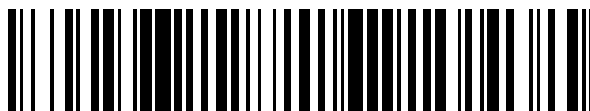


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 705 298**

51 Int. Cl.:

G01R 23/00 (2006.01)

H03H 11/04 (2006.01)

H03L 7/02 (2006.01)

F03D 9/00 (2006.01)

G01R 23/167 (2006.01)

F03D 9/25 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.05.2013** **E 13002335 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.07.2018** **EP 2660613**

54 Título: **Método y modulo para medir la tasa de cambio de frecuencia de las formas de onda relacionadas con las unidades de convertidor de los aerogeneradores**

30 Prioridad:

03.05.2012 ES 201200454

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

22.03.2019

73 Titular/es:

**SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY
INNOVATION & TECHNOLOGY, S.L. (100.0%)
Avenida de la Innovación 9-11
31621 Sarriguren (Navarra), ES**

72 Inventor/es:

JIMÉNEZ BUENDÍA, FRANCISCO

ES 2 705 298 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

Método y modulo para medir la tasa de cambio de frecuencia de las formas de onda relacionadas con las unidades de convertidor de los aerogeneradores.

5

Campo de la invención

La presente invención hace referencia a un método y un módulo de medida de la tasa de cambio de frecuencia de las formas de onda relacionadas con las unidades de convertidor, preferiblemente de los aerogeneradores.

10

Antecedentes de la invención

Los módulos de controlador y los sistemas de las unidades de convertidor de los aerogeneradores requieren un funcionamiento preciso que mantenga un buen tiempo de respuesta.

15

Para medir la tasa de cambio de frecuencia los anteriores documentos sobre la materia describen la medida analógica y la digital. US003032715 describe una medida de frecuencia analógica por CCU con código estructural. GB2159963 describe un sistema de medida basado en el recuento del periodo de la forma de onda de la tensión usado en los relés más avanzados para medir la tasa de cambio de frecuencia.

20

El use de relés para medir parámetros relacionados con frecuencias es bien conocido. En los sistemas eléctricos, un relé de tasa de cambio detecta los cruces por cero de la tensión de un generador. El relé a continuación mide el tiempo entre los cruces por cero y calcula una nueva frecuencia tras cada cruce por cero. En caso de que la frecuencia cambie demasiado el relé se disparara. Este método es, sin embargo, muy sensible al ruido de la forma de onda de la tensión y normalmente requiere varias formas de onda de la tensión para poder determinar una medida. Además, los relés están diseñados conceptualmente para detectar cambios de vector en lugar de la tasa de cambio de las formas de onda.

25

30

Otros métodos conocidos se basan en medidas de frecuencia. Por ejemplo, US2007136013 describe varias medidas de frecuencia que permiten el cálculo de la derivada finita de dichas frecuencias. En este documento se describe un método finito con puntos de medida espaciados en periodos de medio ciclo. Con tales medidas como entradas, el método determina posteriormente la derivada de tiempo restando dos medidas consecutivas y dividiendo el resultado entre la mitad del periodo, o finalmente la inversa del valor de la frecuencia medida.

35

40

Otro método conocido en la técnica consiste en emplear la frecuencia medida por la unidad de convertidor mediante avanzados bucles de enganche de fase (PLL). Dichos bucles de enganche de fase calculan el ángulo y la frecuencia de la forma de onda de la tensión con una precisión correcta. Posteriormente, el método de cálculo de la tasa de cambio de frecuencia (ROCOF) se basara en la derivada de la medida de la frecuencia a partir del PLL de la unidad de control del convertidor. Las consideraciones matemáticas para extraer dichos resultados se basan principalmente en dos métodos, bien calcular la derivada de los valores de frecuencia de la tensión de red mediante diferencias finitas, o bien calcular la segunda derivada de los valores de ángulo de la tensión de red mediante funciones de derivada.

45

50

Documento EP 1 914 419 A1 describe un método para controlar la potencia de salida de una instalación de energía eólica. Documento 5,463,346 describe un filtro pasa-bajo de respuesta rápida.

Al medir la tasa de cambio (ROCOF) el ruido es un problema crítico. Este ruido proviene de la tensión de la red y también de los armónicos de la tensión de la red. Además, la naturaleza derivativa del ROCOF hace que el ruido se amplifique e incluso empeore dicho problema crítico.

5 Por lo tanto, un objeto de la presente invención es proporcionar un método y sistema de medida que sea estable y no se vea afectado por el ruido. Dentro del marco de las estrategias de eliminación de ruido, puede surgir otra serie de problemas, como por ejemplo la discontinuidad de las formas de onda de salida medidas.

10 Las unidades controladoras de los aerogeneradores deben medir la frecuencia y la tasa de frecuencia de las variables, preferiblemente las formas de onda de tensión de las unidades de convertidor de los aerogeneradores. El funcionamiento de dichas unidades controladoras requiere un rápido tiempo de respuesta, normalmente un intervalo de entre 400 y 200 ms o incluso menos. Esto resulta difícil de conseguir si se requiere al mismo tiempo una precisión correcta.

15 En los sistemas de aerogenerador hay un elemento de compensación entre la precisión y el tiempo de respuesta del ROCOF. Estos dos requisitos son por lo general contradictorios porque el aumento de la precisión requiere un filtrado, que también aumenta el tiempo de respuesta.

20 Por consiguiente, es también otro objeto de la presente invención proporcionar un método y módulo de medida que pueda ser preciso y a su vez tener un rápido tiempo de respuesta para controlar la unidad de convertidor de un aerogenerador.

Resumen de la invención

30 Algunos de los objetos y problemas mencionados anteriormente se resuelven mediante un método y módulo de acuerdo con la presente invención. Concretamente, la presente invención describe un método para medir la tasa de cambio de frecuencia de una forma de onda relacionada con una unidad de convertidor de un aerogenerador, dicho método comprende los pasos consistentes en la medida de un valor instantáneo de un valor de frecuencia de dicha forma de onda relacionada con dicha unidad de convertidor, el cálculo de un primer valor filtrado (ROCOF-F1) de dicha tasa de cambio de frecuencia (ROCOF) basado en dicho valor de frecuencia instantáneo, teniendo dicho primer valor filtrado (ROCOF-F1) un error de medida inferior a un primer error de medida predeterminado (DB-ROCOF-F1), teniendo dicho primer valor filtrado (ROCOF-F1) un tiempo de respuesta más lento que un requisito de tiempo de respuesta predeterminado (t_1), y el cálculo de un segundo valor filtrado (ROCOF-F2) de dicha tasa de cambio de frecuencia (ROCOF) basado en dicho valor de frecuencia instantáneo, teniendo dicho segundo valor filtrado (ROCOF-F2) un segundo error de medida (DB-ROCOF-F2) superior a dicho primer error de medida predeterminado (DB-ROCOF-F1), teniendo dicho segundo valor filtrado (ROCOF-F2) un tiempo de respuesta más rápido que dicho requisito de tiempo de respuesta predeterminado (t_1), y el cálculo de un valor de comparación (Comp) entre dicho primer valor filtrado (ROCOF-F1) y dicho segundo valor filtrado (ROCOF-F2), y la determinación de que un valor de salida (ROCOF-CNT) de dicha tasa de cambio medida es cero cuando dicho valor de comparación (Comp) es igual a un nivel de umbral predeterminado, y determinando que un valor de salida (ROCOF-CNT) de dicha tasa de cambio medida está basado en dicho primer valor filtrado (ROCOF-F1) cuando dicho valor de comparación (Comp) se mantiene inferior o se vuelve inferior a un nivel de umbral predeterminado, y la determinación de que dicho valor de salida (ROCOF-CNT) de dicha tasa de cambio medida este basado en dicho segundo valor filtrado (ROCOF-F2) cuando dicho valor de comparación (Comp) se vuelve superior a dicho nivel de umbral predeterminado, en el que dicho umbral

predeterminado se determina en función de dicho segundo error de medida predeterminado (DB-ROCOF-F2).

5 Preferiblemente el paso consistente en calcular un valor de comparación (Comp) incluye el cálculo del valor absoluto (Abs-Comp) de la diferencia entre el primer (ROCOF-F1) y segundo (ROCOF-F2) valor filtrado.

10 Ventajosamente, el método determina que dicho valor de salida (ROCOF-CNT) es cero cuando un valor absoluto de dicho primer valor filtrado (ROCOF-F1) es inferior a dicho primer error de medida predeterminado (DB-ROCOF-F1), y determina que dicho valor de salida (ROCOF-CNT) se convierte en el primer valor filtrado (ROCOF-F1) cuando el valor absoluto de dicho primer valor filtrado (RECOF-F1) se vuelve superior a dicho primer error de medida predeterminado (DB-ROCOF-F1) mientras el valor absoluto (Abs-Comp) de dicha comparación es inferior a dicho umbral predeterminado, y el método determina asimismo que dicho valor de salida (ROCOF-CNT) se convierte en el segundo valor filtrado (ROCOF-F2) cuando dicho valor absoluto (Abs-Comp) de dicha diferencia es superior a dicho umbral predeterminado, y una vez que el valor de salida (ROCOF-CNT) se ha convertido en el segundo valor filtrado (ROCOF-F2), se determine que dicho valor de salida (ROCOF-CNT) es el primer valor filtrado (ROCOF-F1) cuando dicho valor absoluto (Abs-Corn) de dicha diferencia se vuelve inferior a dicho segundo umbral predeterminado.

15 Los valores preferibles para el umbral predeterminado son el segundo error de medida predeterminado (DB-ROCOF-F2) del segundo filtro (F2), y podría encontrarse específicamente entre 0,125 y 0,5 milihercios por segundo.

25 Por otra parte, dicho umbral predeterminado podría corresponder a un valor de histéresis (DB-ROCOF-D2-HYS) que sea preferiblemente el doble del segundo error de medida predeterminado (DB-ROCOF-D2).

30 Además, otros pasos deseables podrían incluir el alisado de los valores de salida medidos (ROCOF-CNT) con una función de filtrado, siendo preferible que la función de filtrado sea una función de filtrado de primer orden. Otras medidas incluyen la limitación de los valores de salida medidos (ROCOF-CNT) mediante un bloque limitador de tasa.

35 Asimismo, el cálculo del primer (ROCOF-F1) y segundo (ROCOF-F2) valor filtrado se realiza preferiblemente mediante un método de promediado o una función de transferencia. En concreto, el método de promediado es preferible para calcular el primer (ROCOF-F1) valor filtrado.

40 Este método se integra preferiblemente en una unidad de controlador de un aerogenerador. Por lo tanto, el método incluye además el envío de dicho valor de salida (ROCOF CNT) de dicha tasa de cambio de frecuencia a un controlador (CNT) de un aerogenerador, y el control de una unidad de convertidor (Converter) de un aerogenerador.

45 La presente invención también describe un módulo para llevar a cabo el método de medida. En términos generales, dicho modulo consta de un circuito para medir un valor instantáneo de la frecuencia de al menos una forma de onda relacionada con dicha unidad de convertidor, un primer filtro (F1) para calcular un primer valor filtrado (ROCOF-F1) de dicha tasa de cambio de frecuencia (ROCOF) basado en dicho valor de frecuencia instantáneo medido, teniendo dicho primer valor filtrado (ROCOF-F1) un error de medida inferior al primer error de medida predeterminado (DB-ROCOF-F1), teniendo dicho primer valor filtrado (ROCOF-F1) un tiempo de respuesta más lento que un requisito de tiempo de respuesta predeterminado (t_1), y un segundo filtro (F2) para calcular un segundo valor filtrado (ROCOF-F2) de dicha tasa de cambio de frecuencia (ROCOF) basado en dicho valor de frecuencia instantáneo, teniendo

5 dicho segundo valor filtrado (ROCOF-F1) un segundo error de medida (DB-ROCOF-F2) superior a dicho primer error de medida predeterminado (DB-ROCOF-F1), teniendo dicho
 10 segundo valor filtrado (ROCOF-F2) un tiempo de respuesta más rápido que dicho requisito de tiempo de respuesta predeterminado (t_1), y un comparador para calcular un valor de comparación (Comp) entre dicho primer valor filtrado (ROCOF-F1) y dicho segundo valor filtrado (ROCOF-F2), y un valor de salida de dicha tasa de cambio (ROCOF-CNT) basado en dicho primer valor filtrado (ROCOF-F1) cuando dicho valor de comparación (Comp) se mantiene inferior o se vuelve inferior a un nivel de umbral predeterminado, y dicho valor de salida de dicha tasa de cambio (ROCOF-CNT) esté basado en dicho segundo valor filtrado (ROCOF-F2) cuando dicho valor de comparación (Comp) se vuelve superior a dicho nivel de umbral predeterminado, y dicho umbral predeterminado está basado en el segundo error de medida predeterminado (DB-ROCOF-F2).

15 Preferiblemente dicho modulo incluye medios de cálculo para determinar el valor absoluto (Abs-Comp) de la diferencia entre el primer (ROCOF-F1) y segundo (ROCOF-F2) valor filtrado. Además, dicho modulo puede constar de medios para limitar o alisar dicho valor de salida (ROCOF-CNT), preferiblemente un limitador duro, un limitador de tasa y/o un filtro de primer orden.

20 Figuras

La Fig.1 muestra una realización de un sistema en el que la tasa de cambio de frecuencia se integra en un controlador de convertidor en el interior de un aerogenerador.

25 La Fig.2 muestra una realización con un diagrama de tiempo de formas de onda correspondientes al primer y segundo valor filtrado, los valores de salida de las medidas de la tasa de cambio, así como el valor absoluto de su diferencia.

30 La Fig.3 muestra una realización de la presente invención con el circuito electrónico preferible para medir la tasa de cambio de frecuencia (ROCOF) de las formas de onda.

Descripción de las realizaciones preferibles

35 La figura 1 muestra un controlador de convertidor de una unidad de convertidor de un aerogenerador. La presente invención está relacionada con aerogeneradores de velocidad variable que están conectados a la red y los efectos de un cambio de frecuencia de la red. Es importante disponer de una medida precisa y rápida de la frecuencia y la tasa de cambio de frecuencia de la tensión de red para poder adaptar el funcionamiento del aerogenerador a la nueva condición de la red.

40 Normalmente los controladores de aerogenerador necesitan las medidas de la frecuencia y de la tasa de frecuencia que muestren un tiempo de respuesta rápido, que generalmente es de 200 ms o inferior. Este requisito de respuesta rápida es un requisito exigente para la unidad de medida incluida en el controlador de convertidor.

45 Una forma de onda de tensión en la unidad de convertidor es la variable preferible que se debe medir. No obstante, se pueden usar otras variables basadas en la intensidad y/u otros parámetros de tensión y potencia.

50 Un método preferible para medir la frecuencia de la forma de onda de tensión de red consiste en usar avanzados bucles de enganche de fase, PLL, en la unidad de convertidor. Dichos PLL se usan para calcular el ángulo y la frecuencia de la onda de tensión. Un controlador de aerogenerador necesitara una medida de frecuencia proporcionada por el PLL. Antes de

enviarla se aplica un filtro de primer orden para minimizar los picos y otro ruido presente en la red y/o el equipo de medida.

5 Posteriormente se puede medir una tasa de cambio de frecuencia instantánea (ROCOF) en función de la derivada de la medida de frecuencia o cualquier otro método adecuado. Dicha derivada se puede calcular preferiblemente mediante diferencias finitas de la frecuencia de tensión de red o calculando segundas derivadas. Sin embargo, como ya se explicó anteriormente, dicha medida instantánea no cumplirá el tiempo de respuesta exigido por el controlador.

10 La presente invención propone el cálculo de dos valores filtrados de la tasa de cambio de frecuencia (ROCOF) necesario. Un primer valor filtrado (ROCOF-F1) usa una función de filtrado que tiene un error de medida inferior al primer error de medida predeterminado (DB-ROCOF-F1), pero al mismo tiempo tiene un tiempo de respuesta más lento que un requisito de tiempo de respuesta predeterminado (t_1), que generalmente se encuentra comprendido en el intervalo entre 200 y 400 milisegundos. Por lo tanto, este primer valor filtrado tiene una precisión mejorada pero no se puede usar si aparecen repentinamente variaciones de la frecuencia de tensión de red.

20 Para solventar esta limitación se usa un segundo valor filtrado (ROCOF-F2). Concretamente, el segundo valor tiene menos precisión pero puede cumplir el requisito de restricción de tiempo. La variable de salida de la medida de ROCOF se selecciona por tanto entre el primer y segundo valor filtrado, normalmente de acuerdo con requisitos de precisión cuando las variaciones de tensión de red son menores. Sin embargo, para variaciones mayores el valor de salida cambiara al segundo valor filtrado (ROCOF-F1). De este modo se garantiza en todo momento el funcionamiento continuo del controlador del aerogenerador.

25 Tanto el primer valor filtrado (ROCOF-F1) como el segundo valor filtrado (ROCOF-F2) se pueden calcular mediante métodos de promediado o funciones de transferencia. El método de promediado es preferible para el primer valor filtrado debido a su inherente gran precisión y bajo tiempo de respuesta. Este método se basa en el promediado de la frecuencia durante un periodo de tiempo y el cálculo de un valor de tasa de cambio (ROCOF) como diferencias finitas de dos valores de frecuencia promediada.

35 A modo de ejemplo, el método preferiblemente calcula los promedios de frecuencia de los últimos ΔT_1 milisegundos (por ejemplo los últimos 200 ms) y almacena dichos promedios. A continuación, después de ΔT_2 (por ejemplo 1000 ms) el promedio de 200 ms calculado entre $t - \Delta T_2$ y $t - \Delta T_2 - \Delta T_1$ T y el promedio calculado entre t y $t - \Delta T_1$ se usan en la fórmula de diferencia finita:

40

$$\frac{df}{dt} = \frac{\sum_t^{t-\Delta t_1} f(t) - \sum_{t-\Delta t_2}^{t-\Delta t_2-\Delta t_1} f(t)}{\Delta t_2}$$

donde Δt_2 debe ser $\Delta t_2 \geq \Delta t_1$ ya que el periodo de la derivada debe ser siempre mayor que el promedio para evitar cálculos erróneos.

45 Esta fórmula se puede simplificar y comprender mejor cuando $\Delta t_2 = \Delta t_1$. La fórmula adopta la siguiente forma:

$$\frac{df}{dt} = \frac{\sum_t^{t-\Delta t_1} f(t) - \sum_{t-\Delta t_1}^{t-2\Delta t_2} f(t)}{\Delta t_1}$$

5 Como ya se mencionó, se puede usar una función de transferencia para modelar cualquiera de los dos filtros ya que el ajuste de los parámetros puede lograr una buena precisión y un tiempo de subida bajo o, viceversa, un tiempo de subida bajo o poca precisión y un tiempo de subida menor.

10 Una función de transferencia de derivadas preferible tiene un denominador de segundo orden de modo que su ganancia para los componentes de frecuencia de señal a infinito sea cero. Esto significa que funciona inherentemente como un filtro de paso bajo o atenuador, y por lo tanto el ruido no se amplifica. A su vez, el sistema es estable. La función de transferencia se puede expresar mediante las siguientes ecuaciones:

$$\frac{k_1 \cdot S}{S^2 + k_2 \cdot S + k_3} \text{ o } \frac{GS}{S^2 + 2\xi\omega_n S + \omega_n^2}$$

15 Dichas formas se usan como filtros de paso bajo de derivada, en los que

20 G es la ganancia, ξ (geta) es un factor de amortiguación y ω_n es la frecuencia natural de oscilación.

25 Si se ajustan los valores k (o ξ y ω_n para la ecuación correspondiente) se puede obtener un tiempo de respuesta diferente y errores de ruido. Cuanto menor sea el tiempo de respuesta mayor será la cancelación de ruido. Es preferible ajustar los valores k para evitar la inestabilidad del sistema: se calcula la potencia extra de acuerdo con las mediciones ROCOF y esta potencia extra también cambia la frecuencia y ROCOF. Este acoplamiento puede provocar la inestabilidad de la frecuencia si los factores k no se ajustan adecuadamente.

30 Por lo tanto, las funciones de transferencia, comparadas con el use de métodos de promediado, se consideran más estables por naturaleza debido a su filtrado de paso bajo del ruido. Además, este método es eficaz computacionalmente porque tiene que almacenar un menor número de variables en la memoria.

35 Para conseguir una función de transferencia de primer filtro (F1) para dicho primer valor filtrado (ROCOF-F1), los parámetros preferibles incluyen un valor bajo de ω_n y un valor alto de ξ .

Al contrario, un segundo valor filtrado (ROCOF-F2) tiene un valor alto de ω_n y un valor bajo de ξ .

40 La Figura 2 muestra la evolución temporal de varias variables importantes para comprender la invención. Se puede ver que el primer valor filtrado (ROCOF-F1) no muestra ondulaciones y tiene una forma general suave. Los cambios repentinos de tensión de red no van a ser seguidos por la intensidad, independientemente de lo preciso que sea su estado final.

45 Las variaciones rápidas de dicha tensión de red pueden ser seguidas por el segundo filtro (ROCOF F2). La forma general de esta curva muestra las ondulaciones de variaciones repentinas. Su inconveniente principal es su limitada precisión de medida.

La curva superior de la figura 2, marcada como Abs (ROCOF-F1 menos ROCOF-F2) muestra el valor absoluto de dichas diferencias. La curva presenta tres regiones. Una primera sección

(21) de esta curva ocurre cuando el valor absoluto del primer valor filtrado es inferior a un error de medida (DB) de dicho primer filtro. DB también se denomina banda muerta de medida y debería ser mayor que la precisión (ruido) del primer filtro (F1). El valor de salida de la tasa de cambio de frecuencia (ROCOF) se identifica entonces como cero.

5

Si $|ROCOF_{F1}| \leq DB_{ROCOF_F1}$, entonces $ROCOF_{CNT} = 0$

Se alcanza una segunda sección (22) cuando un valor de comparación entre el primer y segundo valor filtrado, preferiblemente el valor absoluto de su diferencia, alcanza un valor o nivel de umbral predeterminado. Dicho umbral se define mediante la precisión del segundo filtro (DB-ROCOF-F2) o un valor de histéresis del mismo. El valor de histéresis normalmente es el doble del valor del error de medida del segundo filtro.

10

Una vez alcanzado el umbral, se selecciona el segundo valor filtrado (ROCOF-F2) como el valor de salida (ROCOF-CNT).

15

Si $|ROCOF_{F1} - ROCOF_{F2}| > DB_{ROCOF_F2_hys}$ entonces $ROCOF_{CNT} = ROCOF_{F2}$

Esto permite un tiempo de respuesta (t1) de acuerdo con los requisitos del controlador del aerogenerador, aunque renunciando en cierta medida a la precisión.

20

La segunda sección llega a su fin una vez que el valor de comparación calculado, es decir el valor absoluto preferible de la diferencia, llega a ser menor que la banda muerta del segundo filtro incluida la histéresis.

25

Si $ROCOF_{CNT} = ROCOF_{F2}$ y $|ROCOF_{F1} - ROCOF_{F2}| < DB_{ROCOF_F2}$

entonces $ROCOF_{CNT} = ROCOF_{F1}$

Por último, la tercera sección (23) de la curva genera el primer valor filtrado (ROCOF-F1) de nuevo.

30

La Figura 3 muestra un circuito electrónico preferible para llevar a cabo el método de acuerdo con la presente invención.

35

Una unidad de primera etapa (31) lleva a cabo la medida de la tasa de cambio de frecuencia (ROCOF) de dos pasos, preferiblemente mediante histéresis. Las entradas de dicha primera unidad (31) son los valores de dicho primer y segundo valor filtrado. Se calcula su diferencia, mediante medios analógicos o digitales, siendo la salida un valor absoluto (Abs-Comp) de dicha comparación. Esta señal constituye posteriormente una entrada a una siguiente etapa de comparadores. Dichos comparadores tienen valores de umbral predeterminados, siendo estos el error de medida predeterminado del segundo filtro (ROCOF-F2-DB), normalmente 0,125 mHz, y un valor de histéresis relacionado con los mismos, normalmente 0,25 mHz. Dicho valor de histéresis se establece preferiblemente al doble del error de medida del segundo filtro. La salida de dichos dos comparadores se procesa lógicamente, preferiblemente mediante los operadores lógicos AND y/u OR. Dichos operadores pueden, a su vez, ser implementados mediante arquitecturas eléctricas o electrónicas secuenciales y/o de realimentación. De este modo se controla un selector condicional. Dicho selector preferiblemente selecciona el primer o segundo valor filtrado. Esta selección consiste principalmente en los valores directos del filtro seleccionado, pero también puede tener un factor de multiplicación, por ejemplo una constante, o cualquier otra manipulación adecuada. Esta salida puede ser el valor de salida total, es decir

40

45

50

el valor de salida (ROCOF-CNT) que se envía al controlador del aerogenerador. No obstante, se pueden añadir otras etapas para obtener una señal con menos ruido.

5 Por lo tanto, la señal de salida correspondiente a la unidad de primera etapa (31) puede ser la entrada de una unidad de segunda etapa opcional (32). Dicha unidad (32) considerará la aplicación de la primera banda muerta (DB) del primer filtro (F1). De nuevo, su implementación preferible adopta la forma de un operador de valor absoluto en combinación con un comparador. El valor de referencia de dicho comparador es el error de medida predeterminado de dicho primer filtro. Su valor es preferiblemente 0,125 mHz o inferior. La señal de salida de 10 los valores por debajo de ese error de medida se considerará cero.

15 Se puede añadir como opción una tercera etapa (33) para considerar la banca muerta de la tasa de cambio de frecuencia de acuerdo con el valor de frecuencia. En Europa se usa una frecuencia nominal de 50 Hz, mientras que los valores en Estados Unidos y otros países llegan a los 60 Hz. Son posibles otros valores dependiendo de la frecuencia nominal del sistema.

20 Se añade una cuarta unidad de etapa opcional (34) como limitador duro y se puede implementar en condiciones favorables como filtro de saturación. Además, también se puede añadir una quinta etapa opcional (35) como limitador de tasa para limitar la tasa de cambio de las medidas en caso de un cambio brusco entre el primer y segundo valor filtrado. También se reducirán al mínimo los cambios repentinos a cero debidos a bandas muertas de frecuencia y ROCOF.

25 Por último, se puede añadir una sexta etapa opcional (36) para suavizar cualquier transición, como con el limitador de tasa. Esta etapa se puede implementar como una función de transferencia de primer orden.

30 Las figuras y reivindicaciones se consideran ejemplos preferibles con fines ilustrativos. La invención se define por el ámbito de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Método para medir la tasa de cambio de frecuencia (ROCOF-CNT) de una forma de onda relacionada con una unidad de convertidor de un aerogenerador, método que consta de los siguientes pasos:
- 5 - medir un valor de frecuencia instantáneo de dicha forma de onda relacionada con dicha unidad de convertidor,
 - 10 - calcular un primer valor filtrado (ROCOF-F1) de una tasa de cambio de frecuencia (ROCOF) basado en dicho valor de frecuencia instantáneo, teniendo dicho primer valor filtrado (ROCOF-F1) un error de medida inferior al primer error de medida predeterminado (DB-ROCOF-F1), teniendo dicho primer valor filtrado (ROCOF-F1) un tiempo de respuesta más lento que un requisito de tiempo de respuesta predeterminado (t_1),
 - 15 - calcular un segundo valor filtrado (ROCOF-F2) de dicha tasa de cambio de frecuencia (ROCOF) basado en dicho valor de frecuencia instantáneo, teniendo dicho segundo valor filtrado (ROCOF-F2) un segundo error de medida (DB-ROCOF-F2) superior a dicho primer error de medida predeterminado (DB-ROCOF-F1), teniendo dicho segundo valor filtrado (ROCOF-F2) un tiempo de respuesta más rápido que dicho requisito de tiempo de respuesta predeterminado (t_1), y
 - 20 - calcular un valor de comparación (Comp) entre dicho primer valor filtrado (ROCOF-F1) y dicho segundo valor filtrado (ROCOF-F2), y
 - 25 - determinar que un valor de salida (ROCOF-CNT) de dicha tasa de cambio medida es cero cuando dicho valor de comparación (Comp) es igual a un nivel de umbral predeterminado, y
 - 30 - determinar que un valor de salida (ROCOF-CNT) de dicha tasa de cambio medida está basado en dicho primer valor filtrado (ROCOF-F1) cuando dicho valor de comparación (Comp) se mantiene inferior o se vuelve inferior a un nivel de umbral predeterminado, y
 - 35 - determinar que dicho valor de salida (ROCOF-CNT) de dicha tasa de cambio medido está basado en dicho segundo valor filtrado (ROCOF-F2) cuando dicho valor de comparación (Comp) se vuelve superior a dicho nivel de umbral predeterminado, en el que
 - dicho umbral predeterminado se determina en función de dicho segundo error de medida predeterminado (DB-ROCOF-F2).
2. Método para medir la tasa de cambio de frecuencia (ROCOF-CNT) de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque en el paso para calcular un valor de comparación (Comp) incluye calcular el valor absoluto (Abs-Comp) de la diferencia entre el primer (ROCOF-F1) y segundo (ROCOF-F2) valor filtrado.
3. Método para medir la tasa de cambio de frecuencia (ROCOF-CNT) de acuerdo con la reivindicación 2, caracterizado porque el método comprende:
- 45 - determinar que dicho valor de salida (ROCOF-CNT) es cero cuando un valor absoluto de dicho primer valor filtrado (ROCOF-F1) es inferior a dicho primer error de medida predeterminado (DB-ROCOF-F1),
 - 50 -determinar que dicho valor de salida (ROCOF-CNT) se convierte en el primer valor filtrado (ROCOF-F1) cuando el valor absoluto de dicho primer valor filtrado (RECOF-F1) se vuelve

superior a dicho primer error de medida predeterminado (DB-ROCOF-F1) mientras el valor absoluto (Abs-Comp) de dicha comparación es inferior a dicho umbral predeterminado,

y

5 - determinar que dicho valor de salida (ROCOF-CNT) se convierte en el segundo valor filtrado (ROCOF-F2) cuando dicho valor absoluto (Abs-Comp) de dicha diferencia es superior a dicho umbral predeterminado,

10 y

15 - una vez que el valor de salida (ROCOF-CNT) se ha convertido en el segundo valor filtrado (ROCOF-F2), determinar que dicho valor de salida (ROCOF-CNT) es el primer valor filtrado (ROCOF-F1) cuando dicho valor absoluto (Abs-Com) de dicha diferencia se vuelve inferior a dicho segundo umbral predeterminado.

20 4. Método para medir la tasa de cambio de frecuencia (ROCOF-CNT) de acuerdo con cualesquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque en dicho umbral predeterminado es el segundo error de medida predeterminado (DB-ROCOF-F2) del segundo filtro (F2), estando preferiblemente comprendido entre 0,125 y 0,5 milihertzios/s.

25 5. Método para medir la tasa de cambio de frecuencia (ROCOF-CNT) de acuerdo con cualesquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque en dicho umbral predeterminado corresponde a un valor de histéresis (DB-ROCOF-D2-HYS), siendo preferiblemente el doble del segundo error de medida predeterminado (DB-ROCOF-D2).

30 6. Método para medir la tasa de cambio de frecuencia (ROCOF-CNT) de acuerdo con la reivindicación 2, caracterizado porque el método consiste en alisar los valores de salida medidos (ROCOF-CNT) mediante una función de filtrado, siendo dicha función de filtrado preferiblemente una función de filtrado de primer orden.

35 7. Método para medir la tasa de cambio de frecuencia (ROCOF-CNT) de acuerdo con la reivindicación 2, caracterizado porque el método consiste en limitar los valores de salida medidos (ROCOF-CNT) mediante un bloque limitador de tasa.

40 8. Método de medida de la tasa de cambio de frecuencia (ROCOF-CNT) de acuerdo con la reivindicación 2, caracterizado porque el método consiste en calcular dicho primer (ROCOF-F1) y segundo (ROCOF-F2) valor filtrado usando al menos un método de promediado o una función de transferencia.

45 9. Método de medida de la tasa de cambio de frecuencia (ROCOF-CNT) de acuerdo con la reivindicación 8, caracterizado porque el método consiste en calcular dicho primer valor filtrado (ROCOF-F1) mediante un método de promediado.

50 10. Método de control de una unidad de convertidor de un aerogenerador, caracterizado porque el método comprende los pasos de

- medir la tasa de cambio de frecuencia (ROCOF-CNT) de acuerdo con la reivindicación 1, y

- enviar dicho valor de salida (ROCOF CNT) de dicha tasa de cambio de frecuencia a un controlador (CNT) de un aerogenerador, y

- controlar una unidad de convertidor (Converter) de un aerogenerador.

11. Módulo para medir la tasa de cambio de frecuencia (ROCOF-CNT) de una forma de onda relacionada con una unidad de convertidor de un aerogenerador, el módulo comprende:

5 - un circuito para medir un valor instantáneo de un valor de frecuencia de dicha forma de onda relacionada con dicha unidad de convertidor,

caracterizado porque el módulo comprende además:

10 - un primer filtro (F1) para calcular un primer valor filtrado (ROCOF-F1) de dicha tasa de cambio de frecuencia basado en dicho valor de frecuencia medido, teniendo dicho primer valor filtrado (ROCOF-F1) un error de medida inferior al primer error de medida predeterminado (DB-ROCOF-F1), teniendo dicho primer valor filtrado (ROCOF-F1) un tiempo de respuesta más lento que un requisito de tiempo de respuesta predeterminado (t_1),

15 - un segundo filtro (F2) para calcular un segundo valor filtrado (ROCOF-F2) de dicha tasa de cambio de frecuencia (ROCOF) basado en dicho valor de frecuencia instantáneo medido, teniendo dicho segundo valor filtrado (ROCOF-F2) un segundo error de medida (DB-ROCOF-F2) superior a dicho primer error de medida predeterminado (DB-ROCOF-F1), teniendo dicho segundo valor filtrado (ROCOF-F2) un tiempo de respuesta más rápido que dicho requisito de tiempo de respuesta predeterminado (t_1), y

20 - un comparador para calcular un valor de comparación (Comp) entre dicho primer valor filtrado (ROCOF-F1) y dicho segundo valor filtrado (ROCOF-F2), donde

25 - un valor de salida de dicha tasa de cambio (ROCOF-CNT) es cero cuando dicho valor de comparación (Comp) es igual a un nivel de umbral predeterminado, y

30 - un valor de salida de dicha tasa de cambio (ROCOF-CNT) está basado en dicho primer valor filtrado (ROCOF-F1) cuando dicho valor de comparación (Comp) se mantiene inferior o se vuelve inferior a un nivel de umbral predeterminado, y

35 - un valor de salida de dicha tasa de cambio (ROCOF-CNT) está basado en dicho segundo valor filtrado (ROCOF-F2) cuando dicho valor de comparación (Comp) se vuelve superior a dicho nivel de umbral predeterminado, dicho umbral predeterminado siendo basado en el segundo error de medida predeterminado (DB-ROCOF-F2).

40 12. Módulo para medir la tasa de cambio de frecuencia (ROCOF-CNT) de acuerdo con la reivindicación 11, caracterizado porque dicho comparador incluye medios de cálculo para determinar el valor absoluto (Abs-Comp) de la diferencia entre el primer (ROCOF-F1) y segundo (ROCOF-F2) valor filtrado.

45 13. Módulo para medir la tasa de cambio de frecuencia (ROCOF-CNT) de acuerdo con la reivindicación 11, caracterizado porque dicho módulo incluye medios para limitar o alisar dicho valor de salida (ROCOF-CNT).

14. Módulo para medir la tasa de cambio de frecuencia (ROCOF-CNT) de acuerdo con la reivindicación 13, caracterizado porque dichos medios para limitar o alisar son un limitador duro, un limitador de tasa y/o un filtro de primer orden.

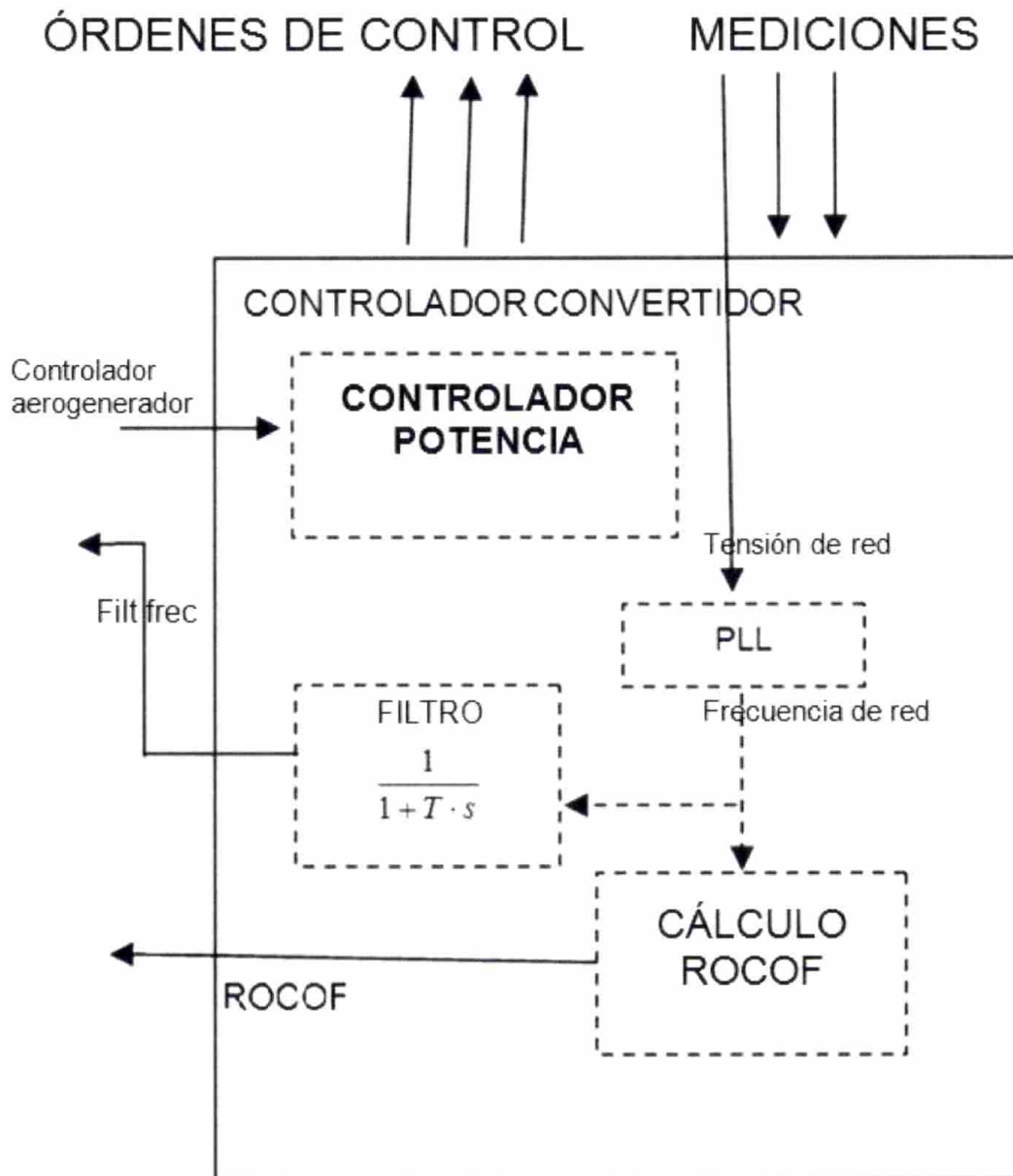


Figura 1

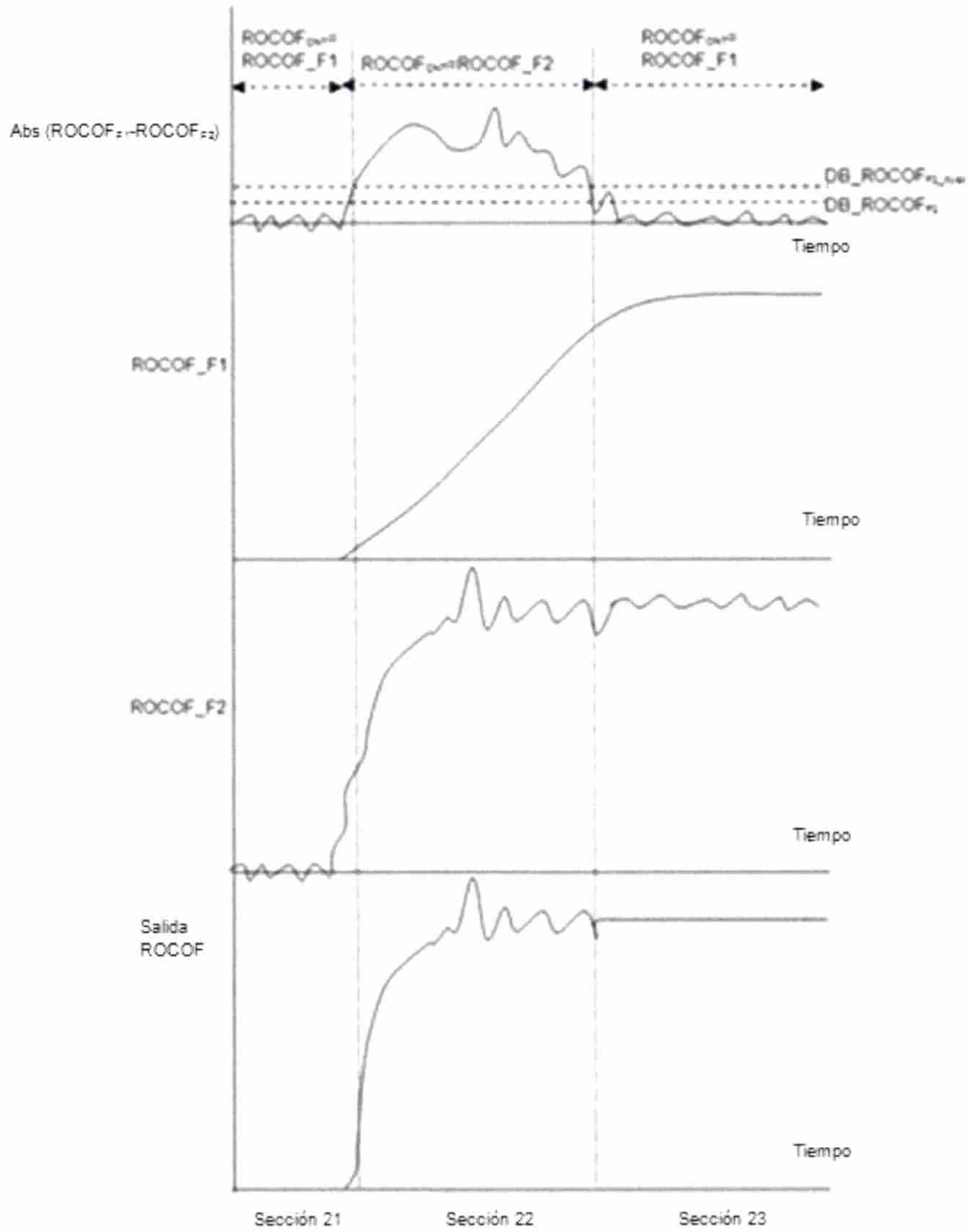


Figura 2

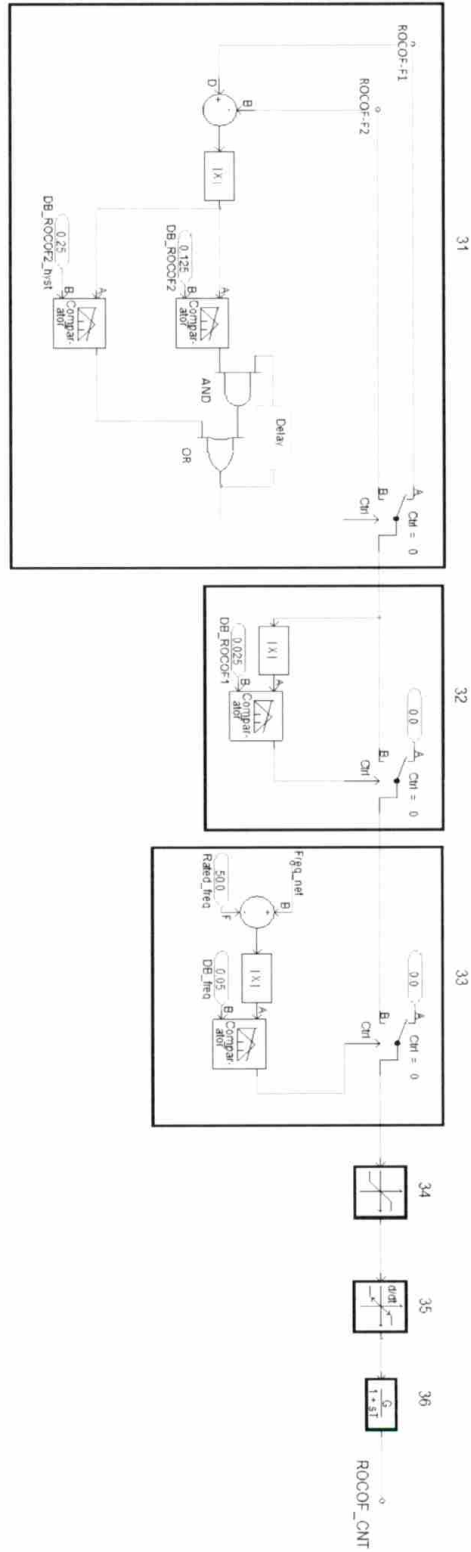


Figura 3