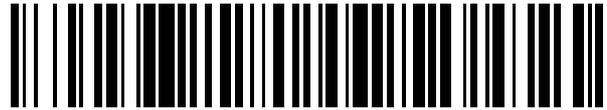


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 717 194**

51 Int. Cl.:

G01R 31/34 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.11.2012** E 12190951 (9)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.01.2019** EP 2728367

54 Título: **Un método para detectar una condición de fallo en una máquina eléctrica**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
19.06.2019

73 Titular/es:

ABB RESEARCH LTD. (100.0%)
Affolternstrasse 44
8050 Zürich, CH

72 Inventor/es:

RODRIGUEZ, PEDRO;
PINTO, CAJETAN;
ORMAN, MACIEJ;
ORKISZ, MICHAL;
AHREND, ULF;
DISSELNKÖTTER, ROLF;
RZESZUCINSKI, PAWEL y
OTTEWILL, JAMES

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 717 194 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 detectar una condición de fallo en una máquina eléctrica

Campo técnico

La presente invención se refiere a un método y a un sistema para identificar un fallo en una máquina eléctrica

5 Técnica anterior

10 La detección de fallos en máquinas eléctricas es un asunto importante para asegurar un funcionamiento fiable de la máquina. Cuanto antes se detecte un fallo, mejor se puede planificar el mantenimiento, evitando de esta manera la parada incontrolada de la máquina y que ocurran daños graves. Convencionalmente, las características mecánicas y eléctricas de las máquinas se utilizan para identificar fallos. Por ejemplo, se ha encontrado que las vibraciones eléctricas y el comportamiento de las corrientes eléctricas entre bobinados conectados en paralelo son un buen indicador de fallos, puesto que son idealmente iguales a cero para una condición normal y se incrementan debido a cualquier asimetría dentro de la máquina. Las corrientes en circulación permiten la detección de condiciones de fallo en una etapa muy temprana, por ejemplo una grieta de barras de rotor (antes de que la barra se rompa totalmente, cortocircuitos entre espiras, problema de excentricidad, etc.

15 El documento GB2157005A describe un análisis de espectro de corrientes en circulación entre dos derivaciones de bobinados paralelas en un estator de un alternador de dos polos para detectar diferentes tipos de fallos. De acuerdo con el documento GB2157005A, los armónicos relevantes para analizar el espectro de las corrientes en circulación son todavía armónicos de la frecuencia de suministro (50 Hz).

20 WAN SHUTING et al: "A Compositive Diagnosis Method on Turbine-Generator Rotor Winding Inter-turn Short Circuit Fault" describe la detección de un cortocircuito entre-espiras en un rotor analizando corrientes en circulación.

El documento US7253634B1 describe la detección de fallos de toma de tierra del estator en un generador analizando corrientes en circulación. El documento US7253634B1 describe, entre otras cosas, la medición de las corrientes en circulación en diferentes fases eléctricas de la máquina.

25 MOHAMED EL HACHEMI BENBOUZID: "A Review of Induction Motors Signature Analysis as a Medium for Faults Detection" describe un método de detección de fallos basado en el análisis de la signatura en motores de inducción.

30 Aunque las corrientes en circulación proporcionan teóricamente un método mejorado de detección de fallos de la máquina en una etapa temprana, existe un número de dificultades prácticas en la realización de un método de adquisición y procesamiento de los datos relevantes. Tales dificultades prácticas incluyen hallar los mejores indicadores de fallos y enseñar a interpretar los resultados correctamente. Una corriente en circulación puede medirse en muchas localizaciones diferentes de la máquina y la disposición de la medición es difícil debido a que puede ser necesario integrar los sensores de corriente en los arrollamientos de la máquina. Por lo tanto, este método es más apropiado para motores y generadores de alta potencia, donde existe espacio suficiente para localizar los sensores de corriente dentro de la máquina. Además, se requieren conocimientos especiales para interpretar correctamente los resultados de la medición con el fin de poder detectar realmente una condición de fallo.

35 Permanece un deseo de mejorar los métodos de detección de fallos existentes para detectar más fiablemente diferentes tipos de fallos.

Sumario de la invención

Un objeto de la presente invención es proporcionar un método mejorado para detectar fallos en máquinas eléctricas.

Este objeto se consigue por el método de acuerdo con la reivindicación 1 anexa.

40 De acuerdo con un primer aspecto de la invención, se proporciona un método para identificar una condición de fallo en una máquina eléctrica, en la que al menos un estator o un rotor tienen derivaciones de bobinados paralelas. El método comprende las etapas de: realizar una primera medición para obtener un primer conjunto de valores de la corriente en circulación entre dos bobinados, cada uno de cuyos bobinados comprende una sola bobina; aplicar un

análisis de frecuencia sobre el primer conjunto de valores de la corriente en circulación para obtener al menos un componente de frecuencia; y determinar, sobre la base de al menos un componente de frecuencia, una condición de fallo de la máquina eléctrica.

5 Midiendo una corriente en circulación entre dos derivaciones de bobinados paralelas que comprenden una bobina individual, se pueden obtener indicadores robustos de condiciones de fallos en la máquina. Puesto que los indicadores de fallos están contenidos en el espectro de frecuencia de la corriente en circulación, es necesario un análisis de la frecuencia para permitir la determinación de la condición de fallo.

10 De acuerdo con una realización de la invención, la condición de fallo es una de las siguientes: excentricidad dinámica, excentricidad estática, cortocircuito entre espiras en el rotor, cortocircuito entre espiras en el estator. Las condiciones de fallo dadas son las más comunes en máquinas eléctricas y que tiene la mayor importancia práctica, aunque se puede reconocer por los expertos en el estado de la técnica que el método se puede utilizar para diagnosticar otros fallos tanto en la máquina eléctrica como también en la carga asociada. En la práctica, una máquina eléctrica puede sufrir una combinación de las condiciones de fallo dadas.

15 De acuerdo con una realización de la invención, el método comprende la etapa de: determinar, sobre la base de que el al menos un componente de la frecuencia tiene un valor de $(2k + 1) f_s \pm f_r$, donde $k = (0,1,2,3,...)$, $f_s =$ frecuencia de suministro, $f_r =$ frecuencia de rotación de la máquina eléctrica, que la máquina sufre de excentricidad dinámica. Se ha encontrado que las frecuencias dadas son un indicador fuerte de excentricidad dinámica.

20 De acuerdo con una realización de la invención, el método comprende la etapa de: determinar, sobre la base de que el al menos un componente de la frecuencia tiene un valor de $k f_s$, donde $k = (0,1,2,3,...)$ y $f_s =$ frecuencia de suministro, que la máquina sufre de excentricidad estática. Se ha encontrado que las frecuencias dadas son un indicador fuerte de excentricidad estática.

25 De acuerdo con una realización de la invención, el método comprende la etapa de: determinar, sobre la base de que el al menos un componente de la frecuencia tiene un valor de $k f_r$, donde $k = (0,1,2,3,...)$ y $f_r =$ frecuencia de rotación de la máquina eléctrica, que la máquina sufre de cortocircuito entre espiras en el rotor. Se ha encontrado que las frecuencias dadas son un indicador fuerte de cortocircuito entre espiras en el rotor.

De acuerdo con una realización de la invención, el método comprende la etapa de: determinar, sobre la base de que el al menos un componente de la frecuencia tiene un valor de $(2k + 1) f_s$ donde $k = (0,1,2,3,...)$ y $f_s =$ frecuencia de rotación, que la máquina sufre de cortocircuito entre espiras en el estator. Se ha encontrado que las frecuencias dadas son un indicador fuerte de cortocircuito entre espiras en el estator.

30 De acuerdo con una realización de la invención, la máquina eléctrica es un motor o generador eléctrico síncrono. El presente método es particularmente efectivo para indicar condiciones de fallo en máquinas eléctricas síncronas.

35 De acuerdo con una realización de la invención, la primera medición se realiza con dos sensores de corriente para obtener señales de corriente de derivación desde las dos derivaciones de bobinados paralelas, y el primer conjunto de calores de la corriente en circulación se deduce a partir de las señales de la corriente de la derivación utilizando un amplificador operativo o utilizando una resta numérica después de que las señales de la corriente de derivación han sido convertidas en un dominio digital. Una disposición de medición después de esta provisión se puede implementar relativamente fácil incluso cuando las dos derivaciones de bobinados están distanciadas entre sí.

40 De acuerdo con una realización de la invención, la primera medición se realiza con un sensor de corriente diferencial. Se espera que los resultados de la medición sean más exactos cuando se utiliza un sensor de corriente diferencial.

De acuerdo con una realización de la invención, la primera medición se realiza entre dos bobinados opuestos en la dirección circunferencial del estator. Por esta medición se obtiene una indicación de fallo todavía más fuerte.

45 De acuerdo con una realización de la invención, el método comprende la etapa de realizar una segunda medición que corresponde a la primera medición, siendo las dos derivaciones de bobinados paralelas en la segunda medición diferentes de los de la primera medición. Esta medición hace posible hallar la posición de fallo con respecto al estator.

De acuerdo con una realización de la invención, las dos derivaciones de bobinados paralelas en la segunda medición están en una fase eléctrica diferente que en la primera medición. Esta medición hace posible hallar la posición de fallo con respecto al estator de una manera mejorada.

5 De acuerdo con una realización de la invención, el método comprende la etapa de realizar una medición que corresponde a la primera medición para bobinados en cada fase eléctrica de la máquina eléctrica. Esta medición hace posible hallar la posición de fallo con respecto al estator de una manera mejorada.

De acuerdo con una realización de la invención, la condición de fallo de la máquina se determina sobre la base de más de un componente de frecuencia. Por esta medición se consigue una mayor certeza en la indicación de una condición de fallo.

10 De acuerdo con una realización de la invención, el método comprende la etapa de comparar una amplitud de la corriente en circulación en el componente de frecuencia con un valor umbral predeterminado. Implementando un valor umbral para una amplitud de corriente en circulación, se pueden distinguir condiciones de fallo de asimetrías normales de la máquina.

15 De acuerdo con una forma de realización de la invención, el método comprende la etapa de comparar una amplitud relativa de la corriente en circulación con un componente de frecuencia con un valor umbral predeterminado, en donde la amplitud relativa se determina por un algoritmo que comprende una raíz media cuadrática de la corriente de circulación con el componente de frecuencia, por un algoritmo que comprende un factor

20
$$20 \log \frac{A_{\text{frecuencia_relativa_fallo}}}{A_{\text{principal}}},$$

o por un algoritmo

25
$$\sum_{i=n}^n \left(\frac{\text{RMS}(I_c)}{I_{\text{régimen}}} - \left| 20 \log \frac{A_{\text{frecuencia_relativa_fallo},i}}{A_{\text{principal}}} \right| \right),$$

30 en el que $\text{RMS}(I_c)$ es la raíz media cuadrática de la corriente en circulación con el componente de frecuencia, $I_{\text{régimen}}$ es la corriente de régimen de la máquina, $A_{\text{frecuencia_relativa_fallo},i}$ es una amplitud de la corriente en circulación en el i componente de frecuencia, n es el número de componentes de frecuencia y $A_{\text{principal}}$ es una amplitud de una corriente principal a la frecuencia de suministro. Por medio de esta medida, se pueden distinguir todavía mejor condiciones de fallo de asimetrías normales de la máquina.

De acuerdo con una realización de la invención, la primera medición se realiza durante una operación transitoria de la máquina eléctrica. Algunos componentes de frecuencia relacionados con la condición de fallo son prominentes especialmente durante una operación transitoria de la máquina eléctrica. El análisis de los mismos contribuye a una indicación de fallo todavía más fuerte.

35 Breve descripción de los dibujos

La invención se explicará con más detalle con referencia a los dibujos que se acompañan, donde

La figura 1 muestra una instalación de medición de acuerdo con una realización de la invención.

La figura 2 muestra una instalación de medición de acuerdo con una realización de la invención.

La figura 3 muestra una tabla de consulta para indicación de fallo para el caso de un motor síncrono, y

40 La figura 4 muestra un diagrama de flujo que ilustra las etapas principales del método de acuerdo con la invención.

Descripción de realizaciones preferidas

Con referencia a la figura 1, un arrollamiento de estator 10 de una máquina de tres fases y de cuatro polos comprende cuatro bobinas 20 para cada fase eléctrica I, II, III. Las bobinas 20 están conectadas en paralelo en una disposición de arrollamiento que comprende seis derivaciones de bobinados 30, 40, 50, 60, 70, 80, donde la primera, segunda, tercera y cuarta derivaciones de bobinados 30, 40, 50, 60 comprenden una bobina individual 20, y la quinta y sexta derivaciones de bobinados 70, 80 comprenden dos bobinas 20 cada una de ellas. En la práctica, una bobina 20 puede constar de una pluralidad de secciones de bobinas conectadas en serie, es decir, en el contexto de la presente invención una pluralidad de secciones de bobinas conectadas en serie es equivalente a una bobina individual 20. Cuando la máquina está en funcionamiento, corrientes eléctricas fluyen a través de las derivaciones de bobinados 30, ... 80 de acuerdo con las características y condiciones operativas de la máquina. Puesto que las derivaciones de bobinados 30, 40, 50, 60 que comprenden una bobina individual 20 están conectadas en paralelo en cada fase eléctrica I, II, III y puesto que una máquina ideal es simétrica en estructura, en teoría las corrientes en todas las derivaciones de bobinados correspondientes 30, 40, 50, 60 son idénticas. Lo mismo se aplica a las derivaciones de bobinados 70, 80 correspondientes que comprenden dos bobinas 20 cada una de ellas. Sin embargo, una máquina real tiene siempre alguna asimetría que provoca que difieran los flujos magnéticos en las diferentes bobinas 20 y en las fuerzas electromotrices (EMF) resultantes que resisten las corrientes. Como consecuencia, las corrientes inducidas en las diferentes bobinas 20 también difieren y ocurren corrientes en circulación 85 entre las derivaciones de bobinados 30,... 80 conectadas en paralelo.

Como se ha indicado anteriormente, una pequeña asimetría es normal para cada máquina eléctrica. Sin embargo, en una máquina defectuosa las asimetrías se incrementan junto con la gravedad de la condición de fallo. Por lo tanto, es práctico observar asimetrías para identificar condiciones defectuosas en máquinas eléctricas. Puesto que las corrientes en circulación 85 son idealmente cero cuando no existen fallos en la máquina, son inherentemente bien adecuadas para identificar simetrías y las condiciones de fallo correspondientes. En el ejemplo de la figura 1, se mide una corriente en circulación 85 entre una primera y una segunda derivación de bobinados 30, 40 en una primera fase eléctrica I. La primera y la segunda derivaciones de bobinados 30, 40 comprenden una bobina individual 20, en contraste con la quinta y sexta derivaciones de bobinados 70, 80, que comprenden dos bobinas 20, como se ha explicado anteriormente. Alternativamente, en el ejemplo de la figura 1, la corriente en circulación 85 puede medirse entre la primera y la tercera derivaciones de bobinados 30, 50 o entre cualquier otra combinación de dos derivaciones de bobinados 30, 40, 50, 60 que comprenden una bobina individual 20 dentro de la misma fase eléctrica I, II, III. Es preferible medir la corriente en circulación 85 entre dos derivaciones de bobinados 30, 40, 50, 60 que comprende sólo una bobina individual 20 cada una de ellas. La corriente en circulación 85 entre tales derivaciones de bobinados 30, 40, 50, 60 da una mejor indicación de una condición de fallo que la corriente en circulación 85 entre derivaciones de bobinados 70, 80 que comprenden más de una bobina 20, incluso si la medición es más difícil de realizar en la práctica.

En la figura 1 se muestran dos disposiciones posibles de medición. La primera disposición comprende un primero y un segundo sensor de la corriente derivada 90, 100 dispuestos para medir las corrientes absolutas en las derivaciones de bobinados 30, 40 respectivas. La segunda disposición comprende un sensor diferencial 110 dispuesto para medir la corriente diferencial entre las dos derivaciones de bobinados 30, 40 respectivas. En el caso de la primera disposición, los valores de la corriente en circulación tienen que ser deducidos de las dos mediciones. Esto se puede realizar restando las señales de salida del primero y del segundo sensores de corriente derivada 90, 100 eléctricamente, por ejemplo por medio de un amplificador operativo, o numéricamente después de que las señales han sido convertidas en un dominio digital. El requerimiento de deducir los valores de la corriente en circulación a partir de dos mediciones puede verse como un inconveniente, y otro inconveniente de la primera disposición es que los valores absolutos de la corriente medidos pueden ser muy altos con relación a los valores de la corriente en circulación de interés. Por lo tanto, es más probable que la primera disposición sufra de ruido que la segunda. El sensor diferencial 110 de la segunda disposición comprende un bucle de sensor trenzado que rodea las dos derivaciones de bobinados 30, 40 en direcciones opuestas, de tal manera que la corriente inducida en el bucle de sensor trenzado corresponde directamente a la corriente en circulación 85. Un inconveniente de la segunda disposición es que en la práctica puede ser difícil disponer la medición diferencial entre dos derivaciones de bobinados 30,... 80 distantes dentro de una máquina eléctrica.

Con referencia a las figuras 2a y 2b, las bobinas 20 para la primera fase eléctrica I en una máquina de seis polos se distribuyen simétricamente alrededor de una circunferencia de un estator 120. La máquina puede tener tres ó más fases eléctricas I, II, III, pero para los fines de la medición de las corrientes en circulación 85 es suficiente considerar sólo una fase eléctrica I, II, III cada vez. En la primera fase eléctrica, existen séptima, octava, novena, décima, undécima y duodécima derivaciones de bobinados 130, 140, 150, 160, 170, 180 que comprenden una bobina individual 20 cada una de ellas. Además, existen décimo tercera, décimo cuarta y décimo quinta derivaciones de arrollamiento 190, 200, 210 que comprenden dos bobinas 20 cada una de ellas. De acuerdo con la descripción anterior. La corriente en circulación 85 debería medirse entre cualquier combinación de dos derivaciones de bobinados 130, 140, 150, 160, 170, 180 seleccionadas de entre las seis derivaciones de bobinados 130,... 180 que

comprenden una bobina individual 20 cada una de ellas, es decir, la séptima a la undécima derivaciones de bobinas. Sin embargo, la medición de la corriente en circulación 85 entre dos derivaciones de bobinados opuestas 130,... 180 en la dirección circunferencial del estator 120, tal como la séptima y la octava derivaciones de bobinados 130, 140 en la realización de la figura 2b, da como resultado una indicación todavía más fuerte de una condición de fallo.

5 Si se miden corrientes en circulación 85 entre dos derivaciones de bobinados paralelas 30, 40, 50, 60, 130, 140, 150, 160, 170, 180 respectivas al menos en dos localizaciones diferentes de la máquina, es posible encontrar la posición de fallo con respecto al estator 120. Esto se puede realizar extrayendo la información espacial representando una corriente en circulación 85 contra otra, o aplicando otra técnica que permita extraer la información espacial, por ejemplo un análisis de la frecuencia espacial. Esto es útil, por ejemplo, para detectar la dirección de una excentricidad estática. Las diferentes mediciones se realizan con preferencia al menos en dos fases eléctricas I, II, III, tal como en todas las fases eléctricas I, II, III de la máquina.

A partir de la medición de corrientes de ramificaciones individuales, se puede extraer los valores de la corriente en circulación de acuerdo con la ecuación

$$15 \quad I_c = \frac{(I_1 - I_2)}{2}$$

donde I_c es la corriente en circulación, I_1 es una primera corriente de derivación y I_2 es una segunda corriente de derivación. Un sensor diferencial 110 da directamente el valor de $(I_1 - I_2)$, mientras que cuando se utilizan dos sensores separados de la corriente de derivación 90, 100, esta deducción debe realizarse por separado.

20 La medición da como resultado finalmente un conjunto de valores de la corriente en circulación. Es necesario procesar estos valores de tal manera que se puede extraer información de diagnóstico relevante. El contenido de la frecuencia de una corriente en circulación 85 se puede evaluar para identificar condiciones de fallo. Por lo tanto, se aplica un análisis de la frecuencia a los resultados de la medición después de transformar los resultados en dominio de frecuencia por medio de, por ejemplo, la Transformada Rápida de Fourier (FFT). Cualquier otro método matemático o no-matemático que permita la observación de los resultados de la medición en un dominio de frecuencia puede utilizarse, con tal de que filtre las frecuencias no interesantes. La medición se puede realizar durante una condición de estado estable o durante una operación transitoria (inicio o final) de la máquina eléctrica. En el contexto de la presente invención, cualquier técnica de análisis que requiera el uso de información de frecuencia, tal como la transformada de Hilbert o descomposición de ondas pequeñas, se considera como un análisis de frecuencia 250.

A partir del análisis de la frecuencia de la corriente en circulación están disponibles un número de componentes de frecuencia. Las amplitudes de estos componentes de frecuencia se comparan con valores de referencia conocidos por ser característicos de ciertas condiciones de fallos. Los valores de referencia se pueden obtener a partir de simulación de ordenador donde se inducen diferentes condiciones de fallo en un modelo de simulación que corresponden a la máquina eléctrica de interés. Los valores de referencia se pueden obtener también a partir de mediciones en la máquina real donde se induce de manera intencionada una cierta condición de fallo o se conoce de otra manera. Los valores de referencia se pueden recoger en una tabla que lista todos los valores de referencia conocidos y condiciones de fallos asociadas con ellos.

40 Con referencia a la figura 3, una tabla de consulta para indicación de fallo puede comprender columnas que corresponden a diferentes condiciones de fallo y filas que corresponden a ciertas frecuencias de referencia. La frecuencia o frecuencias asociadas con una cierta condición de fallo se marcan en la tabla de consulta teniendo en cuenta un redominio de la amplitud. Por ejemplo, una existencia de un componente de la frecuencia con un valor kf_r , donde $k = 1, 2, 3, \dots$) y $f_r =$ frecuencia de rotación de la de la máquina eléctrica, indica que la máquina sufre de cortocircuito entre-espigas en el rotor 220. Aunque en una máquina intacta las amplitudes de la corriente en circulación a las frecuencias dadas están próximas a cero, una existencia de un cierto componente de frecuencia como tal no significa necesariamente que exista una condición de fallo. La aparición de un componente de frecuencia se reconoce como una indicación de una condición de fallo sólo si la amplitud de la corriente en circulación en esa frecuencia excede un cierto valor umbral. Un componente de frecuencia con una amplitud pequeña puede ocurrir con asimetrías normales de la máquina, o puede ser una indicación de una aproximación a un defecto que no ha evolucionado todavía en una condición de fallo tan grave que deban tomarse medidas

correctoras. Los indicadores de fallos se pueden normalizar, además, en consideración de diferentes máquinas eléctricas, independientemente de su tamaño y/o diseño.

5 Cuando se determina un valor umbral para una amplitud de la corriente en circulación en un componente de frecuencia, por encima del cual la oscilación sería reconocida como una indicación de una condición de fallo, las diferencias entre las amplitudes de la corriente en circulación causadas por cambios en condiciones operativas significa que no es necesariamente factible determinar un valor umbral en términos de un valor de la amplitud absoluta. En su lugar, se ha encontrado que es más factible determinar una amplitud relativa de la corriente en circulación de acuerdo con un algoritmo.

10
$$\text{Indicador_fallo} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\text{RMS}(I_c)}{I_{\text{régimen}}} - \left| 20 \log \frac{A_{\text{frecuencia_relativa_fallo},i}}{A_{\text{principal}}}, \right| \right),$$

15 donde indicador_fallo es la amplitud relativa que debe compararse con el valor umbral, RMS (I_c) es la raíz media cuadrática de la corriente en circulación con un componente de frecuencia dado, $I_{\text{régimen}}$ es la corriente de régimen de la máquina, es decir, la corriente a plena carga de la máquina, $A_{\text{frecuencia_relativa_fallo},i}$ es una amplitud de la corriente en circulación en el i componente de frecuencia, n es el número de componentes de frecuencia y $A_{\text{principal}}$ es una amplitud de la corriente principal a la frecuencia de suministro. La amplitud relativa que debe compararse con el valor umbral es, por lo tanto, invariante a cambios en condiciones operativas y se puede comparar fácilmente contra un valor umbral escalar. El algoritmo puede comprender también un factor de normalización para tener en cuenta diferentes máquinas independientemente de su tamaño y/o diseño.

20

Las firmas de la frecuencia de la figura 3 se aplican a un cierto motor síncrono, y los resultados se pueden utilizar para detectar condiciones de fallos en máquinas síncronas del mismo tipo. No obstante, el presente método no está limitado a la diagnosis de ciertos tipos de máquinas eléctricas, y no está especialmente limitada a diagnosis de máquinas síncronas. Por el contrario, el presente método se puede aplicar a cualquier máquina eléctrica, tal como un motor eléctrico o un generador eléctrico, en el que al menos el estator 120 o el rotor 220 tienen derivaciones de bobinados paralelas 30,...60, 130, 180. Especialmente, el presente método se puede aplicar a máquinas de inducción. El presente método se puede utilizar con valores de la corriente en circulación obtenidos desde el rotor 220, aunque en la práctica es más fácil medir las corrientes en circulación 85 desde el estator 120.

25

Con referencia a la figura 4, el presente método comprende tres etapas principales: una medición 230 que resulta en un conjunto de valores de la corriente en circulación 240; un análisis de la frecuencia 250 que resulta en al menos un componente de frecuencia 260; y una identificación de una condición de fallo 270 que resulta en una eventual determinación de una condición de fallo 280.

30

La invención no está limitada a las realizaciones mostradas anteriormente, sino que un experto en la técnica puede modificarlas en una pluralidad de maneras dentro del alcance de la invención, como se define por las reivindicaciones.

35

REIVINDICACIONES

1.- Un método para identificar una condición de fallo en una máquina eléctrica, en el que al menos un estator (120) o un rotor (220) tiene bobinados (30, 40, 50, 60, 130, 140, 150, 160, 170, 180) eléctricamente paralelos, comprendiendo el método las etapas de:

- 5 - realizar una primera medición (230) para obtener un primer conjunto de valores de la corriente en circulación (240) entre dos bobinados (30, 40, 50, 60, 130, 140, 150, 160, 170, 180) eléctricamente paralelos, cada uno de cuyos bobinados (30, 40, 50, 60, 130, 140, 150, 160, 170, 180) comprende una bobina (20) individual;
- 10 - aplicar un análisis de frecuencia (250) en el primer conjunto de valores de corriente en circulación (240) para obtener al menos un componente de frecuencia (260); y
- determinar sobre la base del al menos un componente de frecuencia (260), una condición de fallo (280) de la máquina eléctrica;

estando caracterizado el método por que comprende al menos una de las siguientes etapas:

- 15 - determinar sobre la base de que el al menos un componente de la frecuencia tiene un valor de $(2k + 1) f_s \pm f_r$, donde $k = (2,3,...)$, f_s = frecuencia de suministro y f_r = frecuencia de rotación de la máquina eléctrica, que la máquina sufre de excentricidad dinámica;
- 20 - determinar, sobre la base de que el al menos un componente de la frecuencia tiene un valor de kf_s , donde $k = (2,3,...)$ y f_s = frecuencia de suministro, que la máquina sufre de excentricidad estática; y
- determinar, sobre la base de que el al menos un componente de la frecuencia tiene un valor de $(2k+1) f_s$, donde $k = (1,2,3,...)$ y f_s = frecuencia de suministro, que la máquina sufre de cortocircuito entre-espiras en el estator (120).

25 2.- Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la máquina eléctrica es un motor o generador eléctrico síncrono.

30 3.- Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la primera medición (230) se realiza con dos sensores de corriente para obtener señales de corriente de derivación desde las dos derivaciones de bobinados (30, 40, 50, 60, 130, 140, 150, 160, 170, 180) eléctricamente paralelas, y en el que el primer conjunto de valores de la corriente (240) se deduce a partir de las señales de la corriente de derivación utilizando un amplificador operativo o utilizando una resta numérica después de que las señales de la corriente de derivación han sido convertidas en un dominio digital.

35 4.- Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-2, en el que la primera medición (230) se realiza con un sensor de corriente diferencial (110).

40 5.- Un método de acuerdo con la reivindicación 4, en el que la primera medición (230) se realiza entre dos bobinados (30, 40, 50, 60, 130, 140, 150, 160, 170, 180) opuestos en la dirección circunferencial del estator (120).

6.- Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el método comprende la etapa de:

- 45 - realizar una segunda medición (230), que corresponde a la primera medición (230), siendo las dos derivaciones de bobinados (30, 40, 50, 60, 130, 140, 150, 160, 170, 180) eléctricamente paralelas en la segunda medición (230) diferentes de los de la primera medición (230).

7.- Un método de acuerdo con la reivindicación 6, en el que las dos derivaciones de bobinados (30, 40, 50, 60, 130, 140, 150, 160, 170, 180) eléctricamente paralelas en la segunda medición (230) están en una fase eléctrica (I, II, III) diferente que los de la primera medición (230).

50 8.- Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el método comprende la etapa de:

- realizar una medición (230) que corresponde a la primera medición (230) para bobinados en cada fase eléctrica (I, II, III) de la máquina eléctrica.

55 9.- Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que se determina una

condición de fallo (280) de la máquina eléctrica sobre la base de más de un componente de frecuencia (260).

10.- Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el método comprende la etapa de:

- 5 - comparar una amplitud de la corriente en circulación (85) en el componente de frecuencia (260) con un valor umbral predeterminado.

11.- Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el método comprende la etapa de:

- 10 - comparar una amplitud relativa de la corriente en circulación (85) en el componente de frecuencia (260) con un valor umbral predeterminado, en el que la amplitud relativa se determina por un algoritmo que comprende una raíz media cuadrática de la corriente en circulación (85) en el componente de frecuencia

12.- Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el método comprende:

- 15 - comparar una amplitud relativa de la corriente en circulación (85) en el componente de frecuencia (260) con un valor umbral predeterminado, donde la amplitud relativa se determina por un algoritmo que comprende un factor

20
$$20 \log \frac{A_{\text{frecuencia_relativa_fallo}}}{A_{\text{principal}}},$$

donde $A_{\text{frecuencia_relativa_fallo}}$ es una amplitud de la corriente en circulación (85) en el componente de frecuencia (260) y $A_{\text{principal}}$ es una amplitud de una corriente principal a la frecuencia de suministro.

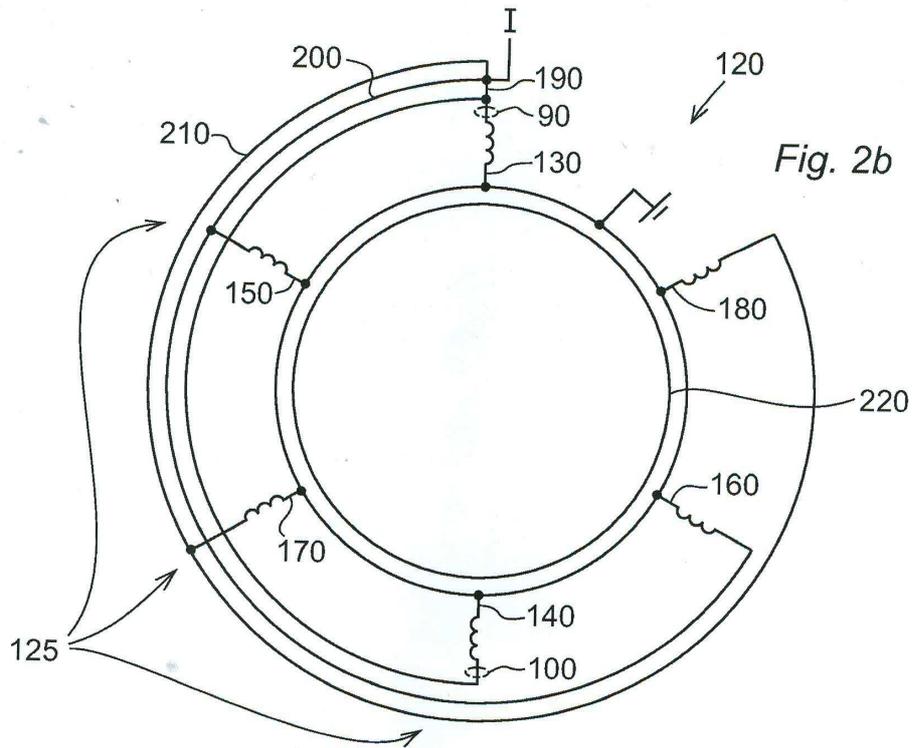
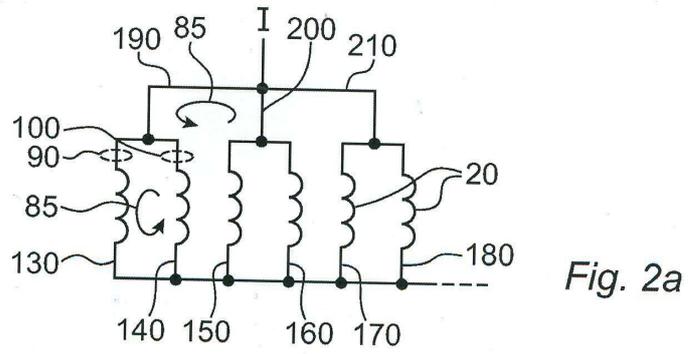
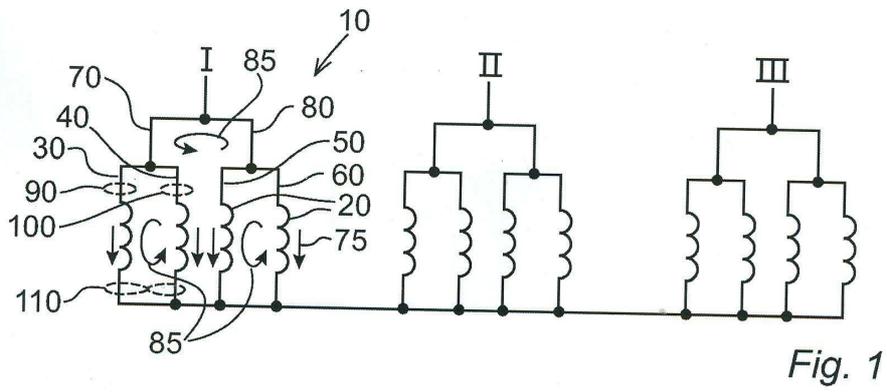
13.- Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el método comprende:

- 25 - comparar una amplitud relativa de la corriente en circulación (85) en el componente de frecuencia (260) con un valor umbral predeterminado, donde la amplitud relativa se determina por un algoritmo

30
$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{\text{RMS}(I_c)}{I_{\text{régimen}}} - \left| 20 \log \frac{A_{\text{frecuencia_relativa_fallo},i}}{A_{\text{principal}}} \right| \right),$$

en el que $\text{RMS}(I_c)$ es la raíz media cuadrática de la corriente en circulación (85) con el componente de frecuencia, $I_{\text{régimen}}$ es la corriente de régimen de la máquina, $A_{\text{frecuencia_relativa_fallo},i}$ es una amplitud de la corriente en circulación (85) en el i componente de frecuencia (260), n es el número de componentes de frecuencia (260) y $A_{\text{principal}}$ es una amplitud de una corriente principal a la frecuencia de suministro.

- 35 14.- Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la primera medición (230) se realiza durante una operación transitoria de la máquina eléctrica.



Frecuencia	Excentricidad dinámica	Excentricidad estática	Rotor entre-espiras	Estator entre-espiras
Frecuencia de rotación y múltiplos, kf_r	-----	-----	XXX	-----
Números impares de la frecuencia de suministro $(2k + 1)f_s$	-----	-----	-----	XXX
Combinación de frecuencia de suministro y de rotación $(2k + 1)f_s \pm fr$	XXX	X	-----	-----
Múltiplos de frecuencias de suministro, kf_s	-----	XXX	-----	-----

K = 01,2,3, ..., ...

"XXX" Armónico predominante

"XX" Amplitud moderada

"X" No predominante

----- Sin cambios

Figura 3

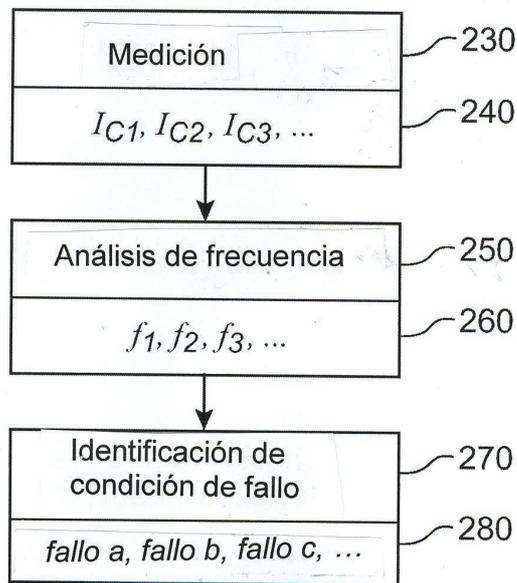


Fig. 4