

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 642 670**

51 Int. Cl.:

F03D 1/00 (2006.01)

G05B 23/02 (2006.01)

F03D 17/00 (2006.01)

F03D 80/50 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.01.2012 PCT/DK2012/050017**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.07.2012 WO12097819**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.01.2012 E 12701433 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.09.2017 EP 2665925**

54 Título: **Un método para supervisión de diagnóstico de un sistema de generador de turbina eólica**

30 Prioridad:

20.01.2011 DK 201170031
25.01.2011 US 201161435953 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
17.11.2017

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

CAO, SHU YU;
LI, BING;
TRIPATHI, ANSHUMAN;
THIA, HOCK HENG;
MOHAMED ARIF, RASOOL BEEVI D-O y
ANG, KHENG HONG

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 642 670 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

Un método para supervisión de diagnóstico de un sistema de generador de turbina eólica

5 La presente invención se refiere a un método para supervisión de diagnóstico de un sistema de generador de turbina eólica.

10 Un sistema de generador de turbina eólica comprende típicamente un generador, un tren de accionamiento entre un rotor y el generador y un cierto número de sensores para proporcionar señales de supervisión usadas entre otros para controlar el generador de la turbina eólica.

15 Como todos los otros sistemas, los generadores de turbina eólica experimentan ocasionalmente deficiencias y fallos de varias partes, algunos fallos son menores y permiten que el sistema de generador de turbina eólica continúe funcionando. Dichos fallos menores pueden sin embargo permanecer sin detectar a lo largo del tiempo y crecer hasta provocar un fallo mayor provocando una parada no planificada del sistema de generador de turbina eólica.

20 De acuerdo con un estudio estadístico de la industria eólica, el 14,1 % de los fallos en sistemas de generador de turbina eólica es provocado por fallos de los sensores, el 12,9 % de los fallos es provocado por fallos del sistema de control, el 5,5 % de los fallos es provocado por defectos del generador, y el 9,8 % de los fallos es provocado por fallos en la caja de engranajes. Mucho se ahorraría si algunos de estos fallos pudieran predecirse antes de que la situación llegue a ser peor y conduzca finalmente a un fallo grave del sistema eléctrico y mecánico y parada de la turbina.

25 El ensayo de las máquinas eléctricas no es nuevo en sí mismo. Como un ejemplo, el documento WO-A-2010/039153 divulga un sistema portátil para ensayos de máquinas eléctricas de fuerza motriz multifase. El documento WO-A-2010/039153, sin embargo, no se ocupa del tren de accionamiento mecánico entre el rotor y el generador.

30 El documento US2007/0140847 muestra un método para supervisión de diagnóstico de un sistema de generador de turbina eólica de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1.

35 Basándose en esto, es el objetivo de la presente invención proporcionar un método mejorado para supervisión del sistema de generador de turbina eólica para detectar defectos en una etapa temprana, permitiendo que estos se reparen antes de unas paradas de turbina no planificadas, por ejemplo, en el mantenimiento planificado.

De acuerdo con un primer aspecto de la invención, este objeto se consigue mediante un método para supervisión de diagnóstico de un sistema de generador de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 1.

40 Esta selección de señales ya usada por el sistema de control permite la supervisión continua por parte del sistema de control del sistema de generador de turbina eólica con finalidades de diagnóstico. En particular, la selección de las señales permite que se discriminen señales indicativas de diferentes defectos, de modo que por ejemplo, se detecten y localicen detectores defectuosos, defectos en el tren de accionamiento y defectos en el generador. Dicha detección y localización permite así que se realicen reparaciones rápida y eficientemente en el siguiente mantenimiento planificado, o, si es necesario, incluso planificando de nuevo el mantenimiento a una fecha anterior.

45 De acuerdo con una primera realización preferida del primer aspecto de la invención, el conjunto de señales es un conjunto de señales que comprende componentes de alta frecuencia, y el método comprende adicionalmente la obtención de un conjunto acondicionado de señales mediante un filtrado de paso alto del conjunto de señales y la evaluación del conjunto de señales acondicionado mediante la comparación del conjunto de señales acondicionado con valores de referencia para determinar un defecto y la localización del defecto. En particular, el conjunto de señales comprende señales elegidas para permitir la determinación de un defecto en uno cualquiera de un sensor de corriente del generador y un sistema de control que supervisa la operación del generador a alta frecuencia. El acondicionamiento de las señales por el filtrado de paso alto ayuda a la detección, discriminación y localización de defectos en el sensor de corriente del generador y defectos en alta frecuencia de mal rendimiento del generador.

50 De acuerdo con una realización preferida adicional, el conjunto de señales es un conjunto de señales que comprende componentes de baja frecuencia, y el método comprende adicionalmente la obtención de un conjunto acondicionado de señales mediante un filtrado de paso bajo del conjunto de señales y la evaluación del conjunto de señales acondicionado mediante la comparación del conjunto de señales acondicionado con valores de referencia para determinar un defecto y la localización del defecto. En particular, el conjunto de señales comprende señales elegidas para permitir la determinación de un defecto en uno cualquiera de entre una característica de operación del tren de accionamiento y un sistema de control que supervisa la operación del generador en baja frecuencia. El acondicionamiento de las señales por el filtrado de paso bajo ayuda a la detección, discriminación y localización de defectos en el tren de accionamiento y defectos en baja frecuencia de mal rendimiento del generador. De acuerdo con otra realización preferida del primer aspecto de la invención, se reduce el muestreo de las señales filtradas de paso bajo antes de la evaluación. La reducción del muestreo permite la recolección y almacenamiento de datos a lo

largo de un periodo de tiempo más largo, para aceptar y mantener la información acerca del rendimiento dinámico mecánico relativamente lento del tren de accionamiento.

5 De acuerdo con una realización preferida adicional, el conjunto de señales es un conjunto de señales que comprende características eléctricas del estator del generador, y el método comprende adicionalmente la obtención de un conjunto acondicionado de señales mediante la formación de una media móvil del conjunto de señales y evaluación del conjunto de señales acondicionado mediante la comparación del conjunto de señales acondicionado con valores de referencia para determinar un defecto y la localización del defecto. Esto permite la detección de cambios de parámetros tales como devanados cortocircuitados o deterioro de la intensidad magnética. De acuerdo con otra realización preferida más del primer aspecto de la invención, se reduce el muestreo de los valores de media móvil del conjunto de señales antes de la evaluación. También en este caso la reducción del muestreo permite la recogida y almacenamiento de datos a lo largo de un periodo de un tiempo más largo.

15 De acuerdo con una realización preferida adicional, se reciben múltiples conjuntos de señales desde dichos sensores, siendo evaluado por separado cada conjunto de señales en la determinación de un defecto. Esto permite la evaluación de una manera progresiva o, si está disponible suficiente potencia de ordenador, la evaluación en paralelo.

20 De acuerdo con una realización preferida, los valores de referencia son valores deducidos en ensayos de puesta en servicio y se almacenan en una tabla de búsqueda. La tabulación de valores de referencia a todo lo largo del intervalo operativo del generador de la turbina eólica previamente a la puesta en servicio permite un acceso fácil y rápido al valor de referencia con muy pequeño coste en términos de potencia de cálculo del ordenador.

25 De acuerdo con una realización preferida alternativa, el método comprende adicionalmente recibir las señales de referencia desde una emulación de al menos una parte del sistema de generación de turbina eólica. En particular, la emulación es una emulación en tiempo real del sistema de control del generador. Si hay disponible suficiente potencia de cálculo, esto permite al sistema de control emular al sistema de generador de turbina eólica, en particular en tiempo real, evitando así la ejecución de ensayos que requieren tiempo, por ejemplo durante la puesta en servicio del sistema de generador de turbina eólica.

30 De acuerdo con una realización preferida adicional, la emulación del generador se lleva a cabo con los mismos parámetros operativos que el generador. Mediante el uso de los mismos parámetros operativos en la emulación, puede obtenerse valores de referencia buenos y útiles.

35 De acuerdo con una realización preferida adicional, la evaluación se basa en la desviación típica del conjunto de señales bajo evaluación con respecto a los valores de referencia. El uso de la desviación típica es un eficiente análisis estadístico para la detección de desviaciones respecto a una norma.

40 De acuerdo con un segundo aspecto de la invención, el objeto se consigue mediante la provisión de un sistema de control para un sistema de generador de turbina eólica que comprende un medio de procesamiento de datos y adaptado para ejecutar el método descrito anteriormente.

45 El uso del sistema de control en sí es ventajoso debido a que permite una implementación eficiente del método de diagnóstico, beneficiándose del hecho de que todas las señales en las que se basa el método de diagnóstico ya son parte de las señales usadas por el control, y por ello fácilmente disponibles. Al mismo tiempo el método de diagnóstico puede implementarse para ejecutarse y utilizar el mismo hardware que el usado para el control, reduciendo así la necesidad de hardware adicional.

50 De acuerdo con un tercer aspecto de la invención, se proporciona un producto de programa informático para llevar a cabo el método, cuando dicho producto de programa informático se ejecuta en un medio de procesamiento de datos, tal como un ordenador.

55 Se describirá ahora la invención con mayor detalle con el uso de realizaciones de ejemplo no limitativas y con referencia a los dibujos, en los que:

la Fig. 1 es un diagrama de bloques que muestra esquemáticamente el sistema de control para un sistema de generador de turbina eólica,
 la Fig. 2 es un diagrama de flujo de una supervisión de diagnóstico de acuerdo con la invención,
 la Fig. 3 es un diagrama de bloques que muestra entradas y salidas para el cálculo de señales de la supervisión de diagnóstico de la invención,
 la Fig. 4 es un diagrama de flujo de un procedimiento de medición para el establecimiento de una tabla de búsqueda para el uso en la presente invención, y
 la Fig. 5 es un diagrama de bloques que muestra un sistema de emulación del generador para el uso en la presente invención.

65

El diagrama de bloques de la Fig. 1 muestra esquemáticamente un sistema de control para un sistema de generador de turbina eólica. El sistema de generador de turbina eólica comprende un generador 1 que suministra energía a una línea eléctrica 2 de una red eléctrica a través de un convertidor CA/CC 3 y un convertidor CC/CA 4. El generador es de un tipo de imán permanente interior o IPM. En otras realizaciones, puede estar presente un generador de imanes permanentes de montaje superficial o un generador de inducción.

El sistema de control recibe una entrada de señal de referencia del valor objetivo de potencia P_L^* . A todo lo largo de la descripción que sigue, el asterisco indica un valor objetivo o de referencia. El sistema de control comprende un bucle exterior de realimentación de potencia de la línea 6 y un bucle interior de realimentación de potencia del generador 7.

El bucle de realimentación de la línea de potencia 6 recibe una entrada de tensión de la línea eléctrica U_L y entrada de corriente de la línea eléctrica I_L , basándose en las que se calcula una señal de medición de la línea de potencia P_L mediante una etapa de cálculo de potencia de la línea 8, que, como otras etapas descritas a continuación, se implementa preferentemente en el software ejecutado en un medio de procesamiento de datos tal como un ordenador. La señal de medición de la línea de potencia P_L se filtra en un primer filtro de paso bajo 9 para formar la señal de realimentación de la línea de potencia PL_fb . La señal de realimentación de la línea de potencia PL_fb se resta de la señal de entrada objetivo de potencia P_L^* en un nodo 10 para formar una señal de error de la línea de potencia PL_ERR . La señal de error de la línea de potencia PL_ERR se usa como una entrada para una etapa de regulación de la potencia de la red 11, que a su vez produce la salida de una señal de potencia objetivo P_G^* para el generador 1.

De modo similar, el bucle de realimentación de potencia del generador 7 recibe la entrada de tensión del estator U_S^* y la entrada de corriente del estator I_S , basándose en las que se calcula una señal de potencia del generador P_G en una etapa de cálculo de potencia del generador 12. La señal de potencia del generador P_G se filtra en un segundo filtro de paso bajo 13 para formar la señal de realimentación de potencia del generador PG_fb . La señal de realimentación de potencia del generador PG_fb se resta del valor objetivo de la potencia del generador P_G^* en un nodo 14 para formar una señal de error de potencia del generador PG_ERR . La señal de error de potencia del generador PG_ERR se usa como una entrada para las etapas de control del generador de potencia 15, 16, 17, que, a su vez, entregan una señal de salida 18.

Junto con entradas adicionales, tales como información deducida de un tacómetro, como una señal de codificador/contador ENC_CNT , la señal de salida 18 de las etapas de control de potencia del generador se usa como entrada a un dispositivo de control de flujo/corriente del estator 19 que, a través de una etapa de modulador de ancho de pulsos 20, controla el convertidor CA/CC 3 para obtener la operación deseada del sistema de generador de turbina eólica.

Para las finalidades de control global del generador de turbina eólica, se proporcionan señales adicionales tales como temperatura del estator del generador $Temp_G$, velocidad ω_m y aceleración a_m de las partes mecánicas giratorias. La velocidad ω_m y la aceleración a_m pueden calcularse fácilmente como primera y segunda derivada, respectivamente, de la información de posición proporcionada por la señal del codificador/contador ENC_CNT desde el tacómetro. La medición de la temperatura del estator $Temp_G$ se realiza en una etapa 21 de medición de temperatura usando uno o más sensores en el estator del generador.

Los inventores se han dado cuenta de que la utilización de esta información ya fácilmente disponible en el sistema de control permite una implementación de una supervisión de diagnóstico del sistema de control con muy poco coste dado que estas señales ya disponibles son suficientes para un diagnóstico del sistema, permitiendo, a su vez, una alerta temprana acerca de, entre otros, defectos en evolución.

La Fig. 2 muestra un diagrama de flujo de dicho sistema de supervisión de diagnóstico, que puede implementarse en el sistema de control del generador de turbina eólica y realizar el diagnóstico siempre que el generador de turbina eólica esté en un estado estable.

El diagnóstico comienza en la casilla 100. En la casilla 101 se realiza un primer bucle de espera hasta que la velocidad del sistema sea estable. A continuación en la casilla 102 se realiza un segundo bucle de espera hasta que la producción de potencia del sistema sea estable. Siendo estables tanto la velocidad como la producción de potencia, se asume que el sistema está en estado estable, y en la casilla 103 se comprueba a continuación que el estator no está sobrecalentado mediante la comprobación de que la temperatura del estator no está fuera de rango. Si la temperatura del estator es demasiado alta, entonces, en la casilla 104, se notifica el sobrecalentamiento y se envía una solicitud para reducir la potencia del generador al sistema de control del generador de turbina eólica. En caso contrario, se anula un indicador de sobrecalentamiento correspondiente en la casilla 105. En cualquier caso, el método prosigue para comprobar, en la casilla 106, si la desviación típica de una señal de potencia de línea filtrada de paso alto excede un cierto nivel de umbral. Si este es el caso, se notifica un defecto de mal rendimiento en el lado de la línea. La identificación de dicho defecto externo sobre la línea de potencia reduce el riesgo de que el defecto en la línea de potencia induzca un falso positivo en el diagnóstico real del sistema de generador de turbina eólica, que es la finalidad real de la realización de la invención. Si no se detecta un mal rendimiento en el lado de la línea,

se anula un indicador correspondiente en la casilla 108. En cualquier caso, el método prosigue para realizar el diagnóstico real del sistema de generador de turbina eólica. El diagnóstico se realiza mediante el análisis de tres conjuntos de datos ya en el sistema de control en diferentes formas de modo que se clasifique el resultado y se identifiquen diferentes tipos de defectos. Las tres categorías, categoría (1) de señal de diagnóstico, categoría (2) de señal de diagnóstico y categoría (3) de señal de diagnóstico se describen en las casillas 109, 110 y 111, respectivamente.

Primero, en la casilla 112, se determina si la desviación típica de las señales filtradas de paso alto que incluye la señal de potencia del generador P_G excede un nivel de umbral. Si no es este el caso, se anula un indicador de mal rendimiento del generador en alta frecuencia en la casilla 113, y el método prosigue al siguiente ensayo en la casilla 114. Si, por el otro lado, la desviación típica de las señales filtradas de paso alto que incluyen la señal de potencia del generador P_G excede un umbral, se ensaya adicionalmente, en la casilla 115, si la desviación típica de la amplitud de corriente del estator $|I_S|$ filtrada de paso alto excede un valor de umbral. Si ese es también el caso, es probable que el defecto esté en el sensor de corriente, y el defecto de sensor de corriente del generador se notifica en la casilla 116 y el método prosigue a la casilla 114. Si, por otro lado, la desviación típica de la amplitud de corriente del estator $|I_S|$ filtrada de paso alto no excede el valor de umbral, el defecto es probable que sea un defecto de mal rendimiento en alta frecuencia, tal como por ejemplo, un cojinete de generador desgastado o roto, y esto se notifica en la casilla 117. El defecto podría ser también, sin embargo, una mala señal del codificador/contador ENC_CNT, pero en cualquier caso es relevante notificar un defecto, y ambos pueden comprobarse en el debido momento, por ejemplo en el siguiente mantenimiento planificado. Habiendo diagnosticado y notificado un defecto en la casilla 117 el método prosigue a la casilla 114, para el ensayo en la siguiente categoría.

A continuación, en la casilla 114, se determina si la desviación típica de las señales filtradas de paso bajo que incluyen la señal de potencia del generador P_G excede un nivel de umbral. Si este no es el caso, se anula un indicador de mal rendimiento en baja frecuencia del generador en la casilla 118, y el método prosigue a la siguiente prueba en la casilla 119. Si, por otro lado, la desviación típica de las señales filtradas de paso bajo que incluyen la señal de potencia del generador P_G excede un umbral, se ensaya adicionalmente en la casilla 120 si la desviación típica de la señal de aceleración filtrada de paso bajo a_m excede un valor de umbral. Si ese es también el caso es probable que el defecto sea un defecto de mal rendimiento en baja frecuencia, y se notifica un defecto de mal rendimiento en baja frecuencia en la casilla 121 y el método prosigue a la casilla 119. Si por otro lado, la desviación típica de la señal de aceleración filtrada de paso bajo a_m no excede el valor de umbral, es probable que el defecto sea un defecto en el tren de accionamiento como por ejemplo un diente de engranaje desgastado o roto, y esto se notifica en la casilla 122. El defecto podría ser también, sin embargo, una mala señal del codificador/contador ENC_CNT, pero en cualquier caso es relevante notificar un defecto, y ambos pueden comprobarse en el debido momento, por ejemplo en el siguiente mantenimiento planificado. Habiendo diagnosticado y notificado un defecto en la casilla 122 el método prosigue a la casilla 119, para el ensayo en la tercera categoría.

Finalmente, en la casilla 119 hay unos valores medios móviles para la amplitud de corriente del estator $|I_S|$ y la amplitud de tensión del estator $|U_S|$. Se comprueba entonces en la casilla 123 si la tensión del estator $|U_S|$ está fuera del intervalo de trabajo deseado. Si este es el caso, se notifica un posible defecto de importante variación de parámetros del generador en la casilla 124, y el método de diagnóstico puede repetirse a partir de la casilla 100. Si no es este el caso, entonces se comprueba en la casilla 125 si la amplitud de corriente del estator está fuera del intervalo de trabajo deseado. Si este es el caso, se notifica también un posible defecto de importante variación de parámetros del generador en la casilla 124, y el método de diagnóstico puede repetirse a partir de la casilla 100. Si no es este el caso, los indicadores apropiados de posible defecto de cambio de parámetro y defecto de intensidad magnética pueden anularse en la casilla 126 y el método de diagnóstico puede repetirse a partir de la casilla 100.

Como se entenderá a partir de lo anterior, la invención usa efectivamente señales ya disponibles en el sistema de control para detectar defectos menores y mediante el uso del filtrado adecuado clasifica estos defectos en tres categorías permitiendo la discriminación entre causas probables para los defectos. La Fig. 3 produce más detalles sobre una realización preferida de cómo se realiza esto. Más específicamente, el diagrama de bloques de la Fig. 3 muestra entradas y salidas para el cálculo de señales de la supervisión de diagnóstico de la invención.

Como puede verse, las entradas para la identificación de un posible error en la categoría (1) de señal son la señal de potencia de línea P_L , la señal de potencia del generador P_G , la señal de error de potencia del generador PG_ERR y la señal de amplitud de corriente del estator $|I_S|$. En la casilla 150 del diagrama de bloques, estas señales se filtran primero por paso alto teniendo una frecuencia de corte que produce señales por encima de aproximadamente 1,2 veces la frecuencia eléctrica del generador. A continuación, en la casilla 151, se calcula una desviación típica móvil basándose en las señales filtradas. El resultado de este cálculo forma la base para la decisión en la casilla 112 de la Fig. 2.

La señal de potencia del generador P_G se usa también como la entrada para la identificación de un posible error en la categoría (2) de señal junto con la señal de aceleración a_m , calculada como puede verse en la Fig. 1 a partir de la señal del codificador/contador ENC_CNT, que sirve como entrada a una etapa de medición de posición 22 que produce, entre otras, como una salida una señal de velocidad de rotación ω_m que se filtra por paso bajo en un filtro de paso bajo 23 antes de servir como base para el cálculo de la aceleración a_m en la etapa de cálculo de la

aceleración 24. Este cálculo se realiza fácilmente, dado que es bien conocido que la velocidad es la primera derivada de la posición y la aceleración es la primera derivada de la velocidad, es decir la segunda derivada de la posición. Volviendo ahora a la Fig. 3, en la casilla 152, la señal de potencia del generador P_G y la señal de aceleración a_m se filtran en un filtro de paso bajo que tiene una frecuencia de corte adecuada, por ejemplo aproximadamente 5 a 10 Hz, produciéndose señales por debajo de 5 a 10 Hz. Como para las señales en la categoría (1), se calcula una desviación típica móvil, en la casilla 153, basándose en las señales filtradas. El resultado de este cálculo forma la base para la decisión en las casillas 113 y 115 de la Fig. 2. Sin embargo, para obtener y mantener datos válidos para la información de rendimiento dinámico más bajo, en comparación con la de la categoría (1), se prefiere reducir el muestreo de los datos de modo que se reduzca la cantidad de datos a ser almacenados. Esta reducción del muestreo que es preferentemente a una frecuencia de aproximadamente 100 Hz se realiza en la casilla 154 de la Fig. 3.

Como entradas para la identificación de una posible señal de error en la categoría (3), se usan tanto la señal de potencia del generador P_G como la señal de amplitud de la corriente del estator $|I_S|$, así como la señal de velocidad ω_m , calculadas como se ha descrito anteriormente a partir de la señal del codificador/contador ENC_CNT, y la amplitud de tensión del estator $|U_S|$. En la categoría (3) primero se reduce el muestreo de las señales a una frecuencia por ejemplo por debajo de 10 Hz en la casilla 155 de la Fig. 3. De nuevo, esto es para reducir la cantidad de datos a ser almacenados y gestionados. La frecuencia de muestreo reducida en este caso puede ser bastante baja debido a que en la categoría (3) la intención es buscar cambios a largo plazo. Esto se hace mediante la realización, en la casilla 156, de un cálculo del valor promedio de media móvil, que en términos de filtrado puede considerarse como análogo al filtrado del nivel de CC, es decir identificación de cambios globales. La salida de este cálculo de valor promedio de media móvil sirve entre otros para obtener la referencia correcta en la casilla 119 de la Fig. 2 y decisiones posteriores sobre posibles defectos, es decir defectos de variación, tales como devanados cortocircuitados o deterioro de la intensidad magnética, en las casillas 124 y 125. En estas, los valores de $|I_S|$ y $|U_S|$ se comparan con valores de referencia para determinar un valor de desviación, y este valor de desviación se compara con un valor predeterminado para determinar el defecto de variación.

Sin embargo, en la descripción anterior del acondicionamiento y evaluación de los conjuntos de señales, este se realiza en un orden específico, es decir la primera categoría (1), a continuación la categoría (2) y finalmente la categoría (3), el experto en la materia se dará cuenta de que el orden no es importante. Si se desea y hay disponible suficiente potencia de cálculo, el acondicionamiento y evaluación de los conjuntos de señales puede incluso realizarse en paralelo.

Para obtener la referencia correcta, es necesaria una buena referencia que incluya información acerca de las condiciones de operación para asegurar que se realiza la comparación correcta, dado que han de identificarse cambios a largo plazo. En este caso, la señal de potencia del generador P_G y la señal de velocidad ω_m sirven como señales de la condición de operación para asegurar que la señal de amplitud de corriente del estator $|I_S|$ y de amplitud de tensión del estator $|U_S|$ se comparan con referencias correctas, es decir referencias que corresponden a las mismas condiciones de operación.

La obtención de esta referencia se realiza preferentemente en una de dos formas, como se explicará con mayor detalle a continuación. Una forma es mediante el establecimiento de una tabla de búsqueda, otra es mediante emulación del sistema del generador, por ejemplo en software.

La Fig. 4 es un diagrama de flujo de un procedimiento de medición para el establecimiento de una tabla de búsqueda para valores de amplitud de corriente del estator $|I_S(n, m)|$ y valores de amplitud de tensión del estator $|U_S(n, m)|$, en las que n es una velocidad dada y m es un nivel de potencia dado. El procedimiento de medición puede ser parte de un ensayo de puesta en servicio o puede incluirse como un ensayo entre otros ensayos de puesta en servicio.

El ensayo comienza con el ajuste de una primera velocidad de ensayo $n=1$ en la casilla 200. El ensayo espera entonces en un primer bucle de espera alrededor de la casilla 201, hasta que se haya alcanzado la velocidad deseada. A continuación se fija el primer nivel de potencia deseado $m=1$ en la casilla 202, y el ensayo espera en un segundo bucle de ensayo alrededor de la casilla 203 hasta que se haya alcanzado el nivel de potencia deseado. En la casilla 204 se comprueba si la temperatura del estator del generador está dentro del intervalo permitido, si no, se aborta el ensayo y se notifica un fallo de ensayo en la casilla 205.

Si, por otro lado, la temperatura del estator del generador está dentro del intervalo permitido, se realizan las mediciones y se almacenan la amplitud de corriente del estator $|I_S(1, 1)|$ y la amplitud de tensión del estator $|U_S(1, 1)|$ en la casilla 205. Pueden almacenarse también por supuesto valores adicionales, tales como la temperatura del estator del generador Temp_G. En la casilla 206 se comprueba si se han realizado las mediciones para todos los niveles de potencia en la primera velocidad ajustada. Si no, m se incrementa al siguiente nivel de potencia en la casilla 207, por ejemplo a $m=2$ y se repiten las mediciones a partir de la casilla 203, hasta que se hayan ensayado todos los valores de nivel de potencia del generador a esta velocidad, es decir hasta que $m=M$ y la respuesta en la casilla 206 se convierta en sí.

A continuación, en la casilla 208, se comprueba si se han comprobado todos los niveles de velocidad. Si no, se incrementa el nivel de velocidad al siguiente nivel, por ejemplo $n=2$ en la casilla 209, y se repiten las mediciones para el siguiente nivel de velocidad y todos los niveles de potencia 1 a M hasta que se hayan realizado las mediciones para todos los niveles de velocidad y todos los niveles de potencia, es decir $n=N$ y $m=M$, y la respuesta en la casilla 208 se convierta en sí. A continuación en la casilla 210 se reducen el nivel de potencia y los niveles de velocidad y finaliza el ensayo.

Los valores almacenados reflejan entonces la condición del generador tal como estaba en la puesta en servicio, y estos valores pueden usarse en la supervisión de diagnóstico de acuerdo con la presente invención para ver si o cómo cambia el generador a lo largo del tiempo.

La realización de dicho programa de medición en la puesta en servicio del sistema de generador de turbina eólica puede, sin embargo, no ser práctica desde un punto de vista del tiempo requerido. Sin embargo, con el modelo de generador adecuado y conociendo los datos esenciales tales como parámetros de modelo del generador, tasa de muestreo, señales de referencia, señales de entrada como realimentación de posición y realimentación de velocidad, puede emularse el rendimiento del generador en el sistema de control. Por ello, como otra realización preferida, la invención utiliza una emulación que obvia la necesidad de elaborar mediciones. Esta, sin embargo, necesita una potencia de cálculo adicional, y la elección de qué realización es la más preferida es probable que sea una compensación entre los costes y disponibilidad de potencia de cálculo, y los costes y disponibilidad de tiempo para las mediciones en los ensayos de puesta en servicio.

La Fig. 5 ejemplifica un modelo de control del generador para la emulación del control del generador real en un modo en tiempo real para suministrar la señal de amplitud de corriente del estator $|I_s_EMU|$ y la amplitud de tensión del estator $|U_s_EMU|$ emuladas en la casilla 119 de la Fig. 2, que pueden usarse como valores de referencia en las casillas 123 y 125 en lugar de los valores tabulados explicados anteriormente.

Evidentemente, dado que el modelo es emular el sistema de control del generador de turbina eólica de la Fig. 1, las señales, etapas y otras partes de la Fig. 5 son ampliamente similares a la misma. Para una facilidad de lectura, las partes correspondientes usan los mismos números de referencia pero proporcionados con apóstrofes cuando son emulados, denominando las señales emuladas correspondientes usando la expresión $_EMU$, tal como se ha indicado en el párrafo precedente, y para las señales reales idénticas al sistema de control de la turbina eólica de la Fig. 1 se usan los mismos nombres.

Como puede verse, el bucle de realimentación de potencia del generador 7' recibe una entrada de tensión del estator emulada $U_s_EMU^*$ y una entrada de corriente del estator emulada I_s_EMU . La entrada de tensión del estator emulada $U_s_EMU^*$ y la entrada de corriente del estator emulada I_s_EMU reciben el mismo tratamiento que el de las señales reales U_s^* e I_s en el sistema de control real. En oposición al sistema de control real, el sistema emulado usa un modelo de generador 1' en lugar del generador real 1. Si, como se ha sugerido anteriormente, el generador es una máquina IPM, los parámetros del generador, que deberían modelarse por el modelo de generador serían:

- Ld - inductancia de eje D del estator
- Lq - inductancia de eje Q del estator
- Rs - resistencia del estator
- Flux_r - flujo del rotor
- Ir - corriente nominal
- Pr - potencia nominal
- PP - par de polos
- Sr - velocidad nominal

Así, basándose en la entrada de tensión del estator emulada $U_s_EMU^*$ y la entrada de corriente del estator emulada I_s_EMU se calcula una señal de potencia del generador emulada P_G_EMU en una etapa de cálculo de potencia del generador 12'. La señal de potencia del generador emulada P_G_EMU se filtra en un filtro de paso bajo 13' para formar la señal de realimentación de potencia del generador emulada $P_G_fb_EMU$. La señal de realimentación de potencia del generador $P_G_fb_EMU$ se resta del valor objetivo de potencia del generador P_G^* en un nodo 14' para formar una señal de error de potencia del generador $P_G_ERR_EMU$. La señal de error de potencia del generador $P_G_ERR_EMU$ se usa como una entrada para las etapas de control del generador de potencia 15', 16', 17', que, a su vez, entregan una señal de salida 18'.

Junto con la información real deducida del tacómetro como la señal de codificador/contador ENC_CNT , la señal de salida 18' de las etapas de control de potencia del generador se usa para emular la entrada a un dispositivo de control de flujo/corriente del estator 19', que proporciona la entrada del modelo de generador 1', que utiliza los parámetros anteriores, para servir como la base apropiada para el modelo de generador 1' en la emulación para emular la operación deseada del sistema de generador de turbina eólica. El modelo de generador 1' recibe adicionalmente valores reales con relación a la amplitud del flujo del rotor en la etapa 25 y valores reales acerca del valor de inductancia en la etapa 26.

Para las finalidades de control global del generador de turbina eólica, se proporcionan señales adicionales tales como temperatura del estator del generador Temp_G, velocidad ω_m y aceleración a_m de las partes mecánicas giratorias. Estas señales reales se usan como la entrada para la emulación y el método de diagnóstico. Como ya se ha mencionado, la velocidad ω_m y la aceleración a_m pueden calcularse fácilmente como primera y segunda derivada, respectivamente, de la información de posición proporcionada por la señal del codificador/contador ENC_CNT desde el tacómetro, mientras que la temperatura del estator del generador Temp_G se mide en una forma apropiada en el estator del generador.

Dado que la señal de entrada de tensión del estator emulada $U_{S_EMU}^*$ y la señal de entrada de corriente del estator emulada I_{S_EMU} se tratan en la misma forma que las señales U_S^* e I_S reales, la única diferencia es que el generador 1' es emulado. Por ello, si el generador real 1 difiere del modelo de generador 1', los valores resultantes $U_{S_EMU}^*$ e I_{S_EMU} en la emulación diferirán de las señales reales U_S^* e I_S . Dado que se usan $U_{S_EMU}^*$ e I_{S_EMU} para el cálculo de la amplitud de corriente del estator emulada $|I_{S_EMU}|$ y la amplitud de tensión del estator emulada $|U_{S_EMU}|$ en la etapa de cálculo de amplitud 13' estos valores también diferirán de los valores reales y serán adecuados para la identificación de defectos después de ser sometidos a reducción del muestreo 155' y cálculo del valor promedio de media móvil 156', como puede verse en la parte inferior de la Fig. 5 correspondiente al tercio inferior de la Fig. 3.

Con la invención, se proporciona un sistema de diagnóstico eficiente. El sistema de diagnóstico puede implementarse directamente en el software en ejecución en el medio de procesamiento de datos del sistema de control del generador de turbina eólica, por ejemplo como una parte integrada del software del sistema de control o como una pieza separada del software en ejecución en el mismo medio de procesamiento de datos, o en medios de procesamiento de datos separados. En cualquier caso, el software puede proporcionarse sobre un soporte de datos apropiado, tal como un disco o una red de datos. El experto en la materia sabrá que el sistema de diagnóstico anteriormente descrito es solo un ejemplo e identificará numerosas variaciones posibles dentro del alcance de las reivindicaciones. En particular, el experto en la materia se dará cuenta de que el sistema de diagnóstico puede incluir sensores adicionales y señales de sensores adicionales en el primer, segundo y tercer conjuntos de señales distintas a las descritas anteriormente de modo que se incremente el intervalo de defectos que pueden detectarse e identificarse.

REIVINDICACIONES

1. Un método para supervisión de diagnóstico de un sistema de generador de turbina eólica, comprendiendo dicho sistema de generador de turbina eólica un generador, un tren de accionamiento, una pluralidad de sensores para proporcionar señales y un sistema de control de generador, comprendiendo dicho método:
- 5 recibir un conjunto de señales desde dichos sensores,
seleccionado el conjunto de señales de entre uno cualquiera de:
- 10 un conjunto de señales que comprende componentes de alta frecuencia,
un conjunto de señales que comprende componentes de baja frecuencia, y
un conjunto de señales que comprende características eléctricas de un estator en el generador;
- 15 evaluar el conjunto de señales, en el que dicha evaluación comprende comparar el conjunto de señales con valores de referencia para determinar un defecto y la localización del defecto,
caracterizado por que las señales en dicho conjunto de señales en las que se basa la supervisión de diagnóstico están fácilmente disponibles por que las señales ya se usan por dicho sistema de control del generador, de modo que el método de supervisión de diagnóstico puede implementarse para ejecutarse en y utilizar el mismo hardware que el usado para el control, reduciendo así la necesidad de hardware adicional.
- 20
2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el conjunto de señales es un conjunto de señales que comprende componentes de alta frecuencia, comprendiendo adicionalmente el método obtener un conjunto acondicionado de señales mediante filtrado de paso alto del conjunto de señales y evaluar el conjunto acondicionado de señales mediante la comparación del conjunto acondicionado de señales con valores de referencia para determinar un defecto y la localización del defecto.
- 25
3. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el conjunto de señales es un conjunto de señales que comprende componentes de baja frecuencia, comprendiendo adicionalmente el método obtener un conjunto acondicionado de señales mediante filtrado de paso bajo del conjunto de señales y evaluar el conjunto acondicionado de señales mediante la comparación del conjunto acondicionado de señales con valores de referencia para determinar un defecto y la localización del defecto.
- 30
4. Un método de acuerdo con la reivindicación 3, en el que se reduce el muestreo de las señales filtradas de paso bajo antes de la evaluación.
- 35
5. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el conjunto de señales es un conjunto de señales que comprende características eléctricas del estator del generador, comprendiendo adicionalmente el método obtener un conjunto acondicionado de señales mediante la formación de una media móvil sobre el conjunto de señales y evaluar el conjunto acondicionado de señales mediante la comparación del conjunto acondicionado de señales con valores de referencia para determinar un defecto y la localización del defecto.
- 40
6. Un método de acuerdo con la reivindicación 5, en el que el conjunto de señales comprende señales elegidas para permitir la determinación de un defecto en un generador.
- 45
7. Un método de acuerdo con la reivindicación 5 o 6, en el que se reduce el muestreo de los valores de media móvil del conjunto de señales antes de la evaluación.
- 50
8. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que se reciben múltiples conjuntos de señales desde dichos sensores, siendo evaluado por separado cada conjunto de señales en la determinación de un defecto.
9. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que los valores de referencia son valores deducidos en ensayos de puesta en servicio y se almacenan en una tabla de búsqueda.
- 55
10. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende adicionalmente recibir las señales de referencia desde una emulación de al menos una parte del sistema de generación de turbina eólica.
- 60
11. Un método de acuerdo con la reivindicación 10, en el que la emulación es una emulación en tiempo real del sistema de control del generador.
12. Un método de acuerdo con la reivindicación 11, en el que la emulación del sistema de control del generador se lleva a cabo con los mismos parámetros operativos que el generador.
- 65

13. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes en el que la evaluación se basa en la desviación típica del conjunto de señales bajo evaluación con respecto a los valores de referencia.

5 14. Un sistema de control para un sistema de generador de turbina eólica que comprende un medio de procesamiento de datos y adaptado para ejecutar el método de las reivindicaciones 1 a 13.

15. Un producto de programa informático para llevar a cabo el método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13 cuando dicho producto de programa informático se ejecuta en un medio de procesamiento de datos.

10

Fig. 2

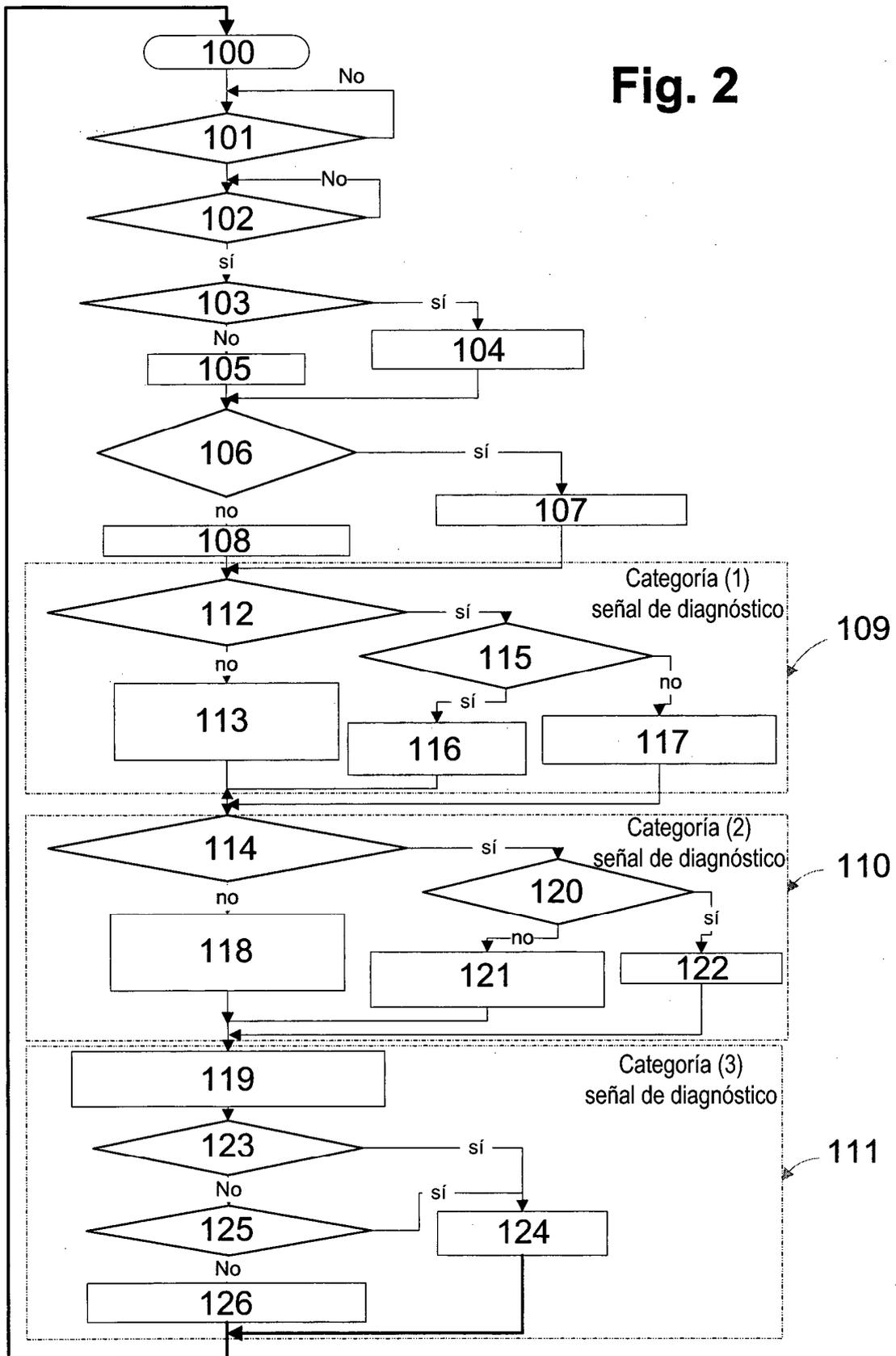


Fig. 3

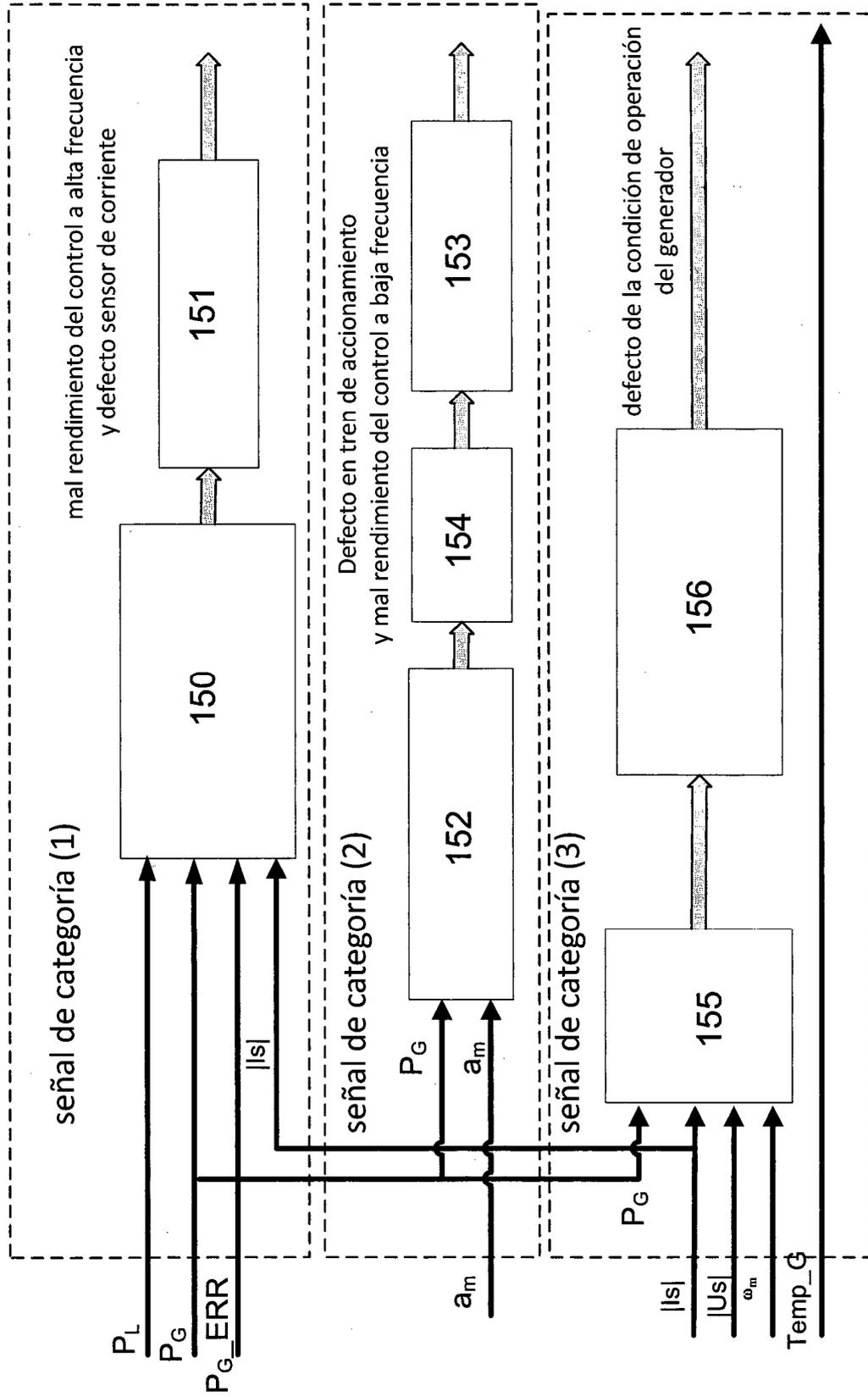


Fig. 4

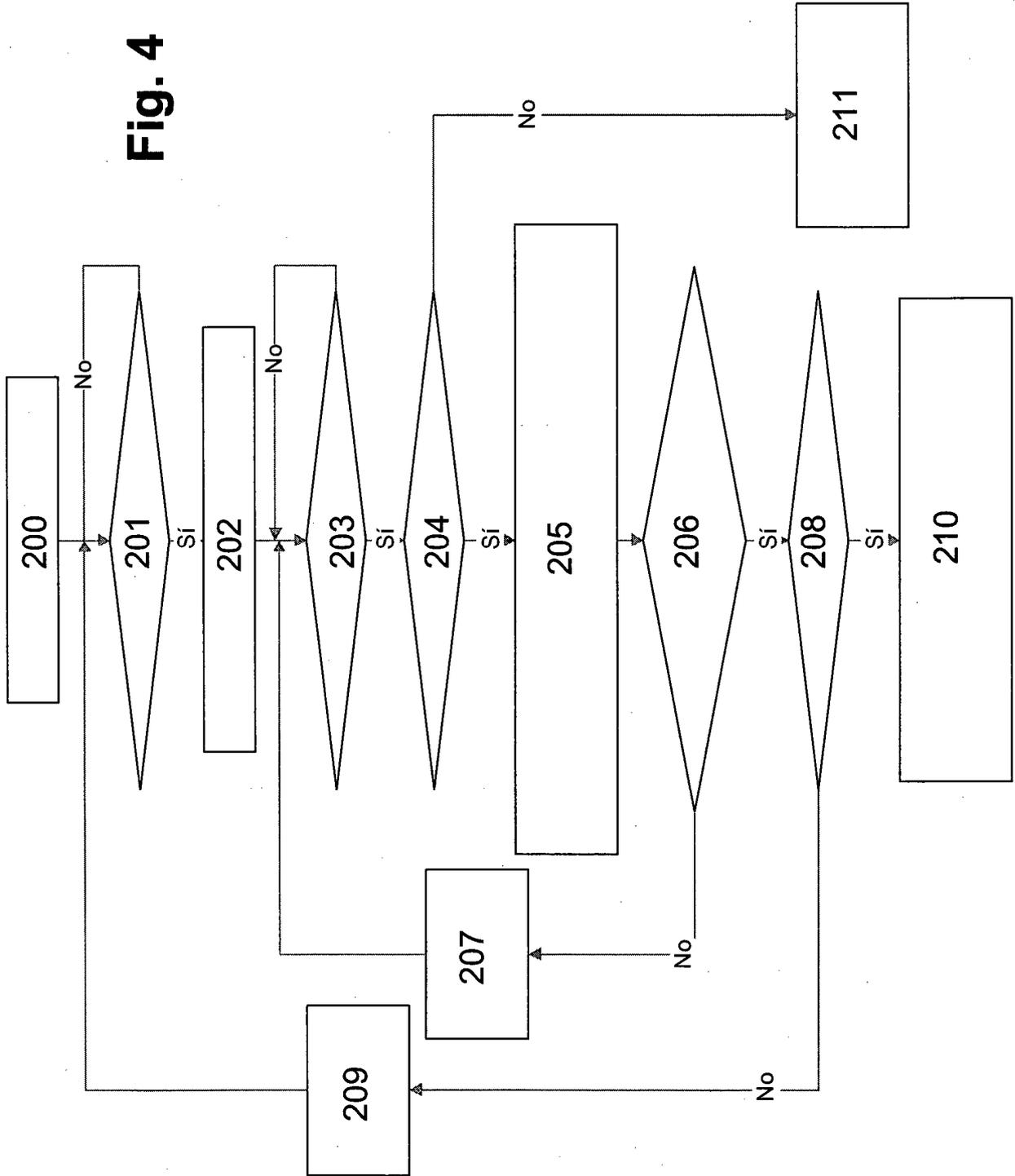


Fig. 5

sistema de emulación en línea del control de generador

