

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 682 202**

51 Int. Cl.:

**G01R 31/34** (2006.01)

**G01R 31/06** (2006.01)

**H02K 15/16** (2006.01)

**H02K 17/00** (2006.01)

**G01R 31/28** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.06.2008 E 15160638 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.05.2018 EP 2902793**

54 Título: **Método y dispositivo para pruebas fuera de línea de motores eléctricos**

30 Prioridad:

**12.06.2007 SE 0701428**

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

**19.09.2018**

73 Titular/es:

**SUBSEE RÅÅ AB (100.0%)  
Skonaregatan 27  
252 70 RÅÅ, SE**

72 Inventor/es:

**COP, BORIS**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

ES 2 682 202 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**

Método y dispositivo para pruebas fuera de línea de motores eléctricos

## 5 Campo de la invención

La presente invención se relaciona con un método y aparato para detectar fallas de rotor y estator en motores eléctricos, tales como motores de inducción y motores asíncronos.

## 10 Antecedentes de la técnica

Los motores eléctricos tienen un amplio campo de aplicación. En la producción industrial, por ejemplo, los motores eléctricos se utilizan para accionar bombas, cintas transportadoras, grúas aéreas, ventiladores, etc. Un motor eléctrico, adaptado para su uso en una aplicación específica, ofrece al usuario diversas ventajas, principalmente debido a su larga vida y necesidad limitada de mantenimiento. Un requisito básico para una larga vida del motor eléctrico es que el rotor o estator en el motor eléctrico no tenga fallas o defectos. Los tipos comunes de fallas de rotor son, por ejemplo, roturas o grietas/fracturas en una barra de rotor, resistencia excesivamente alta en uniones soldadas o soldadas en el rotor, cavidades de aire excesivamente grandes (como resultado de la fundición del rotor) y desplazamiento del rotor en espacios de aire con relación al estator. Los tipos comunes de fallas del estator son, por ejemplo, fallas de aislamiento entre las vueltas de un devanado, fallas de aislamiento entre devanados en la misma fase, fallas de aislamiento entre devanados en diferentes fases, fallas de aislamiento entre devanados y la carcasa de tierra/motor, devanados contaminados (es decir impurezas tales como humedad, polvo o aislamiento carbonizado debido al sobrecalentamiento), una vuelta abierta de un devanado en un motor conectado en delta, así como problemas de contacto entre los extremos del devanado y las conexiones externas.

25 Cuando se prueban motores eléctricos trifásicos, es común medir componentes fundamentales actuales durante la operación y comparar datos de medición de las tres fases. Por lo general, se usan sensores especiales en estas mediciones para obtener datos de medición.

30 Se sabe que es posible realizar mediciones en línea y mediciones fuera de línea. Los métodos de medición llevados a cabo durante la operación (mediciones en línea) son sensibles a las perturbaciones en la red eléctrica, es decir, los fundamentales generados por otras máquinas (por ejemplo, unidades de suministro de energía conmutadas, accesorios de tubos fluorescentes, etc.) que están conectados a la misma red eléctrica. Estas perturbaciones causan resultados de medición erróneos e incluso pueden imposibilitar las mediciones en el motor eléctrico.

35 Cuando se prueban estatores fuera de línea de acuerdo con la técnica anterior, se suministra al motor un voltaje de sobrevoltaje potente con alto contenido de energía, después de lo cual se analiza la respuesta de descomposición exponencial obtenida para identificar posibles fallas en el estator. Este método de medición tiene muchas desventajas, tales como que puede iniciar o acelerar/llevar a término fallas de aislamiento incipientes; esto requiere cálculos e interpretaciones/análisis complejos y lentos; esto causa problemas de propagación del pulso en el devanado debido a los efectos L y C; esto requiere equipos voluminosos y pesados asociados con problemas de transporte/instalación; y esto es un método costoso. El documento WO 2005/106514 divulga un método para la medición segura de motores eléctricos. Este método divulga medir una cantidad física, tal como la corriente (I), la inductancia (L) o la impedancia (Z), del devanado del estator a la vez que el rotor gira alrededor de un eje de rotación. De este modo, se obtienen datos de medición periódicos relacionados con la cantidad física, y se recogen datos de medición relativos a al menos dos períodos de los datos de medición periódicos. Para la mayoría de los motores asíncronos trifásicos, existe una relación sinusoidal entre la posición del rotor y la cantidad física (I, L o Z), siendo simétrica alrededor del eje X en cada fase. De acuerdo con el método, se compara la simetría entre, al menos, los fundamentos de dos o más semiciclos de los datos de medición recogidos. La asimetría en los datos de medición indica un fallo del rotor y/o del estator.

50 Cuando se realiza el método divulgado en el documento WO 2005/106514, el rotor tiene que girar en etapas fijas de igual tamaño o mediante rotación continua a una velocidad constante. Si el rotor no se gira en etapas fijas o a una velocidad constante, se produce una asimetría en los datos de medición. Normalmente, esta asimetría indicaría una falla de rotor/estator, pero también podría deberse a una rotación no continua. Por lo tanto, es importante girar el rotor en etapas fijas o mediante rotación continua para obtener un resultado confiable. Dado que puede ser difícil en algunas circunstancias obtener una rotación perfecta del rotor, ya sea mediante rotación continua o en etapas fijas, especialmente al girar el rotor a mano, este requisito puede ser difícil de cumplir para la técnica descrita anteriormente en estas circunstancias.

60 Se conoce un método y un aparato para probar motores eléctricos en los cuales se aplica una señal de prueba de AC y la señal de respuesta medida para detectar fallas del rotor en comparación con valores predeterminados de los documentos US 6,035,265, JP-A-02219435 y US 6,144924.

65

Resumen de la invención

Es un objeto de la presente invención proporcionar una mejora de las técnicas anteriores y de la técnica anterior.

5 Un objetivo particular es proporcionar un método y aparato que faciliten la medición y análisis/detección de fallas del rotor y estator, y que elimine una fuente de error, obteniendo así un resultado más preciso cuando se realiza el método inventivo y se usa el aparato inventivo.

10 Un objeto adicional es proporcionar un método y aparato para medir y analizar/detectar fallas del rotor y estator eliminando o reduciendo la necesidad de hacer girar el rotor a una velocidad constante o mediante etapas fijas e iguales.

15 De acuerdo con un primer aspecto de la invención, se proporciona un método la prueba fuera de línea de un motor eléctrico, cuyo motor comprende al menos un devanado del estator, y un rotor dispuesto a lo largo de un eje de rotación. El método comprende:

aplicar una señal de prueba periódica a al menos un devanado del estator,

20 recoger los primeros datos de medición, relacionados con una cantidad física del al menos un devanado del estator a la vez que el rotor gira alrededor del eje de rotación, a partir de uno o más periodos de forma de onda de la señal de prueba,

detectar los primeros valores máximos de los primeros datos de medición,

25 formar los segundos datos de medición con base en dichos primeros valores máximos detectados,

detectar los segundos valores máximos de dichos segundos datos de medición para al menos un devanado del estator,

30 determinar una propagación de al menos una porción de dichos segundos valores máximos,

proporcionar, si dicha propagación excede un umbral predeterminado, una señal que indica un fallo en dicho rotor.

35 Una ventaja del método descrito anteriormente es que el rotor ya no tiene que girar a una velocidad constante o con etapas fijas e iguales como se requiere en la técnica anterior. Dado que la simetría de los segundos datos de medición ya no tiene que compararse como en la técnica anterior, no se requiere rotación continua, simplificando así el método de la invención. En el método de la invención, solo deben determinarse los valores máximos de los segundos datos de medición para indicar una falla en el rotor durante la prueba.

40 Además, se ha eliminado o reducido la fuente de error que se produce en la técnica anterior, debido a la asimetría causada por la rotación no continua del rotor, dando como resultado un resultado de prueba más confiable.

45 Además, cuando se utiliza el método de la invención, es posible identificar que cuando se produce una propagación de al menos una parte de dichos segundos valores máximos, la falla está en el rotor. Por lo tanto, no se deben realizar pruebas adicionales para aclarar si la falla está presente en el estator o el rotor. Por lo tanto, el método de la invención ahorra tiempo y es más preciso que las soluciones de la técnica anterior.

50 La cantidad física puede ser una inductancia (L) del devanado del estator. Una ventaja de medir la inductancia del devanado del estator es que las fallas comunes del estator y del rotor resultan en un cambio de la inductancia para ese devanado específico. De este modo, la inductancia del devanado del estator se puede usar para indicar una falla de estator/rotor. Al medir la inductancia del devanado del estator, la resistencia interna de los devanados del estator no debe tenerse en cuenta.

55 La cantidad física puede ser una impedancia (Z) del devanado del estator. Una ventaja de medir la impedancia del devanado del estator es que las fallas comunes del estator y del rotor resultan en un cambio de la impedancia para ese devanado específico. De este modo, la impedancia del devanado del estator se puede utilizar para indicar una falla de estator/rotor. Normalmente, es muy simple medir la impedancia de los devanados del estator, lo cual es ventajoso cuando se conoce la resistencia interna de los devanados.

60 El motor eléctrico puede ser un motor asíncrono trifásico.

De acuerdo con un segundo aspecto de la invención, se proporciona un método para la prueba fuera de línea de un motor eléctrico, cuyo motor comprende un estator con al menos dos devanados del estator, y un rotor dispuesto a lo largo de un eje de rotación. El método comprende:

65 aplicar una señal de prueba periódica a al menos dos devanados del estator,

recoger primeros los datos de medición, relacionados con una cantidad física de al menos dos devanados del estator a la vez que el rotor está girando alrededor del eje de rotación, a partir de uno o más periodos de forma de onda de la señal de prueba,

5 detectar los primeros valores máximos de los primeros datos de medición para cada uno de dichos devanados del estator,

formar los segundos datos de medición con base en dichos primeros valores máximos detectados para cada uno de dichos devanados del estator,

10 formar un valor medio de los segundos datos de medición para cada uno de dichos devanados del estator,

proporcionar, si dichos valores medios difieren de un patrón predeterminado, una señal que indica un fallo en dicho estator.

15 Una ventaja del método descrito anteriormente es que el rotor ya no tiene que girar a una velocidad constante o con etapas fijas e iguales como se requiere en la técnica anterior. Dado que la simetría de los segundos datos de medición ya no tiene que compararse como en la técnica anterior, no se requiere rotación continua, simplificando así el método de la invención. En el método de la invención, solo deben determinarse los valores medios de los  
20 segundos datos de medición para indicar un fallo en el estator durante la prueba.

Además, se ha eliminado o reducido la fuente de error que se produce en la técnica anterior, debido a la asimetría causada por la rotación no continua del rotor, dando como resultado un resultado de prueba más confiable.

25 Además, cuando se utiliza el método de la invención, es posible identificar que cuando los valores medios difieren de un patrón predeterminado, la falla está en el estator. Por lo tanto, no se deben realizar pruebas adicionales para aclarar si la falla está presente en el estator o el rotor. Por lo tanto, el método de la invención ahorra tiempo y es más preciso que las soluciones de la técnica anterior.

30 De acuerdo con un tercer aspecto de la invención, se proporciona un aparato para la prueba fuera de línea de un motor eléctrico, cuyo motor comprende al menos un devanado del estator, y un rotor dispuesto a lo largo de un eje de rotación. El aparato comprende:

35 medios para aplicar una señal de prueba periódica a al menos un devanado del estator,

medios para recoger los primeros datos de medición, relacionados con una cantidad física del al menos un devanado del estator a la vez que el rotor está girando alrededor del eje de rotación, a partir de uno o más periodos de forma de onda de la señal de prueba,

40 medios para detectar los primeros valores máximos de los primeros datos de medición,

medios para formar los segundos datos de medición con base en dichos primeros valores máximos detectados,

45 medios para detectar los segundos valores máximos de dichos segundos datos de medición para al menos un devanado del estator,

medios para determinar una propagación de al menos una porción de dichos segundos valores máximos,

50 medios para proporcionar, si dicha margen excede un umbral predeterminado, una señal que indica un fallo en dicho rotor.

De acuerdo con un cuarto aspecto de la invención, se proporciona un aparato para la prueba fuera de línea de un motor eléctrico, cuyo motor comprende un estator con al menos dos devanados del estator, y un rotor dispuesto a lo largo de un eje de rotación. El aparato comprende:

55 medios para aplicar una señal de prueba periódica a al menos dos devanados del estator,

60 medios para recoger los primeros datos de medición, relacionados con una cantidad física de los al menos dos devanados del estator a la vez que el rotor está girando alrededor del eje de rotación, a partir de uno o más periodos de forma de onda de la señal de prueba,

medios para detectar los primeros valores máximos de los primeros datos de medición para cada uno de dichos devanados del estator,

65 medios para formar segundos datos de medición con base en dichos primeros valores máximos detectados para cada uno de dichos devanados del estator,

medios para formar un valor medio de los segundos datos de medición para cada uno de dichos devanados del estator,

5 medios para proporcionar, si dichos valores medios difieren de un patrón predeterminado, una señal que indica un fallo en dicho estator.

Los dos aparatos incorporan todas las ventajas de los métodos, los cuales se han discutido previamente. Por lo tanto, la discusión anterior es aplicable también para el aparato de la invención, respectivamente.

10 Breve descripción de los dibujos

La presente invención se describirá adicionalmente en adelante con referencia a los dibujos adjuntos, los cuales muestran una realización de la invención como un ejemplo no limitativo.

15 La Figura 1 es un diagrama de bloques de una realización preferida de un dispositivo de medición de acuerdo con la presente invención.

20 La Figura 2 es un diagrama de flujo de un método para la prueba fuera de línea de un motor eléctrico de acuerdo con la presente invención.

La Figura 3 es un diagrama de flujo de un método para la prueba fuera de línea de un motor eléctrico de acuerdo con la presente invención.

25 La Figura 4 es una representación esquemática de los segundos valores máximos detectados y los valores medios formados de los mismos para tres devanados de estator.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

30 Un sistema en el cual se puede aplicar la presente invención se describirá primero con referencia a la Figura 1.

35 Con referencia al diagrama de bloques en la Figura 1, se describirá una realización preferida de un dispositivo 13 de medición de acuerdo con la presente invención. El dispositivo 13 de medición comprende una unidad 1 de control, que comprende preferiblemente: una CPU 1a, una memoria 1b de programa, una memoria 1c de datos, un convertidor 1d A/D, una referencia 1e de voltaje, un primer temporizador (A) 1f, un segundo temporizador (B) 1g y un multiplicador 1h de hardware.

El dispositivo 13 de medición puede comprender una pantalla 2, la cual está conectada a la unidad 1 de control.

40 El dispositivo 13 de medición comprende un generador 3 de forma de onda conectado a la unidad de control, la cual preferiblemente comprende: un convertidor 3a D/A, un filtro 3b de reconstrucción y un amplificador 3c de potencia.

El dispositivo 13 de medición comprende amplificadores 4 de medición en dos canales, que comprenden preferiblemente: amplificadores 4a ajustables, rectificadores 4b, detectores 4c cero y cambiadores 4d de nivel.

45 El dispositivo 13 de medición comprende una unidad 5 de conmutación para proporcionar entradas y salidas a un objeto 10 de prueba. La unidad de conmutación, la cual está conectada a una entrada del amplificador 4 de medición, comprende preferiblemente relevos 5a y multiplexores 5b analógicos.

50 Además, el dispositivo 13 de medición comprende una resistencia 6 de medición de referencia, la cual está conectada entre la unidad 5 de conmutación y una entrada del amplificador 4 de medición.

55 El dispositivo 13 de medición comprende un dispositivo 8 de suministro de energía, que preferiblemente comprende una o más baterías 8a, un dispositivo 8c de carga de batería, uno o más reguladores 8c de voltaje y un generador de polarización de LCD.

60 Además, el dispositivo de medición comprende preferiblemente una o más entradas 9a análogas y entradas 9b digitales. La unidad 1 de control supervisa y controla la pantalla 2, el generador 3 de forma de onda, los amplificadores 4 de medición, la unidad 5 de conmutación, la resistencia 6 de medición de referencia, el generador 7 de alto voltaje y el dispositivo 8 de suministro de energía, de acuerdo con las instrucciones del programa almacenado en la memoria 1b, y registra y calcula datos de salida de acuerdo con instrucciones de programa dadas, el resultado puede ilustrarse en la pantalla 2. Más específicamente, la unidad 1 de control controla el generador 3 de forma de onda para generar una señal sinusoidal, cuya frecuencia está preferiblemente en el rango de 25-800 Hz y cuyo voltaje es preferiblemente de 1 V rms. El voltaje generado se aplica al objeto 10 de prueba a través de los amplificadores 3c de potencia y la unidad 5 de conmutación. La corriente así generada provoca un voltaje a través de la resistencia 6 de medición, controlando el amplificador de medición para medir el voltaje a través de la resistencia 6 de medición y el objeto de prueba, respectivamente.

65

Una primera entrada de un primer detector 4c de cruce por cero está conectada a la salida del generador 3 de forma de onda. La salida representa el desplazamiento de fase del voltaje a través del objeto 10 de prueba. Un segundo detector 4c de cruce por cero está conectado a la salida del amplificador 4a el cual es ajustable para coincidir con la resistencia 6 de medición, y su señal de salida representa el desplazamiento de fase de la corriente a través del objeto 10 de prueba, midiendo de este modo un ángulo  $\Phi_i$  de fase.

La conexión anterior permite calcular la corriente (I) a través del objeto 10 de prueba. También permite calcular la impedancia (Z), la inductancia (L) y la resistencia (R). También se mide el ángulo  $\Phi_i$  de fase. Las instrucciones de programa requeridas por la unidad 1 de control para llevar a cabo las mediciones/cálculos anteriores se almacenan en la memoria 1b.

En una prueba de rotor de acuerdo con la presente invención, la posición del rotor influye en el valor medido de la corriente (I), la impedancia (Z), la inductancia (L) y el ángulo ( $\Phi_i$ ) de fase en los devanados del estator. Los valores medidos varían entre mínimo/máximo, dependiendo de la posición del rotor con respecto al estator. Midiendo cualquiera de I, Z, L y  $\Phi_i$  en al menos un devanado del estator durante la rotación del rotor, determinando los primeros valores máximos de la cantidad medida, formando segundos datos de medición, determinando los valores máximos de los segundos datos de medición, y finalmente determinando una propagación de al menos una porción de los segundos valores máximos, se detectará cualquier desequilibrio presente del rotor, es decir, si la propagación de al menos una parte de los segundos valores máximos excede un umbral predeterminado, se proporcionará una indicación de que hay una falla en el rotor. Alternativamente, se puede determinar un patrón de al menos una porción de los segundos valores máximos. Como se indicó anteriormente, los valores determinados de los segundos valores máximos dependen de la concetricidad del rotor y cualquier error de centrado proporcionará una envolvente en los valores de los segundos valores máximos. Dicho patrón concéntrico puede por lo tanto ser detectado indicando una falla en el rotor.

En una prueba de rotor, un sensor 11 de ángulo puede estar conectado al eje, en donde el valor medido puede estar conectado con la posición del rotor, siendo la posición el factor de control cuando, por ejemplo, se presentan los resultados de la medición en la pantalla 2.

En una prueba de estator de acuerdo con la presente invención, la posición del rotor influye en el valor medido de la corriente (I), la impedancia (Z), la inductancia (L) y el ángulo ( $\Phi_i$ ) de fase en los devanados del estator. Los valores medidos varían entre mínimo/máximo, dependiendo de la posición del rotor con respecto al estator. Al medir cualquiera de I, Z, L y  $\Phi_i$  en al menos dos devanados del estator durante la rotación del rotor, se determinan los primeros valores máximos de la cantidad medida para cada devanado del estator, formando segundos datos de medición, y luego determinar los valores máximos de los segundos datos de medición para cada devanado de estator, formando entonces un valor medio con base en dichos segundos valores máximos detectados para cada uno de los devanados de estator medidos, se detectará cualquier desviación entre la cantidad medida en los devanados de estator. Las mediciones en un estator que funcione correctamente generarán valores medios de magnitud sustancialmente igual. En consecuencia, si los valores medios difieren de un patrón predeterminado, existe una falla en el estator. Alternativamente, se puede detectar una propagación de los valores medios, en donde una propagación que excede un umbral predeterminado, dependiendo de, por ejemplo las condiciones ambientales cuando se realizan las mediciones indicarán una falla en el estator. Como se describirá a continuación, el patrón puede variar de acuerdo con el tipo de motor que se pruebe.

Con referencia al diagrama de flujo en la Figura 2, se describirá un método de medición de acuerdo con la presente invención para indicar fallas de rotor.

En la etapa 200, se inicia el generador 3 de forma de onda, genera de este modo una señal de prueba periódica, preferiblemente en el rango de 25-800 Hz y 1 V rms, y se conecta a través del amplificador 3c de potencia y la unidad 5 de conmutación al objeto 10 de prueba.

En la etapa 201, los primeros datos de medición, relacionados con una cantidad física tal como la corriente I, la impedancia Z o la inductancia L, se recogen a la vez que el rotor gira alrededor del eje de rotación. Los primeros datos de medición se recogen a partir de uno o más periodos de forma de onda de la señal de prueba aplicada. No se requiere una rotación continua uniforme del rotor para el método de la invención.

En la etapa 202, se detectan los primeros valores máximos de los primeros datos de medición recogidos en la etapa 201.

En la etapa 203, se forman segundos datos de medición, con base a los primeros valores máximos detectados de los primeros datos de medición. Más específicamente, en esta etapa, los primeros valores máximos se extraen para formar segundos datos de medición.

En la etapa 204, se detectan los segundos valores máximos de los segundos datos de medición formados en la etapa 203.

- 5 En la etapa 205, se determina una propagación o un patrón de al menos una porción de los valores máximos de los segundos datos de medición para al menos un devanado del estator. La porción de los segundos valores máximos, usados para determinar la propagación o patrón, puede ser todos los valores positivos o todos los valores negativos, respectivamente. Alternativamente, si se usan los valores absolutos de los segundos valores máximos, la porción se puede seleccionar más libremente, como los primeros diez valores máximos determinados, diez valores máximos determinados detectados en el medio del intervalo medido, cada tercer valor máximo determinado o cualquier otra porción de los segundos valores máximos determinados.
- 10 En la etapa 206, se proporciona una señal que indica una falla en el rotor, si la propagación excede en un umbral predeterminado o si el patrón difiere de un patrón predeterminado. Como se mencionó anteriormente, el umbral predeterminado se usa para eliminar cualquier perturbación no deseada, errores en la medición de cualquier otra variación. La señal puede transmitirse a una pantalla, y transformarse en una representación visual, o la señal puede transformarse de cualquier otra forma para ser comunicada a una persona, u ordenador, realizando y/o monitorizando la prueba.
- 15 Con referencia al diagrama de flujo en la Figura 3, se describirá un método de medición de acuerdo con la presente invención para indicar fallas del estator.
- 20 En la etapa 300, se inicia el generador 3 de forma de onda, generando de este modo una señal de prueba periódica, preferiblemente en el rango de 25-800 Hz y 1 V rms, y se conecta a través del amplificador 3c de potencia y la unidad 5 de conmutación al objeto 10 de prueba. La señal de prueba periódica se aplica a al menos dos devanados del estator en caso de probar el rotor, ya que posteriormente se comparan los datos relacionados con los diferentes devanados del estator.
- 25 En la etapa 301, los primeros datos de medición de los al menos dos devanados del estator, relacionados con una cantidad física tal como la corriente I, la impedancia Z o la inductancia L, se recogen a la vez que el rotor gira alrededor del eje de rotación. Los primeros datos de medición se recogen a partir de uno o más periodos de forma de onda de la señal de prueba aplicada. No se requiere rotación continua del rotor para el método de la invención.
- 30 En la etapa 302, se detectan los primeros valores máximos de los primeros datos de medición para cada devanado de estator, que se recogen en la etapa 301.
- 35 En la etapa 303, se forman segundos datos de medición, con base a los primeros valores máximos detectados para cada devanado del estator. Más específicamente, en esta etapa, los primeros valores máximos se extraen para formar segundos datos de medición.
- 40 En la etapa 304, se detectan los segundos valores máximos de los segundos datos de medición formados en la etapa 303.
- 45 En la etapa 305, se forma un valor medio de los segundos valores máximos de los segundos datos de medición para cada devanado de estator.
- 50 En la etapa 306, se determina una relación mutua entre dichos valores medios.
- 55 En la etapa 307, se proporciona una señal que indica una falla en el estator si la relación mutua se desvía de una relación predeterminada o patrón predeterminado. El patrón predeterminado puede ser, para un estator con devanados de estator ordinarios, una propagación de los valores medios, que exceden un valor de umbral predeterminado. Para un estator con devanados concéntricos, el patrón predeterminado puede ser una formación escalonada, donde las diferencias de los valores medios son uniformes.
- 60 La señal puede transmitirse a una pantalla, y transformarse en una representación visual, o la señal puede transformarse de cualquier otra manera para ser comunicada a una persona, u ordenador, realizando y/o monitorizando la prueba.
- 65 Cuando se aplica la señal de prueba al devanado del estator en la etapa 200 y 300, los primeros datos de medición en la etapa 201 y 301 pueden recogerse midiendo a través de las conexiones de devanado del estator a la vez que el rotor gira alrededor del eje de rotación.
- El motor eléctrico puede ser un motor asíncrono trifásico u otro tipo de motor adecuado para la prueba de acuerdo con los métodos descritos.
- Con referencia a la Figura 4A y B, se muestra una representación esquemática de los segundos valores 401a-n máximos detectados. Los segundos valores 401a-n máximos detectados del devanado AB del estator se trazan en un diagrama. De forma similar, los segundos valores máximos detectados para cada uno de los estatores BC y AC también se trazan en el diagrama. Como se muestra en la Figura 4A, los valores 401a-n máximos tienen una relación mutua ya que son de igual magnitud, lo que indica que el rotor está funcionando correctamente, es decir,

una relación predeterminada que indica que un rotor funciona correctamente puede ser que la magnitud de los valores máximos sea igual o que los valores máximos están dispuestos de acuerdo con un patrón predeterminado debido al diseño del rotor. En contraste con los valores máximos que se muestran en la Figura 4A, los valores 404a máximos que se muestran en la Figura 4B no son de igual magnitud, pero se propagan un poco a partir de un valor esperado. La propagación indica que el rotor no está funcionando correctamente, pero puede estar dispuesto fuera del centro en el motor. Alternativamente, la propagación puede deberse a otras fallas del rotor, como las grietas mencionadas anteriormente.

Con referencia a la Figura 4A, se forma un valor 402 medio de los segundos valores máximos detectados para cada devanado AB, BC y AC de estator y los valores medios de los tres devanados de estator se usan en el método de la invención para determinar una relación o patrón mutuo. En la Figura 4A, la relación mutua se indica en que no se identifica ninguna desviación entre los valores medios de los devanados AB, BC y CA del estator, respectivamente (o no se identifica ninguna desviación que supere un umbral o patrón predeterminado). En consecuencia, el estator funciona correctamente.

Por el contrario, si se detecta una desviación entre los valores medios de los devanados AB, BC y CA del estator, respectivamente, como se muestra en la Figura 4B, hay una falla presente en el estator. La desviación puede ser una desviación de un patrón predeterminado o la desviación puede ser una propagación de los valores medios entre los devanados del estator.

A modo de ejemplo, a continuación se describirá con más detalle un método de medición para recoger los datos de medición primero y segundo mencionados en las etapas 201-204 y 301-304 anteriores.

El generador 3 de forma de onda se inicia, generando así una señal de prueba periódica, preferiblemente en el rango de 25-800 Hz y 1 V rms, y se conecta a través del amplificador 3c de potencia y la unidad 5 de conmutación al objeto 10 de prueba y la resistencia 6 de medición opcionalmente a través de terminales de conector (indicados por X en la Figura 1). Más específicamente, el generador 3 de forma de onda se inicia iniciando el temporizador (B) 1g y cargando un valor correspondiente a un tiempo  $t_1$  de muestreo. Cuando el temporizador ha contado hasta cero, se genera una interrupción que hace que la CPU 1a recupere/busque el valor de la muestra no. 1 en una tabla almacenada en la memoria 1b de programa, el valor que se suministra al convertidor 3a D/A. Al mismo tiempo, el temporizador (B) 1g se reinicia y vuelve a cargar con el valor de  $t_1$ .

Este proceso se repite en conexión con/después de cada interrupción del temporizador (B) 1g recuperando la siguiente muestra en la memoria 1b de programa y suministrándola al convertidor 3a D/A, generando así una serie de niveles de voltaje discretos que representan la forma de onda deseada más la frecuencia  $1/t_1$  de muestreo. Esta señal se envía luego a un filtro 3b de paso bajo/reconstrucción, cuya función es filtrar la frecuencia de muestreo y cualquier componente de frecuencia no deseable, de modo que solo quede la forma de onda deseada. Antes de que la forma de onda se pueda aplicar al objeto 10 de prueba, debe realizarse la adaptación de impedancias. Esto tiene lugar en el amplificador 3c de potencia a partir del cual se transmite la forma de onda al objeto 10 de prueba a través de relevos en la unidad 5 de conmutación.

El voltaje a través del objeto 10 de prueba y la resistencia 6 de medición, respectivamente, se registra en el amplificador 4 de medición. Esto es efectuado por la CPU 1a ajustando los relevos 5a y los multiplexores 5b en la unidad 5 de conmutación de modo que el voltaje entre el objeto 10 de prueba y la resistencia 6 de medición, los cuales están conectados en serie, se conmuta a un amplificador 4a, 4b ajustable respectivo. La CPU define los amplificadores 4a, 4b en el nivel de amplificación más bajo. Las señales se envían luego a rectificadores 4c en los cuales se someten a una rectificación de onda completa, después de lo cual se suministran a un cambiador 4e de nivel, el cual adapta los niveles al convertidor 1d A/D. En este estado de amplificación y conmutación, la CPU 1a inicia el convertidor 1d A/D, el cual junto con la referencia 1e de voltaje a través de un detector de valor máximo con base en software devuelve el voltaje máximo de ambas señales. Usando estos valores máximos, la CPU 1a selecciona/calcula un nivel de amplificación óptimo para el amplificador ajustable de cada canal y los aplica. En estos nuevos estados de amplificación, la CPU 1a inicia nuevamente el convertidor 1d A/D, que junto con la referencia 1e de voltaje a través de un primer detector de valor máximo con base en software devuelve el voltaje máximo de ambas señales. Usando estos valores máximos, la CPU 1a verifica que se ha obtenido el estado de amplificación óptimo para el amplificador ajustable de cada canal. Si este no es el caso, es decir, si se sobrecarga un canal cualquiera, la CPU 1a puede reducir el nivel de amplificación en una etapa y aplica el mismo. Alternativamente, la señal a través de la resistencia de medición puede ser tan baja que la CPU lo interpreta como si no hubiera ningún objeto de prueba conectado. Preferiblemente, también se conoce la amplitud máxima del generador 3 de forma de onda.

La entrada del primer detector de cruce por cero está conectada a la salida del generador 3 de forma de onda. Puede decirse que la señal de salida representa el desplazamiento de fase del voltaje a través del objeto 10 de prueba. El segundo detector de cruce por cero está conectado a la salida del amplificador ajustable adaptado para la resistencia 6 de medición y su señal de salida representa el desplazamiento de fase de la corriente a través del objeto 10 de prueba.

5 Se realiza entonces una medición de I, Z o L. La medición comprende el uso del primer detector de valor máximo con base en software para recoger los primeros valores máximos de los primeros datos de medición. Al mismo tiempo, la recolección de los primeros datos de medición y durante la rotación del rotor, los valores máximos pueden formarse simultáneamente a partir de los primeros datos de medición. Alternativamente, la formación de los valores máximos a partir de los primeros datos de medición puede realizarse después de que se haya finalizado la recolección de los primeros datos de medición.

Se realiza una inicialización del registro/memorización de los valores mínimo y máximo de I, Z y/o L.

10 A continuación, se lleva a cabo una segunda detección de valor máximo con base en software para detectar un número de ciclos mínimo/máximo en la forma de onda resultante de la envolvente de indicación del rotor. La detección del segundo valor máximo puede basarse esencialmente en el mismo algoritmo de software que para la detección del primer valor máximo, pero difiere en términos de los datos de entrada y la forma de onda procesada. 15 Los datos de entrada para el segundo detector de valor máximo son el resultado de la medición de uno o más ciclos de medición, es decir, datos de salida del primer detector de valor máximo. La forma de onda medida, a partir de la cual se obtienen los valores mínimos/máximos, es la envolvente de indicación del rotor, la cual es de forma sinusoidal u otra forma, la cual aparece de la envolvente después de un número suficientemente grande de resultados de medición recogidos.

20 El resultado de la segunda detección máximo puede entonces utilizarse en la posterior determinación de la propagación o valor medio de los datos de medición de acuerdo con las etapas 205 ff y 305 ff.

25 Además, antes de realizar las mediciones anteriores, el aparato comienza preferiblemente por un cambio automático de las entradas de medición con el fin de medir cualquier nivel de voltaje de interferencia (Uemi) posiblemente inducido en el motor debido a campos de interferencia externos, si los hay. Si el nivel es demasiado alto, se muestra en la pantalla del aparato, lo que permite al usuario tomar diferentes medidas en un intento de reducir el nivel de interferencia, por ejemplo, poner a tierra el objeto de prueba, etc. Por lo tanto, la capacidad del aparato para determinar niveles excesivos de voltaje de interferencia (Uemi) es una característica altamente ventajosa, ya que un nivel excesivo de voltaje de interferencia causa resultados de medición erróneos.

30 Si el nivel de interferencia es suficientemente bajo, el aparato avanza, preferiblemente automáticamente, midiendo y/o calculando las siguientes cantidades:

35 Resistencia (R), la cual se usa para detectar roturas en conectores o devanados, conexiones sueltas, resistencia de contacto y cortocircuitos directos.

40 Impedancia (Z) e inductancia (L), las cuales se usan en combinación para detectar la presencia de diferentes impurezas en los devanados. Estas pueden estar, por ejemplo, en forma de polvo, humedad o aislamiento carbonizado (debido al sobrecalentamiento), las cuales causan pequeños cambios en la capacitancia del devanado que se está midiendo. En la mayoría de los casos, la capacitancia aumenta, lo que causa una reducción de la impedancia Z. Además, la reactancia capacitiva tendrá una mayor influencia en la impedancia (ley de Ohm), ya que la señal de prueba aplicada tiene baja amplitud y el valor de capacitancia es incluso más dominante.

45 En el caso del aislamiento carbonizado debido al sobrecalentamiento, la capacitancia puede en cambio disminuir, haciendo que la impedancia aumente en una o más fases.

50 Como se mencionó anteriormente, de todas las cantidades de medición, la inductancia L es la menos susceptible de cambiar debido a una falla en el estator. Debido a esta "inercia", los resultados de medición para L se pueden usar como una forma de referencia o línea base para comparar con cambios en Z.

Sin embargo, dependiendo del tipo de motor, los valores de L y Z desafortunadamente variarán en diferentes grados entre las fases. La razón de esta variación es que el efecto de la posición del rotor sobre la inductancia relativa entre el rotor y el estator puede ser diferente en cada fase.

55 Se contempla que hay numerosas modificaciones de las realizaciones descritas en este documento, que todavía están dentro del alcance de la invención, que está definida por las reivindicaciones adjuntas.

**REIVINDICACIONES**

1. Un método para la prueba fuera de línea de un motor eléctrico, teniendo el motor al menos un devanado del estator, y un rotor dispuesto a lo largo de un eje de rotación, el método comprende:
- 5 aplicar una señal de prueba de AC a al menos un devanado del estator;
- medir una amplitud de AC de una señal de respuesta, relacionada con una cantidad física del al menos un devanado del estator, a la vez que el rotor gira alrededor del eje de rotación, la señal de respuesta resultante de la aplicación de la señal de prueba y la rotación del rotor;
- 10 determinar la amplitud máxima para la señal de respuesta;
- determinar una relación mutua entre al menos una parte de la amplitud máxima; y
- 15 proporcionar, si la relación mutua se desvía de una relación predeterminada, una señal que indica una falla en el rotor.
2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la relación mutua corresponde a una propagación de al menos una porción de la amplitud máxima, y la desviación de la relación corresponde a cuando la propagación excede un umbral predeterminado.
- 20 3. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-2, en donde la relación mutua corresponde a un patrón de al menos una porción de la amplitud máxima, y la desviación de la relación corresponde a cuando el patrón se desvía de un patrón predeterminado de los valores de al menos una porción de la amplitud máxima.
- 25 4. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la cantidad física es una inductancia (L) del devanado del estator.
- 30 5. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la cantidad física es una impedancia (Z) del devanado del estator.
- 35 6. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el motor eléctrico es un motor asíncrono trifásico.
7. Un método para la prueba fuera de línea de un motor eléctrico, el motor que tiene un estator con un primer y un segundo devanados del estator, y un rotor dispuesto a lo largo de un eje de rotación, el método comprende
- 40 aplicar una señal de prueba de AC al primer y segundo devanados del estator;
- medir una amplitud de AC de una primera señal de respuesta, relacionada con una cantidad física del primer devanado del estator, a la vez que el rotor gira alrededor del eje de rotación, la primera señal de respuesta resultante de la aplicación de la primera señal de prueba y la rotación del rotor;
- 45 medir una amplitud de AC de una segunda señal de respuesta, relacionada con una cantidad física del segundo devanado del estator, a la vez que el rotor gira alrededor del eje de rotación, la segunda señal de respuesta resultante de la aplicación de la segunda señal de prueba y la rotación del rotor;
- 50 formar un primer valor medio de la amplitud de AC de la primera señal de respuesta;
- formar un segundo valor medio de la amplitud de AC de la segunda señal de respuesta;
- determinar una relación mutua entre los valores medios primero y segundo; y
- 55 proporcionar, si la relación mutua se desvía de una relación predeterminada, una señal que indica una falla en el estator.
8. El método de acuerdo con la reivindicación 7, en donde la relación mutua corresponde a una propagación de valores medios, y la desviación de la relación corresponde a cuando la propagación excede un umbral predeterminado.
- 60 9. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 7-8, en donde la relación mutua corresponde a un patrón de los valores medios, y la desviación de la relación corresponde a cuando el patrón se desvía de un patrón predeterminado de los valores medios.
- 65

10. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, en donde la cantidad física es una inductancia de un devanado (L) del estator.
- 5 11. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 7-10, en donde la cantidad física es una impedancia de un devanado (Z) del estator.
12. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 7-11, en donde el motor eléctrico es un motor asíncrono trifásico.
- 10 13. Un aparato para la prueba fuera de línea de un motor eléctrico, teniendo el motor al menos un devanado del estator, y un rotor dispuesto a lo largo de un eje de rotación, el aparato comprende:
- un generador para aplicar una señal de prueba de AC a al menos un devanado del estator;
- 15 un dispositivo de medición para medir una amplitud de AC de una señal de respuesta, relacionada con una cantidad física del al menos un devanado del estator, a la vez que el rotor gira alrededor del eje de rotación, la señal de respuesta resultante de la aplicación de la señal de prueba y la rotación del rotor;
- 20 un detector de amplitud para determinar la amplitud máxima para la señal de respuesta;
- un detector de relación mutua para determinar una relación mutua entre al menos una parte de la amplitud máxima; y
- 25 un dispositivo de señalización para proporcionar, si la relación mutua se desvía de una relación predeterminada, una señal que indica una falla en el rotor.
- 30 14. El aparato de acuerdo con la reivindicación 13, en donde la relación mutua corresponde a una propagación de al menos una porción de los máximos de amplitud, y la desviación de la relación corresponde a cuando la propagación excede un umbral predeterminado.
- 35 15. El aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 13-14, en donde la relación mutua corresponde a un patrón de al menos una porción de la amplitud máxima, y la desviación de la relación corresponde a cuando el patrón se desvía de un patrón predeterminado de los valores de al menos una parte de los segundos valores máximos.
- 40 16. Un aparato para la prueba fuera de línea de un motor eléctrico, el motor que tiene un estator con al menos dos devanados del estator, y un rotor dispuesto a lo largo de un eje de rotación, el aparato comprende:
- un generador para aplicar una señal de prueba de AC al primer y segundo devanados del estator;
- 45 un primer dispositivo de medición de señal de respuesta adaptado para medir una amplitud de AC de una primera señal de respuesta, relacionada con una cantidad física del primer devanado del estator, a la vez que el rotor está girando alrededor del eje de rotación, la primera señal de respuesta resultante de la aplicación de la primera señal de prueba y la rotación del rotor;
- 50 un segundo dispositivo de medición de la señal de respuesta adaptado para medir una amplitud de AC de una segunda señal de respuesta, relacionado con una cantidad física del segundo devanado del estator, a la vez que el rotor está girando alrededor del eje de rotación, la segunda señal de respuesta resultante de la aplicación de la segunda señal de prueba y la rotación del rotor;
- 55 un primer dispositivo formador de valor medio adaptado para formar un primer valor medio de la amplitud de AC de la primera señal de respuesta;
- un segundo dispositivo formador de valor medio para formar un segundo valor medio de la amplitud de AC de la segunda señal de respuesta;
- 60 un detector para determinar una relación mutua entre los valores medios primero y segundo; y
- un dispositivo de señalización adaptado para proporcionar, si la relación mutua se desvía de una relación predeterminada, una señal que indica un fallo en el estator.
17. El aparato de acuerdo con la reivindicación 16, en donde la relación mutua corresponde a una propagación de valores medios, y la desviación de la relación corresponde a cuando el margen excede un umbral predeterminado.

18. El aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 16-17, en donde la relación mutua corresponde a un patrón de los valores medios, y la desviación de la relación corresponde a cuando el patrón se desvía de un patrón predeterminado de los valores medios.

5 19. El aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 13-18 en donde la cantidad física es una inductancia de un devanado (L) del estator.

20. El aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 13-19, en donde la cantidad física es una impedancia del devanado (Z) del estator.

10

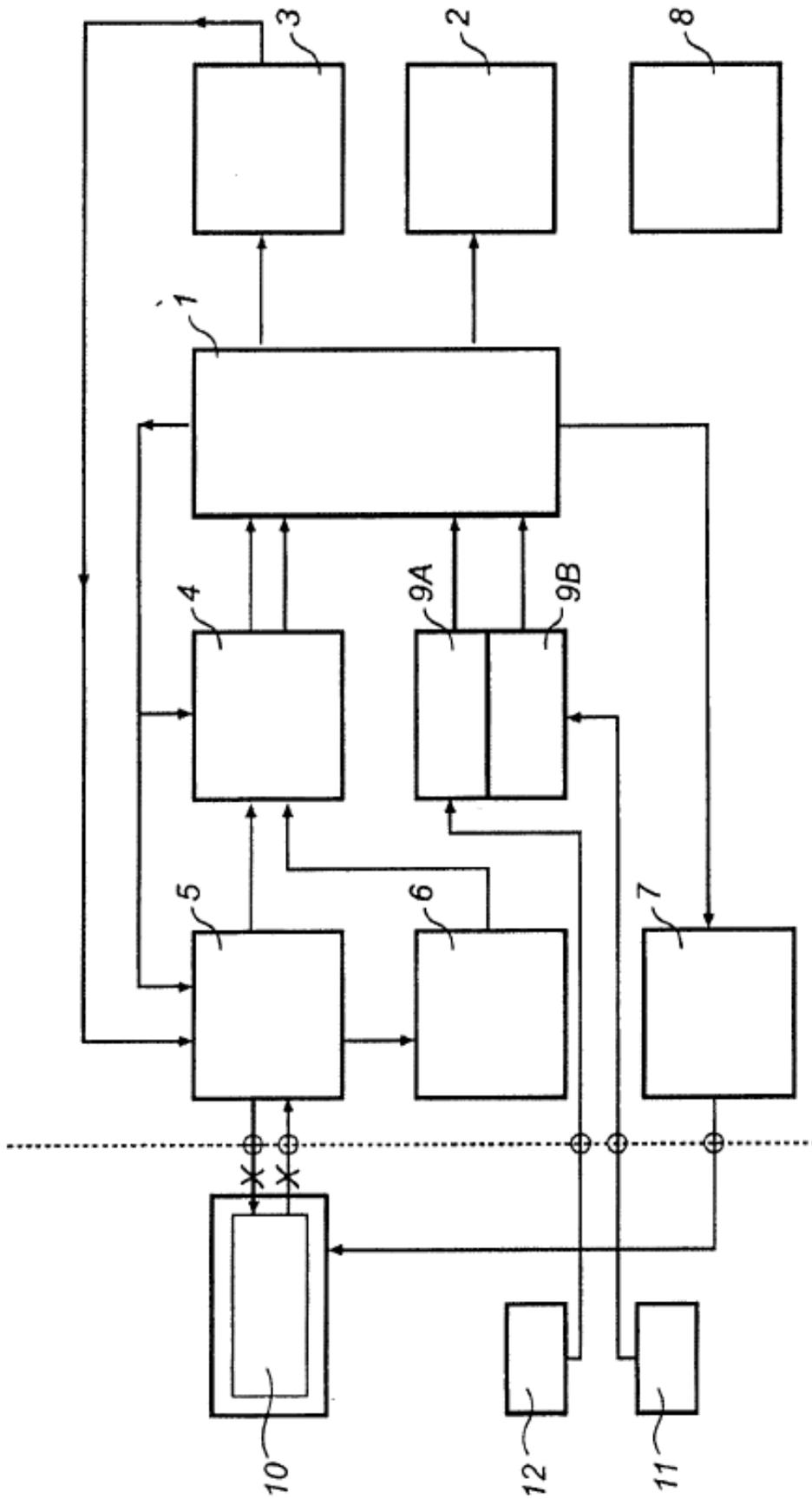


Fig. 1

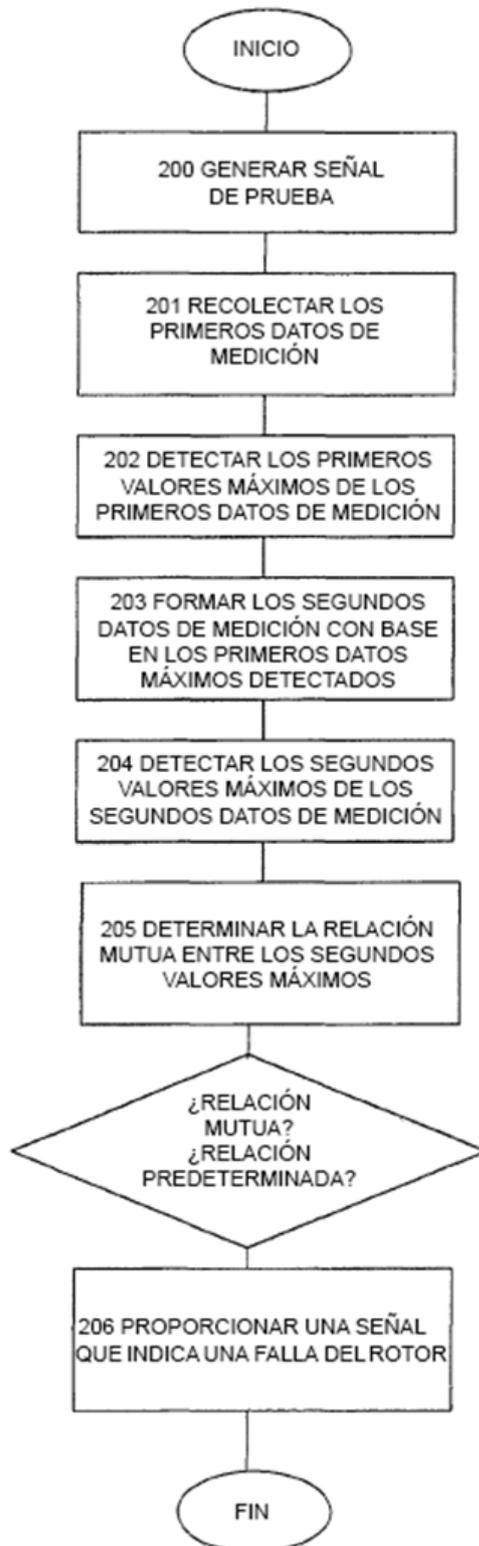


Fig. 2

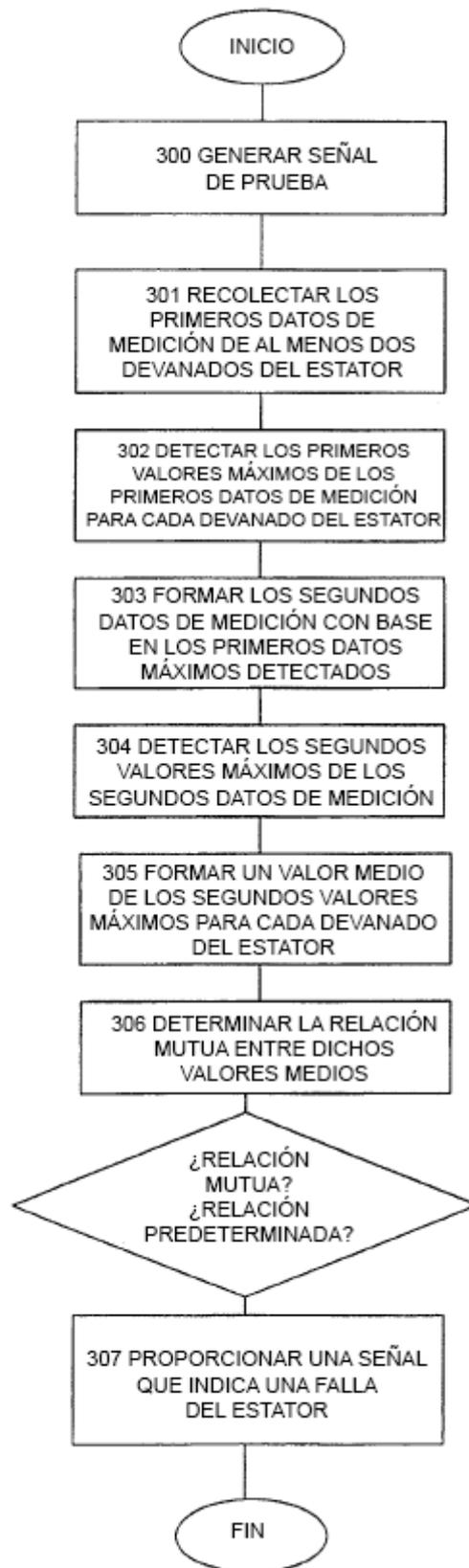
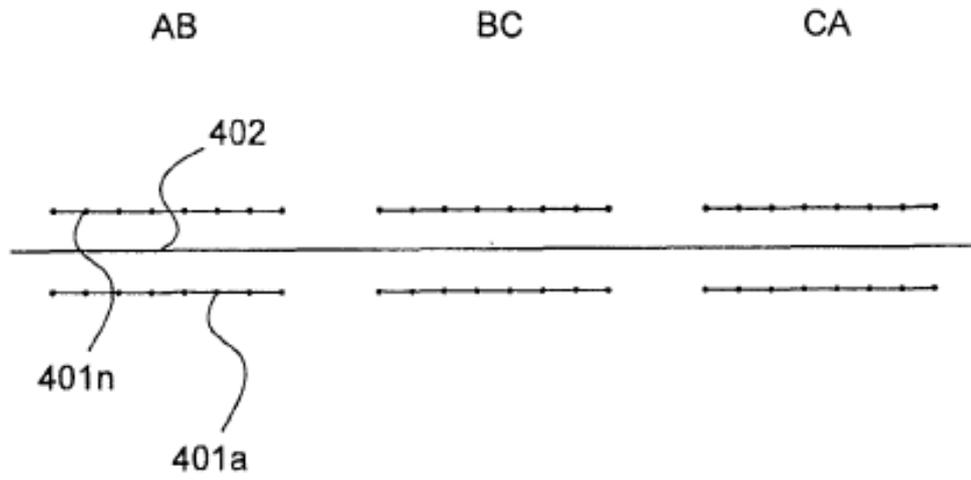
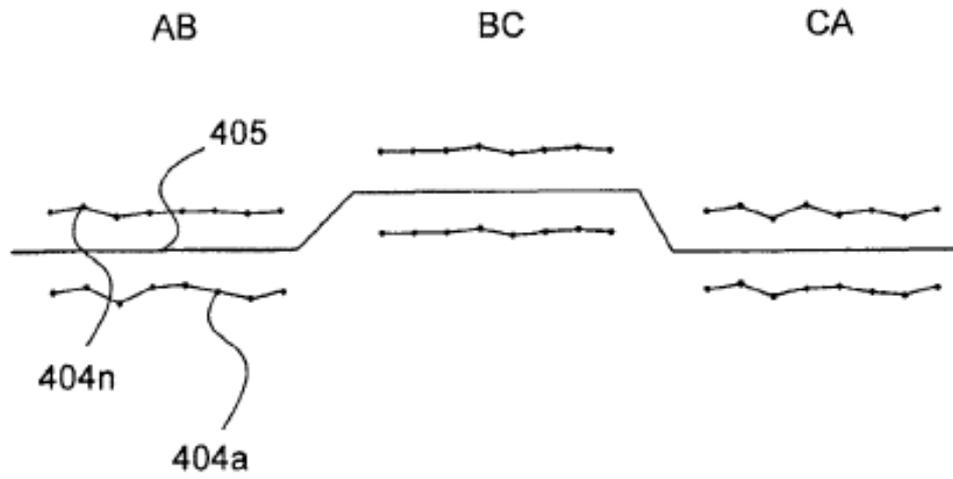


Fig. 3



*Fig. 4a*



*Fig. 4b*