcionamiento de la instalación de energía eólica el paso de que los convertidores de la instalación de energía eólica sean controlados a través del mando mediante magnitudes de guiado. De acuerdo con la invención, en un caso de fallo de la red, los convertidores son controlados mediante al menos un módulo de mando, que controla el par de giro y/o la potencia activa así como la corriente reactiva y/o la potencia reactiva a través de magnitudes de guiado de tal forma que sólo

60 se produce una separación de la máquina asíncrona de la red cuando la tensión de red queda por debajo de una curva característica tensión-tiempo predeterminada. De acuerdo con la invención, el recorrido de la curva característica tensión-tiempo está predefinido a través de varios parámetros preseleccionables en el al menos un módulo de mando. El procedimiento ajusta una primera función de magnitudes de guiado, que en caso de fallo predefinen una magnitud de guiado para el par de giro y/o la potencia activa. La primera función de magnitud de

65 guiado permite, en caso de fallo, predefinir las magnitudes de guiado para el mando en uno o en los dos convertidores. El mando de los convertidores se realiza tanto en el modo normal de funcionamiento como también

en caso de fallo a través de las magnitudes de guiado, de tal forma que para los convertidores no existe una diferencia estructural en su mando. El procedimiento de acuerdo con la invención prevé que la primera función de magnitud de guiado presente al menos dos funciones básicas para el par de giro y/o la potencia activa. De las funciones básicas, una primera función básica predefine el recorrido en el tiempo del valor nominal para el par de giro y/o la potencia activa después de producido el fallo, mientras que la segunda función básica determina el recorrido en el tiempo del valor nominal para el par de giro y/o la potencia activa una vez concluida la situación de fallo. En esta configuración del módulo de mando para la primera función de magnitud de guiado, el módulo de mando está dividido en dos funciones básicas para poder adaptar el módulo de mando de una forma más sencilla a diferentes requisitos FRT. De acuerdo con la invención está prevista además una segunda función de magnitud de guiado, que determina el valor nominal para la potencia reactiva y/o para la corriente reactiva. También la segunda función de magnitud de guiado presenta dos funciones básicas, de las cuales una tercera función básica determina el recorrido en el tiempo del valor nominal para la potencia reactiva y/o para la corriente reactiva después de producido el fallo y una cuarta función básica el recorrido temporal del valor nominal para la potencia reactiva y/o la corriente reactiva una vez concluida la situación de fallo.

En el procedimiento de acuerdo con la invención están previstas, además del mando tradicional, que controla de una forma por sí misma conocida la alimentación a la red, al menos dos funciones de magnitud de guiado, que en caso de fallo de la red asumen completamente el mando de los convertidores a través de las magnitudes de guiado para cumplir los requisitos FRT de las directivas de conexión a la red. La ventaja de un mando modular de este tipo para la instalación de energía eólica consiste en que en lo sucesivo no es necesario revisar todo el mando en caso de una modificación del requisito de la red, sino que tan sólo es necesario adaptar sobre el mando en el modo normal de funcionamiento, tan sólo una o varias funciones de magnitud de guiado con sus funciones básicas para el caso de fallo. Puesto que en el procedimiento de acuerdo con la invención las funciones de magnitud de guiado de la curva característica tensión-tiempo son parametrizables, se garantiza que las funciones de magnitud de guiado se pueden adaptar fácilmente mediante la elección adecuada de los parámetros para su adaptación a diferentes requisitos FRT. El uso de un mando modular parametrizable permite, en su conjunto, que las funciones de magnitud de guiado se puedan utilizar tras una parametrización sin actuar en los desarrollos de mando. Los tiempos de desarrollo y los tiempos de transferencia necesarios ante una modificación del requisito FRT se pueden reducir de este modo notablemente.

En una configuración preferida, la primera función de magnitud de guiado predefine mediante una función de par de giro y/o de potencia un valor nominal para el par de giro y/o la potencia para el convertidor del lado de generador. Esta configuración ventajosa se basa en que en los requisitos FRT, a partir de las reglas de conexión a la red, se establecen también requisitos para la generación de potencia activa (P) de la instalación de energía eólica durante y después de los fallos de red. Para una potencia activa (P) aplica la siguiente relación sencilla:

$$P = 2 \pi \cdot n \cdot M,$$

en donde n es el número de revoluciones por unidad de tiempo y M el par de giro o el par del entrehierro de la máquina asíncrona. Para poder cumplir con posibles requisitos para la potencia activa en un caso de fallo, se ha deducido como ventajoso, definir una función especial de magnitud de guiado para la función de par de giro correspondiente en el caso de fallo.

En una configuración preferida, la segunda función de magnitud de guiado predefine en caso de fallo el valor nominal para el par de giro y/o la potencia activa para el convertidor del lado de red.

En una configuración ventajosa, la tensión de red se mide y reconoce un caso de fallo de la red, cuando la tensión de red queda por debajo de un umbral de respuesta predeterminado. El mando reconoce una situación de fallo cuando la tensión de red cae en un valor predeterminado, de tal forma que se queda por debajo de un umbral de respuesta para el caso de fallo. Preferentemente, para evitar una activación temprana del caso de fallo, sólo se detecta una situación de fallo cuando se queda por debajo del umbral de respuesta durante al menos una duración de tiempo predeterminada. Tanto la duración de tiempo predeterminada como el valor del umbral de respuesta son parámetros que se ajustan en el mando en función de las especificaciones de las directivas de conexión a la red.

De acuerdo con una configuración alternativa es posible que se detecte una situación de fallo de la red cuando una corriente de rotor y/o una tensión de un circuito intermedio aumenten por encima de un valor límite predeterminado. La corriente del rotor es para ello la corriente que fluye en el circuito de corriente del rotor. La tensión del circuito intermedio es aquella tensión que en un circuito intermedio de tensión continua se encuentra entre el convertidor del lado del generador y del lado de red.

Preferentemente, la primera función básica reduce con un primer intervalo de tiempo después de producirse el fallo, el valor nominal del par de giro y/o de la potencia activa preferentemente a un valor próximo a cero, en un segundo intervalo de tiempo situado a continuación, se incrementa el valor nominal a un valor mínimo predeterminado. Ventajosamente, el valor mínimo está predefinido en el módulo de mando mediante parámetros, de tal forma que éste se puede adaptar fácilmente. Preferentemente, el valor nominal de la primera función básica depende de una tensión de red existente en el caso de fallo. En una configuración especialmente preferida, la dependencia del valor

nominal de la tensión de red y/o el valor mínimo predeterminado de la primera función básica se elige dependiendo de si se encuentra presente un fallo en todas las fases o sólo en una o dos fases de la red. Por lo tanto, se diferencia en los parámetros de la primera función básica, si se encuentra presente un denominado fallo simétrico o un fallo asimétrico, en donde se denomina fallo simétrico a un fallo que se produce en todas las fases y un fallo asimétrico a un fallo que no se produce en todas las fases de la red. Mediante la diferenciación adicional de fallos de red simétricos y asimétricos para el uso de juegos de parámetros adecuados para ello, la primera función básica ofrece un amplio espectro para poder adaptar el módulo de mando sin gran esfuerzo a los requisitos FRT variables.

La segunda función básica, que predefine el valor nominal para el par de giro y/o para la potencia activa sólo una vez que ha finalizado el fallo, actúa en un instante de tiempo predeterminado e incrementa el valor nominal del par de giro y/o de la potencia a partir de ese instante hasta un segundo instante de tiempo predeterminado situándolo de nuevo en el valor para la potencia nominal y/o para el par de giro nominal. También en la segunda función básica, el primer y el segundo instante de tiempo son preferentemente parámetros preseleccionables. Los parámetros para el primer y el segundo instante de tiempo se pueden definir en el módulo de mando en función del número y/o de la duración de los casos de fallo pasados.

Mediante el uso de las dos funciones básicas de la primera función de magnitud de guiado se puede adaptar el módulo de mando para los valores nominales del par de giro y/o de la potencia activa muy fácilmente a las diferentes curvas características tensión-tiempo.

En una configuración especialmente preferida del procedimiento de acuerdo con la invención se determina el valor de la segunda función de magnitud de guiado para la corriente reactiva en función de la diferencia en valor absoluto de la tensión nominal de red y de la tensión de red durante el fallo. De este modo se garantiza, que la instalación de energía eólica aporta la contribución necesaria para soportar la red en caso de fallo.

Además puede estar previsto que el valor nominal máximo para la corriente reactiva esté limitado durante el fallo a un valor máximo predeterminado. Mediante el uso de la tercera y de la cuarta función básica para la segunda función de magnitud de guiado también se puede adaptar la segunda función de magnitud de guiado fácilmente para diferentes curvas características tensión-tiempo.

De acuerdo con la invención, el objetivo se resuelve también mediante una instalación de energía eólica con una máquina asíncrona de doble alimentación, que presenta un convertidor en el lado de red y otro en el lado del generador, así como un mando, en donde el mando controla los convertidores en el modo normal de funcionamiento mediante magnitudes de guiado. El mando conformado de acuerdo con la invención dispone de un módulo de detección de fallo, que en caso de fallo de la red libera un mando de los convertidores mediante al menos un módulo de mando. El al menos un módulo de mando controla los convertidores a través de unas magnitudes de guiado de tal forma que no tiene lugar una separación de la máquina asíncrona de la red, en tanto la tensión de red no quede por debajo de una curva característica tensión-tiempo predeterminada. A través de las magnitudes de guiado se predefine para los convertidores por un lado un par de giro y/o una potencia activa, así como por otro lado una corriente reactiva y/o una potencia reactiva. El mando de la instalación de energía eólica de acuerdo con la invención se compone de un módulo de detección de fallo y de al menos un módulo de mando para poder reaccionar a un caso de fallo en la red, en donde la configuración modular del mando permite una adaptación sencilla a diferentes requisitos FRT. De acuerdo con la invención, en el al menos un módulo de mando está definido el recorrido de la curva característica tensión-tiempo mediante unos parámetros preseleccionables. De este modo se puede parametrizar y adaptar el mando modular de la instalación de energía eólica de acuerdo con la invención de una forma más sencilla a los requisitos FRT de los explotadores de la red. La primera y la segunda función de magnitud de guiado presentan varios parámetros preseleccionables, que definen el recorrido temporal de los valores nominales.

La instalación de acuerdo con la invención presenta preferentemente un conmutador que es controlado por el módulo de detección de fallo para separar los convertidores del mando para el caso normal, por ejemplo, un guiado de funcionamiento de la instalación de energía eólica, y conectarlos con los módulos de mando.

Preferentemente, las funciones de magnitud de guiado están divididas a su vez en funciones básicas, de las cuales una predefine los valores nominales durante el fallo (primera y tercera función básica) y otra después del fallo (segunda y cuarta función básica).

A continuación se describe más detalladamente una realización preferida de la invención en base a un ejemplo. Muestran:

fig. 1 la configuración de acuerdo con la invención de un mando modular para una máquina asíncrona de doble alimentación,

fig. 2 el mando tradicional de una máquina asíncrona de doble alimentación,

fig. 3 una curva característica tensión-tiempo predeterminada mediante parámetros,

fig. 4 el recorrido del par de giro en caso de fallo,

fig. 5 la primera función básica para el recorrido del par de giro en el caso de fallo,

5

fig. 6 la segunda función básica para el recorrido del par de giro en el caso de fallo, y

figs. 7a a 7c el recorrido de tensión de red, corriente reactiva y par de giro en el caso de fallo.

10 En una instalación de energía eólica se convierte la potencia mecánica del rotor en potencia eléctrica a través de la cadena cinemática en el generador. El generador 19 está para ello acoplado a la red a través de dos circuitos eléctricos. El circuito de estator 10 está directamente acoplado a la red 12. El circuito de rotor 14 está acoplado indirectamente a la red 12 a través del convertidor de frecuencia 16. El convertidor de frecuencia 16 tiene la función de regular al generador 19. Desde un punto de vista general, la energía fluye desde la energía mecánica del rotor a través del generador a la red eléctrica. Fallos en la red, tales como, por ejemplo, caídas de tensión, actúan a su vez sobre la instalación de energía eólica debido a la conexión del generador con la red. Las reglas de conexión a la red para instalaciones de energía eólica prevén por ello criterios especiales para instalaciones de energía eólica para el paso de un fallo de red sin desconexión o separación de la red de la instalación de energía eólica. Este comportamiento de la instalación de energía eólica se denomina también "fault ride through" ("FRT").

20

El generador 19, el convertidor de frecuencia 16 y la cadena cinemática (no representada) como componentes principales de la instalación de energía eólica están acoplados directamente o indirectamente a la red eléctrica. En función de los procesos en la red, los componentes principales están sometidos de este modo a cargas mecánicas. Por estos motivos es necesario definir el comportamiento FRT o el mando de la instalación de energía eólica para el caso de fallo con el fin de poner en sintonía las cargas mecánicas y eléctricas de la instalación de energía eólica con los requisitos de las reglas de conexión a la red.

25

Antes de describir más detalladamente el mando de acuerdo con la invención de la instalación de energía eólica, se describe brevemente en primer lugar el mando tradicional de una instalación de energía eólica en base a la figura 2.

30

Tal y como se ha mencionado anteriormente, el circuito de estator 10 está unido directamente a la red 12. El circuito de rotor 14 está también unido a la red 12 a través de un convertidor de frecuencia 16. El convertidor de frecuencia 16 dispone de un convertidor en el lado del generador 18 y de un convertidor en el lado de la red 20. Los convertidores 18, 20 están unidos entre sí a través de un circuito intermedio de tensión continua 22. Cada uno de los convertidores 18, 20 se controla a través de una modulación de duración de impulsos 24, 26. El mando 28 del convertidor de frecuencia 16 predefine para el mando un valor nominal para el par de giro M^* y un valor nominal para la corriente reactiva I_B^* al convertidor del lado del generador 18.

35

Cuando a continuación se desconecta para un par de giro M^* , éste se puede sustituir siempre por un valor nominal para la potencia activa P^* . Del mismo modo, la corriente reactiva I_B^* siempre se puede sustituir por un valor nominal para la potencia reactiva Q^* .

40

El mando 28 predefine un valor nominal para la corriente reactiva I_B^* para el convertidor del lado de la red 20.

En el mando representado en la figura 2 es posible ajustar o regular la potencia reactiva y el par de giro por separado. Los valores nominales M^* para el par de giro e I_B^* para la corriente reactiva sirven como magnitudes de guiado y se generan en el mando 28 del convertidor de frecuencia 16. A continuación se generan muestras de pulsos que se corresponden con estos valores nominales, a partir de los cuales se obtiene una tensión trifásica característica para el rotor del generador, que provoca en el generador la generación de las potencias reactivas y del par de giro correspondientes a las magnitudes de guiado. Mediante la capacidad de regulación del generador asíncrono en función del par de giro y de la corriente reactiva se logran los requisitos técnicos para poder reaccionar a los requisitos FRT.

45

50

Puesto que para el mando FRT se establecen requisitos elevados en tiempo real, éstos se tienen que implementar próximos al proceso. Ante este trasfondo, los procedimientos FRT eran hasta la fecha siempre un componente integral del mando 28.

55

En el mando de acuerdo con la invención, tal y como está representado en la figura 1, se obtiene una configuración diferente y una funcionalidad diferente para el mando. Para una mejor visibilidad, se han identificado también en la figura 1 con los mismos símbolos de referencia los componentes que cumplen la misma función que en el mando tradicional de acuerdo con la figura 2. En el mando 30 de acuerdo con la invención, los valores nominales M^* e I_B^* se encuentran en el mando 30 como magnitudes de guiado en el modo normal de funcionamiento. En la figura 1 está previsto un mando 32 para el modo normal de funcionamiento. En el mando 32 pueden estar predefinidas magnitudes generales para el guiado del funcionamiento desde el exterior (no representadas), por ejemplo, desde un guiado de funcionamiento de la instalación de energía eólica.

60

65

Los valores nominales M^* e I_B^* determinados por el mando 32 están conectados a los convertidores 18, 20 a través

- de unos reguladores 34, 36, 38, en donde también se generan los modelos de impulsos requeridos para el mando de los convertidores a través de la modulación de duración de impulsos 24, 26. Los reguladores 34, 36 y 38 realizan una comparación con los valores reales para el par de giro $M_{\text{-real}}$ y la corriente reactiva $I_{B\text{-real}}$. Para determinar los valores reales, se mide por ejemplo la corriente del rotor y la tensión del estator en un dispositivo de medida 39. En un dispositivo de transformación 41 se transforman las magnitudes medidas en los valores reales para el par de giro $M_{\text{-real}}$ y para la corriente reactiva $I_{B\text{-real}}$. La transformación se realiza en función del número de revoluciones por unidad de tiempo del generador (no representado). A partir de la diferencia entre el valor real y el valor nominal se forma la magnitud de regulación para los reguladores 34 a 38.
- 10 La magnitud de regulación para el valor nominal del par de giro M^* se conecta al convertidor del lado del generador 18, mientras que la magnitud de regulación para el valor nominal de la corriente reactiva I_{B^*} se conecta a los dos convertidores 18, 20.

En la figura 1 está previsto un módulo de detección de fallo 40, que en caso de fallo separa los convertidores 18, 20 de los valores nominales del mando 32 a través de un interruptor 42 y lo conecta a dos módulos de mando 44, 46.

En la figura 1 se pone ya de manifiesto que mediante la conmutación del módulo de detección de fallo 40 es posible implementar un mando tradicional para los convertidores 18, 20, que trabaja de forma independiente de las especificaciones especiales para el caso de fallo en la red. Tan sólo en caso de fallo se produce una conmutación a través del interruptor 42, y los módulos de mando 44, 46 asumen la función del mando 32. De los módulos de mando, el módulo de mando 44 está conformado como función del par de giro, por lo tanto como primera función de magnitud de guiado, que predefine un valor nominal para el par de giro M^* en caso de fallo. El módulo de mando 46 está conformado como función de corriente, por lo tanto como segunda función de magnitud de guiado, que establece un valor nominal para la potencia reactiva y/o la corriente reactiva I_{B^*} en caso de fallo.

En cada uno de los módulos de mando 44 y 46 está almacenada una curva característica tensión-tiempo 48, tal y como está representada a modo de ejemplo en la figura 3. La curva característica tensión-tiempo de la figura 3 está definida mediante unos puntos de apoyo 52 de libre elección, que en el presente ejemplo están unidos entre sí mediante unas líneas correspondientes. La curva característica tensión-tiempo de la figura 3 describe un denominado embudo de tensión, en donde los requisitos del explotador de la red establecen que en tanto la tensión de red sea mayor que el valor de tensión predefinido en la curva característica tensión-tiempo 48, no se puede producir una separación de la red de la instalación de energía eólica. Esto significa que en el generador asíncrono de doble alimentación, el interruptor 50 de la figura 1 debe permanecer cerrado.

El embudo de tensión predefinido a través de la curva característica tensión-tiempo 48 está caracterizado porque la instalación de energía eólica debe permanecer conectada a la red durante un primer breve intervalo de tiempo hasta t_1 a pesar de una caída muy grande de tensión. En un segundo intervalo de tiempo desde t_1 hasta t_2 , la instalación de energía eólica sólo se puede separar de la red cuando la tensión de red se encuentre por debajo del valor de tensión U_2 . En caso de que la tensión de red no volviera a crecer de nuevo al menos linealmente hasta un valor de tensión de U_3 en un intervalo de tiempo desde t_2 hasta t_3 , se puede separar la instalación de energía eólica de la red. Para un intervalo más largo situado a continuación, la instalación de energía eólica tiene que funcionar conectada a la red, cuando se supera el valor de tensión de U_4 . Mediante los puntos de apoyo 52 identificados en la figura 3 a modo de ejemplo mediante cruces es posible definir la curva característica tensión-tiempo de forma general para el mando. Por ejemplo, mediante puntos de apoyo adecuados, se pueden establecer valores de tensión en el intervalo t_1 a t_2 hasta un valor predefinido por las directivas de alimentación.

El mando de los módulos de mando 44 y 46 se realiza de tal forma que se obtienen los valores nominales predefinidos M^* e I_{B^*} para que la instalación de energía eólica no se separe de la red y satisfagan los requisitos detallados de los explotadores de la red.

La figura 4 muestra a modo de ejemplo el recorrido de la primera función de magnitud de guiado como función de par de giro 53 de un módulo de mando 44. En un primer intervalo de tiempo t_B —a cuyo comienzo se produce el fallo de la red— se establece a cero la especificación del valor nominal para el par de giro. En un segundo intervalo de tiempo t_C se produce una especificación de valor nominal para el par de aproximadamente 40% el par nominal. En un intervalo de tiempo situado a continuación, que se extiende entre aproximadamente 2,5 segundos y 2,7 segundos, se vuelve a conectar un valor nominal de par con el valor cero al convertidor del lado del generador 18. En un intervalo de tiempo situado a continuación, se vuelve a aumentar el valor nominal para el convertidor del lado del generador 18 mediante una función aproximadamente exponencial de nuevo al valor nominal para el par de giro. La función de par de giro representada en la figura 4 depende de los requisitos FRT, tal y como están representados mediante la curva característica tensión-tiempo de la figura 3. Para poder tener mejor en cuenta la función de par de giro de la figura 4 en el módulo de mando, ésta se descompone en dos funciones básicas.

La figura 5 muestra una primera función básica, que describe la trayectoria del par de giro 55 después de producirse el fallo. La primera función básica predefine que el par de giro se reduce en primer lugar al valor de cero, en donde el fallo de red se produce en la figura 5 en el instante $t = 1$ s. Después de aproximadamente 0,3 segundos se aumenta el valor nominal para el par de giro a un valor de aproximadamente 40% el par de giro nominal. Este valor

está almacenado en el módulo de mando de forma parametrizable.

La figura 6 muestra la trayectoria de la segunda función básica como función de par de giro después de producirse el fallo, aproximadamente transcurridos 1,7 segundos con respecto a cuándo se produce el fallo, y establece un aumento de forma parabólica del valor nominal del par de giro hasta la potencia nominal. Cuando se combinan entre sí la primera y la segunda función básica de acuerdo con las figuras 5 y 6 respectivamente, existe la posibilidad de que la función del par de giro controle el par de giro para el caso de fallo como primera función de magnitud de guiado desde el módulo de mando 44 para evitar una separación de la red, o para cumplir con los requisitos detallados de los explotadores de red. La segunda función de magnitud de guiado está dividida como función de corriente para la corriente reactiva al igual que la función de par de giro en dos funciones básicas parametrizables, que se pueden parametrizar conforme a los requisitos FRT y combinarse entre sí.

Las figuras 7a a c muestran el comportamiento global de la instalación de energía eólica en un caso de fallo. En la figura 7a está representada la tensión de red 54, que en el instante de tiempo $t = 1$ s cae durante 0,375 segundos a un valor de 15% la tensión nominal de red. En la figura 7b se puede observar claramente que el par de giro 56 de la instalación de energía eólica se reduce a cero inmediatamente después de producirse el fallo, y se vuelve a incrementar de nuevo transcurridos aproximadamente 0,3 segundos. Con la finalización de la tensión reducida de red se vuelve a reducir el par de giro de la instalación de energía eólica de nuevo a cero para, transcurrida una duración de tiempo definida, elevarse de nuevo al par nominal. Aproximadamente cuatro segundos después de producirse el fallo, la instalación de energía eólica ha alcanzado de nuevo el par nominal. La alimentación de la corriente reactiva de acuerdo con la fig. 7c se produce directamente con la aparición del fallo. En el intervalo de tiempo en el que se vuelve a aumentar el par de giro inicialmente reducido, se alimenta para compensar de una mayor corriente reactiva 58, que se reduce de nuevo a la finalización del fallo.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para el funcionamiento de una instalación de energía eólica con una máquina asíncrona (19) de doble alimentación, que presenta un convertidor (20, 18) en el lado de la red y otro en el lado del generador, que se controlan mediante un mando (32), presentando el procedimiento los siguientes pasos:
- en un modo normal de funcionamiento, los convertidores (20, 18) son controlados por el mando (32) a través de unas magnitudes de guiado para el modo normal de funcionamiento,
- 10 • en un caso de fallo de la red, los convertidores (20, 18) se controlan a través de al menos un módulo de mando (44, 46), que controla (i) el par de giro y/o la potencia activa así como (ii) la corriente reactiva y/o la potencia reactiva a través de unas magnitudes de guiado de tal forma que sólo se produce una separación de la máquina asíncrona (19) de la red (12) cuando la tensión de red queda por debajo de una curva característica tensión-tiempo (48) predeterminada,
- 15 caracterizado porque
- el recorrido de la curva característica tensión-tiempo se fija a través de varios parámetros preseleccionables en el al menos un módulo de mando (44, 46), en donde está prevista al menos una primera función de magnitud de guiado (53) que, en caso de fallo predetermina una magnitud de guiado para el par de giro y/o la potencia activa, y que
- 20 presenta al menos dos funciones básicas, de las cuales una primera función básica (55) determina el valor nominal para el par de giro y/o la potencia activa después de producirse el fallo y una segunda función básica (fig. 6), el valor nominal para el par de giro y/o la potencia activa una vez finalizado el fallo, y está también prevista al menos una segunda función de magnitud de guiado (58) para la corriente reactiva y/o la potencia reactiva, que en caso de fallo predetermina una magnitud de guiado para el mando de al menos uno de los convertidores (20, 18), que presenta al
- 25 menos dos funciones básicas, de las cuales una tercera función básica determina el valor nominal para la potencia reactiva y/o la corriente reactiva después de producirse el fallo y una cuarta función básica, el valor nominal para la potencia reactiva y/o la corriente reactiva una vez finalizado el fallo.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque en caso de fallo se controla el convertidor del lado del generador (18) de acuerdo con la primera función de magnitud de guiado (53).
3. Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado porque en caso de fallo se controla el convertidor (20, 18) del lado de red y/o del lado del generador de acuerdo con la segunda función de magnitud de guiado.
- 35 4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado porque se mide la tensión de red y se detecta una situación de fallo cuando la tensión de red queda por debajo de un umbral de respuesta predeterminado.
- 40 5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque se detecta una situación de fallo cuando una corriente de rotor y/o una tensión de un circuito intermedio crece por encima de un valor límite predeterminado.
6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado porque la primera función básica reduce el valor nominal del par de giro y/o de la potencia activa en un primer intervalo de tiempo, e incrementa el valor nominal en un segundo intervalo de tiempo hasta un valor mínimo predeterminado, que es menor o igual que la tensión nominal o el par nominal de la instalación de energía eólica.
- 45 7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado porque la primera función básica predetermina el valor nominal del par de giro y/o de la potencia activa en función de una tensión de red existente en caso de fallo.
8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la segunda función básica aumenta el valor nominal del par y/o de la potencia de forma creciente a partir de un primer instante de tiempo, hasta que en un segundo instante de tiempo predeterminado el valor nominal se corresponde con el par nominal y/o la potencia nominal de la instalación de energía eólica.
- 55 9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado porque la segunda función de magnitud de guiado predetermina un recorrido en el tiempo del valor nominal para la corriente reactiva y/o la potencia reactiva, cuando la diferencia en valor absoluto entre la tensión nominal de red y la tensión de red durante el fallo es mayor que un valor diferencial predeterminado.
- 60 10. Procedimiento según la reivindicación 9, caracterizado porque la segunda función de magnitud de guiado se determina para el valor nominal de la corriente reactiva en función de la diferencia en valor absoluto entre la tensión nominal de red y la tensión de red durante el fallo.
- 65

11. Procedimiento según la reivindicación 9 ó 10, caracterizado porque el valor nominal máximo para la corriente reactiva está limitado durante el fallo a un valor máximo predeterminado.
12. Instalación de energía eólica con una máquina asíncrona (19) de doble alimentación, que presenta un convertidor (20, 18) en el lado de la red y otro en el lado del generador, y un mando (32) que controla los convertidores a través de valores nominales, caracterizada porque
- están previstos al menos dos módulos de mando (44, 46), de los cuales un primer módulo de mando (44) ofrece una primera función de magnitud de guiado (53) para el mando del convertidor del lado de la red y/o del lado del generador (20, 18) durante una situación de fallo de la red (12),
 - un segundo módulo de mando (46) ofrece una segunda función de magnitud de guiado para el mando del convertidor del lado de la red y/o del lado del generador (20, 18) durante una situación de fallo de la red (12), y
- 15 • el mando presenta un módulo de detección de fallos (40), que libera un mando de los convertidores a través de al menos un módulo de mando (44, 46),
- en donde en los módulos de mando se encuentra almacenada una curva característica tensión-tiempo (48) y los módulos de mando (44, 46) controlan los convertidores (20, 18) de tal forma que sólo se produce una separación de la máquina asíncrona (19) de la red (12) cuando la tensión de red queda por debajo de una curva característica tensión-tiempo (48) predeterminada, y cada módulo de mando presenta varios parámetros preseleccionables que definen la trayectoria de la curva característica tensión-tiempo (48) y/o de las funciones de magnitud de guiado.
13. Instalación de energía eólica según la reivindicación 12, caracterizada porque está previsto un interruptor (42) controlado por el módulo de detección de fallos (40), que separa los convertidores (20, 18) del mando (32) y los conecta con los módulos de mando (44, 46).
14. Instalación de energía eólica según la reivindicación 12 ó 13, caracterizada porque la primera función de magnitud de guiado presenta al menos dos funciones básicas, de las cuales una primera función básica determina el valor nominal para el par de giro y/o la potencia activa después de producirse el fallo, y una segunda función básica, el valor nominal para el par de giro y/o la potencia activa una vez finalizado el fallo.
15. Instalación de energía eólica según cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14, caracterizada porque la segunda función de magnitud de guiado presenta al menos dos funciones básicas, de las cuales una tercera función básica determina el valor nominal para la potencia reactiva y/o para la corriente reactiva después de producirse el fallo, y una cuarta función básica, el valor nominal para la potencia reactiva y/o la corriente reactiva una vez finalizado el fallo.

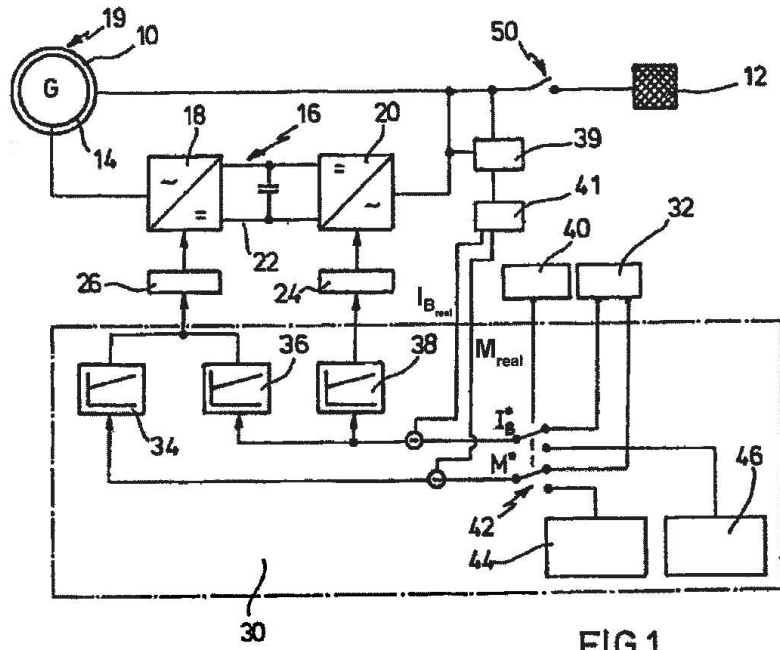


FIG.1

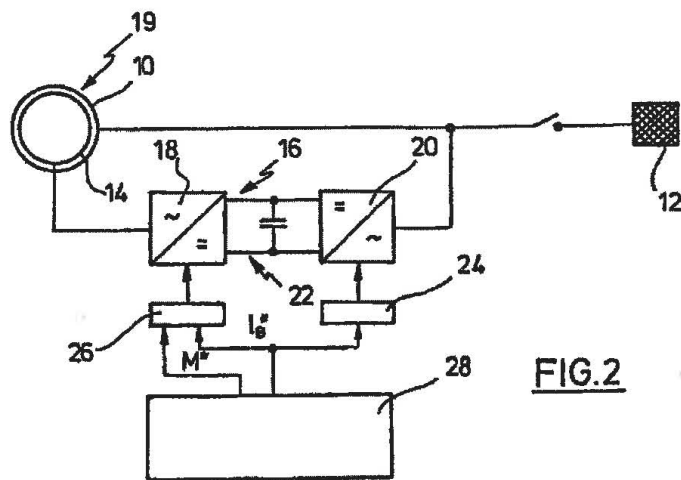


FIG.2

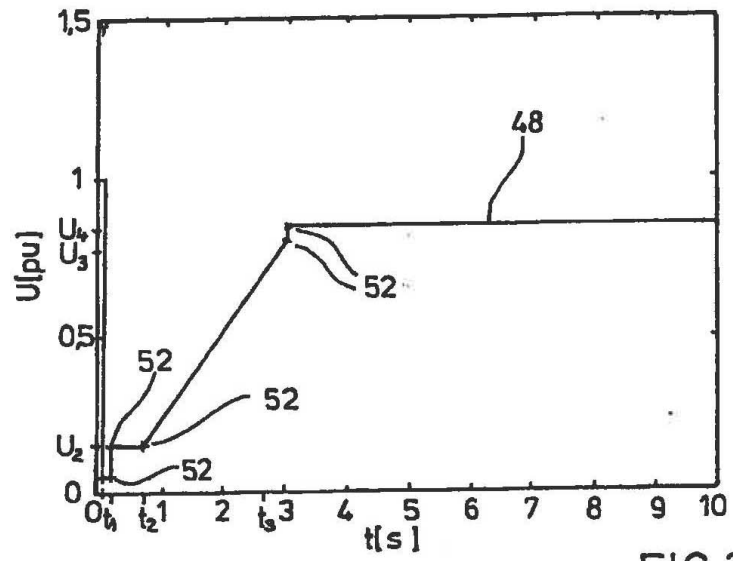


FIG.3

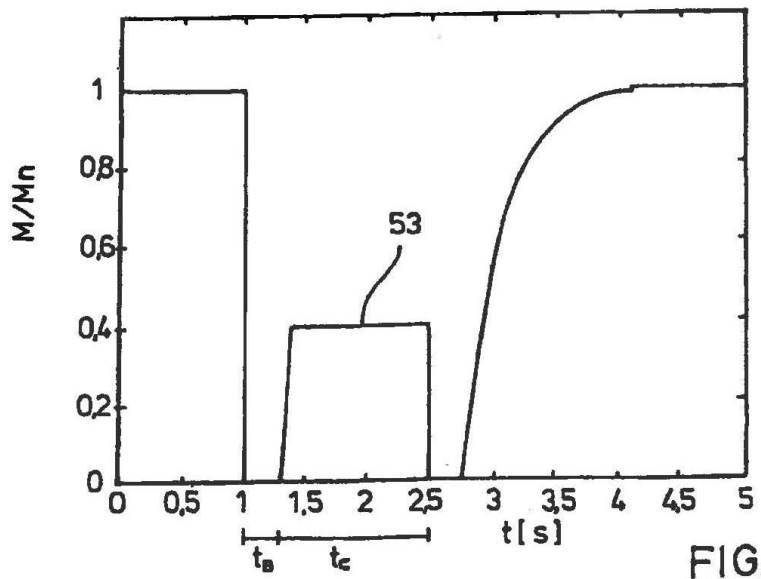


FIG.4

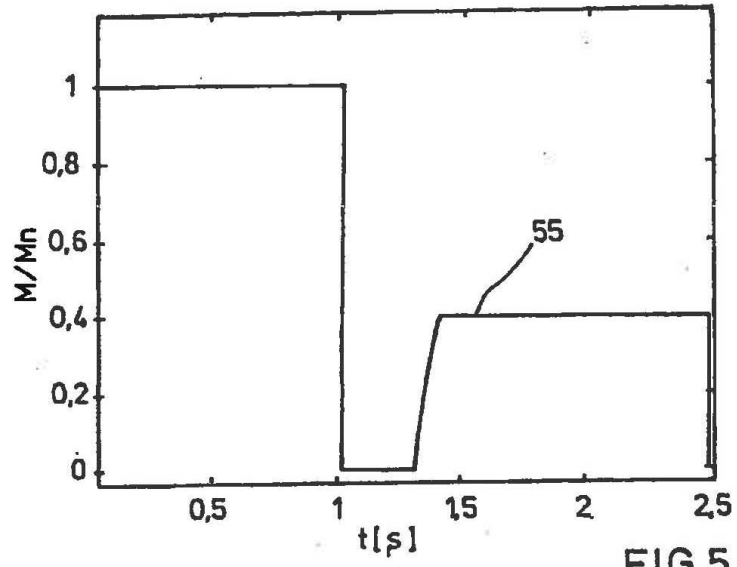


FIG.5

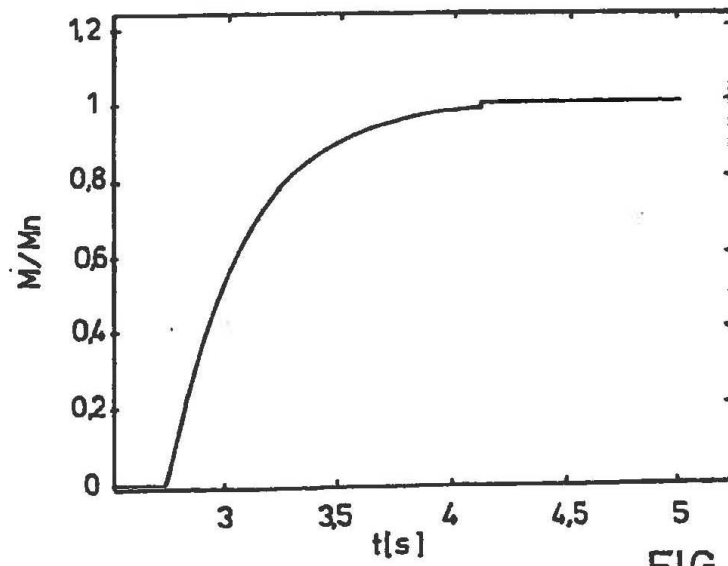


FIG.6

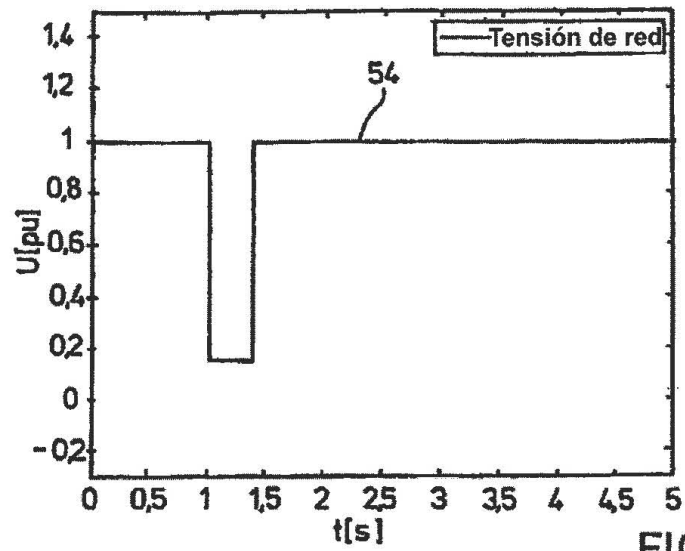


FIG.7a

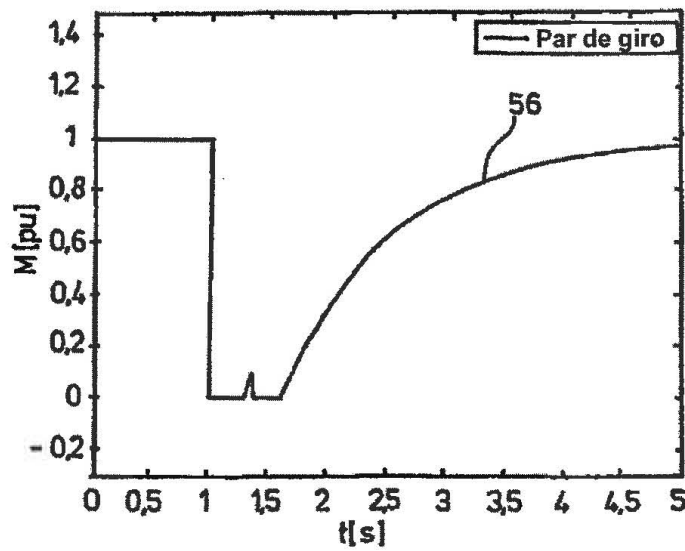


FIG.7b

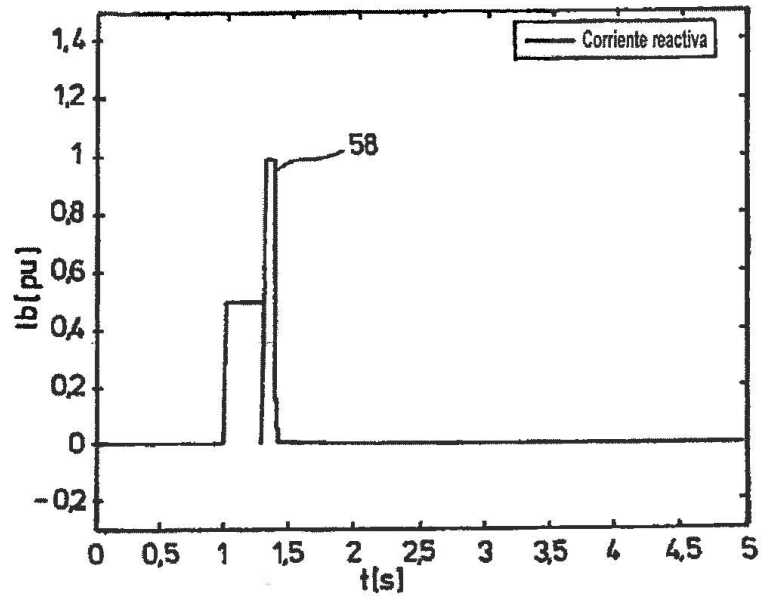


FIG.7c