

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 615 210**

51 Int. Cl.:

G01H 1/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.06.2011 E 11171814 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.11.2016 EP 2541217**

54 Título: **Un método para identificar un fallo en una máquina eléctrica**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
05.06.2017

73 Titular/es:
ABB RESEARCH LTD. (100.0%)
Affolternstrasse 44
8050 Zürich, CH

72 Inventor/es:
RODRIGUEZ, PEDRO

74 Agente/Representante:
LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 615 210 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 identificar un fallo en una máquina eléctrica

CAMPO TÉCNICO

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

5 TÉCNICA ANTERIOR

Como cualquier dispositivo técnico, las máquinas eléctricas pueden padecer de diferentes tipos de fallos, o bien de carácter mecánico o bien eléctrico. Ya que las máquinas eléctricas tienen un elemento móvil en forma de un rotor, muchas de las condiciones de fallo más comunes provocan vibraciones a la máquina. Se sabe que diferentes condiciones de fallo provocan diferentes tipos de vibraciones. A su vez, se deduce que al conocer qué tipo de vibración causa una cierta condición de fallo, es posible detectar el fallo vigilando las características de vibración de la máquina.

La vigilancia de vibraciones se ha utilizado convencionalmente para detectar fallos mecánicos en máquinas eléctricas. Este método de vigilancia ha sido exitoso por ejemplo en la detección de defectos de cojinete. Sin embargo, no ha sido capaz de detectar fallos eléctricos de una forma satisfactoria por medio de vigilancia de vibraciones, incluso si se han realizado intentos en esta dirección. Por ejemplo, el papel de la conferencia "Una aproximación analítica para resolver problemas de vibración de motor" de Finley, W.R. y col. 1999 (D1) describe una tabla (Tabla I) con indicadores para identificar ambos fallos mecánicos y eléctricos en un motor de inducción. Los indicadores principales de fallo son las frecuencias de las vibraciones y sus bandas laterales. Se requiere mucha interpretación empírica para determinar la fuente de la ruta de la vibración con la ayuda de D1, y no es posible distinguir entre diferentes condiciones de fallo de una manera satisfactoria.

20 Los documentos US4975855 y US5520061 describen sistemas de detección de fallos para ejes giratorios. Se determinan las vibraciones y modos de forma del eje y se detectan fallos.

RESUMEN DE LA INVENCION

Un objeto de la invención es proporcionar un método que permite una identificación mejorada de un fallo en una máquina eléctrica.

25 Otro objeto de la invención es proporcionar un sistema de vigilancia que permita una identificación mejorada de un fallo en una máquina eléctrica.

Estos objetos se consiguen por el método de acuerdo con la reivindicación 1 adjunta y el dispositivo de acuerdo con la reivindicación 12 adjunta.

30 La invención se basa en la realización en la que una forma de modo de una vibración a una frecuencia particular es un indicador importante para muchas condiciones de fallo. En la técnica anterior, una forma de modo de una cierta vibración no se ha considerado como un indicador de fallo. Por ejemplo, con la configuración de medición descrita en D1, la fig. 15 ni si quiera es posible determinar las formas de modo de las diferentes frecuencias de vibración.

35 De acuerdo con un primer aspecto de la invención, se ha proporcionado un método para identificar un fallo en una máquina eléctrica que tiene un rotor y un estator. Comprendiendo el método las operaciones de: llevar a cabo una primera medición de vibración en una primera dirección radial del estator; llevar a cabo una segunda medición de vibración en una segunda dirección radial del estator; determinar, sobre la base de al menos una de la primera medición de vibración y la segunda medición de vibración, una primera frecuencia de vibración; determinar, sobre la base de la primera medición de vibración y la segunda medición de vibración, una forma de modo de vibración en la primera frecuencia de vibración; y utilizar una combinación de la primera frecuencia de vibración y la forma de modo para identificar una condición de fallo de la máquina eléctrica.

40 Utilizando una combinación de la primera frecuencia de vibración y la forma de modo como un indicador de fallo, se consigue una identificación más fiable de una condición de fallo.

45 De acuerdo con una realización de la invención el método comprende las operaciones de: llevar a cabo una pluralidad de mediciones de vibración en al menos tres direcciones radiales diferentes del estator, tal como al menos cuatro, al menos seis o al menos ocho direcciones radiales diferentes del estator; determinar, sobre la base de al menos una de la pluralidad de mediciones de vibración, una primera frecuencia de vibración; y determinar, sobre la base de la pluralidad de mediciones de vibración, una forma de modo de la vibración en la primera frecuencia de vibración. Cuantas más mediciones hay en las direcciones radiales diferentes, más números de modo se pueden detectar y mejor es la fiabilidad de esta detección.

50 De acuerdo con una realización de la invención la condición de fallo se identifica cuando una amplitud de vibración en le primera frecuencia de vibración sobrepasa un valor de umbral predeterminado. Es razonable determinar un valor de

umbral para la amplitud de vibración ya que una vibración de amplitud muy pequeña no es perjudicial para la máquina, y se puede evitar de este modo un diagnóstico de condición de fallo falso.

5 De acuerdo con una realización de la invención el método comprende las operaciones de: llevar a cabo mediciones de vibración con una primera carga y con una segunda carga de la máquina; determinar una diferencia en amplitudes de vibración con una primera carga y con una segunda carga en la primera frecuencia de vibración; y utilizar una combinación de la primera frecuencia de vibración, la forma de modo y la diferencia en amplitudes de vibración para identificar una condición de fallo de la máquina eléctrica. Utilizando la diferencia en amplitudes de vibración como indicador de fallo adicional, se permiten distinciones entre otras condiciones de fallo y se consigue una identificación más fiable de una condición de fallo.

10 De acuerdo con una realización de la invención la condición de fallo es una de las siguientes: una barra de rotor rota, excentricidad dinámica, excentricidad estática, cortocircuito entre espiras, cortocircuito entre bobinas. El presente método es particularmente adecuado para identificar las condiciones de fallo enumeradas cuando se pueden encontrar correlaciones claras entre las características de vibración y las condiciones de fallo que se pueden encontrar.

15 De acuerdo con una realización de la invención el método comprende la operación de: determinar, sobre la base de que la primera frecuencia de vibración f y la forma de modo m satisfacen una de las siguientes condiciones: $f = n \cdot f_r$ o $f = n \cdot f_r \pm 2 \cdot s \cdot f_s$ y $m = n$, en el que $n = (1,3,5,\dots)$, f_r = frecuencia de rotación del motor, s = deslizamiento del rotor y f_s = frecuencia de suministro, que una barra de rotor está rota. Se ha descubierto que las condiciones mencionadas son un indicador de fallo fiable para una barra de rotor rota.

20 De acuerdo con una realización de la invención el método comprende las operaciones de: determinar, sobre la base de que la primera frecuencia de vibración f y la forma de modo m satisfacen una de las siguientes condiciones: $f = 2 \cdot f_r$ y $m = 2$; $f = 2 \cdot f_s - f_r$ y $m = 2 \cdot p - 1$; $f = 2 \cdot f_s + f_r$ y $m = 2 \cdot p + 1$, en el que f_r = frecuencia de rotación del motor, f_s = frecuencia de suministro y p = número de pares de polos de estator, que el rotor es dinámicamente excéntrico. Se ha descubierto que las condiciones mencionadas son un indicador de fallo fiable para una excentricidad dinámica de un rotor.

25 De acuerdo con una realización de la invención el método comprende las operaciones de: determinar, sobre la base de que la primera frecuencia de vibración f y la forma de modo m satisfacen una de las siguientes condiciones: $f = 2 \cdot f_s$ y $m = 2 \cdot p + 1$ o $m = 2 \cdot p - 1$, en donde f_s = frecuencia de suministro y p = número de pares de polos de estator, que el rotor es estáticamente excéntrico. Se ha descubierto que las condiciones mencionadas son un indicador de fallo fiable para una excentricidad estática de un rotor.

30 De acuerdo con una realización de la invención el método comprende la operación de: determinar, sobre la base de que la primera frecuencia de vibración f y la forma de modo m satisfacen una de las siguientes condiciones: $f = 2 \cdot k \cdot f_s$ y $m = (2,4,6,\dots)$, en donde $k = (1,2,3,\dots)$ y f_s = frecuencia de suministro, que las bobinas del estator tienen o bien un cortocircuito entre espiras o bien un cortocircuito entre bobinas. Se ha descubierto que las condiciones mencionadas son un indicador de fallo fiable para o bien un cortocircuito entre espiras o bien un cortocircuito entre bobinas.

35 De acuerdo con una realización de la invención el método comprende las operaciones de: llevar a cabo mediciones de vibración con una primera carga y con una segunda carga de la máquina, siendo la primera carga menor que la segunda carga; determinar una diferencia en amplitudes de vibración con una primera carga y con una segunda carga en la primera frecuencia de vibración; y determinar, sobre la base de que la amplitud de vibración aumenta con una carga creciente y que el aumento de la amplitud de vibración sobrepasa un valor de umbral predeterminado, que las bobinas de estator tiene un cortocircuito entre espiras. Se ha descubierto que una amplitud de vibración creciente con una carga creciente es un indicador de fallo fiable para distinguir entre un cortocircuito entre espiras y un cortocircuito entre bobinas.

De acuerdo con una realización de la invención la máquina eléctrica es un motor de inducción. El presente método es particularmente adecuado para identificar condiciones de fallo en motores de inducción en los que se pueden encontrar correlaciones claras entre las características de vibración y las condiciones de fallo.

45 De acuerdo con un segundo aspecto de la invención, se ha proporciona un sistema de vigilancia para identificar un fallo en una máquina eléctrica que tiene un rotor y un estator. El sistema de vigilancia comprende un primer sensor previsto para medir la vibración en una primera dirección radial del estator, y un segundo sensor previsto para medir la vibración en una segunda dirección radial del estator. Un procesador recibe señales de medición procedentes desde el primer sensor y el segundo sensor. El procesador comprende un primer algoritmo para detectar a partir de las señales de medición una primera frecuencia de vibración y una forma de modo de la vibración en la primera frecuencia de vibración.

50 El procesador comprende además un segundo algoritmo para identificar una condición de fallo de la máquina eléctrica a partir de la combinación de la primera frecuencia de vibración y la forma de modo. Con un sistema de vigilancia capaz de utilizar una combinación de la primera frecuencia de vibración y la forma de modo como un indicador de fallo, se consigue una identificación más fiable de una condición de fallo.

55 De acuerdo con una realización de la invención el sistema de vigilancia comprende una pluralidad de sensores previstos para medir la vibración en al menos tres direcciones radiales del estator, tal como en al menos cuatro, en al menos seis o en al menos ocho direcciones radiales diferentes del estator, y el procesador recibe señales de medición desde la

pluralidad de sensores. Cuanto mayor es el número de mediciones en direcciones radiales diferentes del estator mayor es el número de modos que se permite detectar con una buena fiabilidad.

De acuerdo con una realización de la invención los sensores son acelerómetros. Los acelerómetros son sensores de vibración preferibles debido a su pequeño tamaño y su bajo precio.

- 5 De acuerdo con una realización de la invención, se ha proporcionado un motor de inducción que comprende un sistema de vigilancia de acuerdo con la descripción anterior de este documento.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La invención será explicada en mayor detalle con referencia a los dibujos adjuntos, en los que

La fig. 1 muestra una instalación física de acuerdo con una realización de la invención,

- 10 La fig. 2 muestra la primera de las cuatro formas de modo de vibración,

La fig. 3 muestra una tabla que enumera correlaciones entre ciertas características de vibración y ciertas condiciones de fallo.

DESCRIPCIÓN DE LAS REALIZACIONES PREFERIDAS

- 15 Con referencia a la fig. 1, se ha mostrado una instalación de medición 10 para medir las vibraciones en una máquina eléctrica. Hay ocho acelerómetros 20 distribuidos uniformemente alrededor de la circunferencia de un estator 30. Un mayor número de acelerómetros 20 permite la detección de un mayor número de modos, así cuantos más acelerómetros 20 mejor capacidad de identificación de fallo tiene la instalación de medición 10. Sin embargo, ya que estamos interesados principalmente en los modos de número bajo (de 1 a 4), ocho acelerómetros 20 o incluso menos serían suficientes. Los acelerómetros 20 están conectados por cables de medición 40 a un amplificador 50, y además a un convertidor A/D 60. Los acelerómetros 20 proporcionan la información de vibración en el espacio de tiempo es decir la aceleración como una función de tiempo. Además, se conoce la posición angular de cada acelerómetro 20. Los resultados de la medición son almacenados finalmente de forma digital en una memoria de ordenador 70 para otro procesamiento.

- 25 Un procesador 80 recibe y procesa los resultados de medición desde la memoria de ordenador 70. El procesador 80 comprende un primer algoritmo 90 para detectar a partir de las señales de medición una primera frecuencia de vibración y una forma de modo de la vibración en la primera frecuencia de vibración. El primer algoritmo 90 comprende una transformada de Fourier de dos dimensiones explicada con más detalle a continuación. El procesador 80 comprende además un segundo algoritmo 100 para identificar una condición de fallo de la máquina eléctrica a partir de la combinación de la primera frecuencia de vibración y la forma de modo.

- 30 La transformada de Fourier de dos dimensiones, con respecto a la posición (definida por la ubicación del sensor) y con respecto al tiempo, se aplica a los resultados de la medición con el fin de revelar las formas de modo y las frecuencias de la vibración. La ecuación para la transformada de Fourier se puede escribir como:

$$a(\theta, t) = \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} [A_1 \cdot \cos(m \cdot \theta + n \cdot \omega \cdot t) + A_2 \cdot \cos(-m \cdot \theta + n \cdot \omega \cdot t)]$$

- 35 en donde a = aceleración de medición, θ = posición angular a lo largo del perímetro de estator, t = tiempo, A = coeficientes calculados de la aceleración y ω = frecuencia de suministro, y en donde m determina la forma de modo y n determina la frecuencia de vibración. Debe comprenderse que la detección de modos de número elevado indefinido no es posible ya que teóricamente se requeriría un número indefinido de acelerómetros 20. En la práctica, sin embargo, sólo los modos de número más bajo son de interés, y el número de acelerómetros 20 requerido es respectivamente bajo. Se supone que un experto en la técnica es capaz de determinar el número de acelerómetros 20 requerido para detectar una cierta forma de modo. Ocho acelerómetros 20 se consideran suficientes para detectar formas de modo hasta el modo número cuatro. Las primeras cuatro forma de modo 1 a 4 se han ilustrado en la fig. 2.

- Resumiendo la descripción detallada hasta ahora, la instalación de medición 10 descrita junto con la teoría matemática permite no sólo la detección de las frecuencias de vibración sino también la detección de las formas de vibración, las denominadas formas de modo. Estas formas de modo se utilizan además para identificar condiciones de fallo en la máquina eléctrica.

- 45 La fig. 3 muestra una tabla en la que las características de ciertas vibraciones en términos de frecuencias de vibración formas de modo son enumeradas para ciertas condiciones de fallo. Por ejemplo, la detección de una vibración en frecuencia $f = 2 \cdot f_s$ no permitiría distinguir entre las condiciones de fallo de "excentricidad estática" y de "cortocircuito entre espiras"/"cortocircuito entre bobinas" ya que todas las tres condiciones de fallo exhiben vibración en esta frecuencia. Después de determinar la forma de modo de la vibración sin embargo, tal distinción sería posible ya que la

forma de la vibración provocada por “excentricidad estática” es diferente de la provocada por “cortocircuito entre espiras” o “cortocircuito entre bobinas”.

5 La distinción entre “cortocircuito entre espiras” y “cortocircuito entre bobinas” puede hacerse además vigilando el comportamiento de la amplitud de vibración con carga de la máquina. En particular, se ha descubierto que la amplitud de vibración aumenta proporcionalmente con una carga creciente en el caso de “cortocircuito entre espiras”. Por consiguiente, midiendo la amplitud de vibración con dos cargas diferentes, se puede hacer la distinción entre las dos condiciones de fallo. Si la amplitud de vibración aumenta por cierto valor de umbral predeterminado, la condición de fallo se identificará como “cortocircuito entre espiras”. De otra manera, la condición de fallo se identificará como “cortocircuito entre bobinas”.

10 Las descripciones acerca de las condiciones de fallo enumeradas en la tabla de la fig. 3 se dan a continuación:

Barra rota – Una barra conductora que se extiende en una periferia de un rotor en dirección axial está rota.

Excentricidad dinámica – La periferia del rotor es excéntrica respecto al eje de rotación. La excentricidad varía cuando el rotor está girando.

15 Excentricidad estática – La periferia del rotor es excéntrica con respecto al eje de rotación. La excentricidad permanece constante incluso cuando el rotor está girando.

Cortocircuito entre espiras – Una bobina de estator es cortocircuitada entre dos espiras dentro de una y la misma bobina de estator.

Cortocircuito entre bobinas – Dos bobinas de estator son cortocircuitadas entre sí.

20 Las correlaciones entre las características de la vibración y las condiciones de fallo enumeradas en la tabla de la fig. 3 han de ser consideradas como ejemplos de tales correlaciones descubiertas hasta ahora por el inventor. Se ha de respetar que puedan existir otras correlaciones entre las vibraciones enumeradas y las condiciones de fallo, y que otras vibraciones y condiciones de fallo de las enumeradas ciertamente existen con muchas correlaciones entre ellas. El método descrito puede por lo tanto ser utilizado para identificar las condiciones de fallo enumeradas utilizando una combinación alternativa de frecuencia y forma de modo de una vibración, y se pueden identificar otras condiciones de
25 fallo utilizando las combinaciones enumeradas o alternativas de frecuencia y forma de modo.

REIVINDICACIONES

1. Un método para identificar un fallo en una máquina eléctrica que tiene un rotor y un estator (30), comprendiendo el método las operaciones de:
- 5 - llevar a cabo una primera medición de vibración de las vibraciones del estator en una primera dirección radial del estator (30);
- llevar a cabo una segunda medición de vibración de las vibraciones del estator en una segunda dirección radial del estator (30);
- determinar, sobre la base de al menos una de la primera medición de vibración y la segunda medición de vibración, una primera frecuencia de vibración;
- 10 - determinar, sobre la base de la primera medición de vibración y la segunda medición de vibración, una forma de modo de la vibración en la primera frecuencia de vibración; y
- utilizar una combinación de la primera frecuencia de vibración y la forma de modo para identificar una condición de fallo de la máquina eléctrica.
2. Un método según la reivindicación 1, en el que el método comprende las operaciones de:
- 15 - llevar a cabo una pluralidad de mediciones de vibración en al menos tres direcciones radiales diferentes del estator (30), tal como al menos cuatro, al menos seis o al menos ocho direcciones radiales diferentes del estator (30);
- determinar, sobre la base de al menos una de la pluralidad de mediciones de vibración, una primera frecuencia de vibración; y
- 20 - determinar, sobre la base de la pluralidad de mediciones de vibración, una forma de modo de la vibración en la primera frecuencia de vibración.
3. Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la condición de fallo se identifica cuando una amplitud de vibración en la primera frecuencia de vibración sobrepasa un valor de umbral predeterminado.
4. Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el método comprende las operaciones de:
- llevar a cabo mediciones de vibración con una primera carga y con una segunda carga de la máquina;
- 25 - determinar una diferencia en las amplitudes de vibración con una primera carga y con una segunda carga en la primera frecuencia de vibración; y
- utilizar una combinación de la primera frecuencia de vibración, la forma de modo y la diferencia en las amplitudes de vibración para identificar una condición de fallo de la máquina eléctrica.
5. Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la condición de fallo es una de las siguientes: una barra de rotor rota, excentricidad dinámica, excentricidad estática, cortocircuito entre espiras, cortocircuito entre bobinas.
- 30 6. Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el método comprende las operaciones de:
- determinar, sobre la base de que la primera frecuencia de vibración f y la forma de modo m satisfacen una de las siguientes condiciones: $f = n \cdot f_r$ o $f = n \cdot f_r \pm 2 \cdot s \cdot f_s$ y $m = n$, en el que $n = (1, 3, 5, \dots)$, f_r = frecuencia de rotación del motor, s = deslizamiento del rotor y f_s = frecuencia de suministro, que una barra de rotor está rota.
- 35 7. Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el método comprende las operaciones de:
- determinar, sobre la base de que la primera frecuencia de vibración f y la forma de modo m satisfacen una de las siguientes condiciones: $f = 2 \cdot f_r$ y $m = 2$; $f = 2 \cdot f_s - f_r$ y $m = 2 \cdot p - 1$; $f = 2 \cdot f_s + f_r$ y $m = 2 \cdot p + 1$, en el que f_r = frecuencia de rotación del motor, f_s = frecuencia de suministro y p = número de pares de polos de estator, que el rotor es dinámicamente excéntrico.
- 40 8. Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el método comprende las operaciones de:
- determinar, sobre la base de que la primera frecuencia de vibración f y la forma de modo m satisfacen una de las siguientes condiciones: $f = 2 \cdot f_s$ y $m = 2 \cdot p + 1$ o $m = 2 \cdot p - 1$, en donde f_s = frecuencia de suministro y p = número de pares de polos de estator, que el rotor es estáticamente excéntrico.
- 45 9. Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el método comprende las operaciones de:

- determinar, sobre la base de que la primera frecuencia de vibración f y la forma de modo m satisfacen una de las siguientes condiciones: $f = 2 \cdot k \cdot f_s$ y $m = (2,4,6,\dots)$, en donde $k = (1,2,3,\dots)$ y f_s = frecuencia de suministro, que las bobinas del estator tienen o bien un cortocircuito entre espiras o bien un cortocircuito entre bobinas.

10. Un método según la reivindicación 9, en el que el método comprende las operaciones de:

5 - llevar a cabo mediciones de vibración con una primera carga y con una segunda carga de la máquina, siendo la primera carga menor que la segunda carga;

- determinar una diferencia en las amplitudes de vibración con una primera carga y con una segunda carga en la primera frecuencia de vibración; y

10 - determinar, sobre la base de que la amplitud de vibración aumenta con una carga creciente y que el aumento de la amplitud de vibración sobrepasa un valor de umbral predeterminado, que las bobinas de estator tiene un cortocircuito entre espiras.

11. Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la máquina eléctrica es un motor de inducción.

15 12. Un sistema de vigilancia para identificar un fallo en una máquina eléctrica que tiene un rotor y un estator (30), comprendiendo el sistema de vigilancia:

20 un primer sensor previsto para medir las vibraciones del estator en una primera dirección radial del estator (30), y un segundo sensor previsto para medir las vibraciones del estator en una segunda dirección radial del estator (30), un procesador (80) que recibe señales de medición procedentes desde el primer sensor y el segundo sensor, comprendiendo el procesador (80) un primer algoritmo (90) para detectar a partir de las señales de medición una primera frecuencia de vibración y una forma de modo de la vibración en la primera frecuencia de vibración, y comprendiendo además el procesador (80) un segundo algoritmo (100) para identificar una condición de fallo de la máquina eléctrica a partir de la combinación de la primera frecuencia de vibración y la forma de modo.

25 13. Un sistema de vigilancia según la reivindicación 12, en el que el sistema de vigilancia comprende una pluralidad de sensores previstos para medir la vibración en al menos tres direcciones radiales del estator (30), tal como en al menos cuatro, en al menos seis o en al menos ocho direcciones radiales diferentes del estator (30), y el procesador (80) recibe señales de medición desde la pluralidad de sensores.

14. Un sistema de vigilancia según las reivindicación 12 o 13, en el que los sensores son acelerómetros (20).

15. Un motor de inducción que comprende un sistema de vigilancia según cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14.

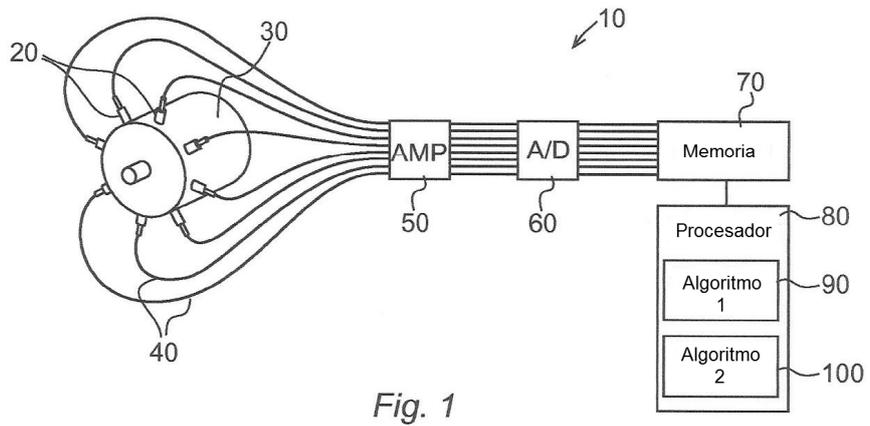


Fig. 1

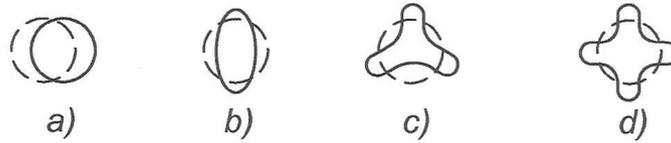


Fig. 2

Fallo Modo de frecuencia	Barra Rota	Excentricidad dinámica	Excentricidad estática	Cortocircuito entre espiras	Cortocircuito entre bobinas
$f = f_r$ $m = 1$	X	X			
$f = n \cdot f_r$ or $f = n \cdot f_r \pm 2 \cdot s \cdot f_s$ $m = n$ ($n = 1, 3, 5, \dots$)	X				
$f = 2 \cdot f_s$ $m = (2 \cdot p + 1),$ $(2 \cdot p - 1)$			X		
$f = 2 \cdot k \cdot f_s$ ($k = 1, 2, 3, \dots$) $m = 2, 4, 6, \dots$				X	X
$f = 2 \cdot f_r,$ $m = 2;$ $f = 2 \cdot f_s - f_r,$ $m = (2 \cdot p - 1);$ $f = 2 \cdot f_s + f_r,$ $m = (2 \cdot p + 1);$ \vdots		X			
Cambio de amplitud de vibración con carga	Proporcional	Inverso	Ningún cambio	Proporcional	Ningún Cambio

f = frecuencia de vibración
 m = forma de modo
 f_r = frecuencia de rotación
 s = deslizamiento del rotor
 f_s = frecuencia de suministro
 p = número de pares de polos del estator

Fig. 3