

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 704 166**

51 Int. Cl.:

B23Q 17/09 (2006.01)

B23Q 17/24 (2006.01)

B23B 49/00 (2006.01)

B23Q 17/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.07.2012 PCT/EP2012/063309**

87 Fecha y número de publicación internacional: **17.01.2013 WO13007655**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.07.2012 E 12734919 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.10.2018 EP 2731754**

54 Título: **Método para verificar la presencia de un elemento giratorio en una máquina herramienta**

30 Prioridad:

13.07.2011 IT BO20110415

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

14.03.2019

73 Titular/es:

**MARPOSS SOCIETA' PER AZIONI (100.0%)
Via Saliceto 13
40010 Bentivoglio (BO), IT**

72 Inventor/es:

**MALPEZZI, DOMENICO y
BARBIERI, NICOLA**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 704 166 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 para verificar la presencia de un elemento giratorio en una máquina herramienta

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a un método y un aparato de verificación para verificar la presencia de un elemento giratorio. La presente invención puede aplicarse ventajosamente para verificar la presencia de una herramienta giratoria en una máquina herramienta de control numérico, a la que se hará referencia explícita en la memoria sin que ello implique una pérdida de la generalidad.

10

Antecedentes de la técnica

En una máquina herramienta de control numérico, pueden montarse diferentes tipos de herramientas en el husillo. Estas herramientas se extraen y se reemplazan en un depósito automático y, en uso, se hacen girar para mecanizar una pieza mediante la eliminación de material.

15

Cuando es necesario cambiar la herramienta, se coloca el husillo en el depósito automático, reemplazando la herramienta antigua para que acepte la nueva.

20

Dado que puede suceder que el husillo no acepte la nueva herramienta desde el depósito, después de un cambio de herramienta es necesario verificar que el husillo haya aceptado la nueva herramienta. En otras palabras, debe verificarse que la herramienta esté realmente presente en el husillo.

25

Además, en el transcurso del uso, la herramienta podría romperse (normalmente, pero no solo, cuando la herramienta es una broca con un diámetro pequeño) y, por lo tanto, es necesario verificar que la herramienta soportada por el husillo esté completa (es decir, que comprenda su porción terminal, que es su punta).

30

Para verificar que el husillo está soportando realmente una herramienta (más específicamente, una herramienta giratoria, es decir una herramienta a la que el husillo haga girar) y que la herramienta está completa (es decir, que comprende su porción terminal), la máquina de control numérico puede incluir un aparato o dispositivo de verificación del tipo con contacto (que, sin embargo, no puede usarse para comprobaciones mientras la herramienta está girando) o del tipo sin contacto. Los dispositivos sin contacto pueden detectar, por ejemplo, la presencia de la herramienta giratoria mediante la interrupción de un haz de luz (esta solución a menudo presenta problemas de dimensiones generales), o mediante la observación y el análisis de una radiación reflejada por la propia herramienta.

35

Un aparato de verificación de este último tipo, tal como por ejemplo el mostrado en el documento US-A-5293048, incluye un emisor de radiación electromagnética (habitualmente, pero no necesariamente, un haz láser) que se dirige hacia el área en la que debe colocarse la herramienta giratoria, y un receptor que está dispuesto junto al emisor y que recibe la radiación electromagnética reflejada por la herramienta giratoria. Una unidad de procesamiento del aparato de verificación analiza la radiación electromagnética reflejada detectada por el receptor, y determina, en función de dicho análisis, si la herramienta giratoria está realmente presente o no.

40

El análisis de la radiación electromagnética reflejada detectada por el receptor es de vital importancia, ya que debe garantizar una alta fiabilidad a la hora de determinar la presencia de la herramienta giratoria. En particular, dicho análisis incluye un procesamiento complejo, para evitar errores por falsos positivos (es decir, que se determine que la herramienta giratoria está presente cuando no está realmente presente) y errores por falsos negativos (es decir, que se determine que la herramienta giratoria no está presente cuando sí está presente).

45

El nivel de riesgo de errores por falsos positivos es bastante alto, dado que el receptor puede detectar ruidos que podrían confundirse con radiación reflejada por la herramienta giratoria. Por ejemplo, los ruidos pueden incluir la radiación electromagnética emitida por el emisor y reflejada por objetos que no sean la herramienta giratoria (por ejemplo, refrigerante que salpique la herramienta giratoria, polvo o virutas causadas por el mecanizado, u otras superficies reflectantes situadas detrás de la herramienta), o los ruidos pueden comprender radiación electromagnética emitida por otras fuentes (por ejemplo, lámparas fluorescentes que proporcionen iluminación ambiental).

50

55

También existe el riesgo de errores por falsos negativos. De hecho, el uso de criterios estrictos para analizar la radiación electromagnética detectada por el emisor, para tratar de evitar los errores por falsos positivos, puede implicar como consecuencia negativa que no se reconozca como reflejo de la herramienta giratoria una radiación electromagnética, que sí haya sido reflejada por la herramienta giratoria pero que accidentalmente incluya ruidos. El documento EP0493908 A1 da a conocer un método de verificación de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1, y un aparato de verificación de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 19.

60

65

Divulgación de la invención

5 El objetivo de la presente invención es proporcionar un método y un aparato de verificación para verificar la presencia de un elemento giratorio, permitiendo dichos método y aparato de verificación detectar la presencia de la herramienta giratoria con mayor fiabilidad y, al mismo tiempo, siendo fáciles y económicos de implementar.

La presente invención proporciona un método de verificación y un aparato para verificar la presencia de una herramienta giratoria, de acuerdo con lo que se reivindica en las reivindicaciones adjuntas.

10 Breve descripción de los dibujos

La presente invención se describe a continuación con referencia a las hojas adjuntas de dibujos, que se ofrecen a modo de ejemplos no limitativos, en donde:

- 15 - la figura 1 es una vista simplificada, con ciertas partes eliminadas y otras partes ampliadas en pos de la claridad, de una máquina herramienta de control numérico con un aparato de verificación, para verificar la presencia de una herramienta giratoria de acuerdo con la presente invención; y
- las figuras 2-5 muestran cuatro diagramas, que muestran los datos procesados por el aparato de verificación para verificar la presencia de la herramienta giratoria.

20 Mejor modo de llevar a cabo la invención

25 En la figura 1 se ilustra muy esquemáticamente una máquina herramienta 1 de control numérico (por ejemplo, una máquina taladradora automática), que incluye un husillo 2 que soporta una herramienta giratoria 3 (una broca, en el caso particular que se muestra en la figura 1), y una mesa 4 de trabajo que soporta una pieza 5 a mecanizar.

30 Además, la máquina herramienta 1 incluye un aparato 6 de verificación que verifica la presencia de la herramienta giratoria 3 (e indirectamente, por lo tanto, que la misma está completa). La detección de si la herramienta giratoria 3 está completa se lleva a cabo dirigiendo el aparato 6 de verificación hacia la porción terminal (es decir, hacia la punta) de la herramienta giratoria 3: si la porción terminal de la herramienta giratoria 3 está realmente presente, se asume que la herramienta giratoria 3 está presente y también que está completa. Obviamente, podría usarse el aparato 6 de verificación para verificar solo la presencia de la herramienta giratoria 3, dirigiendo el mismo hacia una porción central de la propia herramienta giratoria 3.

35 La máquina herramienta 1 puede incluir un sensor 7 de velocidad, conectado mecánicamente al husillo 2 para medir una frecuencia de rotación (es decir, una velocidad de rotación) de la herramienta giratoria 3, en particular una frecuencia de rotación real FR, y para proporcionar su propia lectura a una entrada (digital o analógica) del aparato 6 de verificación. De acuerdo con una realización equivalente, la máquina herramienta 1 no incluye el sensor 7 de velocidad. En este caso, la frecuencia de rotación real FR de la herramienta giratoria 3 se estima con precisión basándose en una frecuencia nominal, que se conoce como parámetro de control de un motor eléctrico que pone el husillo 2 en rotación, mediante operaciones de procesamiento adecuadas como las que se describen a continuación con referencia a la figura 5.

45 El aparato 6 de verificación incluye un emisor óptico 8, para dirigir una radiación electromagnética principal 9 hacia la herramienta giratoria 3. De acuerdo con una realización preferida, la radiación electromagnética principal 9 es un haz láser pulsado (que corresponde a una alternancia recurrente periódica de presencia y ausencia del haz láser), que oscila (pulsas) con una frecuencia del orden de 10-500 kHz. Además, el aparato 6 de verificación incluye un receptor óptico 10 para recibir una radiación electromagnética reflejada 11, que ha sido reflejada por la herramienta giratoria 3. En otras palabras, el receptor óptico 10 "capta" la reflexión generada por la herramienta giratoria 3 de la radiación electromagnética principal 9 emitida por el emisor óptico 8.

50 El aparato 6 de verificación incluye una unidad 12 de procesamiento que capta la radiación electromagnética reflejada 11 (es decir, capta las señales eléctricas proporcionadas por el receptor óptico 10, sobre el que "incide" la radiación electromagnética reflejada 11), para determinar una señal aproximada S a analizar (mostrada en la figura 2). De acuerdo con una realización preferida, la captación de la radiación electromagnética reflejada 11 se lleva a cabo por medio de un circuito de muestra y retención, sincronizado con la frecuencia de oscilación de la radiación electromagnética principal 9.

55 Una vez sabida la frecuencia de rotación real FR de la herramienta giratoria 3 (dicha frecuencia puede obtenerse de dos maneras diferentes: se proporciona mediante el sensor 7 de velocidad a la unidad 12 de procesamiento, o bien, en ausencia de cualquier sensor de velocidad, se procesa en función de una frecuencia nominal), la unidad 12 de procesamiento determina la longitud de la señal aproximada S en función de la frecuencia de rotación real FR, de modo que la señal aproximada S incluya al menos dos rotaciones completas de la herramienta giratoria 3 y, preferentemente, incluya al menos tres rotaciones completas de la herramienta giratoria 3 (obviamente, la señal aproximada S puede incluir más de tres rotaciones completas de la herramienta giratoria 3, lo importante es que la señal aproximada S nunca incluya menos de dos rotaciones completas de la herramienta giratoria 3). Debe

observarse que, cuanto mayor sea el número de rotaciones completas de la herramienta giratoria 3 incluidas en la señal aproximada S, más sencillo y preciso será el análisis de la señal aproximada S para determinar la presencia de la herramienta giratoria 3, pero mayor será el tiempo requerido. Las operaciones de procesamiento que se describen a continuación permiten obtener muy buenos resultados utilizando un número limitado de rotaciones completas de la herramienta y, por lo tanto, en muy poco tiempo.

Al calcular la longitud de la señal aproximada S, la unidad 12 de procesamiento tiene en cuenta la diferencia entre la frecuencia de rotación real FR y la frecuencia de rotación nominal conocida, y determina la longitud de la señal aproximada S de tal manera que incluso en el peor de los casos, es decir, en el caso en que la frecuencia de rotación real FR sea inferior a la nominal con una diferencia máxima dentro de un intervalo de variabilidad conocido, la señal aproximada S incluya al menos dos rotaciones completas de la herramienta giratoria 3 (en la realización preferida, al menos tres rotaciones completas de la herramienta giratoria 3).

En el ejemplo mostrado en la figura 2, la línea discontinua representa la señal aproximada S, que está compuesta por 1536 muestras. Dicha señal aproximada S se obtuvo desmodulando la radiación electromagnética reflejada 11 con una frecuencia de muestreo de 1,6 kHz, y a una frecuencia de rotación nominal de la herramienta giratoria 3 igual a 200 RPM (es decir, igual a $200/60 = 3,333$ Hz). Si la frecuencia de rotación real FR correspondiera a la nominal, el muestreo a 1,6 kHz de una rotación completa de la herramienta giratoria 3 incluiría 480 muestras. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que la frecuencia real de rotación FR generalmente puede variar con respecto a la nominal con la que se acciona el motor eléctrico que hace girar el husillo 2. Normalmente, la variación se encuentra dentro de un intervalo de variabilidad de ± 5 . Esto es generalmente cierto, y no afecta en modo alguno a las operaciones de mecanizado adecuadas de la máquina herramienta llevadas a cabo por medio de la herramienta 3. Por lo tanto, en el peor de los casos (es decir, en el caso en que la frecuencia de rotación real FR sea un 5 % más baja que la frecuencia nominal), una rotación completa de la herramienta giratoria 3 incluirá 512 muestras (es decir, 480 muestras + un 5 % + el redondeo para que haya un número "conveniente" a almacenar, ya que 512 es una potencia de 2). Por lo tanto, la señal aproximada S deberá estar compuesta por 1536 (= 512×3) muestras para asegurarse de que la señal aproximada S se refiera al menos a tres rotaciones completas de la herramienta giratoria 3.

De acuerdo con una posible realización, la radiación electromagnética reflejada se capta con una frecuencia de muestreo que varía en función de la frecuencia de rotación de la herramienta giratoria 3, de tal manera que la frecuencia de muestreo aumente a medida que aumenta la frecuencia de rotación. Por ejemplo, cuando la frecuencia de rotación nominal de la herramienta giratoria 3 esté entre 200 RPM y 1000 RPM, la frecuencia de muestreo puede ser igual a 1,6 kHz, mientras que, cuando la frecuencia de rotación nominal de la herramienta giratoria 3 esté entre 1000 RPM y 5000 RPM, la frecuencia de muestreo puede ser igual a 8 kHz. Dado que la frecuencia de muestreo aumenta a medida que aumenta la frecuencia de rotación de la herramienta giratoria 3, es posible mantener una precisión de captación bastante constante (es decir, que haya un número bastante constante de muestras para cada rotación completa de la herramienta giratoria 3 y, por lo tanto, un número que no sea muy elevado cuando la herramienta giratoria gire lentamente y/o no muy bajo cuando la herramienta giratoria gire rápidamente).

De acuerdo con una posible realización, el número de rotaciones completas de la herramienta giratoria 3 incluidas en la señal aproximada S no es constante, sino que aumenta a medida que aumenta la frecuencia de rotación de la herramienta giratoria 3. De esta manera, la longitud de captación de la señal S es más o menos constante (de modo que pueda mantenerse más o menos constante el tiempo necesario para verificar la presencia de la herramienta giratoria 3).

De acuerdo con una realización preferida, la unidad 12 de procesamiento aplica de antemano (es decir, antes de otras operaciones de procesamiento descritas a continuación) un filtrado de software de paso bajo a la señal aproximada S. Además, de acuerdo con una realización preferida, la unidad 12 de procesamiento aplica de antemano (es decir, antes de otras operaciones de procesamiento descritas a continuación) a la señal aproximada S una escala de tiempo de los valores, al restar un valor constante igual al valor mínimo de la señal aproximada S. En la figura 2, la línea discontinua representa la señal aproximada S sin filtrar ni estar escalada en el tiempo, mientras que la línea continua representa la señal aproximada S filtrada y escalada en el tiempo.

En la realización preferida, en la que el sensor 7 de velocidad no proporciona la frecuencia de rotación real FR, la unidad 12 de procesamiento primero procesa la señal aproximada S filtrada y escalada en el tiempo, para determinar un periodo exacto de rotación de la señal aproximada S (es decir, el periodo de la señal aproximada S correspondiente al periodo de rotación de la herramienta giratoria 3) por medio de un análisis en el dominio del tiempo. Luego, una vez determinado el periodo exacto de rotación de la señal aproximada S, la unidad 12 de procesamiento corta una parte de la señal aproximada en función del periodo exacto de rotación de la señal aproximada S, de tal manera que la señal aproximada S incluya exactamente un número entero de rotaciones completas de la herramienta giratoria 3. En otras palabras, normalmente la señal aproximada S incluye un número fraccional de rotaciones completas de la herramienta giratoria 3 y, por lo tanto, la señal aproximada S se corta (esto es, se corta una parte de las muestras incluidas en la señal aproximada S) de tal manera que, tras el corte, la señal aproximada S incluya exactamente un número entero de rotaciones completas de la herramienta giratoria 3 (por

ejemplo, exactamente tres rotaciones completas de la herramienta giratoria 3, como en la realización mostrada en las figuras 2-5). El corte de la señal aproximada S puede tener lugar solo en la porción inicial de la señal aproximada S, solo en la porción terminal de la señal aproximada S, o tanto en la parte inicial como en la porción terminal de la señal aproximada S.

5 La unidad 12 de procesamiento determina el periodo exacto de rotación de la señal aproximada S por medio de un análisis en el dominio del tiempo, que se lleva a cabo con un algoritmo de detección de tono que permite estimar el periodo de la frecuencia fundamental de una señal cuasi periódica y virtualmente periódica. Preferentemente, la unidad 12 de procesamiento usa la función de autocorrelación AMDF (“función de diferencia de magnitud promedio”) que se basa en la siguiente ecuación:

$$AMDF(k) = \sum_{M=k}^{N-1} |S(m) - S(m-k)|$$

La figura 3 muestra el valor de la AMDF de las muestras de la señal aproximada S representada en la figura 2.

15 En lugar de la función de autocorrelación AMDF podría utilizarse la función de autocorrelación AS MDF (“función media de diferencia de cuadratura promedio”), u otra función de autocorrelación. La unidad 12 de procesamiento determina el periodo exacto de rotación de la señal aproximada S (por lo tanto, de la herramienta giratoria 3) identificando el más bajo de los mínimos locales de la función AMDF incluidos en un intervalo de búsqueda, que se determina como una función de la frecuencia de rotación nominal de la herramienta giratoria 3 y como una función del intervalo de variabilidad de la frecuencia de rotación real FR, con respecto a la nominal. Con referencia a la realización mostrada en las figuras 2 y 3, la frecuencia de rotación nominal de la herramienta giratoria 3 es igual a 200 RPM (3,333 Hz) y, si este fuera el valor de la frecuencia de rotación real FR, el muestreo de una rotación completa de la herramienta giratoria 3 a 1,6 kHz incluiría 480 muestras. Teniendo en cuenta el intervalo de variabilidad de la frecuencia de rotación real FR ($\pm 5\%$ de la frecuencia nominal), el intervalo de búsqueda se centra en 480 muestras y tiene un ancho de un $\pm 5\%$ de 480 muestras, es decir igual a ± 24 muestras. Por lo tanto, el intervalo de búsqueda está entre $480-24=456$ muestras y $480+24=504$ muestras. Así, el periodo de rotación exacto de la señal aproximada S (y, por lo tanto, de la herramienta giratoria 3) que corresponde a la frecuencia de rotación real FR puede buscarse entre la muestra 456 y la muestra 504. En la función AMDF, la periodicidad se corresponde con el más bajo de los mínimos locales incluidos entre la muestra 456 y la muestra 504.

Cabe señalar que, en caso de que algún mínimo local no esté incluido en el intervalo de búsqueda (entre el 456^{ésimo} valor y el 504^{ésimo} valor de la función AMDF, en el caso de la figura 3), la unidad 12 de procesamiento determina que no puede reconocerse la herramienta giratoria y que, por lo tanto, no está presente.

Como se indicó anteriormente, una vez que se determina el periodo de rotación exacto de la señal aproximada S, la unidad 12 de procesamiento corta la señal aproximada S de tal manera que la señal aproximada S incluya exactamente un número entero de rotaciones completas de la herramienta giratoria 3 (por ejemplo, exactamente tres rotaciones completas de la herramienta giratoria 3, como en la realización mostrada en las figuras 2-5).

Tras el corte de la señal aproximada S, la unidad 12 de procesamiento reduce/expande la señal aproximada S cortada, mediante la aplicación de un remuestreo, por ejemplo, por medio de interpolación lineal, de tal manera que la señal aproximada S cortada incluya un número de muestras igual a una potencia del número 2 (por ejemplo, 1024, es decir 2^{10} , como en la realización mostrada en las figuras 2-5). Para obtener un número de muestras igual a una potencia del número 2 no resulta estrictamente necesaria la reducción/expansión de la señal aproximada S cortada, pero permite aplicar una FFT (“transformada rápida de Fourier”) en lugar de una DFT (“transformada discreta de Fourier”), que es menos eficiente desde el punto de vista computacional.

En la figura 4, la línea continua representa la señal aproximada S que se ha cortado, y que en este caso se ha reducido (incluyendo así 1024 muestras), mientras que la línea discontinua representa la señal aproximada S antes del corte y la reducción (es decir, solo se ha filtrado y escalado en el tiempo).

Tras la reducción/expansión de la señal aproximada S cortada, la unidad 12 de procesamiento aplica la FFT a la señal aproximada S cortada y reducida/expandida, para pasar del dominio en el tiempo al dominio de frecuencia y, por lo tanto, efectuar un análisis en el dominio de frecuencia. La figura 5 muestra el resultado de la aplicación de la FFT a la señal aproximada S cortada y reducida (representada con una línea continua en la figura 4).

Una vez que se ha aplicado la FFT, la unidad 12 de procesamiento analiza los armónicos de la señal aproximada S para verificar si la señal aproximada S incluye una periodicidad con una frecuencia correspondiente a (correlacionada con) la frecuencia de rotación de la herramienta giratoria 3, preferentemente a la frecuencia de rotación real FR. A continuación, la unidad 12 de procesamiento determina que la herramienta giratoria 3 está realmente presente si la señal aproximada S incluye una periodicidad con una frecuencia correspondiente a (correlacionada con) la frecuencia de rotación de la herramienta giratoria 3. Debe observarse que la frecuencia de la

periodicidad de la señal aproximada S corresponde a (está correlacionada con) la frecuencia de rotación de la herramienta giratoria 3 cuando es un múltiplo integral (o es igual a, cuando es un múltiplo de orden 1) de la frecuencia de rotación de la herramienta giratoria 3. En particular, la unidad 12 de procesamiento analiza la señal aproximada S en el dominio de frecuencia y determina que la señal aproximada S incluye una periodicidad con una frecuencia que corresponde a (está correlacionada con) la frecuencia de rotación de la herramienta giratoria 3, si el contenido de la frecuencia de la señal aproximada S presenta componentes predominantes en múltiplos integrales de la frecuencia de rotación real FR de la herramienta giratoria 3.

De acuerdo con un primer enfoque, la unidad 12 de procesamiento determina la amplitud y el orden de los armónicos con la amplitud máxima (en la figura 5, el armónico con la máxima amplitud es el tercer armónico con una amplitud de aproximadamente 170) y, por lo tanto, la unidad 12 de procesamiento determina que la herramienta giratoria 3 está realmente presente si el orden del armónico con la amplitud máxima es un múltiplo integral del número entero de rotaciones completas de la herramienta giratoria 3 incluidas en la señal aproximada S cortada (es decir, un múltiplo integral de tres en el ejemplo mostrado en las figuras 2-5). De acuerdo con una realización alternativa, la unidad de procesamiento determina que la herramienta giratoria está realmente presente si el orden del armónico con la amplitud máxima es un múltiplo integral del número total de rotaciones completas de la herramienta giratoria 3 incluidas en la señal aproximada S cortada, y si, al mismo tiempo, la amplitud máxima del armónico con la amplitud máxima es mayor que un primer valor de umbral.

De acuerdo con un enfoque diferente, la unidad 12 de procesamiento calcula una relación entre señal y ruido como una función del número entero de rotaciones completas de la herramienta giratoria 3 incluidas en la señal aproximada S cortada (es decir, como una función del número tres en el ejemplo mostrado en las figuras 2-5) y, por lo tanto, determina que la herramienta giratoria 3 está realmente presente si la relación entre señal y ruido es superior a un segundo valor de umbral. En otras palabras, al calcular la relación entre señal y ruido, se consideran como señal útil todas las amplitudes de los armónicos cuyo orden sea un múltiplo integral del número entero de rotaciones completas de la herramienta giratoria 3 incluidas en la señal aproximada S cortada, y se consideran como ruido todas las amplitudes de los armónicos cuyo orden no sea un múltiplo integral del número entero de rotaciones completas de la herramienta giratoria 3 incluidas en la señal aproximada S cortada. Por ejemplo, de acuerdo con un primer método de cálculo de la relación entre señal y ruido, la relación entre señal y ruido se calcula como una fracción donde el numerador es la suma (por ejemplo, cuadrática) de las amplitudes de los armónicos cuyo orden sea un múltiplo integral del número entero de rotaciones completas de la herramienta giratoria 3 incluidas en la señal aproximada S cortada, y el denominador es la suma (por ejemplo, cuadrática) de todas las amplitudes de los armónicos cuyo orden no sea un múltiplo integral del número entero de rotaciones completas de la herramienta giratoria 3 incluidas en la señal aproximada S cortada. De acuerdo con otro método para calcular la relación entre señal y ruido (que es perfectamente equivalente al primer método anteriormente descrito), la relación entre señal y ruido se calcula como una fracción donde el numerador es la suma (por ejemplo, cuadrática) de las amplitudes de los armónicos cuyo orden sea un múltiplo integral del número entero de rotaciones completas de la herramienta giratoria 3 incluidas en la señal aproximada S cortada, y el denominador es la diferencia entre la suma (por ejemplo, cuadrática) de todas las amplitudes y el numerador. De acuerdo con una realización diferente, la unidad 12 de procesamiento no determina el periodo de rotación exacto de la señal aproximada S y, por lo tanto, no corta la señal aproximada S. En este caso, antes de llevar a cabo la reducción/expansión (y, por lo tanto, antes de aplicar la FFT), la unidad 12 de procesamiento puede aplicar a la señal aproximada S una función de ventana (por ejemplo, una ventana de Hanning) para evitar (o al menos limitar) el fenómeno de fugas espectrales. La precisión/fiabilidad de esta realización es buena, pero inferior a la de la realización preferida anteriormente descrita.

De acuerdo con otra realización, la unidad 12 de procesamiento no lleva a cabo la reducción/expansión de la señal aproximada S y, por lo tanto, en lugar de aplicar la FFT, aplica la DFT (es decir, la transformada de Fourier tradicional) a la señal aproximada S. La precisión/fiabilidad de esta realización no es menor que la de la realización preferida anteriormente descrita, pero requiere una potencia de computación más elevada (o, si la potencia de computación es la misma, un tiempo de computación más largo) que el de la realización preferida anteriormente descrita.

El método de verificación anteriormente descrito para verificar la presencia de un elemento giratorio proporciona muchas ventajas. En primer lugar, el método de verificación anteriormente descrito permite determinar la presencia o ausencia (rotura) de la herramienta giratoria 3 de manera rápida y muy fiable.

Además, como el método anteriormente descrito no requiere una gran potencia de cálculo ni utiliza una gran cantidad de memoria, puede implementarse de forma fácil y económica.

En la realización anteriormente descrita y mostrada en las figuras adjuntas, el método de verificación se usa para verificar la presencia/rotura de la herramienta giratoria 3. Obviamente, puede usarse para verificar la presencia/rotura de cualquier otro tipo de elemento giratorio que no sea una herramienta giratoria.

REIVINDICACIONES

1. Método de verificación para verificar la presencia de un elemento giratorio (3), incluyendo el método de verificación las etapas de:

- 5 - obtener una frecuencia de rotación (FR) del elemento giratorio (3);
- dirigir una radiación electromagnética principal (9) hacia el elemento giratorio (3) por medio de un emisor (8);
- recibir una radiación electromagnética reflejada (11), que se ha reflejado en el elemento giratorio (3), por medio de un receptor (10);
- 10 - captar la radiación electromagnética reflejada (11) para determinar una señal aproximada (S) a analizar;
- analizar la señal aproximada (S), para verificar si la señal aproximada (S) incluye una periodicidad con una frecuencia correspondiente a la frecuencia de rotación (FR) del elemento giratorio (3); y
- determinar que el elemento giratorio (3) está realmente presente si la señal aproximada (S) incluye una periodicidad con una frecuencia correspondiente a la frecuencia de rotación (FR) del elemento giratorio (3);

15 el método de verificación se caracteriza por que incluye las etapas adicionales de:

- analizar la señal aproximada (S) en el dominio de la frecuencia;
- 20 - determinar la longitud de la señal aproximada (S) en función de la frecuencia de rotación (FR) del elemento giratorio (3), de tal manera que la señal aproximada (S) incluya al menos dos rotaciones completas del elemento giratorio (3); y
- determinar que la señal aproximada (S) incluye una periodicidad con una frecuencia correspondiente a la frecuencia de rotación (FR) del elemento giratorio (3), si el contenido de frecuencia de la señal aproximada (S) presenta componentes predominantes en múltiplos integrales de la frecuencia de rotación (FR) del elemento giratorio (3).

2. El método de verificación de acuerdo con la reivindicación 1, que incluye las etapas adicionales de:

- 30 - determinar un periodo de rotación exacto de la señal aproximada (S) mediante un análisis en el dominio del tiempo de la señal aproximada (S);
- cortar una parte de la señal aproximada (S) como una función del periodo de rotación exacto de la señal aproximada (S), de tal manera que la señal aproximada (S) cortada incluya exactamente un número entero de rotaciones completas del elemento giratorio (3); y
- 35 - analizar la señal aproximada (S) cortada en el dominio de frecuencia.

3. Método de verificación de acuerdo con la reivindicación 2, que incluye la etapa adicional de determinar el periodo de rotación exacto de la señal aproximada (S) mediante un análisis en el dominio del tiempo, que se lleva a cabo con un algoritmo de detección de tono.

40 4. Método de verificación de acuerdo con la reivindicación 3, que incluye la etapa adicional de determinar el periodo de rotación exacto de la señal aproximada (S) por medio de un análisis en el dominio del tiempo, que se lleva a cabo con un algoritmo de detección de tono utilizando la función de autocorrelación AMDF (función de diferencia de magnitud promedio).

45 5. Método de verificación de acuerdo con la reivindicación 2, 3 o 4, que incluye la etapa adicional de determinar el periodo de rotación exacto de la señal aproximada (S) mediante la búsqueda del periodo de rotación exacto dentro de un intervalo de búsqueda que se determina como una función de una frecuencia de rotación nominal del elemento giratorio (3), y como una función de un intervalo de variabilidad con respecto a la frecuencia de rotación nominal.

50 6. Método de verificación de acuerdo con la reivindicación 5, que incluye la etapa adicional de determinar que no puede reconocerse el elemento giratorio (3), y que por lo tanto no está presente, si no es posible determinar el periodo de rotación exacto de la señal aproximada (S) dentro del intervalo de búsqueda.

55 7. Método de verificación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 6, que incluye la etapa adicional de reducir/expandir la señal aproximada (S) cortada, mediante la aplicación de un remuestreo, antes de llevar a cabo el análisis en el dominio del tiempo.

60 8. Método de verificación de acuerdo con la reivindicación 7, que incluye la etapa adicional de reducir/expandir la señal aproximada (S) de tal manera que la señal aproximada (S) incluya un número de muestras que sea igual a una potencia del número dos.

65 9. Método de verificación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, que incluye la etapa adicional de aplicar una transformada de Fourier a la señal aproximada (S) para pasar del dominio del tiempo al dominio de frecuencia.

10. Método de verificación de acuerdo con la reivindicación 9, en donde dicha transformada de Fourier es una FFT (transformada rápida de Fourier).

11. Método de verificación de acuerdo con la reivindicación 9 o la reivindicación 10, que incluye las etapas adicionales de:

- determinar la amplitud y el orden de los armónicos con la amplitud más alta; y
- determinar que el elemento giratorio (3) está realmente presente si el orden del armónico con la amplitud más alta es un múltiplo integral del número entero de rotaciones completas del elemento giratorio (3) incluidas en la señal aproximada (S).

12. Método de verificación de acuerdo con la reivindicación 11, que incluye la etapa adicional de determinar que el elemento giratorio (3) está realmente presente si el orden del armónico con la amplitud más alta es un múltiplo integral del número entero de rotaciones completas del elemento giratorio (3) incluidas en la señal aproximada (S), y si, al mismo tiempo, la amplitud más alta del armónico con la amplitud más alta es mayor que un primer valor de umbral.

13. Método de verificación de acuerdo con la reivindicación 9 o la reivindicación 10, que incluye las etapas adicionales de

- calcular una relación entre señal y ruido como una función del número entero de rotaciones completas del elemento giratorio (3) incluidas en la señal aproximada (S); y
- determinar que el elemento giratorio (3) está realmente presente si la relación entre señal y ruido es mayor que un segundo valor de umbral.

14. Método de verificación de acuerdo con la reivindicación 13, en donde, al calcular la relación entre señal y ruido, se consideran como una señal útil todas las amplitudes de los armónicos cuyo orden sea un múltiplo integral del número entero de rotaciones completas del elemento giratorio (3) incluidas en la señal aproximada (S), y se consideran ruido todas las amplitudes de los armónicos cuyo orden no sea un múltiplo integral del número entero de rotaciones completas del elemento giratorio (3) incluidas en la señal aproximada (S).

15. Método de verificación de acuerdo con la reivindicación 13 o 14, que incluye la etapa adicional de calcular la relación entre señal y ruido como una fracción donde el numerador es una suma de las amplitudes de los armónicos cuyo orden sea un múltiplo integral del número entero de rotaciones completas del elemento giratorio (3) incluidas en la señal aproximada (S), y el denominador es una suma de todas las amplitudes de los armónicos cuyo orden no sea un múltiplo integral del número entero de rotaciones completas del elemento giratorio (3) incluidas en la señal aproximada (S).

16. Método de verificación de acuerdo con la reivindicación 13 o 14, que incluye la etapa adicional de calcular la relación entre señal y ruido como una fracción donde el numerador es una suma de las amplitudes de los armónicos cuyo orden sea un múltiplo integral del número entero de rotaciones completas del elemento giratorio (3) incluidas en la señal aproximada (S), y el denominador es la diferencia entre la suma de todas las amplitudes y el numerador.

17. Método de verificación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 16, que incluye la etapa adicional de variar la frecuencia de muestreo de la radiación electromagnética reflejada (11) como una función de la frecuencia de rotación (FR) del elemento giratorio (3), de tal manera que la frecuencia de muestreo aumente a medida que aumenta la frecuencia de rotación (FR).

18. Método de verificación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 17, que incluye la etapa adicional de variar el número de rotaciones completas del elemento giratorio (3) incluidas en la señal aproximada (S) como una función de la frecuencia de rotación (FR) del elemento giratorio (3), de tal manera que el número de rotaciones completas del elemento giratorio (3) incluidas en la señal aproximada (S) aumente a medida que aumenta la frecuencia de rotación (FR).

19. Aparato de verificación para verificar la presencia de un elemento giratorio (3) a una frecuencia de rotación (FR) conocida o determinable; comprendiendo el aparato (6) de verificación:

- un emisor (8) para dirigir una radiación electromagnética principal (9) hacia el elemento giratorio (3);
- un receptor (10), para recibir una radiación electromagnética reflejada (11) que ha sido reflejada por el elemento giratorio (3); y
- una unidad (12) de procesamiento que está configurada para muestrear la radiación electromagnética reflejada (11), para determinar una señal aproximada (S) a analizar, analizar la señal aproximada (S) para verificar si la señal aproximada (S) incluye una periodicidad con una frecuencia correspondiente a la frecuencia de rotación (FR) del elemento giratorio (3), y determinar que el elemento giratorio (3) está realmente presente si la señal aproximada (S) incluye una periodicidad con una frecuencia correspondiente a la frecuencia de

rotación (FR) del elemento giratorio (3); el aparato de verificación (6) se caracteriza por que la unidad (12) de procesamiento está configurada para

- analizar la señal aproximada (S) en el dominio de la frecuencia;

5 - determinar la longitud de la señal aproximada (S) como una función de la frecuencia de rotación (FR) del elemento giratorio (3), de tal manera que la señal aproximada (S) incluya al menos dos rotaciones completas del elemento giratorio (3); y

10 - determinar que la señal aproximada (S) incluye una periodicidad con una frecuencia correspondiente a la frecuencia de rotación (FR) del elemento giratorio (3), si el contenido de frecuencia de la señal aproximada (S) presenta componentes dominantes en múltiplos integrales de la frecuencia de rotación (FR) del elemento giratorio (3).

20. Aparato de verificación de acuerdo con la reivindicación 19, en donde dicha radiación electromagnética principal es un haz de láser pulsado.

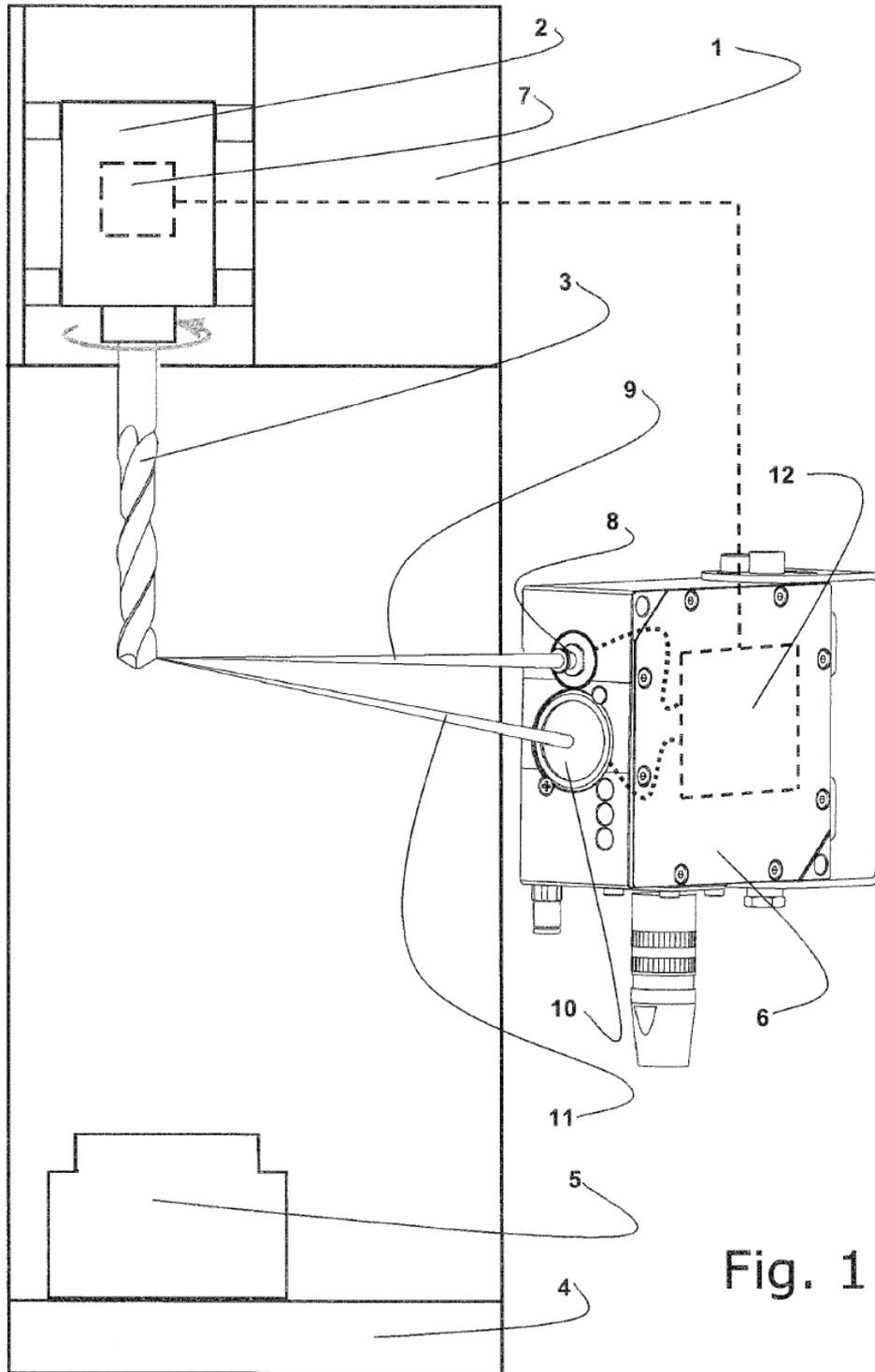


Fig. 1

Fig. 2

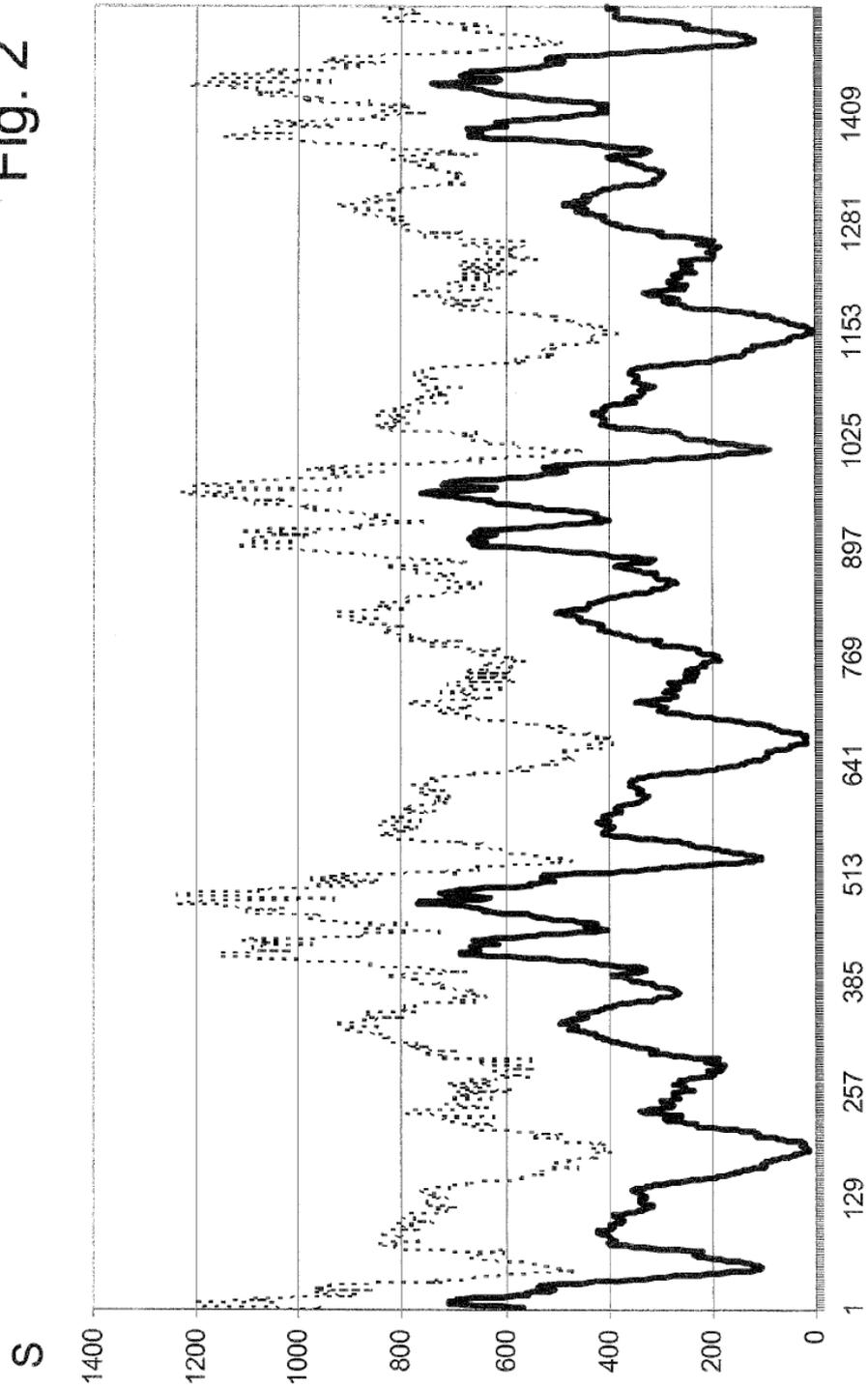
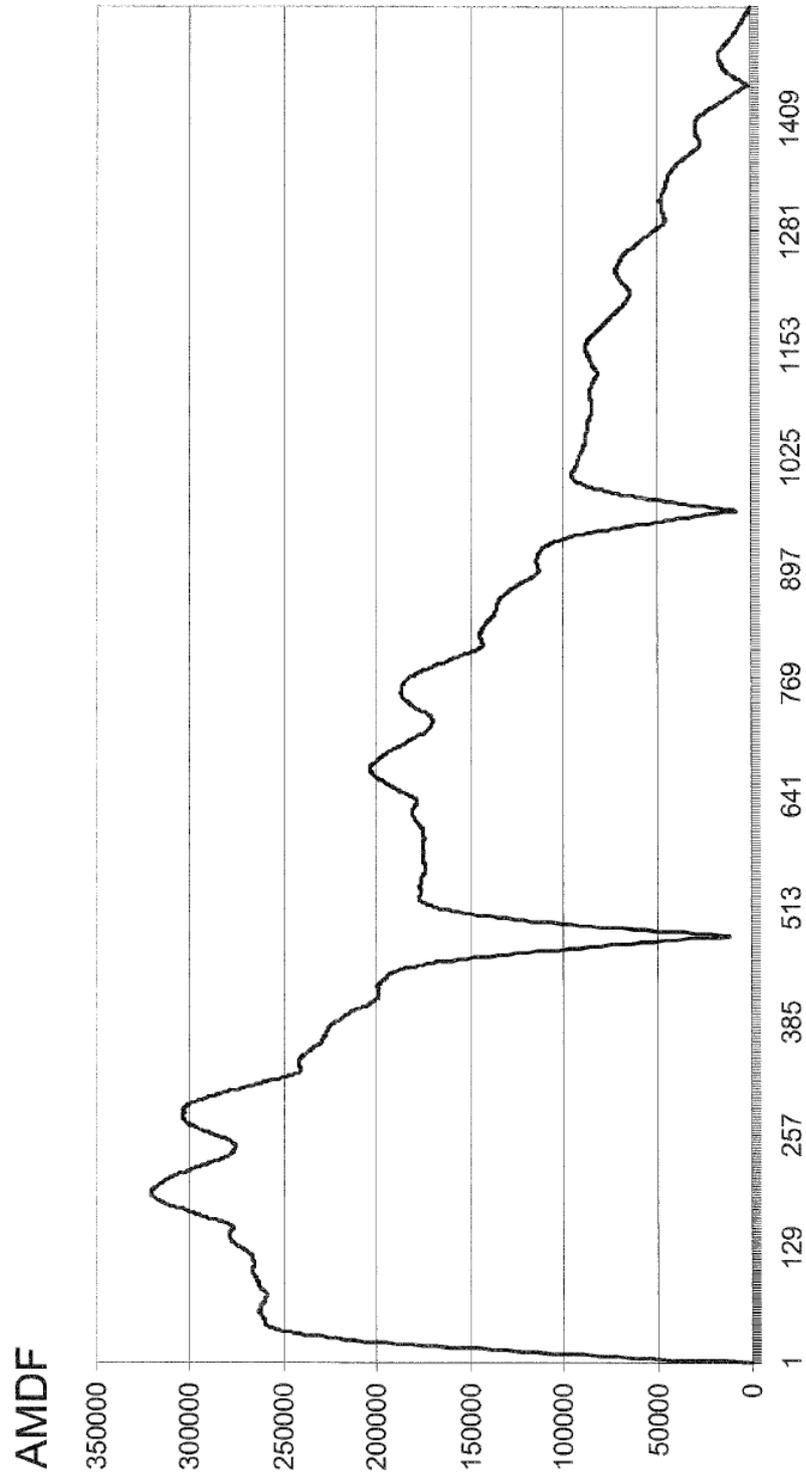


Fig. 3



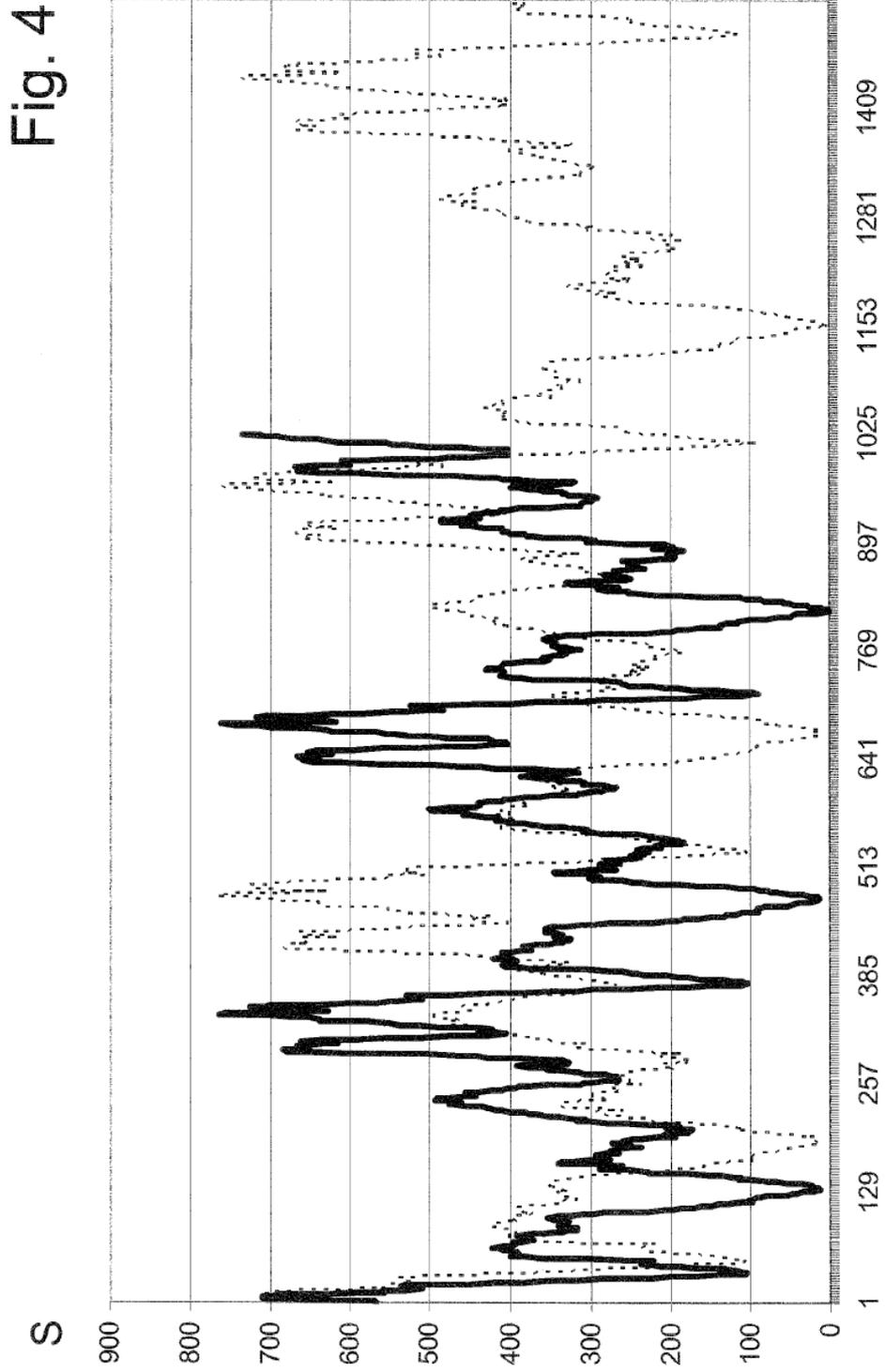


Fig. 5

