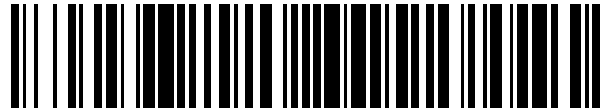


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 456 890**

51 Int. Cl.:

**G01R 31/34** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.10.2010 E 10761025 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.01.2014 EP 2625540**

54 Título: **Detección de una cuña de ranura de estator que falta o ausente en una máquina eléctrica**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**23.04.2014**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**PINTO, CAJETAN y  
RODRIGUEZ, PEDRO**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

**ES 2 456 890 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**

Detección de una cuña de ranura de estator que falta o ausente en una máquina eléctrica

**CAMPO TÉCNICO**

5 El presente invento se refiere a la vigilancia del estado de una máquina eléctrica. Un espectro corriente de la máquina es analizado con el fin de determinar si falta o no una cuña de ranura de estator.

**TÉCNICA ANTECEDENTE**

10 Con referencia a la fig. 1, una cuña 10 de ranura de estator es un elemento que sujeta una bobina 20 de estator en su sitio en una ranura 30 de estator de una máquina eléctrica. Un lado de la cuña 10 de ranura de estator está enfrentada a la bobina 20 del estator mientras el lado opuesto está enfrentado a un espacio de aire entre el estator 40 y un rotor. Las cuñas de ranura del estator magnéticas son utilizadas corrientemente ya que ofrecen varios beneficios comparadas con las no magnéticas. Tales beneficios son: pérdidas de núcleo reducidas y por tanto elevación de temperatura reducida, corriente de magnetización inferior y por tanto factor de potencia mejorado, corriente de entrada reducida, motor más eficiente. Un material típico de cuña de ranura de estator magnética puede comprender un 75% de polvo de hierro, 7% de fibra de vidrio y un 18% de resina epoxi.

15 Sin embargo, las cuñas de ranura de estator magnéticas son más frágiles que las no magnéticas, debido al elevado porcentaje de polvo de hierro. Es sabido que las cuñas de ranura de estator magnéticas tienen tendencia a aflojarse y caerse de las ranuras del estator. Esto es causado por fuerzas magnéticas que actúan en el espacio de aire y que producen vibraciones. Las cuñas de ranura del estator están bajo fuerzas variables consistentes, y si no están fuertemente asentadas en las ranuras del estator comienzan a moverse y desgastarse en sus bordes para aflojarse en último término lo suficiente como para que sean extraídas de las ranuras o se rompan.

20 Una cuña de ranura de estator que falta puede causar un fallo del arrollamiento del rotor o del estator (un fallo catastrófico para la máquina), y por ello es importante detectar una cuña de ranura de estator que falta en una etapa temprana. Un procedimiento convencional para detectar una cuña de ranura de estator que falta es abrir la máquina y mediante inspección visual buscar restos en el estator. Esta metodología es costosa ya que la máquina debe ser desarmada. Por ello existe la necesidad de mejorar los métodos de vigilancia de estado existentes para máquinas eléctricas.

25 Davis, M., "Problemas y Soluciones con Cuñas de Estator Magnéticas", Iris Rotating Machine Conf., San Antonio, Tejas, Junio de 2007, págs. 1-5 describe la ausencia de una cuña de ranura de estator basándose en el análisis de espectro de corriente.

30 **RESUMEN DEL INVENTO**

Un objeto del invento es proporcionar un método para detectar una cuña de ranura de estator que falta en una máquina eléctrica sin necesidad de abrir la máquina.

Este objeto es conseguido mediante el método de acuerdo con la reivindicación 1 adjunta.

35 El invento está basado en la realización de que las cuñas de ranura de estator que faltan causan alteración en el espectro de corriente de máquina en un área de alta frecuencia, y que esta "firma" puede ser utilizada como un indicador del estado de las cuñas de ranura de estator.

40 De acuerdo con un primer aspecto del invento, se ha proporcionado un método para detectar una cuña de ranura de estator que falta en una máquina eléctrica, comprendiendo el método las operaciones de: medir una primera corriente procedente de una primera máquina; proporcionar un espectro de primera corriente a partir de la medición de la primera corriente, alcanzando el espectro de la primera corriente un área de alta frecuencia superior dos veces a la frecuencia principal; y utilizar valores del espectro de la primera corriente en el área de alta frecuencia para determinar si una cuña de ranura de estator falta o no. Mediante esta medida puede detectarse una cuña de ranura de estator que falta en una máquina eléctrica sin necesidad de abrir la máquina.

45 De acuerdo con una realización del invento el espectro de la primera corriente alcanza un área de alta frecuencia superior a diez veces, tal como veinte, treinta, cuarenta o cincuenta veces la frecuencia principal. Una desviación entre los espectros de corriente de una máquina en buen estado y de una máquina a la que le faltan cuñas de ranura de estator es particularmente evidente a ciertas frecuencias más elevadas. Es por ello ventajoso observar el espectro de corriente en esta rango de frecuencia más elevada para determinar si falta o no una cuña de ranura de estator.

50 De acuerdo con una realización del invento, la primera máquina es una máquina de inducción y el espectro de la primera corriente alcanza un área de alta frecuencia definida por la ecuación:

$$F = R_r \left( \frac{1-s}{p} \right) f_s ,$$

5 en la que  $R_r$  es un número de ranuras de rotor,  $s$  es un deslizamiento del motor,  $p$  es un número de pares de polos por fase, y  $f_s$  es una frecuencia de alimentación. Simulaciones muestran que en el caso de máquinas de inducción la desviación entre espectros de corriente de una máquina en buen estado y de una máquina a la que le faltan cuñas de ranura de estator es particularmente evidente alrededor del área de frecuencia definida por la ecuación dada.

10 De acuerdo con una realización del invento, el método comprende además la operación de detectar si una amplitud del espectro de la primera corriente excede o se encuentra por debajo de un valor de umbral en el área de alta frecuencia para determinar si una cuña de ranura de estator falta o no. Definiendo valores de umbral dentro de los cuales se ha concluido que la máquina está en buen estado, una única medición de corriente basta para determinar si falta o no una cuña de ranura de estator.

De acuerdo con una realización del invento, el método comprende además la operación de detectar si una amplitud de un armónico en el área de alta frecuencia del espectro de la primera corriente excede o se encuentra por debajo de un valor de umbral para determinar si una cuña de ranura de estator falta o no.

15 Simulaciones muestran que la desviación entre el espectro de corriente de una máquina en buen estado y de una máquina a la que le faltan cuñas de ranura de estator es particularmente evidente en ciertos armónicos. Es por ello ventajoso observar la amplitud de estos ciertos armónicos para determinar si falta o no una cuña de ranura de estator.

De acuerdo con una realización del invento, el armónico que ha de ser observado es uno de los armónicos definidos por la ecuación:

$$F = R_r \left( \frac{1-s}{p} \right) f_s \pm 2mf_s$$

20 en la que  $R_r$  es un número de ranuras de rotor,  $s$  es un deslizamiento del motor,  $p$  es un número de pares de polos por fase, y  $f_s$  es una frecuencia de alimentación, y  $m$  es un número entero 0, 1, 2 ó 3. Simulaciones muestran que en el caso de máquinas de inducción la desviación entre espectros de corriente de una máquina en buen estado y de una máquina a la que le faltan cuñas de ranura de estator es particularmente evidente en los armónicos definidos por la ecuación dada.

25 De acuerdo con una realización del invento, el método comprende además la operación de detectar si un cierto armónico está presente para determinar si falta o no una cuña de ranura de estator. Simulaciones muestran que en ciertos casos una cuña de ranura de estator que falta hace que aparezca un nuevo armónico. En esos casos basta con detectar una presencia de tal armónico para determinar si falta o no una cuña de ranura de estator.

30 De acuerdo con una realización del invento, el método comprende además las operaciones de: medir una corriente de referencia procedente de una máquina de referencia; proporcionar un espectro de corriente de referencia a partir de la medición de la corriente de referencia; comparar el espectro de la primera corriente con el espectro de la corriente de referencia para determinar si una cuña de ranura de estator falta o no. Se obtiene información fiable acerca de la presencia de las cuñas de ranura de estator cuando el espectro de corriente de la máquina en la que se tiene interés es comparado con un espectro de corriente de una máquina de referencia.

35 De acuerdo con una realización del invento, el método comprende además la operación de detectar si el espectro de la primera corriente se desvía del espectro de la corriente de referencia por un cierto valor de umbral para determinar si una cuña de ranura de estator falta o no. Un valor de umbral es un criterio simple para concluir que falta una cuña de ranura de estator.

40 De acuerdo con una realización del invento, la máquina de referencia corresponde a la primera máquina, y el estado de las cuñas de ranura de estator en la máquina de referencia es bien conocido. Espectros de corriente fácilmente comparables son conseguidos cuando la máquina de referencia es idéntica a la máquina en la que se está interesado, y cuando el estado de la máquina de referencia es conocido.

45 De acuerdo con una realización del invento las cuñas de la ranura de estator en la máquina de referencia están completas. Cuando un espectro de corriente de la máquina de referencia corresponde a una situación ideal con cuñas de ranura de estator completas, es más fácil detectar una desviación entre ella y un espectro de corriente de una máquina a la que le faltan cuñas de ranura de estator.

50 De acuerdo con una realización del invento, el método comprende además las operaciones de: medir una segunda corriente procedente de la primera máquina, representando la segunda corriente una fase eléctrica diferente de la primera corriente; proporcionar un espectro de segunda corriente a partir de la medición de la segunda corriente; comparar el espectro de la primera corriente con el espectro de la segunda corriente para determinar si una cuña de

ranura de estator falta o no. Simulaciones muestran que una cuña de ranura de estator ausente hace que espectros de corriente de diferentes fases eléctricas se desvíen una de otra. Esta desviación puede ser utilizada para determinar su falta o no una cuña de ranura de estator.

5 De acuerdo con una realización del invento, el método comprende además la operación de detectar si el espectro de la primera corriente se desvía del espectro de la segunda corriente por un cierto valor de umbral para determinar si una cuña de ranura de estator falta o no. Un valor de umbral es un criterio simple para concluir que falta una cuña de ranura de estator.

10 De acuerdo con una realización del invento la primera corriente es una corriente de derivación. La corriente de derivación es un indicador más sensible que la corriente total para la detección de cuñas de ranura de estator que faltan, y por ello es el indicador preferido cuando es accesible.

De acuerdo con una realización del invento, el método comprende además la operación de detectar si un armónico de acuerdo con la siguiente ecuación está presente para determinar si una cuña de ranura de estator falta o no:

$$F = R_r \left( \frac{1-s}{p} \right) f_s - 2f_s ,$$

15 en la que  $R_r$  es un número de ranuras de rotor,  $s$  es un deslizamiento del motor,  $p$  es un número de pares de polos por fase, y  $f_s$  es una frecuencia de alimentación. Simulaciones muestran que en una máquina de inducción una cuña de ranura de estator que falta hace que aparezca un nuevo armónico de acuerdo con la ecuación dada. Por ello basta con detectar una presencia de ese armónico para determinar si falta o no una cuña de ranura de estator.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

El invento será explicado con mayor detalle con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

20 La fig. 1 muestra una disposición de ranura de estator típica con una cuña de ranura de estator.

La fig. 2a muestra un espectro de corriente de una máquina en buen estado.

La fig. 2b muestra un espectro de corriente de una máquina a la que le falta una cuña de ranura de estator.

La fig. 3 muestra espectros de corriente para dos fases de una misma máquina a la que le faltan tres cuñas de ranura de estator.

25 La fig. 4a muestra un espectro de corriente de una corriente de derivación para una máquina en buen estado, y

La fig. 4b muestra un espectro de corriente de una corriente de derivación para una máquina a la que le falta una cuña de ranura de estator.

#### DESCRIPCIÓN DE REALIZACIONES PREFERIDAS

30 Con referencia a la fig. 2a, se ha mostrado un ejemplo de un espectro de corriente para una máquina eléctrica. La máquina eléctrica tiene un componente de frecuencia principal a 50 Hz que corresponde a la frecuencia de red. Los valores en el espectro de corriente son valores logarítmicos relativos expresados en decibelios (dB) de acuerdo con la ecuación:

$$I_{dB} = 20 \log \left( \frac{I}{I_m} \right)$$

35 en la que  $I_{dB}$  es una amplitud de corriente relativa,  $I$  es una amplitud de corriente de cada componente de frecuencia respectivo, e  $I_m$  es una amplitud de corriente del componente principal de frecuencia. Consecuentemente,  $I_{dB}$  obtiene un valor cero a la frecuencia principal, y un valor inferior a cero a las frecuencias restantes. Los armónicos que muestra valores  $I_{dB}$  de pico pueden ser reconocidos a valores de frecuencia que son múltiplos de la frecuencia principal. De otro modo, la curva  $I_{dB}$  es relativamente plana con valores principalmente entre -100 dB y -120 dB. El espectro de corriente en la fig. 2a es representativo para una máquina en buen estado con las cuñas de ranura de estator completas. Los valores  
40 en la fig. 2a son recibidos a partir de una simulación, pero se espera que las mediciones den resultados correspondientes. Este es también el caso en las figuras restantes 2b, 3, 4a y 4b. En el caso de vigilancia de estado real la corriente necesita obviamente ser medida.

45 Debe mencionarse también que todos los ejemplos en esta descripción se aplican para una máquina de inducción. El invento, sin embargo, no está limitado a máquinas de inducción sino que puede ser utilizado también para detectar una cuña de ranura de estator que falta en una máquina síncrona.

La fig. 2b muestra un espectro de corriente para una máquina a la que le falta una cuña de ranura de estator. Puede

5 observarse que los dos espectros en las figs. 2a y 2b se desvían notablemente uno de otro especialmente a altas frecuencias. Esta desviación en los espectros de corriente implica que interpretando apropiadamente un espectro de corriente de una máquina eléctrica, los valores de espectro de corriente pueden ser cambiados a información acerca de si una cuña de ranura de estator falta o no. Por ejemplo, unos valores superior e inferior de umbral pueden ser definidos para una  $I_{dB}$  media dentro de un cierto área de frecuencia en una máquina en buen estado. Si la  $I_{dB}$  real excede del valor de umbral superior o pasa por debajo del valor de umbral inferior, entonces la conclusión es que falta una cuña de ranura de estator. Alternativamente, la amplitud de un cierto armónico individual puede ser observada. Depende del tipo de máquina qué indicador es el más apropiado para detectar que falta una cuña de ranura de estator.

10 En el ejemplo correspondiente a la fig. 2b los armónicos prominentes en el área de frecuencia alrededor de 1700-2000 Hz vienen dados por la ecuación:

$$F = R_r \left( \frac{1-s}{p} \right) f_s \pm 2mf_s$$

en la que  $R_r$  es un número de ranuras de rotor,  $s$  es un deslizamiento del motor,  $p$  es un número de pares de polos por fase, y  $f_s$  es una frecuencia de alimentación, y  $m$  es un número entero 0, 1, 2 ó 3. El deslizamiento  $s$  está definido por la ecuación:

15 
$$s = \left( \frac{\eta_s - \eta_r}{\eta_s} \right)$$

en la que  $\eta_s$  es una velocidad rotacional de un campo de estator y  $\eta_r$  es una velocidad rotacional de un rotor. En este caso particular, es aconsejable observar la amplitud de corriente relativa  $I_{dB}$  alrededor de los armónicos prominentes para determinar si falta o no una cuña de ranura de estator.

20 La fig. 3 muestra espectros de corriente para dos fases de una misma máquina en un caso en el que faltan tres cuñas de ranura de estator. En una máquina en buen estado las dos curvas serían idénticas, pero cuando faltan cuñas de ranura de estator, las curvas se desvían claramente una de otra. De nuevo, de una manera similar a como se ha explicado anteriormente, esta desviación puede ser utilizada para interpretar si falta o no una cuña de ranura de estator.

25 Las figs. 4a y 4b muestran espectros de corriente de una corriente de derivación entre diferentes bobinas de estator en una misma fase eléctrica. La curva de la fig. 4a es para una máquina en buen estado, y la de la fig. 4b para una máquina a la que le falta una cuña de ranura de estator. En la fig. 4b puede verse que hay un claro armónico nuevo entre los dos armónicos de ranura de rotor principales. Este armónico viene dado por la ecuación:

$$F = R_r \left( \frac{1-s}{p} \right) f_s - 2f_s$$

30 en la que  $R_r$  es un número de ranuras de rotor,  $s$  es un deslizamiento del motor,  $p$  es un número de pares de polos por fase, y  $f_s$  es una frecuencia de alimentación. Por ello, detectar la presencia de este armónico particular puede ser utilizado para determinar si falta o no una cuña de ranura de estator.

35 En los ejemplos dados anteriormente la conclusión acerca de si falta o no una cuña de ranura de estator está o bien basada en valores de una amplitud de corriente relativa  $I_{dB}$  o en la presencia de ciertos armónicos. El invento no está, sin embargo, limitado a los ejemplos dados anteriormente, pero una persona experta en la técnica puede utilizar modos adicionales para interpretar los espectros de corriente en el área de alta frecuencia para determinar si falta o no una cuña de ranura de estator.

**REIVINDICACIONES**

1.- Un método para detectar una cuña (10) de ranura de estator que falta o está ausente en una máquina eléctrica, comprendiendo el método las operaciones de:

- medir una primera corriente procedente de una primera máquina;

5 - proporcionar un espectro de primera corriente a partir de la medición de la primera corriente, alcanzando el espectro de la primera corriente un área de alta frecuencia superior a dos veces la frecuencia principal; y

- utilizar valores del espectro de la primera corriente en el área de alta frecuencia para determinar si una cuña (10) de ranura de estator falta o no.

10 2.- Un método según la reivindicación 1, en el que el espectro de la primera corriente alcanza un área de alta frecuencia superior a diez veces, tal como veinte, treinta, cuarenta o cincuenta veces la frecuencia principal.

3.- Un método según la reivindicación 1, en el que la primera máquina es una máquina de inducción y el espectro de la primera corriente alcanza un área de alta frecuencia definida por la ecuación:

$$F = R_r \left( \frac{1-s}{p} \right) f_s ,$$

15 en la que  $R_r$  es un número de ranuras de rotor,  $s$  es un deslizamiento del motor,  $p$  es un número de pares de polos por fase, y  $f_s$  es una frecuencia de alimentación.

4.- Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el método comprende además la operación de:

- detectar si una amplitud del espectro de la primera corriente excede o se encuentra por debajo de un valor de umbral en el área de alta frecuencia para determinar si una cuña (10) de ranura de estator falta o no.

20 5.- Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el método comprende además la operación de:

- detectar si una amplitud de un armónico en el área de alta frecuencia del espectro de la primera corriente excede o se encuentra por debajo de un valor de umbral en el área de alta frecuencia para determinar si una cuña (10) de ranura de estator falta o no.

25 6.- Un método según la reivindicación 5, en el que el armónico es uno de los armónicos definidos por la ecuación:

$$F = R_r \left( \frac{1-s}{p} \right) f_s \pm 2mf_s$$

en la que  $R_r$  es un número de ranuras de rotor,  $s$  es un deslizamiento del motor,  $p$  es un número de pares de polos por fase, y  $f_s$  es una frecuencia de alimentación, y  $m$  es un número entero 0, 1, 2 ó 3.

30 7.- Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el método comprende además la operación de:

- detectar si un cierto armónico está presente para determinar si una cuña (10) de ranura de estator falta o no.

8.- Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el método comprende además las operaciones de:

- medir una corriente de referencia procedente de una máquina de referencia;

35 - proporcionar un espectro de corriente de referencia a partir de la medición de la corriente de referencia;

- comparar el espectro de la primera corriente con el espectro de la corriente de referencia para determinar si una cuña (10) de ranura de estator falta o no.

9.- Un método según la reivindicación 8, en el que el método comprende además la operación de:

40 - detectar si el espectro de la primera corriente se desvía del espectro de la corriente de referencia en un cierto valor de umbral para determinar si una cuña (10) de ranura de estator falta o no.

10.- Un método según la reivindicación 9, en el que la máquina de referencia corresponde a la primera máquina, y el estado de las cuñas (10) de ranura del estator en la máquina de referencia es bien conocido.

11.- Un método según la reivindicación 10, en el que las cuñas (10) de la ranura de estator en la máquina de referencia están completas.

12.- Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el método comprende además las operaciones de:

- 5
- medir una segunda corriente procedente de la primera máquina, representando la segunda corriente una fase eléctrica diferente que la primera corriente;
  - proporcionar un espectro de segunda corriente a partir de la medición de la segunda corriente;
  - comparar el espectro de la primera corriente con el espectro de la segunda corriente para determinar si una cuña (10) de ranura de estator falta o no.

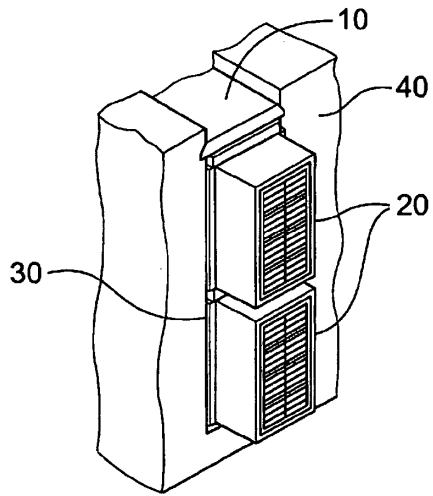
- 10
- 13.- Un método según la reivindicación 12, en el que el método comprende además la operación de:
- detectar si el espectro de la primera corriente se desvía del espectro de la segunda corriente en un cierto valor de umbral para determinar si una cuña (10) de ranura de estator falta o no.

14.- Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la primera corriente es una corriente de derivación.

- 15
- 15.- Un método según la reivindicación 14, en el que el método comprende además la operación de:
- detectar si un armónico de acuerdo con la siguiente ecuación está presente para determinar si una cuña (10) de ranura de estator falta o no:

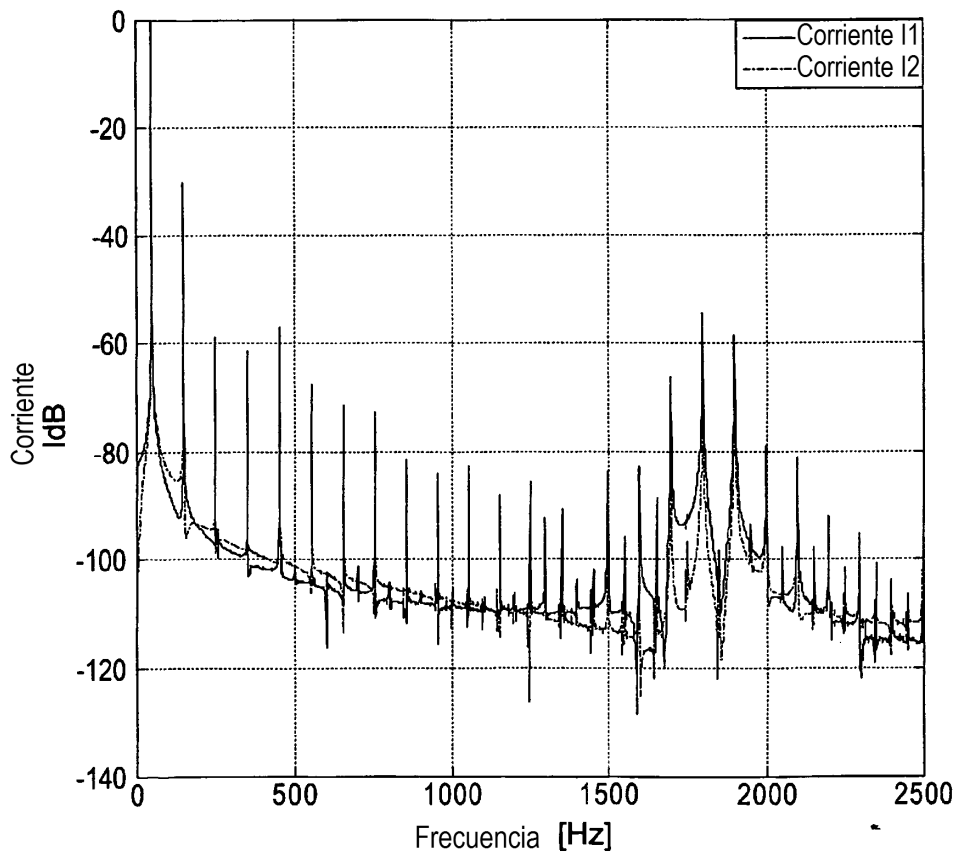
$$F = R_r \left( \frac{1-s}{p} \right) f_s - 2f_s ,$$

- 20
- en la que  $R_r$  es un número de ranuras de rotor,  $s$  es un deslizamiento del motor,  $p$  es un número de pares de polos por fase, y  $f_s$  es una frecuencia de alimentación.



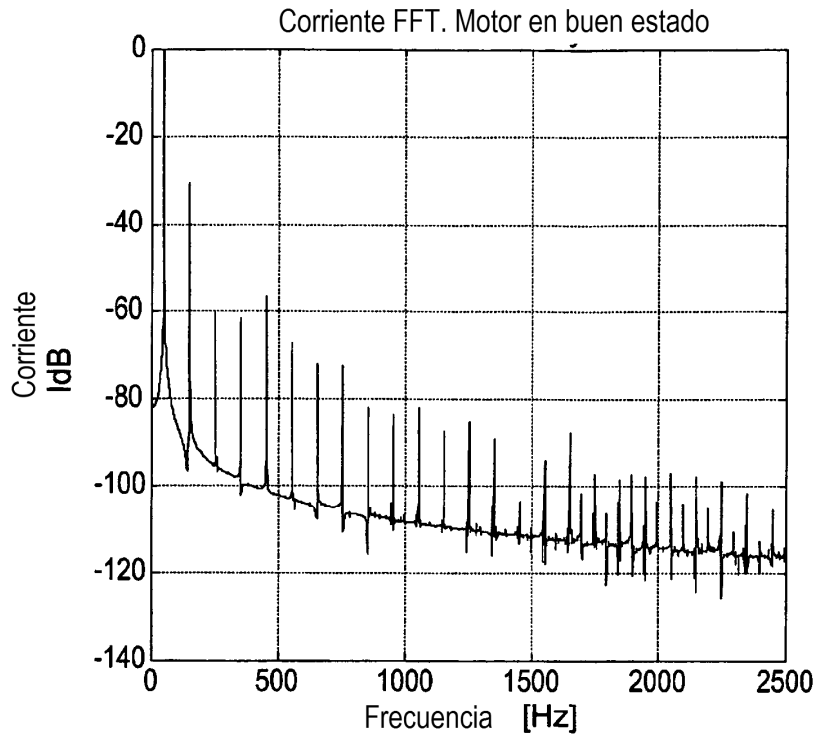
**Fig. 1**

Corriente FFT. Tres cuñas que faltan

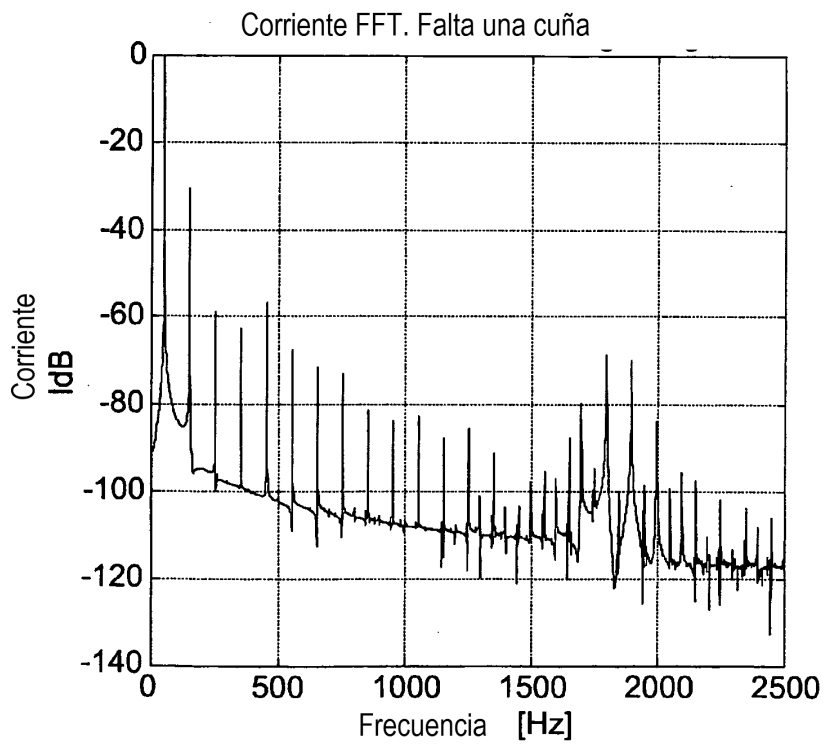


**Fig. 3**

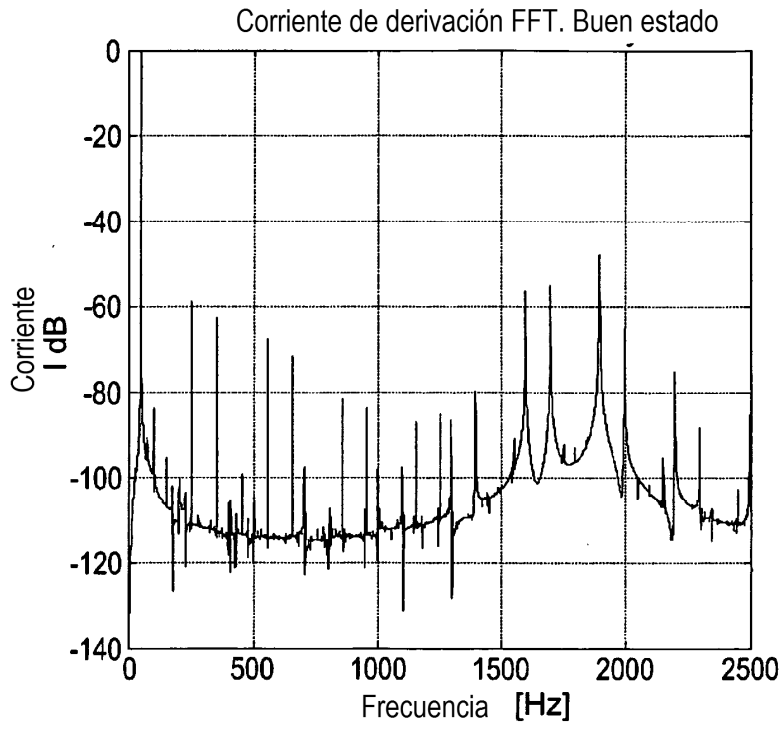




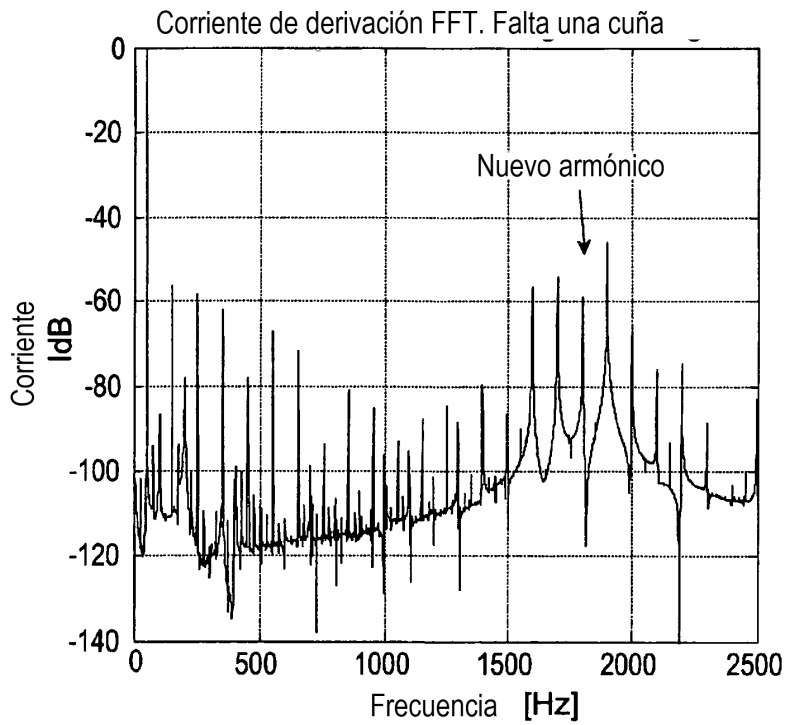
*Fig. 2a*



*Fig. 2b*



**Fig. 4a**



**Fig. 4b**