

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 534 412**

51 Int. Cl.:

G01R 31/34 (2006.01)

G01R 31/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.10.2012** **E 12460078 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.01.2015** **EP 2725370**

54 Título: **Un método para el diagnóstico de un sistema electromecánico basado en análisis de impedancia**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
22.04.2015

73 Titular/es:

ABB TECHNOLOGY AG (100.0%)
Affolternstrasse 44
8050 Zürich, CH

72 Inventor/es:

OTTEWILL, JAMES;
ORMAN, MACIEJ y
PINTO, CAJETAN

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 534 412 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 el diagnóstico de un sistema electromecánico basado en análisis de impedancia

5 La presente invención se refiere a un método para diagnosticar el estado de sistemas electromecánicos en los que se usa una maquinaria rotatoria eléctrica sobre la base de un análisis de impedancia que se estima a partir de la intensidad y la tensión, que se miden durante una operación del sistema electromecánico. El método puede ser especialmente útil en la supervisión del estado de motores eléctricos y generadores.

10 **Antecedentes de la invención**

Las mejoras de diseño en curso están conduciendo a una fiabilidad y a una robustez crecientes y, lo más importante, a una mayor eficiencia de la maquinaria rotatoria eléctrica. Junto con las mejoras en los métodos de control de estas máquinas, estos cambios de diseño han conducido al uso creciente de los motores eléctricos y los generadores en la maquinaria rotatoria. En paralelo con la creciente relevancia de la maquinaria rotatoria eléctrica, ha ido el desarrollo de unos enfoques más considerados de supervisión del estado de motores y generadores. Por lo general, la ausencia de defectos de estas máquinas se ha evaluado sobre la base de temperaturas y vibraciones medidas.

20 Recientemente, el análisis de las intensidades de devanado de estátor, que se miden por lo general a partir de los cables de alimentación que conectan las máquinas rotatorias eléctricas a la fuente de alimentación, se ha desarrollado al reconocerlo como un método para identificar el estado de máquinas eléctricas, así como algunos otros componentes determinados que forman parte de la línea del eje. El análisis espectral de estas intensidades de devanado de estátor medidas, que se conoce más habitualmente como análisis de firma de intensidad de motor (MCSA, *Motor Current Signature Analysis*), representa un método ampliamente adoptado de análisis de la ausencia de defectos de la maquinaria rotatoria eléctrica usando unas señales que se miden a partir de los cables de alimentación. Los defectos en la máquina eléctrica dan como resultado unas variaciones en la carga así como unas variaciones en el tamaño del entrehierro entre el rotor y el estátor. Ambas de estas variaciones sirven para modular las grandes intensidades de suministro de alimentación de corriente alterna (CA), lo que da como resultado que unas bandas laterales de la frecuencia de suministro sean visibles en el espectro de frecuencia de la intensidad. Los modos de defecto específicos pueden estar relacionados con unas frecuencias específicas en el espectro de intensidad; por lo tanto, es posible identificar el tipo y la gravedad de un defecto en una máquina eléctrica.

35 Existen diversas ventajas del MCSA. Además de ser comparativamente económico de implementar, existen unas ventajas inherentes que están asociadas a la medición directa de señales a partir de los cables de alimentación que conectan las máquinas rotatorias eléctricas a la fuente de alimentación. En primer lugar, los sensores de intensidad y de tensión pueden considerarse como no invasivos, debido a que la máquina rotatoria eléctrica forma parte del sistema electromecánico. En segundo lugar, los efectos de trayectoria de transmisión que están asociados con la ubicación del transductor en relación con un defecto son menos graves.

40 A pesar de que el MCSA representa una herramienta potente, este no está exento de limitaciones. Una suposición que a menudo no se desvela en este análisis es que las tensiones de fase que se suministran a la máquina eléctrica son unas sinusoides idealizadas que no se ven influenciadas por el estado de la máquina. En realidad, es probable que las fuerzas electromagnéticas (EMF, *electromagnetic force*) contrarias que se generan en una máquina difieran entre máquinas defectuosas y sin defectos y, por lo tanto, es probable que las tensiones que se miden en los terminales de motor incluyan unas ciertas firmas dinámicas que pueden examinarse en busca de una información de diagnóstico. A pesar de que es cierto que, en el caso de una máquina con suministro en línea directo, las firmas dinámicas en las señales de intensidad se disciernen mucho más fácilmente que las firmas equivalentes en la tensión, también es cierto que al desprestigiar las mediciones de tensión, también se desprestigia una cierta información relevante para una supervisión del estado. Esta situación es particularmente relevante en el caso de máquinas eléctricas que se alimentan mediante una unidad de accionamiento, en la que las acciones del controlador pueden actuar para transferir información de las señales de intensidad a la tensión que se suministra a la máquina. Por lo tanto, los métodos que combinan tanto intensidades como tensiones que se miden a partir de los cables de alimentación que conectan las máquinas rotatorias eléctricas a la fuente de alimentación pueden asegurar que no se ignora información de diagnóstico potencialmente útil alguna. Un ejemplo de un método de este tipo es el análisis de los pares de fuerzas electromagnéticas que se estiman sobre la base de las intensidades y las tensiones medidas. No obstante, los métodos de estimación del par de fuerzas de una máquina requieren unas estimadas precisas de valores de parámetro de máquina tales como la resistencia de estátor. Tales valores no son siempre fáciles de obtener y su estimación precisa es no trivial.

60 Las intensidades y las tensiones medidas pueden combinarse para obtener la admitancia o impedancia de la máquina eléctrica, la cual, a su vez, puede analizarse para identificar la ausencia de defectos de la máquina. La descripción de la patente de EE. UU. US2007/0282548A, describe un método para determinar estados de un sistema mecánico que se acciona mediante un motor, mediante la supervisión de una admitancia o impedancia en una entrada al motor a lo largo de un periodo de tiempo. La admitancia o impedancia se calcula usando unas mediciones de intensidad y de tensión. La variación en la admitancia o en la impedancia está asociada con estados conocidos, incluyendo defectos. Mientras que la descripción de la patente de EE. UU. US2007/0282548A describe

un método de obtener y analizar la admitancia o impedancia de una única fase de suministro, a menudo es el caso que puede obtenerse una cantidad más grande de información de diagnóstico mediante la comparación de las diferencias entre las fases independientes de una máquina eléctrica rotatoria polifásica. Un ejemplo de cuándo este enfoque puede demostrar ser una limitación es en el caso del diagnóstico de una excentricidad estática en una máquina eléctrica trifásica. En esta situación, a pesar de que determinadas características de la impedancia que se estima a partir de las intensidades y las tensiones que se miden a partir de dos de las tres fases diferirán de las estimadas de impedancia equivalentes a partir de una máquina sin defectos, en la tercera fase la diferencia entre la impedancia que se estima en el caso sin defectos y en el caso con una excentricidad estática puede ser despreciable. Como resultado, existe un riesgo de que los enfoques de supervisión basados en la impedancia que se estima a partir de las intensidades y las tensiones que se miden a partir de solo una fase de una máquina eléctrica no sean sensibles a determinados defectos que se desarrollen, con el potencial para muchas alarmas pasadas por alto.

Sumario de la invención

En contraposición a descartar la información disponible en los terminales de motor, la invención combina la información a partir de las señales tanto de tensión como de intensidad que pueden medirse en los terminales de motor. En concreto, las mediciones de tensión y de intensidad a partir de dos o más fases de una máquina eléctrica polifásica se combinan para estimar la impedancia de la máquina, siendo la impedancia la resistencia al flujo de intensidad que muestra un circuito cuando se aplica una tensión al mismo. La invención presentada tiene muchas ventajas frente a los métodos de supervisión de estado existentes que están relacionados con un análisis de impedancia o admitancia que se conocen en el estado de la técnica. Principalmente, mediante la comparación de la impedancia que se estima a partir de cada fase de una máquina eléctrica rotatoria polifásica, la invención reduce de forma significativa la probabilidad de alarmas pasadas por alto.

Un método de acuerdo con la invención comprende las etapas de:

- medir por lo menos dos intensidades de fase y dos tensiones de fase para las mismas fases respectivas que alimentan a la máquina rotatoria,
- procesar los valores medidos usando un dispositivo de procesamiento informático que está adaptado para transformar los valores medidos del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia, creando unas señales de espectro de tensión $V_{1F}, V_{2F}, V_{3F}, \dots, V_{nF}$ y unas señales de espectro de intensidad $I_{1F}, I_{2F}, I_{3F}, \dots, I_{nF}$,
- procesar las señales de espectro de intensidad $I_{1F}, I_{2F}, I_{3F}, \dots, I_{nF}$ para obtener los espectros de intensidad invertidos $I_{1F,inv}, I_{2F,inv}, I_{3F,inv}, \dots, I_{nF,inv}$,
- procesar los espectros de intensidad invertidos $I_{1F,inv}, I_{2F,inv}, I_{3F,inv}, \dots, I_{nF,inv}$ para obtener las señales de espectro de impedancia $Y_{1F}, Y_{2F}, Y_{3F}, \dots, Y_{nF}$ de la máquina rotatoria,
- extraer un vector de amplitudes a unas frecuencias de interés a partir de las señales de espectro de impedancia que son necesarias para diagnosticar el sistema electromecánico,
- calcular el valor máximo de la diferencia entre las amplitudes a unas frecuencias de interés que se extraen a partir de las señales de espectro de impedancia,
- comparar el valor máximo de la diferencia entre las amplitudes a unas frecuencias de interés que se extraen a partir de las señales de espectro de impedancia con un umbral que se da como un límite,
- indicar una alarma al usuario cuando se supera el límite.

Preferiblemente, el vector de amplitudes a una frecuencia de interés es un tercer armónico de la frecuencia de suministro.

Preferiblemente, el vector de amplitudes a una frecuencia de interés indica la presencia de una excentricidad en el sistema electromecánico.

Un sistema de acuerdo con la invención que comprende unos medios para medir por lo menos dos intensidades de fase y dos tensiones de fase para las mismas fases respectivas que alimentan a la máquina rotatoria, unos medios para procesar los valores medidos y para crear unas señales de espectro de impedancia $Y_{1F}, Y_{2F}, Y_{3F}, \dots, Y_{nF}$ de la máquina rotatoria, unos medios para extraer unos datos de interés a partir de las señales de espectro de impedancia, unos medios para indicar una alarma al usuario, que está **caracterizado por que** este tiene unos medios para calcular el valor máximo de la diferencia entre las amplitudes a unas frecuencias de interés que se extraen a partir de las señales de espectro de impedancia y para comparar el valor máximo de la diferencia entre las amplitudes a unas frecuencias de interés que se extraen a partir de las señales de espectro de impedancia con un umbral que se da como un límite.

Preferiblemente, la maquinaria rotatoria en el sistema electromecánico es un motor o un generador.

Un producto de programa informático que puede cargarse en el dispositivo informático de medición, **caracterizado por que** durante una ejecución de programa este ejecuta el método de acuerdo con las reivindicaciones 1 - 5.

Breve descripción de los dibujos

El objeto de la invención se presenta como una realización en los siguientes dibujos.

- 5 La figura 1 muestra un diagrama de bloques del sistema para la realización de la invención, la figura 2 - un diagrama de una señal de tensión discreta $V1$ y una señal de intensidad discreta $I1$ para una fase, la figura 3 - un diagrama de unas señales de espectro de tensión $V1_F$ y unas señales de espectro de intensidad $I1_F$ para una fase,
- 10 la figura 4 - un diagrama de unos espectros de intensidad invertidos $I1_{F,inv}$, $I2_{F,inv}$, $I3_{F,inv}$, la figura 5 - un diagrama del fragmento de un espectro de impedancia para tres fases, la figura 6 - una ampliación hasta un fragmento del espectro de impedancia a partir de la figura 5, la figura 7 - un diagrama de flujo de unas operaciones que se realizan a la vez que se diagnostica un sistema electromecánico.

15 Descripción detallada de la invención

El sistema de medición para la realización del método de acuerdo con la invención está conectado a una fuente trifásica de un suministro de corriente alterna 1 que está conectada con un motor eléctrico rotatorio 3 mediante unos cables de suministro 2. En la realización presentada de la invención, la fuente del suministro de corriente alterna 1 es trifásica, no obstante, a pesar de que esta no se presenta en el dibujo, los expertos en el estado de la técnica entenderán que la invención que se describe también puede aplicarse a máquinas rotatorias eléctricas que se alimentan mediante un suministro polifásico.

Los cables de suministro 2 están conectados con un dispositivo de medición 4 que contiene un convertidor de analógico a digital 5 que está conectado con un dispositivo de procesamiento informático 6 que contiene un procesador 7 y un módulo de procesamiento 8 para calcular una impedancia y procesar unas señales de espectro de impedancia, un módulo de análisis 9 para el análisis de los datos que se reciben a partir de las señales de espectro de impedancia y un módulo de almacenamiento de datos 10, que son adecuados para la realización del método de acuerdo con la invención. El dispositivo de procesamiento informático 6, a través del dispositivo de medición 4, está acoplado con un dispositivo 11 para visualizar los resultados que se obtienen mediante la ejecución del método de la invención. En la realización presentada de la invención, el dispositivo de medición 4 está integrado con el dispositivo informático 6, pero el dispositivo de medición y el dispositivo informático pueden ser dispositivos independientes, que no se muestran en el dibujo. En tal caso, el dispositivo 11 para visualizar los resultados está conectado de forma directa o a distancia con el dispositivo informático 6.

El método de la invención se implementa de acuerdo con las siguientes etapas 12 - 22 que se muestran en la figura 7.

40 Etapa 12

Con referencia a la red electromecánica que se muestra en la figura 1, en la etapa 12, las señales de tensión analógicas $V1$, $V2$, $V3$, ... , Vn y las señales de intensidad analógicas $I1$, $I2$, $I3$, ... , In respectivas de la corriente alterna que alimenta al devanado de estátor, en las que n es el número de fases que se miden de la máquina eléctrica rotatoria 3, que ha de ser más grande que 1. Una realización típica será que se miden tres fases ($n = 3$) de las señales de tensión analógicas y las señales de intensidad analógicas respectivas. Por razones de claridad, lo siguiente describe esta realización típica con $n = 3$ fases en consideración, a pesar de que los expertos en el estado de la técnica reconocerán que pueden considerarse igualmente otros valores de n .

50 Etapa 13

Por lo menos dos de las señales de tensión analógicas medidas $V1$, $V2$, $V3$ resultantes y por lo menos dos de las señales de intensidad analógicas $I1$, $I2$, $I3$, en las que las señales de intensidad analógicas medidas, $I1$, $I2$, $I3$ y las señales de tensión analógicas medidas $V1$, $V2$, $V3$ son de la misma fase respectiva, se convierten en unas señales de tensión discretas $V1_D$, $V2_D$, $V3_D$ y unas señales de intensidad discretas $I1_D$, $I2_D$, $I3_D$ respectivas en un convertidor de analógico a digital 5, al que se suministran unos parámetros $P1$ constantes. Los parámetros $P1$ caracterizan el proceso de conversión de señales analógicas en señales discretas, que está compuesto por la tasa de muestreo F_S dada por el usuario y la longitud de la señal T_L que se somete a una conversión dada por el usuario. La tasa de muestreo F_S define el número de muestras por segundo que se toman a partir de las señales de tensión analógicas $V1$, $V2$, $V3$ y las señales de intensidad analógicas $I1$, $I2$, $I3$. Por lo general, la tasa de muestreo mínima es 1 kHz y este es el ajuste por defecto. La longitud de la señal T_L define la longitud de las señales de tensión analógicas $V1$, $V2$, $V3$ y las señales de intensidad analógicas $I1$, $I2$, $I3$ que se toman para una conversión de analógica a digital. En la realización del método de la invención, el valor mínimo de la longitud de la señal T_L es de 1 s.

Las señales de tensión discretas $V1_D$, $V2_D$, $V3_D$ y las señales de intensidad discretas $I1_D$, $I2_D$, $I3_D$ obtenidas se transmiten de forma automática al módulo de procesamiento 8 que se implementa en el dispositivo informático 6.

Etapa 14

En esta etapa, las señales de tensión discretas $V1_D, V2_D, V3_D$ y las señales de intensidad discretas $I1_D, I2_D, I3_D$ se transforman mediante el cálculo de la DFT (*Discrete Fourier Transform*, Transformada Discreta de Fourier). La operación de DFT transforma la señal procedente del dominio del tiempo en una señal en el dominio de la frecuencia, permitiendo que se realice un análisis espectral; los detalles de tal cálculo, incluyendo los algoritmos que se usan para calcular la DFT, tal como la transformada rápida de Fourier, son bien conocidos por los expertos en la materia. La DFT resultante también puede convertirse en la escala logarítmica en relación con el valor máximo en la DFT, que por lo general está relacionada con la frecuencia de suministro, usando métodos bien conocidos por los expertos en la materia. Por lo general, la frecuencia de suministro es igual a la frecuencia de línea para máquinas con suministro en línea directo, o a unas frecuencias que están relacionadas con el punto de ajuste de velocidad para máquinas que se alimentan mediante unidades de accionamiento eléctrico. Después de la transformación, las señales de tensión discretas $V1_D, V2_D, V3_D$ y las señales de intensidad discretas $I1_D, I2_D, I3_D$ forman unas señales de espectro de tensión $V1_F, V2_F, V3_F$ y unas señales de espectro de intensidad $I1_F, I2_F, I3_F$, respectivamente. Las señales de espectro de tensión $V1_F, V2_F, V3_F$ y las señales de espectro de intensidad $I1_F, I2_F, I3_F$ contienen unos vectores de tensión de frecuencia $V1_{Ff}, V2_{Ff}, V3_{Ff}$ respectivos y unos valores $V1_{Fv}, V2_{Fv}, V3_{Fv}$ para el caso de las señales de espectro de tensión $V1_F, V2_F, V3_F$ y los vectores de intensidad de frecuencia $I1_{Ff}, I2_{Ff}, I3_{Ff}$ y unos valores $I1_{Fv}, I2_{Fv}, I3_{Fv}$ para el caso de las señales de espectro de intensidad $I1_F, I2_F, I3_F$ tal como se muestra en la figura 3 para el ejemplo de la fase 1.

Etapa 15

Antes de calcular las señales de espectro de impedancia $Y1_F, Y2_F, Y3_F$, por lo general es necesario realizar un cierto acondicionamiento menor de señal para asegurar la facilidad de uso de las señales de espectro de impedancia $Y1_F, Y2_F, Y3_F$ resultantes. Con el fin de reducir la influencia de la frecuencia de suministro, que domina las señales de espectro de intensidad $I1_F, I2_F, I3_F$, por lo general es necesario aplicar un filtro de paso de banda o de rechazo de banda para eliminar la frecuencia de suministro usando métodos de identificación de picos y de filtrado conocidos en el estado de la técnica. Además, una vez que se han invertido, las componentes de baja amplitud de las señales de espectro de intensidad $I1_F, I2_F, I3_F$ pueden dominar las señales de impedancia $Y1_F, Y2_F, Y3_F$. Para asegurar que las señales de espectro de impedancia $Y1_F, Y2_F, Y3_F$ contengan tanta información como sea posible, por lo general también es necesario establecer unos valores de las señales de espectro de intensidad $I1_F, I2_F, I3_F$ cuya amplitud se encuentra por debajo de un umbral previamente definido por el usuario para que sea igual a ese umbral. El valor umbral se suministra a esta etapa como un conjunto de parámetros P2. Un valor típico del valor umbral es un 1 % de la amplitud máxima de las señales de espectro de intensidad $I1_F, I2_F, I3_F$ y este es el valor por defecto. Después de realizar las acciones de acondicionamiento menor de señal, se obtienen las señales de espectro de intensidad acondicionadas $I1_{F,con}, I2_{F,con}, I3_{F,con}$. Los expertos en el estado de la técnica sabrán que el acondicionamiento de señal adicional es una etapa discrecional que está dirigida a la mejora de la calidad de la información que está contenida en las señales de espectro de impedancia $Y1_F, Y2_F, Y3_F$ usando unos métodos conocidos en el estado de la técnica, y que bajo determinadas condiciones este acondicionamiento adicional puede omitirse del método de la invención, tal como se indica en la figura 7 mediante líneas de trazos.

Etapa 16

En esta etapa, se calculan unas señales de espectro de intensidad invertidas $I1_{F,inv}, I2_{F,inv}, I3_{F,inv}$. Las señales de espectro de intensidad invertidas $I1_{F,inv}, I2_{F,inv}, I3_{F,inv}$, pueden calcularse usando la fórmula:

$$\left. \begin{aligned} I1_{F,inv} &= \frac{1}{I1_{F,con}} \\ I2_{F,inv} &= \frac{1}{I2_{F,con}} \\ I3_{F,inv} &= \frac{1}{I3_{F,con}} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

La figura 4 muestra las señales de espectro de intensidad invertidas $I1_{F,inv}, I2_{F,inv}, I3_{F,inv}$, que se obtienen después de eliminar la frecuencia de suministro y las componentes de baja amplitud de las señales de espectro de intensidad $I1_F, I2_F, I3_F$.

Etapa 17

Las señales de espectro de impedancia $Y1_F, Y2_F, Y3_F$ contienen unos vectores de impedancia de frecuencia $Y1_{Ff}, Y2_{Ff}, Y3_{Ff}$ y unos valores de amplitud de impedancia $Y1_{Fv}, Y2_{Fv}, Y3_{Fv}$. Los vectores de impedancia de frecuencia $Y1_{Ff}, Y2_{Ff}, Y3_{Ff}$ que es la misma que la de los vectores de tensión de frecuencia $V1_{Ff}, V2_{Ff}, V3_{Ff}$ o los vectores de

intensidad de frecuencia I_{1F} , I_{2F} , I_{3F} . Los valores de amplitud de impedancia Y_{1Fv} , Y_{2Fv} , Y_{3Fv} se calculan usando la fórmula:

$$\left. \begin{aligned} Y_{1Fv} &= V_{1Fv} I_{1F,inv} \\ Y_{2Fv} &= V_{2Fv} I_{2F,inv} \\ Y_{3Fv} &= V_{3Fv} I_{3F,inv} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

5 en la que $I_{1F,inv}$, $I_{2F,inv}$, $I_{3F,inv}$ se calcularon en la etapa 16.

La impedancia es una medida de la oposición al flujo de intensidad que tiene un circuito particular cuando se aplica una tensión al mismo. En un motor eléctrico, la impedancia de una única fase de suministro puede ser variable con el tiempo en respuesta a la dinámica del sistema, en concreto unos cambios en el tamaño del entrehierro o un cambio en el flujo magnético del rotor o del estátor. Las señales de espectro de impedancia Y_{1F} , Y_{2F} , Y_{3F} indican el contenido en frecuencia de la impedancia. El resultado de la etapa 17 son las señales de espectro de impedancia Y_{1F} , Y_{2F} , Y_{3F} , que se presentan en la figura 5.

15 Etapa 18

Una vez que se ha calculado la impedancia de las tres fases de suministro, las señales de espectro de impedancia Y_{1F} , Y_{2F} , Y_{3F} se analizan en el módulo 9 con el fin de extraer una información que está relacionada con el estado de la máquina eléctrica rotatoria. Las asimetrías en una máquina, causadas por unos defectos tales como una excentricidad darán como resultado unas diferencias en los valores de impedancia entre cada fase. Por lo tanto, un defecto dará lugar a un aumento en el nivel global del espectro de impedancia a una frecuencia determinada así como una discrepancia entre las tres fases. El aumento en el nivel actúa para acentuar la diferencia entre las fases. Por lo general, las señales de espectro de impedancia Y_{1F} , Y_{2F} , Y_{3F} contienen unas componentes características a unas frecuencias que están relacionadas con la frecuencia de suministro y la frecuencia de rotación. Los valores de amplitud de impedancia Y_{1Fv} , Y_{2Fv} , Y_{3Fv} a estas frecuencias características están relacionados con la gravedad de unos tipos de defecto específicos.

En la realización a modo de ejemplo de la invención, se examinó un caso de excentricidad de un motor defectuoso. La excentricidad no fue detectable basándose solo en el análisis de las mediciones de intensidad. En la figura 5 hay un fragmento de tres fases de las señales de espectro de impedancia Y_{1F} , Y_{2F} , Y_{3F} . A medida que esta se amplía (la figura 6) hasta unas frecuencias de interés, en la que en este caso esta es el 3^{er} armónico de la frecuencia de línea, es posible observar que hay unas diferencias relativamente grandes entre las amplitudes de fase de impedancia. Los expertos en el estado de la técnica reconocerán que pueden identificarse y cuantificarse defectos que no sean una excentricidad mediante la identificación de los valores de amplitud de impedancia Y_{1Fv} , Y_{2Fv} , Y_{3Fv} a unas frecuencias características, que no sean el 3^{er} armónico de la frecuencia de línea.

Los resultados de esta etapa son unas amplitudes de impedancia A_{1Y} , A_{2Y} , A_{3Y} a la frecuencia de interés de cada una de las fases que se seleccionan en la etapa 12.

40 Etapa 19

En esta etapa, se calcula la diferencia entre cada una de las amplitudes de impedancia A_{1Y} , A_{2Y} , A_{3Y} a la frecuencia de interés de cada una de las fases que se seleccionan en la etapa 12. Esto se logra mediante la realización de una prueba para todos los pares, o prueba par a par, en la que la diferencia entre todos los pares posibles de valores en las amplitudes de impedancia A_{1Y} , A_{2Y} , A_{3Y} a la frecuencia de interés de cada fase que se selecciona en la etapa 12 se calcula mediante una simple sustracción. El resultado de esta operación es la diferencia entre las amplitudes D_{1A} , D_{2A} , D_{3A} de las fases de impedancia a la frecuencia de interés.

50 Etapa 20

En esta etapa, el valor del valor máximo de la diferencia entre las amplitudes D_{1A} , D_{2A} , D_{3A} de las fases de impedancia a la frecuencia de interés se compara con un valor umbral. El valor umbral se da a esta etapa como un parámetro P3. Un valor umbral típico es un diez por ciento del valor máximo del espectro de impedancia, y este valor se establece como el valor por defecto. Será bien conocido por los expertos en el estado de la técnica que los valores umbral pueden ajustarse de acuerdo con la evidencia empírica o sobre la base de modelos de los sistemas electromecánicos.

Si el valor máximo de la diferencia entre las amplitudes D_{1A} , D_{2A} , D_{3A} de las fases de impedancia a la frecuencia de interés es más grande que el umbral previamente definido P3, entonces puede iniciarse una alarma y puede indicarse un defecto al usuario final, usando unas técnicas conocidas en el estado de la técnica, por ejemplo por

ES 2 534 412 T3

medio de una interfaz visual de usuario sencilla en un monitor, o por medio de un mensaje de texto de SMS.

- 5 En la realización que se describe, se da un método para diagnosticar problemas de excentricidad usando los espectros de impedancia, no obstante debería hacerse notar que el método es aplicable al diagnóstico de una amplia gama de defectos, simplemente mediante el análisis de los espectros de impedancia a diferentes frecuencias de interés.

Etapa 21.

- 10 En la etapa 21, las amplitudes de impedancia $A_{1\gamma}$, $A_{2\gamma}$, $A_{3\gamma}$ a la frecuencia de interés de cada una de las fases y la advertencia que se obtiene en la etapa 20 se suministran de forma automática al usuario, por medio de la unidad de salida 11 usando unos métodos conocidos.

Etapa 22

- 15 En la etapa 22, las amplitudes de impedancia $A_{1\gamma}$, $A_{2\gamma}$, $A_{3\gamma}$ se suministran de forma automática al usuario, por medio de la unidad de salida 11 usando unos métodos conocidos. Adicionalmente, el método de la invención puede reiniciarse, de forma opcional, en la etapa 12, tal como se indica en la figura 7 por medio de una línea de puntos que conecta la etapa 22 a la etapa 12.
- 20

REIVINDICACIONES

1. Un método para supervisar el estado de un sistema electromecánico en el que se usa una maquinaria rotatoria eléctrica, que comprende las etapas de:
- 5
- medir por lo menos dos intensidades de fase y dos tensiones de fase para las mismas fases respectivas que alimentan a la máquina rotatoria,
 - procesar los valores medidos usando un dispositivo de procesamiento informático que está adaptado para transformar los valores medidos del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia, creando unas señales de espectro de tensión V_{1F} , V_{2F} , V_{3F} , ... , V_{nF} y unas señales de espectro de intensidad I_{1F} , I_{2F} , I_{3F} , ... , I_{nF} ,
 - 10 - procesar las señales de espectro de intensidad I_{1F} , I_{2F} , I_{3F} , ... , I_{nF} para obtener los espectros de intensidad invertidos $I_{1F,inv}$, $I_{2F,inv}$, $I_{3F,inv}$, ... , $I_{nF,inv}$,
 - procesar los espectros de intensidad invertidos $I_{1F,inv}$, $I_{2F,inv}$, $I_{3F,inv}$, ... , $I_{nF,inv}$ para obtener las señales de espectro de impedancia Y_{1F} , Y_{2F} , Y_{3F} , ... , Y_{nF} de la máquina rotatoria, **caracterizado por**
 - 15 - extraer un vector de amplitudes a unas frecuencias de interés a partir de las señales de espectro de impedancia que son necesarias para diagnosticar el sistema electromecánico,
 - calcular el valor máximo de la diferencia entre las amplitudes a unas frecuencias de interés que se extraen a partir de las señales de espectro de impedancia,
 - 20 - comparar el valor máximo de la diferencia entre las amplitudes a unas frecuencias de interés que se extraen a partir de las señales de espectro de impedancia con un umbral que se da como un límite,
 - indicar una alarma al usuario cuando se supera el límite.
2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** el vector de amplitudes a una frecuencia de interés es un tercer armónico de la frecuencia de suministro.
- 25
3. Un método de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizado por que** el vector de amplitudes a una frecuencia de interés indica la presencia de una excentricidad en el sistema electromecánico.
4. Un sistema para supervisar el estado de un sistema electromecánico en el que se usa una maquinaria rotatoria eléctrica (3), que comprende unos medios para medir por lo menos dos intensidades de fase y dos tensiones de fase para las mismas fases respectivas que alimentan a la máquina rotatoria, unos medios para procesar los valores medidos y para crear unas señales de espectro de impedancia Y_{1F} , Y_{2F} , Y_{3F} , ... , Y_{nF} de la máquina rotatoria, unos medios para extraer unos datos de interés a partir de las señales de espectro de impedancia, unos medios para indicar una alarma al usuario, **caracterizado por que** tiene unos medios para calcular el valor máximo de la diferencia entre las amplitudes a unas frecuencias de interés que se extraen a partir de las señales de espectro de impedancia y para comparar el valor máximo de la diferencia entre las amplitudes a unas frecuencias de interés que se extraen a partir de las señales de espectro de impedancia con un umbral que se da como un límite.
- 30
- 35
5. Un método de acuerdo con las reivindicaciones 1 - 3 **caracterizado por que** la maquinaria rotatoria (3) en el sistema electromecánico es un motor o un generador.
- 40
6. Un producto de programa informático para el método para supervisar el estado de un sistema electromecánico en el que se usa una maquinaria rotatoria eléctrica (3), pudiéndose dicho producto de programa informático cargarse y ejecutarse en el dispositivo informático de medición (4), **caracterizado por que** durante una ejecución de programa este ejecuta el método de acuerdo con las reivindicaciones 1 - 3 y 5.
- 45

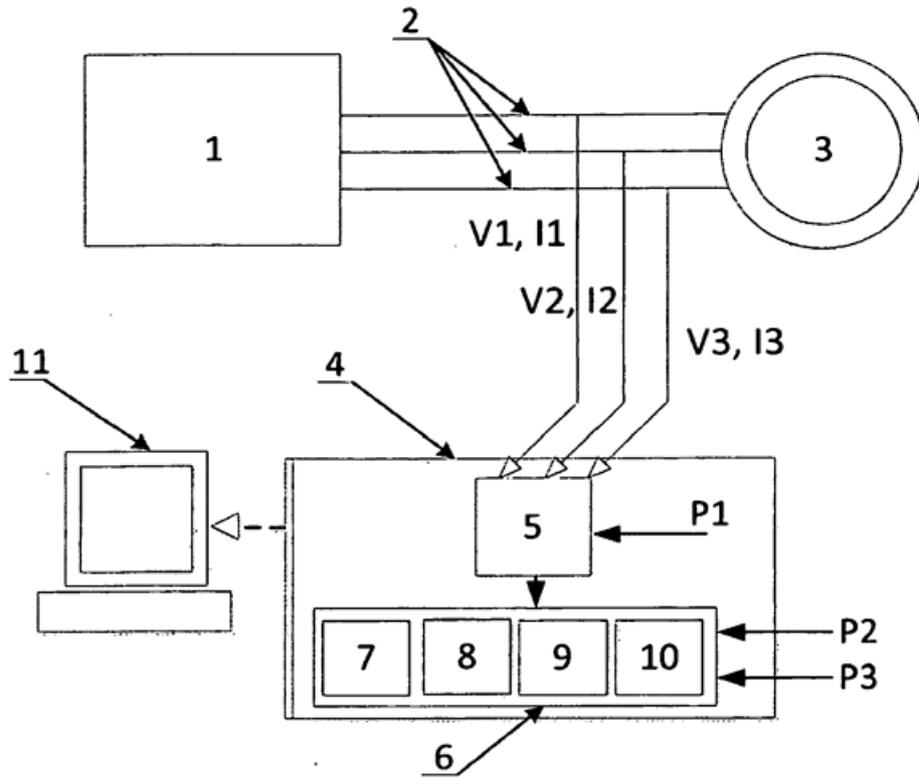


FIG 1

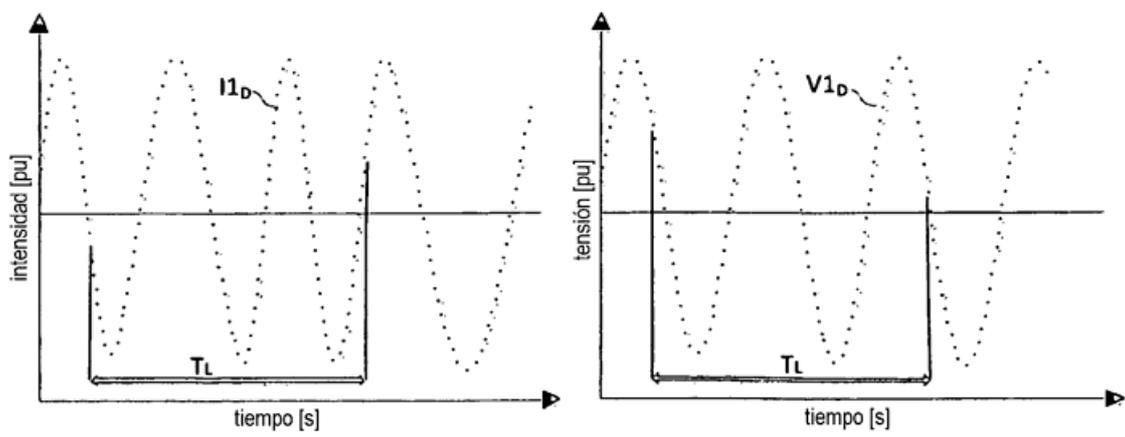


FIG 2

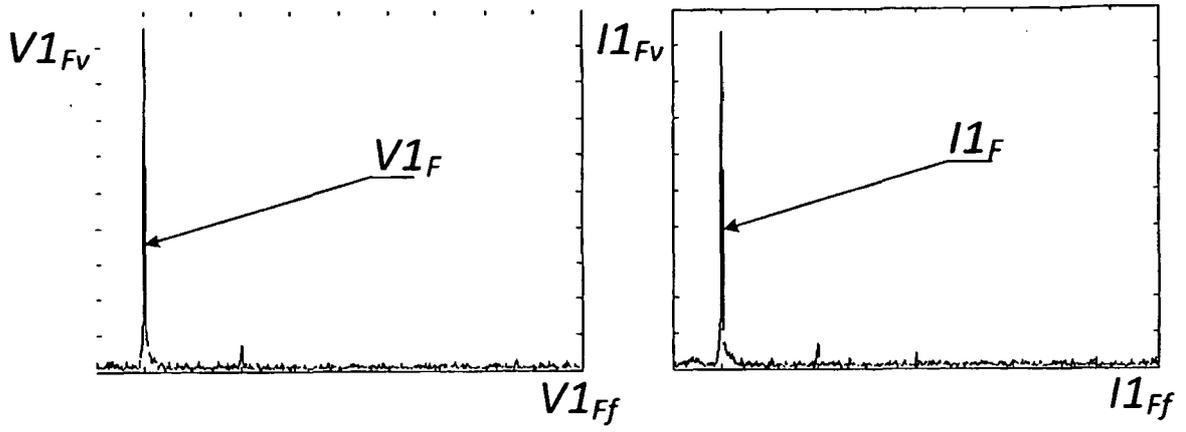


FIG 3

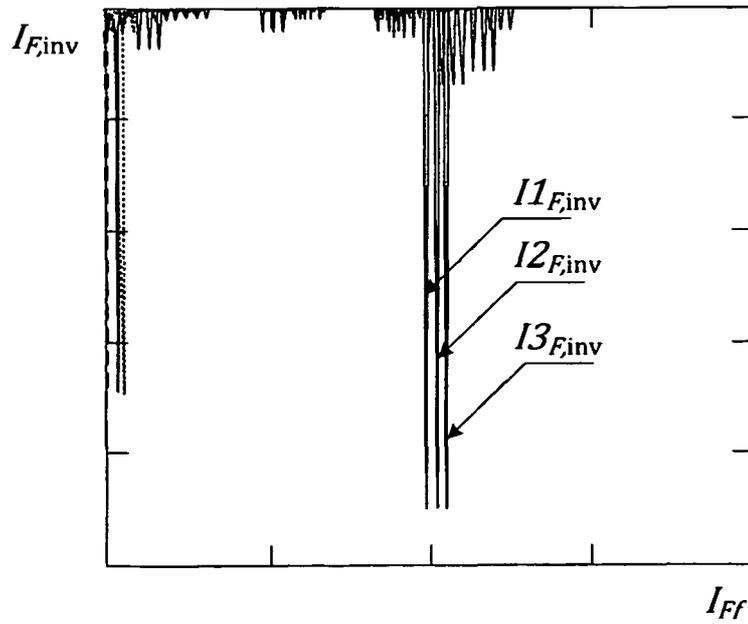


FIG 4

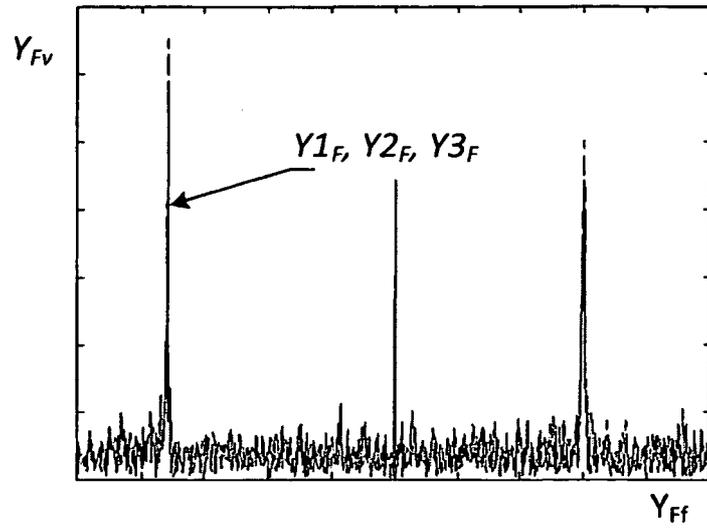


FIG 5

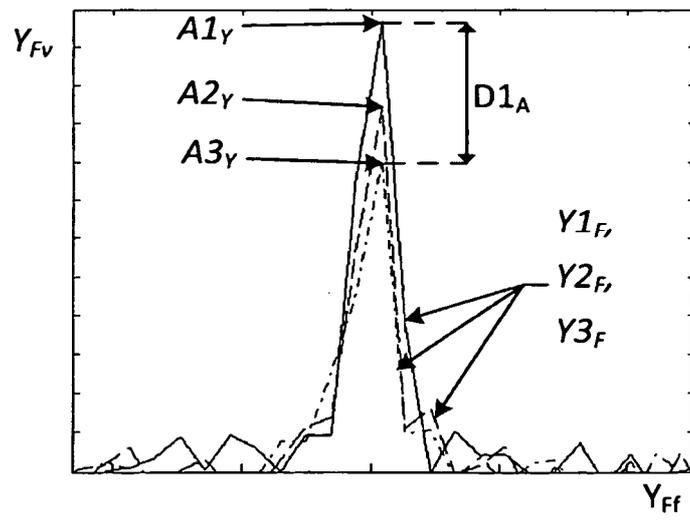


FIG 6

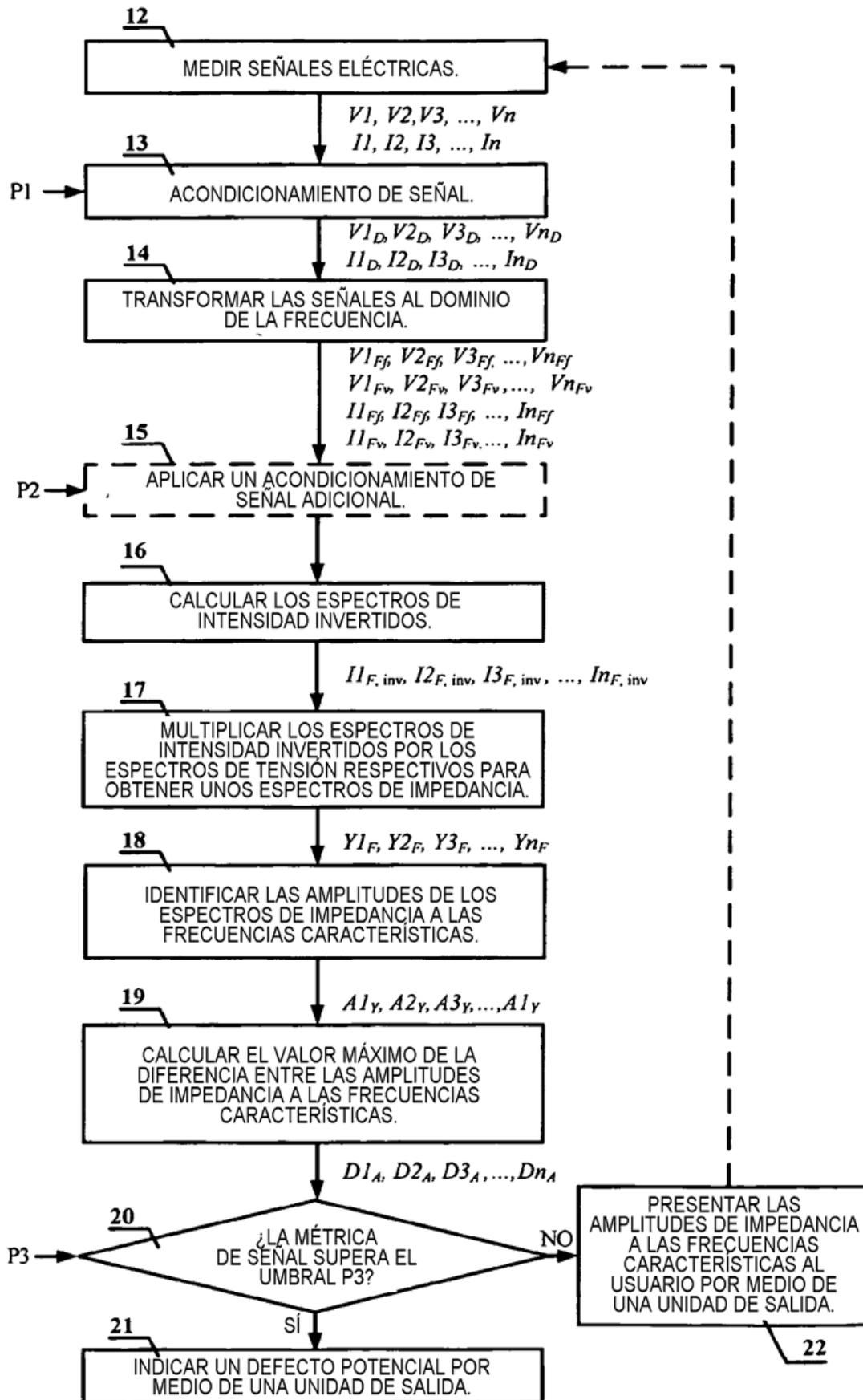


FIG 7