(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 961 401**

(51) Int. Cl.:

G01N 27/87 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.05.2015 PCT/EP2015/059657**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **30.12.2015 WO15197239**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.05.2015 E 15722134 (2)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.08.2023 EP 3161472**

(54) Título: **Método y dispositivo de prueba de flujo de fuga**

(30) Prioridad:

27.06.2014 DE 102014212499

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.03.2024

(73) Titular/es:

INSTITUT DR. FOERSTER GMBH & CO. KG (100.0%)
In Laisen 70
72766 Reutlingen, DE

(72) Inventor/es:

UHLIG, ROBERT P. y
HECKER, FRIEDRICH

(74) Agente/Representante:

TOMAS GIL, Tesifonte Enrique

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 de prueba de flujo de fuga

CAMPO DE APLICACIÓN Y ESTADO DE LA TÉCNICA

[0001] La invención se refiere a un método para probar el flujo de fuga de un objeto de prueba ferromagnético para identificar defectos y a un dispositivo adecuado para llevar a cabo el método.

[0002] Los métodos de flujo de fuga magnético son un componente importante para el control de calidad en las pruebas no destructivas de productos semiacabados y piezas terminadas para detectar defectos, tanto en el proceso de fabricación como en las pruebas cíclicas de las piezas terminadas. Los métodos de flujo de fuga magnético son menos sensibles a algunas propiedades de interferencia de los materiales, como, por ejemplo, la rugosidad de la superficie o las incrustaciones en productos laminados en caliente, como, por ejemplo, el método de corrientes de Foucault o las pruebas ultrasónicas. Esto da como resultado una mejor relación entre la señal útil y la señal de interferencia (relación N/S), lo que permite una detección de errores más fiable.

[0003] En un dispositivo para detectar defectos mediante medición del flujo de fuga, se magnetiza un volumen de prueba de la muestra de prueba usando un dispositivo de magnetización y se explora con la ayuda de al menos una sonda sensible al campo magnético (sonda de flujo de fuga) para detectar campos de fuga magnéticos causados por los defectos. Entre la sonda y la superficie del objeto de prueba se produce un movimiento relativo en una dirección de exploración. Durante la exploración, la sonda se mantiene a una distancia de prueba relativamente pequeña, pero limitada, de la superficie del objeto de prueba. Una sola sonda recorre una pista de prueba, cuya anchura está determinada por la anchura efectiva de la sonda transversal transversalmente a la dirección de exploración.

[0004] El flujo magnético o el campo magnético generado por un dispositivo de magnetización en el objeto de prueba se distribuye espacialmente de manera esencialmente homogénea en el material libre de defectos. En este caso no se producen gradientes significativos del campo magnético en las zonas cercanas a la superficie. Las grietas y otros defectos, como, por ejemplo, cavidades, inclusiones u otras faltas de homogeneidad, como, por ejemplo, costuras de soldadura etc., actúan como zonas de mayor resistencia magnética, de modo que los componentes de campo que se encuentran en las proximidades de un defecto sean guiados alrededor del defecto y empujados fuera del metal hacia la zona cercana a la superficie. Los componentes de campo expulsados se detectan utilizando el método de flujo de fuga para identificar los defectos. Durante una medición del flujo de fuga se puede detectar un defecto si los componentes de campo desplazados de la muestra de prueba llegan a la zona de la sonda y provocan allí un cambio en el campo suficiente para la detección.

[0005] Dependiendo de cómo se magnetiza el material que se va a probar, los métodos y dispositivos de prueba de flujo de fuga se dividen en métodos o dispositivos con magnetización de campo directo (prueba de flujo de fuga de CC) y métodos o dispositivos con magnetización de campo alterno (prueba de flujo de fuga de CA).

[0006] Al probar tubos, el objetivo es detectar tanto errores externos, es decir, errores o defectos en el lado externo del tubo, como errores internos, es decir, errores en el lado interno del tubo y errores en la pared del tubo. Para ello, se utilizan normalmente métodos con magnetización de campo directo (prueba de flujo de fuga de CC). Se aprovecha una ventaja importante de la magnetización de campo directo, es decir, la gran profundidad de penetración, de modo que también se pueden detectar errores internos y errores en la pared del tubo.

[0007] En los métodos y dispositivos considerados aquí, se utiliza una disposición de sondas para llevar a cabo la prueba, que tiene un conjunto de sondas con una pluralidad de sondas sensibles a campos magnéticos, que están dispuestas de manera adyacente en una primera dirección (dirección de anchura). Las señales de sondas eléctricas, es decir, las señales eléctricas de las sondas, o las señales derivadas de ellas, se evalúan conjuntamente mediante un dispositivo de evaluación para calificar los defectos. Al utilizar un conjunto de sondas, la anchura de la prueba cubierta por un proceso de exploración puede ser significativamente mayor que la anchura de la prueba cubierta por una sola sonda. La resolución espacial en la dirección de anchura se determina, además, por la anchura de sonda de las sondas individuales. Mediante el uso de conjuntos de sondas, es posible realizar una prueba eficiente de las muestras de prueba en un proceso continuo.

[0008] Al dimensionar las sondas individuales en función de su anchura de sonda, se suele utilizar la denominada longitud de error mínima. La longitud de error mínima es la longitud de error (o longitud de defecto), a partir del cual se alcanza la amplitud máxima de la señal de sonda, es decir, la mayor sensibilidad de prueba, así como la máxima reproducibilidad. En las normas correspondientes se mencionan anchuras de sonda de 30 mm, o una o media longitud de error mínima, donde la longitud de error mínima puede ser, puede ser, por ejemplo, de 25 mm o 50 mm, según la norma. Haciendo referencia a la longitud de error mínima, se puede lograr un buen compromiso entre el menor número posible de sondas con el conjunto de sondas más largo o más ancho posible (optimización de costos) y la anchura máxima permitida de la sonda (generalmente la mitad de la

longitud de error mínima) que se consideran necesarios para una buena reproducibilidad de la detección de defectos.

[0009] El documento WO 93/16380 A1 da a conocer un método genérico y un dispositivo genérico para probar el flujo de fuga de un material de prueba ferromagnético utilizando conjuntos de sondas. En un ejemplo, se especifica un valor de 7,5 mm para la distancia entre los centros de sondas adyacentes del conjunto de sondas.

[0010] La patente US 6,633,159 B1 trata de métodos y dispositivos para medir el flujo de fuga para determinar la degradación de cables de ascensores utilizando conjuntos de sondas.

[0011] La solicitud de patente publicada US 2012/0109565 A describe métodos y dispositivos para la medir el flujo de fuga magnético, que están destinados a permitir determinar las señales resultantes de defectos sin verse influenciados por cambios en las condiciones de medición.

[0012] Los documentos US 2004/0100256 A1, EP 0 073 017 A1 y EP 2 594 929 A2 dan a conocer métodos para probar el flujo de fuga de objetos de prueba ferromagnéticos con la ayuda de conjuntos de sondas.

[0013] La patente US 6,549,005 B1 da a conocer métodos y dispositivos para detectar discontinuidades en carriles utilizando sensores de efecto Hall. En una variante del método se calculan entre sí las señales de diez sensores de efecto Hall dispuestos de manera adyacente, donde las señales de los sensores de efecto Hall que exploran la zona central del carril tienen más peso. Esto significa que los efectos de la fatiga del material se pueden detectar de forma más fiable que simplemente sumando las señales sin ponderación.

OBJETO Y SOLUCIÓN

[0014] Un objeto de la invención es proporcionar un método y un dispositivo para probar el flujo de fuga de un objeto de prueba ferromagnético mediante conjuntos de sondas, que permitan una prueba fiable para errores de diferentes tipos.

[0015] Para resolver este objeto, la invención proporciona un método con las características de la reivindicación 1 y un dispositivo con las características de la reivindicación 15. En las reivindicaciones dependientes se indican desarrollos adicionales ventajosos. El texto de todas las reivindicaciones se incorpora por referencia al contenido de la descripción.

[0016] En los métodos y dispositivos según la invención reivindicada, la anchura de sonda de las sondas individuales de un conjunto de sondas se reduce significativamente en comparación con los enfoques convencionales. La anchura de sonda ya no se basa en la longitud de error mínima, sino en la anchura de flujo de fuga más pequeña esperada; esto viene determinado esencialmente por la distancia entre la sonda y la superficie del material (distancia de prueba). Se proporciona un conjunto de sondas con una resolución localmente alta en la dirección de anchura. Aproximadamente una quinta parte de la distancia de prueba se considera un límite inferior técnicamente razonable para la anchura de sonda. Con las distancias de prueba típicas actuales en el rango de unas pocas décimas de milímetros a aproximadamente 2 mm, actualmente se considera sensato un límite inferior de la anchura de sonda de 0,1 mm, de modo que, según una formulación alternativa, la anchura de sonda debería encontrarse en el rango de 0,1 mm a 10 mm. Si las anchuras de sonda de las sondas individuales son superiores a 10 mm, generalmente ya no se puede alcanzar por completo la alta resolución espacial deseada de las distintas sondas. Actualmente parecen especialmente ventajosas las anchuras de sonda en el intervalo de 0,5 mm a 3 mm.

[0017] La evaluación de las señales de sonda comprende varias operaciones coordinadas que están especialmente adaptadas a la disposición de sondas local o espacialmente de alta resolución.

[0018] En una operación de mapeo, para cada señal de sonda, la información de señal que representa la señal de sonda se vincula con una información de ubicación que representa el lugar de origen de la señal de sonda en un área examinada. Esto crea datos de señal dependientes de la ubicación. La operación de mapeo crea una asociación clara entre la información de señal y la información de ubicación y puede servir como base para generar un "mapa" del área explorada. Para determinar la información de ubicación se pueden utilizar, por ejemplo, señales de codificadores rotativos (codificadores de posición angular) y/o codificadores de recorrido del dispositivo de prueba.

[0019] En una operación de formación de matrices, los datos de señal dependientes de la ubicación (o datos de señal derivados de los mismos) se almacenan en campos o elementos asignados en posición correcta de una matriz de base. A diferencia de la definición habitual de matriz en matemáticas (disposición rectangular bidimensional de elementos en filas y columnas), el término "matriz" se refiere a una disposición de elementos de n dimensiones, donde n es superior o igual a dos. Por lo tanto, una matriz, en el sentido de la solicitud, puede tener más de dos dimensiones, por ejemplo tres o cuatro. En el sentido más amplio, la matriz crea una

asociación entre información de ubicación, información de señal y, si es necesario, información adicional sobre parámetros que influyen en el método y sus resultados.

[0020] Una primera dimensión de la matriz de base representa la información de señal, que contiene información sobre el flujo de fuga medido en una ubicación específica en la superficie del objeto de prueba. Esta información de señal se puede dar como magnitud escalar o como magnitud vectorial. La amplitud de señal o un componente seleccionado del flujo de fuga se considera como magnitud escalar, que puede representar, por ejemplo, el componente normal o un componente tangencial del flujo de fuga medido. La información de señal también puede representar el vector completo del flujo de fuga (componentes Bx, By y Bz).

[0021] Una segunda dimensión de la matriz de base representa una posición en la primera dirección, es decir, en la dirección de anchura del conjunto de sondas (trasversal a la dirección de exploración). Si a cada sonda del conjunto de sondas se le asigna un canal propio, la posición en la primera dirección también puede venir dada por el número de canal.

[0022] Una tercera dimensión de la matriz de base representa una posición en la dirección de exploración. Esta dirección puede ser perpendicular a la primera dirección o estar alineada formando un ángulo más o menos agudo.

[0023] También son posibles otras dimensiones. Sería imaginable, por ejemplo, formar una disposición multidimensional de elementos o campos, en la que la densidad del flujo magnético se almacene como vector en función de la sonda, la posición en la dirección de la marcha y el despegue (distancia de prueba). La matriz forma entonces una forma especial de un tensor para conjuntos en los que las sondas están dispuestas como se describe.

[0024] La matriz de base o la información de campo contenida en los elementos o campos individuales sirve como base para posteriores operaciones de evaluación. En este caso se lleva a cabo al menos una operación de evaluación, en la que se vinculan entre sí datos de señal dependientes de la ubicación de al menos dos campos de la matriz de base, directa o indirectamente contiguos en una dirección de evaluación (virtual), mediante al menos un algoritmo de evaluación.

[0025] Por lo tanto, esta evaluación trabaja con el "mapa" del área representada en la matriz de base para evaluar la información contenida en la matriz de base o sus campos o elementos según uno o más criterios. De este modo, la información de sonda de una de las sondas individuales del conjunto de sondas se evalúa junto con la información de sonda de al menos otra sonda del conjunto de sondas adyacente en la dirección de evaluación y/o una pista de prueba adyacente. Se puede tener en cuenta que las condiciones entre dos ubicaciones muy adyacentes del objeto de prueba, que son exploradas por sondas muy adyacentes, generalmente no cambian de manera repentina, de modo que se puede tener en cuenta una dependencia mutua de las señales de sonda.

[0026] Esta evaluación puede tener lugar dentro de las sondas del mismo conjunto de sondas. Si se proporcionan varios conjuntos de sondas, cuyas sondas exploran la misma pista de prueba o una adyacente, la evaluación también puede realizarse entre conjuntos de sondas para que las señales de sonda de diferentes conjuntos de sondas se evalúen junto con la asignación de ubicación correcta.

[0027] La anchura de sonda de las sondas individuales es esencialmente menor que la mitad de la longitud de error mínima, es decir, significativamente menor de lo habitual. De esta manera, es posible realizar una prueba con mayor resolución espacial, al menos en la primera dirección. Sin embargo, los defectos estándar, que se representan por la longitud de error mínima, se pueden detectar al menos tan bien como antes, ya que al evaluar conjuntamente las señales de sonda de las sondas adyacentes y/o de las pistas de prueba, se puede crear o simular, en caso necesario, una anchura efectiva de sonda más amplia adaptada a la longitud de error mínima. Además, también se pueden encontrar e identificar de forma fiable otros defectos para los cuales los métodos y dispositivos de prueba convencionales eran “ciegos” o “visualmente débiles” (es decir, poco sensibles).

[0028] Preferiblemente, se usa información de señal bipolar al formar la matriz de base, es decir, información de señal "en bruto" a partir de señales de sonda no rectificadas. Esto significa que la información que se perdería mediante la rectificación también se puede utilizar para la evaluación.

[0029] Todas las sondas de un conjunto de sondas pueden estar dispuestas de manera adyacente en una única fila recta en la primera dirección (sentido de anchura). Debido a la distancia de prueba limitada, las anchuras efectivas de las sondas adyacentes pueden superponerse. También es posible dividir las sondas en dos (o más) filas paralelas entre sí y disponerlas desplazadas entre sí en direcciones de anchura para que las sondas se asienten "en un espacio". Esto permite una cobertura completa de toda la anchura de prueba en la dirección de anchura.

[0030] Las sondas utilizadas son, en particular, sondas Hall o sondas MR (sondas que utilizan un efecto magnetorresistivo para la detección de campos magnéticos, por ejemplo, GMR (magnetorresistencia gigante), AMR (magnetorresistencia anisotrópica), CMR (magnetorresistencia colosal) o TMR (magnetorresistencia de túnel) o sondas inductivas (en particular, bobinas) o cualquier otro tipo de sondas sensibles a campos magnéticos.

[0031] Para procesar en el procesamiento de señales posterior solo aquellas señales que realmente puedan ser relevantes para la situación de prueba, en algunas variantes del método el dispositivo prefiltra las señales de sonda antes de la operación de mapeo usando un filtro de paso de banda con frecuencias límite regulables. Una frecuencia límite inferior se establece en una frecuencia límite más baja y una frecuencia límite superior en una frecuencia esperada más alta de las señales de sonda. Esto permite un prefiltrado grueso aproximado. Las frecuencias límite se pueden establecer dependiendo de la velocidad de desbordamiento de la sonda, la distancia de prueba, la anchura de error y profundidad de error menor y mayor que se va a detectar, si es necesario, el grosor de la pared (en tubos) y posiblemente otras condiciones límite. Esto permite adaptar la prueba a condiciones de prueba específicas, se eliminan algunas interferencias de las señales y aumenta la relevancia de las señales procesadas posteriormente. Por ejemplo, preseleccionando adecuadamente una frecuencia límite inferior, se pueden eliminar componentes de señal de baja frecuencia que no llevan ninguna información relevante para el objeto de prueba en la situación de prueba. La frecuencia límite más alta se puede establecer, por ejemplo, de tal manera que se filtren frecuencias mayores que las que normalmente provienen de pequeñas grietas en la superficie del objeto de prueba. La experiencia ha demostrado que estas dan como resultado los componentes de frecuencia más relevantes.

[0032] En algunas formas de realización, la evaluación de las señales se puede optimizar específicamente para diferentes tipos de errores. En algunas formas de realización, el filtrado, que depende del tipo de error y es posterior a la operación de mapeo, se proporciona por medio de uno o más filtros de paso de banda con frecuencias límite regulables, donde una frecuencia límite inferior de un filtro de paso de banda se establece en una frecuencia más baja y una frecuencia límite superior del filtro de paso de banda se establece en una frecuencia esperada más alta de las señales de sonda para un tipo de error predeterminado. De este modo, se realiza un filtrado de paso de banda en función del tipo de error. Cada uno de estos filtrados abre una ruta de tipo de error específica, donde los pasos de evaluación posteriores dentro de una ruta de tipo de error son específicos para el tipo de error respectivo. Los datos de tipos de errores se pueden almacenar en una memoria del dispositivo, a través de la cual se pone a disposición un catálogo de errores de los tipos de errores. Un catálogo de tipos de errores puede contener, por ejemplo, los siguientes tipos de errores: errores externos, errores internos (por ejemplo, en tubos), agujeros de perforación de diferentes diámetros, errores de costra, errores oblicuos de diferente orientación transversales a la primera y segunda dirección, exceso de rodamiento, sopladuras, inclusiones de polvo de fundición, etc.

[0033] En algunas formas de realización, se logra una facilidad de uso particularmente alta y una alta especificidad en la detección de errores porque el número de filtros de paso de banda para el filtrado dependiente del tipo de error se puede configurar para que el dispositivo o método pueda adaptarse de manera óptima a una situación de prueba específica. Para el filtrado en función del tipo de error se utilizan preferiblemente tres, cuatro, cinco, seis o más filtros de paso de banda con diferentes frecuencias límite. De este modo, la capacidad de diferenciación aumenta significativamente en comparación con los métodos y dispositivos convencionales, que básicamente solo podían distinguir entre errores internos (que provocan frecuencias más bajas) y errores externos (que provocan frecuencias más altas) al probar los tubos.

[0034] La apertura de diferentes tipos de rutas de error para la evaluación también puede realizarse en otras fases del proceso de evaluación, en particular a partir de datos de señal dependientes de la ubicación, que están almacenados en los campos de la matriz de base.

[0035] Como se mencionó, la matriz de base o la información de campo contenida en los campos individuales de la matriz de base sirven como base para posteriores operaciones de evaluación.

[0036] Preferiblemente, se llevan a cabo una o más operaciones de evaluación, que están diseñadas como operaciones de filtrado de datos de señal dependientes de la ubicación sobre un número predeterminado de campos adyacentes entre sí en una dirección de evaluación predeterminada. El término "operación de filtrado" pretende incluir, en particular, aquellas operaciones con ayuda de las cuales se pueden eliminar ciertos componentes o características de una señal, por ejemplo ciertos componentes de frecuencia o ruido. En principio, es posible realizar operaciones de evaluación básicamente en cualquier dirección de evaluación de la matriz de base con ayuda de filtros cualesquiera que sean especialmente adecuados para la detección de errores en cuanto a sus frecuencias límite (una o varias). Las operaciones de filtrado incluyen, en particular, operaciones con características de paso bajo (filtrado de paso bajo), operaciones con características de paso alto (filtrado de paso alto) y operaciones con características de paso de banda (filtrado de paso de banda), donde el filtrado de paso de banda puede verse, en principio, como una combinación de filtrado de paso alto y filtrado de paso bajo con determinadas frecuencias límite.

[0037] En algunas formas de realización, se proporciona que una operación de evaluación incluya una operación de suavizado de datos de señal dependientes de la ubicación sobre un número predeterminado de campos mutuamente adyacentes en una dirección de evaluación (dirección de suavizado). Para cada contenido de campo, es posible suavizar cada uno de sus vecinos. Por ejemplo, en una matriz de base bidimensional, hay ocho vecinos directos para cada campo que no es de borde. En principio, se puede utilizar cualquier algoritmo con una característica de paso bajo para la operación de suavizado con el fin de reducir la dinámica. La operación de suavizado puede ser, por ejemplo, una media móvil (ponderada o no ponderada) o un filtrado de paso bajo. También se puede utilizar una formación de suma (ponderada o no ponderada) como operación de suavizado.

[0038] Es posible que la dirección de evaluación de la operación de suavizado corresponda a la primera dirección, es decir, la dirección en la que las sondas de un conjunto de sondas se encuentran de manera adyacente. De esta manera se puede suavizar la información de señal de dos o sondas adyacentes (opcionalmente también entre conjuntos de sondas). El suavizado se puede realizar en varios números de canales. Este suavizado puede mejorar la relación señal-ruido cuando hay ruido estadístico presente. Puede especificar cuántas señales, sondas o pistas de prueba se deben realizar en una operación de suavizado. El número seleccionado de sondas o pistas de prueba a través de las cuales se integra determina la "anchura de sonda efectiva" que se puede generar de este modo. El número puede ser, por ejemplo, de dos a diez, pero también puede ser más de diez, por ejemplo, en el intervalo entre 10 y 30. Esto permite adaptar las características de la prueba a una longitud de error mínima.

[0039] De forma alternativa o adicional, también es posible que la dirección de evaluación de una operación de evaluación corresponda a la segunda dirección, que discurre perpendicular a la primera dirección, en la que las sondas se encuentran de manera adyacente. La segunda dirección puede corresponder exacta o aproximadamente a la dirección de exploración y corresponde a la línea de tiempo de la prueba. Las operaciones de evaluación que pueden realizarse en la segunda dirección incluyen, en particular, las operaciones de filtrado mencionadas anteriormente, que también incluyen la operación de suavizado.

[0040] En particular, también es posible llevar a cabo un filtrado de paso de banda dependiente del tipo de error en la segunda dirección. Si es necesario, esto puede reemplazar el filtrado dependiente del tipo de error mencionado anteriormente que tiene lugar fuera de la matriz de base. Incluso con este filtrado de paso de banda en la segunda dirección se pueden implementar uno o más filtros de paso de banda con frecuencias límite regulables, cada uno de los cuales está adaptado a un tipo de error específico.

[0041] Se sabe que se reduce la altura de señales de flujo de fuga de un error cuanto más se desvía el error de la posición ortogonal a la dirección principal de magnetización (ideal con respecto a la prueba). Como resultado, es posible que los errores oblicuos no se reconozcan durante la prueba o que se evalúen incorrectamente en términos de su tamaño y relevancia. El método y el dispositivo según la invención reivindicada pueden proporcionar resultados de prueba significativos incluso en el caso de errores oblicuos. Para ello, en algunas formas de realización, está previsto que la dirección de evaluación en al menos una operación de evaluación corresponda a una dirección oblicua que discurre transversalmente a la primera dirección y transversalmente a la segunda dirección. También son posibles evaluaciones en diferentes direcciones oblicuas, que representan las diferentes posiciones angulares para un error oblicuo.

[0042] Para tener en cuenta la influencia de la posición oblicua del error con respecto a la dirección principal de magnetización, se proporciona preferiblemente una operación de compensación de error oblicua, en la que se determina una diferencia de ángulo entre una dirección de error oblicua y una dirección de línea de campo del campo de magnetización y los datos de señal dependientes de la ubicación de un error oblicuo se corrigen con un factor de compensación que depende de la posición angular. Esto puede basarse en relaciones establecidas empírica o analíticamente o en procedimientos de comparación, que pueden almacenarse, por ejemplo, en una tabla de consulta en una memoria del dispositivo.

[0043] Las variantes especiales del método en el dispositivo están caracterizadas por una determinación automática de la posición angular de los errores oblicuos que se ejecutan en una dirección oblicua que discurre transversalmente a la primera y segunda dirección. Estos métodos pueden permitir una detección optimizada de errores de inclinación sin conocimiento previo de las posiciones de inclinación esperadas.

[0044] En una variante de la detección automática de la posición angular de errores oblicuos, los campos de la matriz de base se evalúan automáticamente en varias direcciones oblicuas en diferentes direcciones de evaluación dentro de un rango angular predeterminable y, teniendo en cuenta la dependencia angular conocida de la amplitud de señal de errores oblicuos, que está almacenada, por ejemplo, en una tabla, se determina la dirección oblicua en la que se produce una amplitud de señal media máxima (teniendo en cuenta la dependencia del ángulo). Esta dirección oblicua corresponde entonces a la orientación o posición angular del error oblicuo. En la detección automática de la posición angular se pueden escanear automáticamente determinados rangos angulares predeterminables, por así decirlo, en pasos predeterminables, para determinar en qué dirección oblicua se orienta un error oblicuo.

[0045] El material de control metálico alargado puede tener, por ejemplo, zonas de interferencia relacionadas con la producción o el proceso, que generalmente se extienden en la dirección longitudinal del objeto de prueba o en un pequeño ángulo con respecto a la dirección longitudinal. Por ejemplo, las costuras de tubos soldados o las desviaciones del grosor de la pared causadas por trenes de laminación reductores de estiramiento, los denominados polígonos internos, pueden afectar a la prueba al generar componentes de señal a través de estas zonas de interferencia que afectan a la prueba de defectos. Dichos problemas se pueden suprimir en formas de realización del método y del dispositivo porque al menos una operación de evaluación es una operación de formación de diferencias, en la que se determina una diferencia de datos de señal dependientes de la ubicación de dos campos de la matriz de base que se encuentran en una dirección de formación de diferencias y a una distancia diferente entre sí. Esta posibilidad de suprimir señales se explicará posteriormente con más detalle mediante ejemplos de realización.

[0046] Es posible, por ejemplo, que la dirección de formación de diferencias corresponda a la primera dirección. Esto permite, por ejemplo, ocultar las señales que provienen de las costuras longitudinales de los tubos en sistemas de prueba rotatorios. También es posible que la dirección de formación de diferencias discurra oblicuamente a la primera dirección. Esto permite ocultar señales que surgen, por ejemplo, de costuras longitudinales con una determinada torsión. Se pueden llevar a cabo varias operaciones de formación de diferencias en diferentes direcciones de formación de diferencias y/o a lo largo de diferentes distancias de diferencia para eliminar los componentes de señal de interferencias de diferentes causas y, por lo tanto, mejorar la caracterización de defectos deseada. También es posible que la dirección de una o más fuentes de interferencia se detecte automáticamente y la operación de formación de diferencias se aplique a estas direcciones.

[0047] En una variante, la distancia de diferencia se hace coincidir con la longitud de error mínima especificada para el proceso respectivo, donde la distancia de diferencia se encuentra entre la longitud de error mínima y cinco veces la longitud de error mínima. De esta manera se puede lograr un compromiso entre la supresión óptima de las señales de interferencia (para esto se requiere básicamente la mayor distancia de diferencia posible) y la conservación de la información de error (para esto se requiere básicamente una distancia de diferencia del orden de magnitud de la longitud de error mínima y depende del tipo de error).

[0048] Para llevar a cabo los pasos individuales del proceso, en el dispositivo se proporcionan dispositivos adecuados para probar el flujo de fuga. Después de digitalizar las señales de las sondas inicialmente analógicas, se pueden implementar los pasos individuales del proceso mediante módulos de *software* de evaluación adecuados.

[0049] La visualización de defectos, el marcado de ubicaciones defectuosas, etc. se puede implementar de forma similar a los métodos y dispositivos de prueba convencionales.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0050] Otras ventajas y otros aspectos de la invención surgen de las reivindicaciones y de la siguiente descripción de ejemplos de realización preferidos de la invención, que se explican a continuación con la ayuda de las figuras. En este caso se muestra:

Figura 1 sistemas de un ejemplo de realización de un dispositivo para probar el flujo de fuga de un objeto de prueba ferromagnético con un subsistema rotatorio (figura 1A) y un subsistema estacionario (figura 1B);

Figura 2 campos de flujo de fuga específicos del tipo de error en una sección a través de un tubo;

Figura 3 detalles sobre el diseño de la disposición de sondas para un subsistema rotatorio según un ejemplo de realización;

Figura 4 detalles sobre el diseño de la disposición de sondas para un subsistema estacionario según un ejemplo de realización;

Figura 5 detalles sobre el diseño de la disposición de sondas para un subsistema rotatorio según el estado de la técnica (SdT);

Figura 6 un ejemplo de realización de un dispositivo de evaluación;

Figura 7 señales en una operación de suavizado mediante el cálculo del valor promedio en una prueba de error longitudinal (figura 7A) y una prueba de error transversal (figura 7B);

Figura 8 en la figura 8A un ejemplo de una matriz de base en un sistema rotatorio, donde los datos de señal de las señales de sonda no rectificadas están ingresados en los campos individuales y en la figura 8B un

diagrama en el que la posición longitudinal (número de canal) está representada en el eje x y la amplitud de señal A de las señales individuales de los canales individuales está representada en el eje y en los campos individuales;

Figura 9 en la figura 9A la misma matriz que la figura 8A después de un promedio flexible sobre cinco anchuras de sonda cada uno y en la figura 9B las correspondientes amplitudes de señal suavizadas;

Figura 10 representaciones correspondientes a las representaciones de la figura 8 para una detección de errores oblicuos con un cálculo del valor promedio en una dirección oblicua;

Figura 11 representaciones correspondientes a las representaciones de la figura 9 para la detección de errores oblicuos tras calcular el valor promedio en una dirección oblicua;

Figura 12 una evaluación de errores oblicuos en direcciones de evaluación diferentes;

Figura 13 recorridos de la señal en una operación de formación de diferencias, donde las figuras 13A y 13B muestran señales de dos sondas de un sistema rotatorio que están a una distancia diferente entre sí y la figura 13C muestra la señal de diferencia.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LOS EJEMPLOS DE REALIZACIÓN

[0051] A continuación se explican ejemplos de realización de la invención reivindicada utilizando un dispositivo para probar el flujo de fuga de un objeto de prueba ferromagnético en forma de tubos ferromagnéticos laminados en caliente en un proceso continuo. El dispositivo está diseñado para identificar defectos, imperfecciones o discontinuidades de diversos tipos y puede detectar de forma fiable, por ejemplo, errores de laminación tanto en el lado interno del tubo (error interno) como en el lado externo del tubo (error externo). Se pueden detectar y caracterizar de forma fiable tanto errores longitudinales (errores con la dirección de expansión principal paralela al eje longitudinal del tubo) como errores transversales (errores con la dirección de extensión principal en dirección circunferencial o perpendicular al eje longitudinal del tubo) y errores oblicuos (transversales a la dirección longitudinal y a la dirección circunferencial).

[0052] En una forma de realización, dos subsistemas están integrados en un bloque de pruebas múltiples. Se proporciona un subsistema rotatorio para la prueba de errores longitudinales, cuyo principio básico se explica con referencia a la figura 1A. Para probar los errores trasversales está previsto un subsistema estacionario con una disposición anular con varios conjuntos de sensores distribuidos alrededor del perímetro de la disposición, por ejemplo, según la disposición de la figura 1B. Los subsistemas están dispuestos uno detrás de otro en el sentido de la marcha del tubo, donde el orden puede ser arbitrario. En otras formas de realización no representadas más en detalle, un único sistema puede ser suficiente, por ejemplo, un único sistema rotatorio.

[0053] El subsistema rotatorio tiene un cabezal rotatorio con un yugo anular RJ que rota alrededor del objeto de prueba PR, que tiene zapatas polares PS alineadas radialmente con la superficie de la muestra de prueba en puntos diametralmente opuestos, a las que están unidos los devanados de magnetización MW. Esto crea un flujo magnético o un campo magnético MF (campo directo) dentro de la muestra de prueba, cuyas líneas de campo discurren en la dirección circunferencial de la muestra de prueba, es decir, perpendicular a la dirección longitudinal del tubo. En el rotor están dispuestos cabezales de prueba en dirección circunferencial entre las zapatas polares, cada uno de los cuales contiene uno o más conjuntos de sondas SA, donde cada conjunto de sondas comprende una pluralidad de sondas individuales. Durante la prueba, el yugo anular junto con las zapatas polares y los cabezales de prueba giran a velocidades entre aproximadamente 60 y aproximadamente 1200 min^{-1}, dependiendo del tipo de sonda. El tubo que se va a probar se transporta simultáneamente hacia adelante en la dirección de la marcha a una velocidad de prueba (por ejemplo, hasta 3 m/s o más). Los cabezales de prueba muelen la superficie del tubo y la exploran completamente en una trayectoria helicoidal. Las sondas SO del conjunto de sondas están dispuestas dentro de los cabezales de prueba a una pequeña distancia de prueba AB de la superficie OB del objeto de prueba, que puede ser, por ejemplo, del orden de 0,2 mm a 1 mm (véase la figura 3). Debido a que las líneas del campo magnético discurren en dirección circunferencial, esta prueba es particularmente sensible a errores longitudinales LF-A en el lado externo del tubo y errores longitudinales LF-I en el lado interno del tubo, que interfieren al máximo en el flujo magnético en la dirección circunferencial y, por lo tanto, generan fuertes campos de flujo de fuga (figura 2).

[0054] En el sistema estacionario (figura 1B) para la prueba de errores trasversales, se utiliza un dispositivo de magnetización de campo constante (no representado más en detalle), que genera un campo magnético MF en la dirección longitudinal del tubo que lo atraviesa. Dos anillos de conjuntos de sondas con conjuntos de sondas SA dispuestos en un espacio en dirección circunferencial están dispuestos en forma de anillo alrededor de la muestra de prueba y exploran la muestra de prueba en su dirección longitudinal durante la prueba continua. Dado que el flujo magnético discurre en dirección longitudinal, se ve especialmente interferido por errores transversales que discurren en dirección circunferencial en el lado externo (QF-A) y errores transversales en el

lado interno (QF-I), de modo que esta disposición para la prueba de errores transversales tenga una alta sensibilidad de prueba.

[0055] Las señales eléctricas SIG de las sondas de los conjuntos de sondas, es decir, las señales de sonda, se alimentan a un dispositivo de evaluación común en el que se califican los defectos.

[0056] Cada tipo de error provoca determinados campos de flujo de fuga específicos del tipo de error, cuyas propiedades se pueden reconocer por la forma de la señal y las frecuencias contenidas en la señal. La figura 2 muestra, por ejemplo, una sección a través de un tubo perpendicular a la dirección longitudinal y las líneas del campo magnético MF que discurren en la dirección circunferencial. Un error externo LF-A que discurre en la dirección longitudinal genera un campo de flujo de fuga SF-A concentrado relativamente de manera estrecha en las proximidades del error externo. Por otro lado, un defecto interno LF-I de las mismas dimensiones que discurre en dirección longitudinal produce un campo de flujo de fuga SF-I más embadurnado o ampliado o ensanchado localmente con una amplitud menor en el lado externo del tubo. Por encima de los campos de flujo de fuga se muestran las formas de señal típicas de las señales de sonda cuando una sonda se desborda en dirección circunferencial. El eje y corresponde a la amplitud de señal A y el eje x corresponde al tiempo t o la ubicación cuando gira la sonda. Es inmediatamente obvio que el error externo provoque una señal de sonda con componentes de señal de mayor frecuencia que un error interno. De este modo, es posible reconocer, identificar y, en caso necesario, diferenciar diferentes tipos de errores basándose, entre otras cosas, en el espectro de frecuencia de las señales de sonda generadas.

[0057] Los detalles sobre el diseño de las disposiciones de sonda para el sistema rotatorio (figura 3) y el sistema estacionario (figura 4) se explicarán ahora basándose en las figuras 3 y 4. La disposición de sondas SA-R para el sistema rotatorio tiene una pluralidad de sondas individuales SO1, SO2 etc. nominalmente idénticas, que forman un conjunto de sondas SA y dispuestas en una fila recta a lo largo de una primera dirección R1 que es paralela al eje longitudinal del tubo. El conjunto de sondas SA está instalado en un cabezal de prueba. En un sistema rotatorio, la disposición de sondas en su conjunto se mueve en la dirección circunferencial de la muestra de prueba alrededor de la muestra de prueba en una segunda dirección R2, que es perpendicular a la primera dirección R1. Mediante el movimiento longitudinal simultáneo de la muestra de prueba PR, cada una de las sondas individuales SO1, SO2 explora una pista de prueba PS relativamente estrecha, que discurre en espiral alrededor de la muestra de prueba, donde la pista de prueba discurre oblicuamente hacia la primera y segunda dirección. Todas las sondas de los conjuntos de sondas exploran juntas una anchura de prueba relativamente grande con una pluralidad de pistas de prueba paralelas.

[0058] El error longitudinal externo LF-A mostrado es un defecto estándar con una longitud de error mínima ML definida para esta prueba, que, en el ejemplo, es de 25 mm. Las anchuras de sonda SB de las sondas individuales SO1, SO2, etc. en la primera dirección son solo una fracción de la longitud de error mínima. En el caso de ejemplo, la anchura de sonda medida en la primera dirección R1 se encuentra en el rango entre 0,5 mm y 3 mm, lo que corresponde aquí al rango entre el 50 % de la distancia de prueba y aproximadamente dos o tres veces la distancia de prueba.

[0059] La disposición de sondas SA-T para la prueba de fallos transversales surge de una disposición correspondiente (véase la figura 4). La disposición de sondas SA-T tiene una pluralidad de sondas individuales SO1, SO2 etc., que están dispuestas de manera adyacente en fila en la primera dirección R1, donde la primera dirección aquí corresponde a la dirección circunferencial del objeto de prueba PR. La disposición de sondas es estacionaria mientras la muestra de prueba se mueve paralela a su dirección longitudinal, de modo que el conjunto de sondas explora la superficie del objeto de prueba en una dirección de exploración que corresponde a la segunda dirección R2 perpendicular a la primera dirección R1. También en este caso cada sonda cubre una pista de prueba PS relativamente estrecha, donde la totalidad de las pistas de prueba en dirección circunferencial da como resultado una anchura de prueba de la disposición de sondas mucho mayor. El campo magnético MF, que discurre en la dirección longitudinal del tubo, es expulsado del material de la muestra de prueba en un error transversal QF-A y es detectado por las sondas del conjunto de sondas SA. También aquí la anchura de sonda SB de las sondas individuales medida en la primera dirección R1 es de solo aproximadamente 0,5 mm a 3 mm, mientras que el error transversal externo QF-A tiene la longitud de error mínima prevista para la prueba de 25 mm.

[0060] Las anchuras de sonda reducidas en comparación con el estado de la técnica (SdT) se ilustran con referencia a la figura 5, en la que se muestra un conjunto de sondas convencional SA-C con tres sondas individuales SO-C para un sistema de prueba rotatorio convencional en la misma situación de prueba que se muestra en la figura 3. Las sondas individuales están dimensionadas de manera convencional, de modo que su anchura de sonda SB-C en la primera dirección (dirección longitudinal del tubo) corresponde aproximadamente al 50 % de la longitud de error mínima ML, es decir, la longitud de error de prueba del error longitudinal externo LF-A (25 mm).

[0061] Mientras que la expansión de la anchura de sonda en los sistemas convencionales se basa en esta longitud de error mínima, la anchura de sonda de las sondas individuales en ejemplos de realización de la

invención se basa en la anchura de flujo de fuga más pequeña esperada, que está determinada, entre otras cosas, por la distancia de prueba de la sonda a la superficie del material. Las nuevas disposiciones de sondas pueden explorar la superficie de la muestra de prueba con una resolución local significativamente mayor que las disposiciones de sondas convencionales para fines comparables. Mediante un procesamiento de señales adecuado o una evaluación de las señales de sonda, aun se pueden detectar errores con una longitud de error mínima con una sensibilidad de prueba al menos comparable, donde también existen muchas otras opciones de evaluación y muchas otras opciones de detección.

[0062] Para facilitar la comprensión de la siguiente forma de realización, la figura 6 muestra un diagrama de bloques del dispositivo de evaluación AW para la evaluación global de señales de sonda en una forma de realización, donde los componentes individuales representan pasos individuales de la evaluación de señales y/o componentes del dispositivo de evaluación. Se muestran rutas ejemplares para señales de sonda de dos sondas SO1, SO2, donde para cada sonda se proporciona una ruta correspondiente.

[0063] Las señales de sonda de la primera sonda SO1 pasan primero por un ajuste de amplificador VS antes de ser prefiltradas en un dispositivo de prefiltro VF. Los componentes de la señal de cada sonda individual se filtran en este caso con un paso de banda, cuyas frecuencias límite se ajustan o pueden ajustarse a la frecuencia esperada más baja o más alta de las señales de flujo de fuga dependiendo de la velocidad de desbordamiento de la sonda, la distancia de prueba a la superficie del material, el grosor de la pared y la anchura de error más pequeña o más grande que se va a detectar. El prefiltrado grueso permite filtrar componentes de señal claramente irrelevantes, de modo que se simplifica la evaluación posterior.

[0064] Las señales bipolares prefiltradas mediante filtrado de paso de banda luego se convierten o digitalizan en información de señal digital mediante una unidad de filtro analógico-digital DIG.

[0065] Una unidad de mapeo MAP posterior está diseñada para vincular la información de señal vinculada a esta señal de sonda para cada señal de sonda con información de ubicación sobre el lugar de origen de la señal de sonda. Para ello, la unidad de mapeo procesa, entre otras cosas, señales de codificadores de recorrido TRANS y codificadores rotativos RED. Por ejemplo, se utiliza un codificador rotativo para determinar la información sobre la posición rotacional del sistema rotatorio para identificar la posición de una sonda en la circunferencia de la muestra de prueba cuando se genera la señal asociada. Los codificadores de recorrido se utilizan para identificar la posición correspondiente en la dirección longitudinal de la muestra de prueba. Los datos de señal SDO dependientes de la ubicación, que se procesan posteriormente en operaciones de evaluación posteriores, están entonces disponibles en la salida de la unidad de mapeo.

[0066] Las sondas sensibles al campo magnético, que pueden estar construidas, por ejemplo, con bobinas, sensores Hall o similares, detectan preferiblemente el componente normal del flujo de fuga. Alternativa o adicionalmente también se puede detectar el componente tangencial del flujo de fuga o el vector completo del flujo de fuga (componentes Bx, By y Bz).

[0067] Al dispositivo de mapeo MAP le siguen pasos de banda FTYP dependientes del tipo de error para el filtrado de paso de banda dependiente del tipo de error. Estos permiten filtrar cada señal de sonda individual o los correspondientes datos de señal dependientes de la ubicación según frecuencias límite predefinibles, que se pueden establecer según la frecuencia de señal esperada para los diferentes tipos de errores (por ejemplo, errores longitudinales o transversales, errores externos/internos, orificios de perforación con diferentes diámetros, errores naturales como costras, etc.). El número de pasos de banda en el dispositivo puede configurarse, es decir, puede adaptarse de manera óptima a la situación de prueba si es necesario. Aunque en la figura 6 solo se muestran dos pasos de banda para el tipo de error A (FT-A) y el tipo de error B (FT-B), se pueden proporcionar significativamente más de dos pasos de banda dependientes del tipo de error con las correspondientes posibilidades de filtro para realizar un filtrado específico para una variedad de errores.

[0068] Todas las operaciones de evaluación posteriores se pueden llevar a cabo por separado para cada tipo de error, de modo que se logre una evaluación de señal específica del tipo de error.

[0069] En el caso de ejemplo, al flujo de señal del dispositivo de evaluación le sigue una unidad de formación de matrices MAT, en la que se lleva a cabo un proceso de formación de matrices. Durante la operación de formación de matrices, los datos de señal dependientes de la ubicación o los datos de señal derivados de ellos, que en el ejemplo se filtraron según el tipo de error, se almacenan en campos asignados en posición correcta de una matriz de base. Para ello puede estar prevista una zona de almacenamiento especial de una memoria del dispositivo de evaluación.

[0070] En el caso de ejemplo, se genera una matriz de base multidimensional con los valores de flujo de fuga (o datos correspondientes) y sus coordenadas de ubicación (o datos correspondientes) a partir de las señales de flujo de fuga prefiltradas para cada paso de banda, es decir, para cada tipo de error. En el caso de ejemplo, la información que se tiene en cuenta durante la formación de matrices se puede dividir en tres dimensiones (véanse las figuras 8 a 12)

[0071] La primera dimensión contiene la información de señal en forma de una amplitud de señal de flujo de fuga. Aquí se tiene en cuenta la información de señal bipolar no rectificada. Por ejemplo, solo el componente normal del flujo de fuga o solo el componente horizontal del flujo de fuga o el vector de flujo de fuga completo con los componentes Bx, By y Bz se pueden almacenar y conservar para una evaluación adicional.

[0072] La información de ubicación está codificada en la segunda y tercera dimensión. Por ejemplo, la posición longitudinal LP del lugar de origen del valor del flujo de fuga en el objeto de prueba se almacena en la segunda dimensión. En un sistema rotatorio, la resolución se encuentra en el rango de una anchura de sonda de una sola sonda. En el sistema estacionario, la resolución con respecto a la posición longitudinal corresponde a la frecuencia de muestreo adaptada a la frecuencia máxima del paso de banda en el que se basa la matriz.

[0073] La tercera dimensión corresponde a la posición circunferencial UP del lugar de origen del valor de flujo de fuga. Aquí, la resolución en el sistema rotatorio corresponde a la frecuencia de muestreo adaptada a la frecuencia máxima del paso de banda en el que se basa la matriz, mientras que en el sistema estacionario la resolución en dirección circunferencial corresponde a una anchura de sonda de una sola sonda.

[0074] Dentro de las matrices de base se pueden llevar a cabo diferentes operaciones de evaluación utilizando los datos de señal dependientes de la ubicación. Algunos ejemplos se explican a continuación.

[0075] Las señales de las sondas individuales contienen, tras el filtrado de paso de banda anterior, la información útil deseada dentro de los rangos de frecuencia que se van a procesar posteriormente, posiblemente cubierto de información de interferencia, que se debe, por ejemplo, a una rugosidad de la superficie que en sí misma no es funcionalmente crítica. Para mejorar la fiabilidad de los resultados de la evaluación, se puede realizar, por ejemplo, una operación de suavizado sobre un número predeterminado de campos adyacentes entre sí de una matriz de base.

[0076] Con la ayuda de las figuras 7 a 9 se explica cómo se puede mejorar la calidad de las señales que se van a procesar calculando un valor promedio móvil. Para ello, el dispositivo de evaluación de la figura 6 tiene una unidad de cálculo de valor promedio MW. La figura 7 muestra en la figura 7A un cálculo del valor promedio de tres señales de sonda individuales, cada una de las cuales indica el componente normal del flujo de fuga, durante una prueba de error longitudinal. En la figura 7B se muestran las señales de sonda individuales correspondientes durante una prueba de error transversal. Se puede observar que las señales SG suavizadas mediante cálculo del valor promedio tienen una mejor relación señal-ruido que las señales de salida.

[0077] La figura 8A muestra un ejemplo para una matriz de base BM para un sistema rotatorio, en el que los datos de señal de señales de sonda no rectificadas (bipolares) están introducidos en los campos individuales. Los datos de señal están simbolizados por un número con signo. En dirección horizontal está representada la segunda dimensión de la matriz de base, es decir, la posición longitudinal LP del lugar de origen de la señal respectiva. La tercera dimensión está representada en la dirección perpendicular a esta, es decir, en la posición circunferencial UP. En el ejemplo de un sistema de control rotatorio, la posición longitudinal LP corresponde al número de canal de las sondas individuales de los conjuntos de sondas. La posición circunferencial UP se correlaciona con la línea de tiempo de la prueba. La figura 8B muestra sobre el eje X el número de canal, es decir, la posición longitudinal LP, mientras que sobre el eje Y está representada la amplitud de señal A de las señales individuales (curvas) de los canales individuales.

[0078] La figura 9A muestra la misma matriz que la figura 8A, pero después del cálculo del valor promedio móvil de cinco anchuras de sonda. La figura 9B muestra las amplitudes de señal suavizadas correspondientes.

[0079] El cálculo del valor promedio se lleva a cabo de tal manera que se forma un valor promedio móvil dentro de una matriz de base sobre un número configurable de pistas de sonda. En el ejemplo mostrado de un sistema rotatorio, el valor promedio se forma en la dirección longitudinal del tubo, es decir, paralelo al eje del tubo. En un sistema estacionario, la dirección de suavizado o la dirección de evaluación sería idéntica a la dirección transversal del tubo. Si el ruido en las pistas de sonda individuales se produce de forma estocástica, por ejemplo debido a una rugosidad superficial distribuida uniformemente en la muestra de prueba, este cálculo del valor promedio de, por ejemplo, cinco sondas mejora la relación señal/ruido (S/N). Esto se puede ver inmediatamente al comparar las figuras 8B y 9B.

[0080] Como alternativa o además de un cálculo del valor promedio móvil, en el que la suma de las amplitudes de señal de las sondas individuales detectadas se divide entre el número de sondas individuales detectadas, también sería posible un cálculo de sumas, en el que ya no sería necesaria la división entre el número de sondas detectadas. Para lograr un suavizado de las señales de sonda y, por tanto, una reducción de la dinámica, también son adecuadas en principio otras evaluaciones con características de paso bajo, como, por ejemplo, el filtrado de paso bajo. En general, también se pueden aplicar otros tipos de filtrado, convolución o correlación entre múltiples pistas de sonda.

[0081] El número de pistas de prueba en las que se basa el promedio o el filtrado se puede configurar en algunas formas de realización. Si es necesario, el número se puede seleccionar de forma diferente para cada canal de evaluación. En el caso de ejemplo se parte de la longitud de error mínima del canal de evaluación correspondiente para un determinado tipo de error. La longitud de error mínima es, en este caso, la longitud de error a partir de la cual se alcanza la amplitud máxima, es decir, la sensibilidad de prueba más alta. A diferencia de los sistemas de prueba convencionales, en los que la anchura de sonda se fija mediante la longitud de error mínima, la longitud de error mínima en el sistema propuesto ahora se puede configurar para cada tipo de error. Esto tiene la ventaja, entre otras cosas, de mejorar la reproducibilidad de errores que son más cortos que la longitud de error mínima. Esta mejora se produce independientemente de la longitud del error e independientemente de cualquier superposición de las sondas.

[0082] La evaluación no se limita a direcciones de evaluación que son paralelas o perpendiculares al eje de la muestra de prueba. Más bien, también es posible calcular valores promedio móviles o valores de suma u otros valores que pueden determinarse mediante evaluaciones conjuntas de datos de señal dependientes de la ubicación en cualquier posición angular transversal a la dirección longitudinal y a la dirección circunferencial dentro de un matriz de base. En el ejemplo de realización mostrado se puede configurar el número de canales de evaluación y su posición angular. De forma alternativa o adicional, en el dispositivo de prueba también se pueden especificar rangos angulares completos e incrementos angulares dentro de rangos angulares. A continuación, el *software* de evaluación determina los valores promedio móviles o valores de suma u otros valores para todas las posiciones angulares configuradas o para cada paso individual dentro de un rango angular determinado.

[0083] Los canales de evaluación sirven para detectar errores oblicuos en cualquier posición angular. En un dispositivo de prueba, que combina un sistema rotatorio con un sistema estacionario, el sistema rotatorio se puede utilizar preferiblemente para establecer o determinar posiciones angulares de -45° (el denominado "error de la mano izquierda") a + 45° (el denominado "error de la mano derecha") desde el eje longitudinal del tubo. El sistema estacionario puede determinar entonces, por ejemplo, posiciones angulares con una desviación de -45° a +45° con respecto a un error trasversal ideal (error en la dirección circunferencial). Esto significa que se pueden encontrar errores en todas las orientaciones de forma fiable en pruebas combinadas con sistemas rotatorios y sistemas estacionarios.

[0084] Se puede llevar a cabo una detección automática de la posición angular de un error, por ejemplo, determinando los máximos de la señal dentro del rango angular después de determinar los valores promedio móviles (o valores de suma) para los pasos angulares individuales. En el ejemplo de realización también se tiene en cuenta que una posición inclinada creciente de un error con respecto al recorrido de las líneas del campo de magnetización conduce a una caída de señal característica y calculable. Como se conoce, la altura de una señal de flujo de fuga disminuye cuanto más se desvía el error o la orientación del error de la posición ortogonal ideal con respecto a la dirección principal de magnetización. Esta caída de señal se puede compensar amplificando las señales en función de la posición angular configurada o encontrada. Alternativa o adicionalmente también es posible establecer aquellos valores umbral, en los que una amplitud de señal se considera indicativa de un defecto, más bajos que en el caso de errores longitudinales puros o errores transversales. Esta compensación del error oblicuo se tiene en cuenta al calcular el valor promedio para errores oblicuos, por ejemplo, colocándola antes o después del cálculo del valor promedio, de modo que los valores de amplitud de señal comparables se compensen entre sí durante el cálculo del valor promedio.

[0085] La figura10A muestra una representación de un error oblicuo (fondo gris) correspondiente a las figuras 8A y 9A, que se encuentra a -45° con respecto a la dirección longitudinal y la dirección transversal ("error de la mano izquierda"). La figura 10B muestra las amplitudes de señal A correspondientes antes del cálculo del valor promedio. La figura 11A muestra la misma matriz de base, pero después del cálculo del valor promedio en 5 anchuras de sonda en la dirección de -45°. La figura 11B muestra las amplitudes de señal suavizadas correspondientes.

[0086] A partir de la figura 12 se muestra a modo de ejemplo que el cálculo del valor promedio (u otra evaluación) de errores oblicuos se puede realizar en varias direcciones oblicuas diferentes, es decir, también en direcciones que se desvían más o menos de 45° de una dirección longitudinal o dirección circunferencial. En general se puede realizar una evaluación de las amplitudes de señal en función del ángulo a partir de los datos de señal de la matriz de base dependientes de la ubicación.

[0087] El objeto de prueba metálico alargado puede tener zonas de interferencia relacionadas con la producción y/o el proceso, que generalmente se extienden en la dirección longitudinal del material de prueba o en pequeños ángulos oblicuos a la dirección longitudinal. Las zonas de interferencia pueden ser, por ejemplo, la costura de soldadura longitudinal en tubos soldados. En los tubos que pasan por un tren de laminación reductor de estiramiento pueden aparecer desviaciones sistemáticas del grosor de la pared, los denominados polígonos internos. Estas faltas de homogeneidad sistemática del material pueden provocar señales de interferencia que afecten a la prueba de defectos. Las señales de estas zonas de interferencia orientadas direccionalmente se pueden suprimir en una forma de realización mediante el denominado funcionamiento diferencial. Para ello, en el dispositivo de la figura 6 se proporciona una unidad de formación de diferencias DIFF, que realiza la supresión

de interferencias después del filtrado en función del tipo de error y la formación de matrices, pero antes del cálculo de los valores promedio móviles o los valores de suma.

[0088] Para explicar el principio, la figura 13 muestra en 13A la señal de sonda de una primera sonda SO1, que incluye la señal SN de una costura de soldadura en una rotación entre 0° y 360°. La figura 13B muestra la señal de la séptima sonda SO7 de un conjunto de sondas en el mismo rango angular, donde en la misma posición angular aparece la señal SN de la costura de soldadura, pero la señal SF de un error también se puede reconocer en aproximadamente 100°. La figura 13C muestra un recorrido de señal de diferencia DSV, en el que la señal de la primera sonda SO1 se restó de la señal de la séptima sonda SO7 en una operación de formación de diferencias. Se puede observar que, al formar la diferencia, la señal de la costura de soldadura, que aparece por igual en ambas señales, desaparece y también se reduce la amplitud del ruido, mientras que se mantiene la señal SF del error. Esto permite una supresión de interferencias muy eficaz mediante la formación de diferencias.

[0089] Cuando se utilizan conjuntos de sondas con una anchura de sonda pequeña, es decir, para pruebas de flujo de fuga de alta resolución, ahora es posible ajustar la base de diferencia, es decir, la distancia de diferencia entre las sondas utilizadas para la formación de diferencias, en pequeños pasos con una cuadrícula de una anchura de recorrido de la pista de sonda hasta la distancia de diferencia óptima para el tipo de error respectivo. La unidad de formación de diferencias contiene un dispositivo de ajuste para ajustar la distancia de diferencia. Se encuentra una base de diferencia óptima cuando la distancia de diferencia se elige lo más pequeña posible, de modo que pequeñas desviaciones en la alineación longitudinal de la fuente de interferencia no tengan un impacto demasiado grande en la supresión de las señales de interferencia. Por otro lado, la base de diferencia debería ser mayor que la longitud de error típica del canal de evaluación respectivo, ya que, de lo contrario, la formación de diferencias podría reducir los máximos valores promedio o valores de suma posibles de las longitudes de error típicas para el canal de evaluación respectivo. La longitud de error típica aquí es la suma de las anchuras de pista de sonda al calcular los valores promedio móviles.

[0090] En el dispositivo de la figura 6, a las diferentes operaciones de evaluación les sigue una detección de errores, que se realiza mediante una unidad de detección de errores DET, por ejemplo comparando las señales entrantes con valores umbral predeterminables (comparación del valor umbral). En una unidad de decisión posterior ENT se decide, basándose en criterios predeterminados, si existe un defecto relevante, que luego se puede marcar con color en la muestra de prueba, por ejemplo en una unidad de marcado posterior.

[0091] Además, en el ejemplo de realización del dispositivo de prueba, es posible configurar adicionalmente o determinar automáticamente cualquier posición angular adicional para el funcionamiento diferencial, de modo que no sólo las zonas de interferencia que discurren en dirección longitudinal, sino también las señales de interferencia que discurren oblicuamente puedan ser suprimidas en los respectivos canales de evaluación.

[0092] En la evaluación descrita de la formación de diferencias se tienen en cuenta y se mantienen en el presente caso los signos de las señales de flujo de fuga. Esto crea una información de fase a partir de la cual se puede reconstruir la ubicación del error en el material de prueba. También es posible formar varios valores de diferencia. En un ejemplo se determina un tren de señales en la dirección de transporte del objeto de prueba y un tren de señales en contra de esta dirección de transporte. A continuación, se calcula el valor promedio de ambas diferencias. Esto da como resultado un máximo de señal en el lugar de origen del error, así como dos señales a la derecha y a la izquierda del mismo, cada una con la mitad de la amplitud de señal. Esto significa que también es posible una determinación más precisa de la posición del error en el funcionamiento diferencial.

[0093] Son posibles muchas otras variantes. Por ejemplo, es posible no utilizar una señal de fuga rectificada para evaluar la profundidad del error, sino más bien un valor de pico a pico dentro de una ruta de búsqueda. Esto da como resultado una mejora en la reproducibilidad, especialmente para errores con frecuencias cercanas a los límites de paso de banda.

[0094] Las opciones descritas aquí para evaluar señales de sonda utilizando una matriz de base también se pueden utilizar junto con otros tipos de sondas de la prueba de materiales electromagnéticos no destructivos. De forma análoga se pueden seguir procesando, por ejemplo, señales de sondas de corrientes de Foucault o de sondas de ultrasonidos. Según una formulación más general, que no forma parte de la presente invención, también se divulga lo siguiente:

método para la prueba electromagnética de un objeto de prueba para identificar defectos, en el que se explora una superficie del objeto de prueba para detectar campos electromagnéticos causados por defectos mediante una disposición de sondas que tiene un conjunto de sondas con una pluralidad de sondas, que están dispuestas de manera adyacente en una primera dirección y se mantienen a una distancia de prueba finita con respecto a la superficie del objeto de prueba durante la prueba, y
las señales de las sondas eléctricas se evalúan mediante un dispositivo de evaluación para calificar los defectos.
caracterizado por el hecho de que una evaluación de las señales de sonda comprende los siguientes pasos:
una operación de mapeo en la que, para cada señal de sonda, la información de señal que representa la

señal de sonda se vincula con la información de ubicación que representa el lugar de origen de una señal de sonda para formar datos de señal dependientes de la ubicación,
una operación de formación de matrices, en la que los datos de señal dependientes de la ubicación (o datos de señal derivados de los mismos) se almacenan en campos asignados en posición correcta de una matriz de base, y
al menos una operación de evaluación, en la que datos de señal dependientes de la ubicación de al menos dos campos de la matriz de base adyacentes en una dirección de evaluación (directa o indirectamente) se vinculan entre sí mediante al menos un algoritmo de evaluación.

REIVINDICACIONES

1. Método para probar el flujo de fuga de un objeto de prueba ferromagnético, en particular de tubos ferromagnéticos, para identificar defectos,

en el que un volumen de prueba del objeto de prueba se magnetiza mediante un campo magnético, se explora una superficie del objeto de prueba en una dirección de exploración para detectar campos de fuga magnéticos causados por defectos por medio de una disposición de sondas con un movimiento relativo entre la disposición de sondas y la superficie del objeto de prueba, donde la disposición de sondas tiene un conjunto de sondas con una pluralidad de sondas sensibles a campos magnéticos, que están dispuestas de manera adyacente en una primera dirección y se mantienen durante la prueba a una distancia de prueba finita de la superficie del objeto de prueba, las señales de sonda eléctricas se evalúan para calificar los defectos, y
se utiliza una disposición de sondas, en la que las sondas en la primera dirección tienen respectivamente una anchura de sonda que se encuentra en el intervalo de 0,1 mm a 10 mm,
donde una evaluación de las señales de sonda comprende los siguientes pasos: una operación de mapeo en la que, para cada señal de sonda, una información de señal que representa la señal de sonda se vincula con una información de ubicación que representa el lugar de origen de una señal de sonda para formar datos de señal dependientes de la ubicación,
una operación de formación de matrices, en la que los datos de señal dependientes de la ubicación o los datos de señal derivados de ellos se almacenan en campos asignados en posición correcta de una matriz de base con al menos tres dimensiones, donde
una primera dimensión de la matriz de base representa la información de señal,
una segunda dimensión de la matriz de base representa la posición en la primera dirección y una tercera dimensión de la matriz de base representa una posición en la dirección de exploración, y
al menos una operación de evaluación, en la que se vinculan entre sí datos de señal dependientes de la ubicación de al menos dos campos adyacentes de la matriz de base en una dirección de evaluación que discurre en cualquier posición angular transversal a la primera dirección mediante al menos un algoritmo de evaluación.

2. Método según la reivindicación 1, **caracterizado por el hecho de que** se utiliza información de señal bipolar no rectificada al formar la matriz de base.

3. Método según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado por** un prefiltrado de las señales de sonda realizado antes de la operación de mapeo por medio de un filtro de paso de banda con frecuencias límite regulables, donde una frecuencia límite inferior se establece en una frecuencia más baja y una frecuencia límite superior en una frecuencia esperada más alta de las señales de sonda.

4. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por** un filtrado posterior a la operación de mapeo y dependiente del tipo de error mediante uno o más filtros de paso de banda con frecuencias límite regulables, donde una frecuencia límite inferior de un filtro de paso de banda se establece en una frecuencia límite más baja y una frecuencia límite superior del filtro de paso de banda en una frecuencia esperada más alta de las señales de sonda para un tipo de error predeterminado.

5. Método según la reivindicación 4, **caracterizado por el hecho de que** se puede configurar una pluralidad de pasos de banda para el filtrado dependiendo del tipo de error y, preferiblemente, se utilizan dos, tres, cuatro o más filtros de paso de banda con diferentes frecuencias límite para el filtrado dependiendo del tipo de error.

6. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por el hecho de que** se llevan a cabo una o más operaciones de evaluación, que están diseñadas como operaciones de filtrado de datos de señal dependientes de la ubicación sobre un número predeterminado de campos adyacentes entre sí en una dirección de evaluación predeterminada.

7. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por el hecho de que** una operación de evaluación comprende una operación de suavizado de datos de información de señal dependientes de la ubicación sobre un número predeterminable de campos adyacentes entre sí en una dirección de suavizado, donde la operación de suavizado comprende preferiblemente un cálculo del valor promedio móvil o un filtrado de paso bajo.

8. Método según la reivindicación 7, **caracterizado por el hecho de que** la dirección de evaluación de la operación de suavizado corresponde a la primera dirección, donde preferiblemente se selecciona un número de sondas que se tienen en cuenta en la operación de suavizado, de manera que se genere una anchura de sonda efectiva, que está adaptada a una longitud de error mínima.

9. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por el hecho de que** la dirección de evaluación corresponde a una segunda dirección que discurre perpendicular a la primera dirección, donde el filtrado de paso de banda dependiente del tipo de error se lleva a cabo preferiblemente en la segunda dirección.

10. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por el hecho de que** la dirección de evaluación corresponde a una dirección oblicua, que discurre trasversalmente a la primera dirección y trasversalmente a una segunda dirección que discurre perpendicularmente a la primera dirección.

11. Método según la reivindicación 10, **caracterizado por** una operación de compensación de error oblicuo, en la que se determina una diferencia de ángulo entre una dirección de error oblicuo y una dirección de línea de campo del campo de magnetización y los datos de señal de un error oblicuo se corrigen con un factor de compensación dependiente de la posición angular.

12. Método según la reivindicación 10 o 11, **caracterizado por** determinar automáticamente la posición angular de errores oblicuos, que discurren en una dirección oblicua transversalmente a la primera y segunda dirección, donde una dirección oblicua con una amplitud de señal media máxima se evalúa preferiblemente de manera automática a través de varias direcciones oblicuas en diferentes direcciones de evaluación dentro de un rango angular predeterminable teniendo en cuenta la dependencia angular de la amplitud de señal.

13. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por** una operación de formación de diferencias, en la que se determina una diferencia de datos de información de señal dependientes de la ubicación de dos campos que se encuentran en una dirección de formación de diferencias y a una distancia diferente entre sí.

14. Método según la reivindicación 13, **caracterizado por el hecho de que** la dirección de formación de diferencias corresponde a la primera dirección o de que la dirección de formación de diferencias discurre oblicuamente a la primera dirección y/o de que una pluralidad de operaciones de formación de diferencias se llevan a cabo en diferentes direcciones de formación de diferencias y/o a lo largo de diferentes distancias de diferencia y/o de que la distancia de diferencia se establece en la longitud de error mínima, donde el espacio diferencial se encuentra entre la longitud de error mínima y cinco veces la longitud de error mínima.

15. Dispositivo para probar el flujo de fuga de un objeto de prueba ferromagnético, en particular de tubos ferromagnéticos, para identificar defectos, con:

un dispositivo de magnetización para magnetizar un volumen de prueba del objeto de prueba;
una disposición de sondas para explorar la superficie del objeto de prueba mediante un movimiento relativo entre la disposición de sondas y la superficie del objeto de prueba en una dirección de exploración para detectar campos de fuga magnéticos causados por defectos, donde la disposición de sondas tiene un conjunto de sondas (SA) con una pluralidad de sondas sensibles a campos magnéticos (SO1, SO2), que están dispuestas de manera adyacente en una primera dirección (R1), y
un dispositivo de evaluación (AW) para evaluar las señales de sonda para calificar los defectos,
donde las sondas del conjunto de sondas (SA) en la primera dirección (R1) tienen respectivamente una anchura de sonda (SB) que se encuentra en el intervalo de 0,1 mm a 10 mm,
donde el dispositivo de evaluación (AW) está configurado para llevar a cabo las siguientes operaciones:

una operación de mapeo, en la que, para cada señal de sonda, la información de señal que representa la señal de sonda se vincula con una información de ubicación que representa el lugar de origen de una señal de sonda para formar datos de señal dependientes de la ubicación,
una operación de formación de matrices, en la que los datos de señal dependientes de la ubicación o los datos de señal derivados de ellos se almacenan en campos asignados en posición correcta de una matriz de base con al menos tres dimensiones, donde
una primera dimensión de la matriz de base representa la información de señal,
una segunda dimensión de la matriz de base representa la posición en la primera dirección y
una tercera dimensión de la matriz de base representa una posición en la dirección de exploración, y
al menos una operación de evaluación, en la que se vinculan entre sí datos de señal dependientes de la ubicación de al menos dos campos adyacentes de la matriz de base en una dirección de evaluación, que discurre en cualquier posición angular transversal a la primera dirección mediante al menos un algoritmo de evaluación.

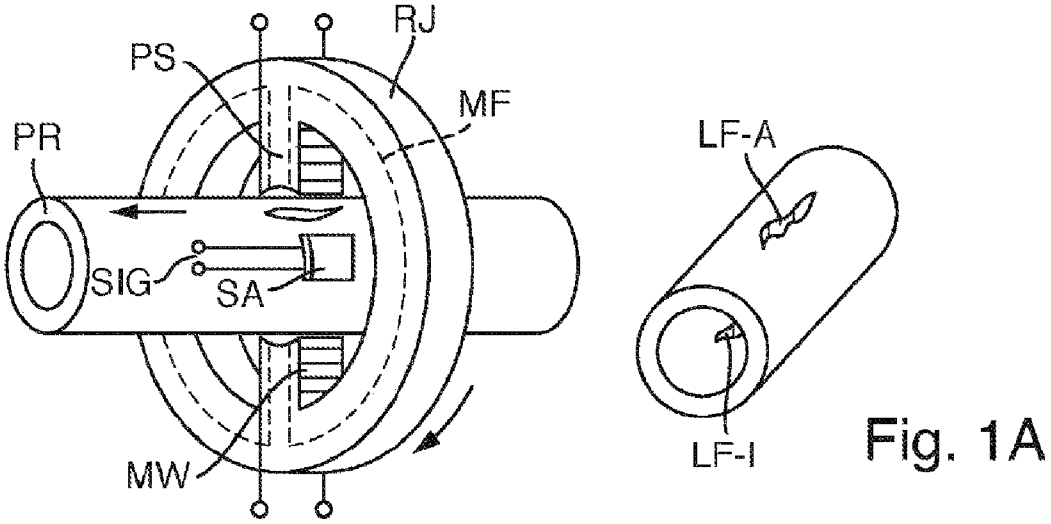


Fig. 1A

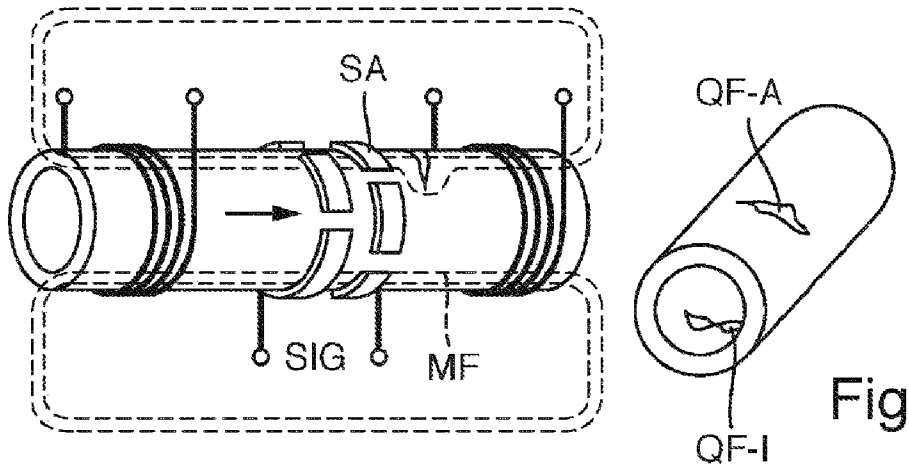


Fig. 1B

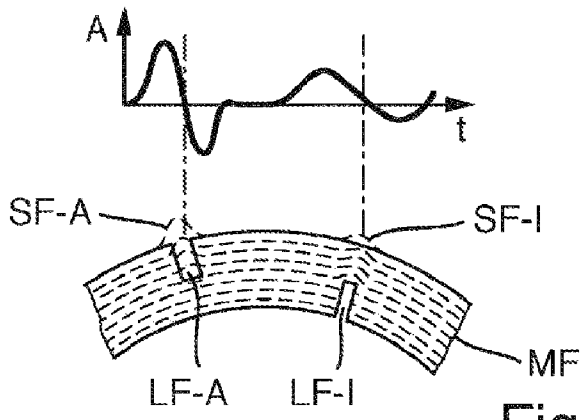


Fig. 2

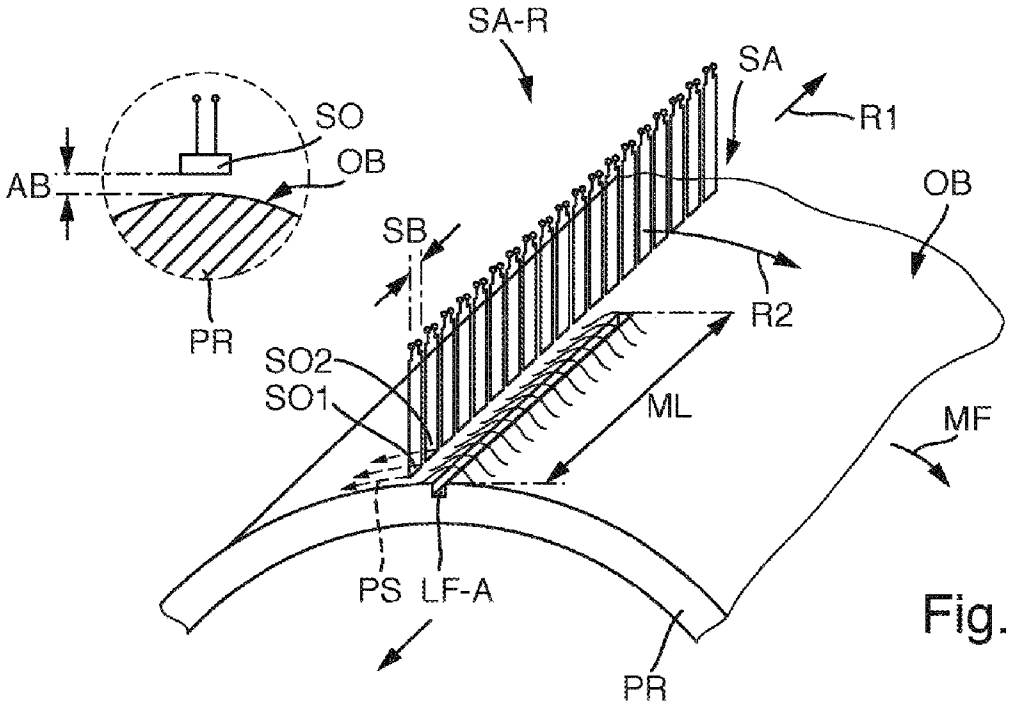

SA-R
SA
R1
SO
OB
AB
OB
SB
R2
PR
SO2
SO1
ML
MF
PS
LF-A
PR

Fig. 3

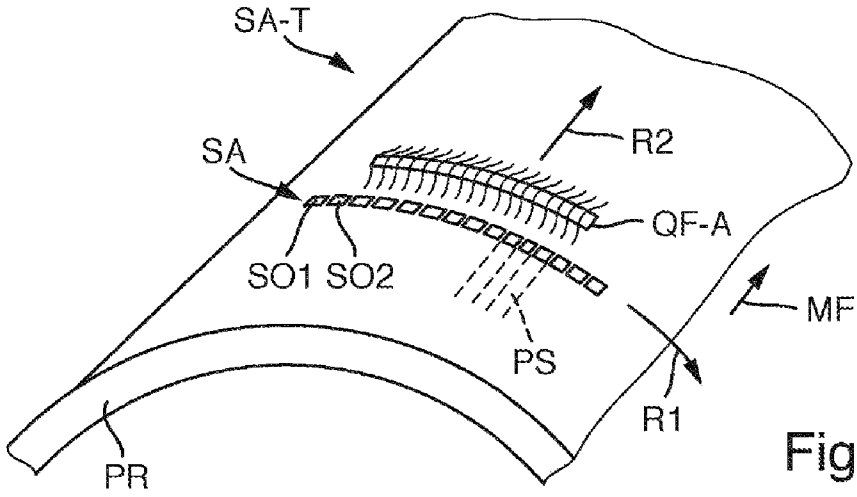

SA-T
R2
SA
QF-A
SO1 SO2
MF
PS
R1
PR

Fig. 4

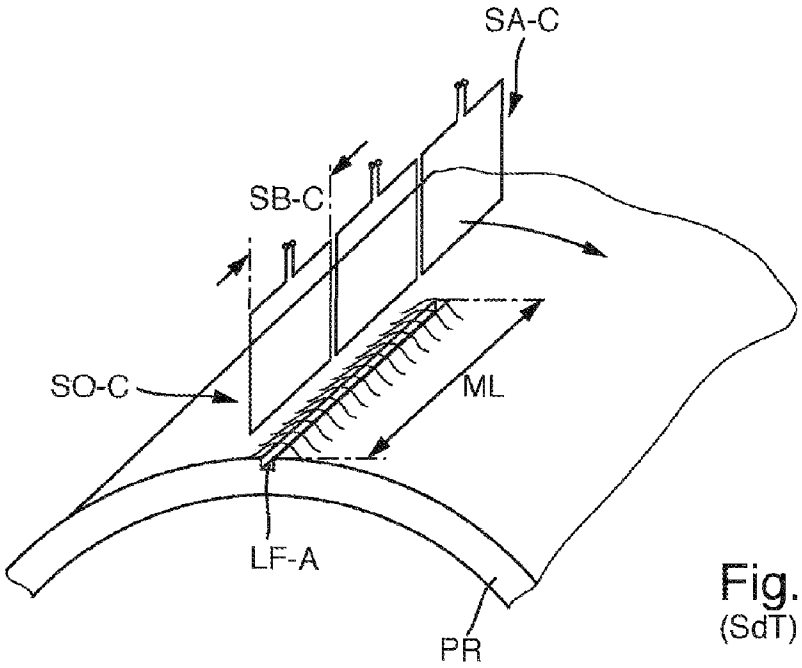


Fig. 5
(SdT)

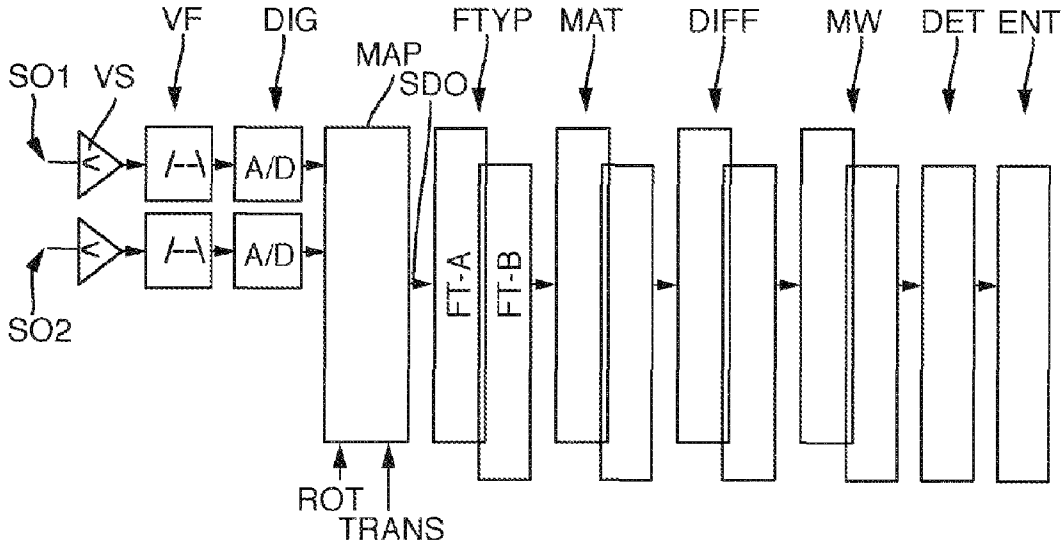


Fig. 6

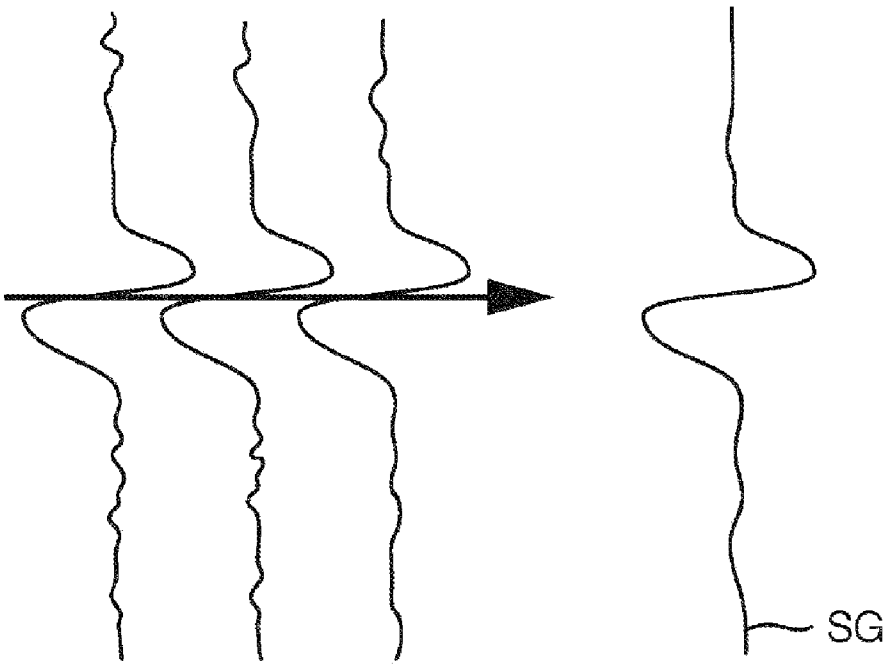


Fig. 7A

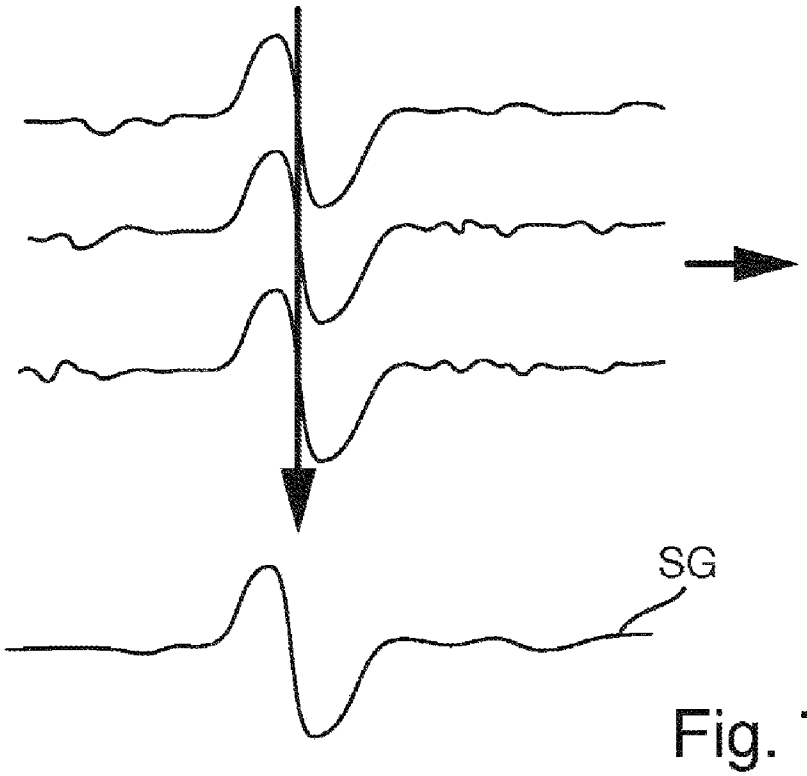
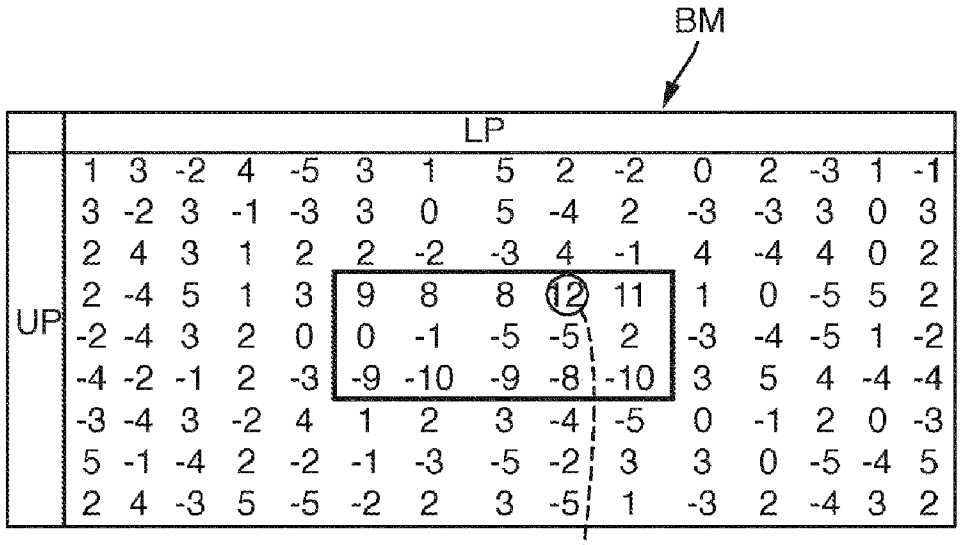


Fig. 7B



UP	1	3	-2	4	-5	3	1	5	2	-2	0	2	-3	1	-1
	3	-2	3	-1	-3	3	0	5	-4	2	-3	-3	3	0	3
	2	4	3	1	2	2	-2	-3	4	-1	4	-4	4	0	2
	2	-4	5	1	3	9	8	8	12	11	1	0	-5	5	2
	-2	-4	3	2	0	0	-1	-5	-5	2	-3	-4	-5	1	-2
	-4	-2	-1	2	-3	-9	-10	-9	-8	-10	3	5	4	-4	-4
	-3	-4	3	-2	4	1	2	3	-4	-5	0	-1	2	0	-3
	5	-1	-4	2	-2	-1	-3	-5	-2	3	3	0	-5	-4	5
	2	4	-3	5	-5	-2	2	3	-5	1	-3	2	-4	3	2

Fig. 8A



Fig. 8B

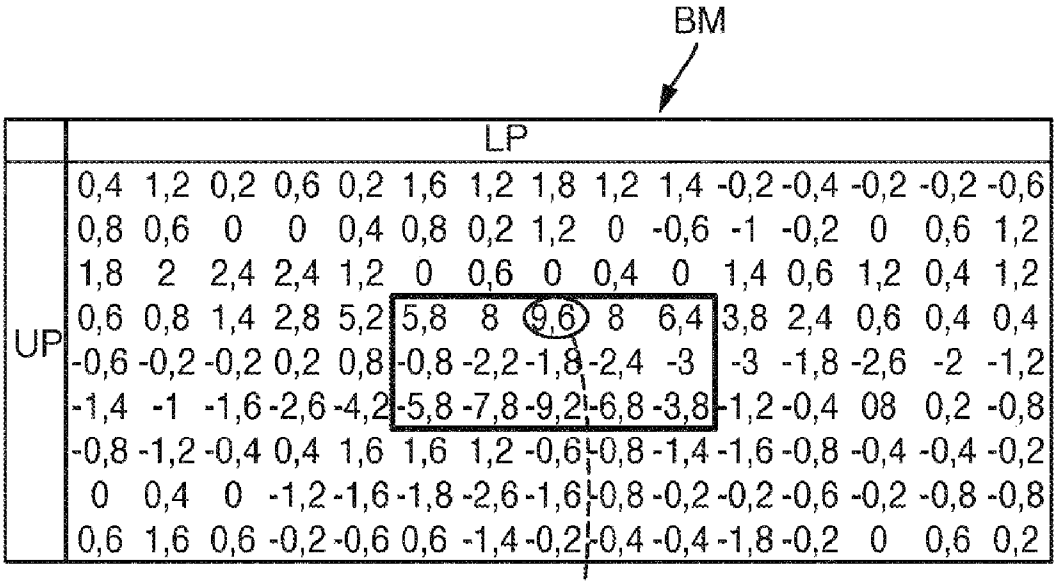

BM
LP
UP
0,4 1,2 0,2 0,6 0,2 1,6 1,2 1,8 1,2 1,4 -0,2 -0,4 -0,2 -0,2 -0,6
0,8 0,6 0 0 0,4 0,8 0,2 1,2 0 -0,6 -1 -0,2 0 0,6 1,2
1,8 2 2,4 2,4 1,2 0 0,6 0 0,4 0 1,4 0,6 1,2 0,4 1,2
0,6 0,8 1,4 2,8 5,2 5,8 8 9,6 8 6,4 3,8 2,4 0,6 0,4 0,4
-0,6 -0,2 -0,2 0,2 0,8 -0,8 -2,2 -1,8 -2,4 -3 -3 -1,8 -2,6 -2 -1,2
-1,4 -1 -1,6 -2,6 -4,2 -5,8 -7,8 -9,2 -6,8 -3,8 -1,2 -0,4 08 0,2 -0,8
-0,8 -1,2 -0,4 0,4 1,6 1,6 1,2 -0,6 -0,8 -1,4 -1,6 -0,8 -0,4 -0,4 -0,2
0 0,4 0 -1,2 -1,6 -1,8 -2,6 -1,6 -0,8 -0,2 -0,2 -0,6 -0,2 -0,8 -0,8
0,6 1,6 0,6 -0,2 -0,6 0,6 -1,4 -0,2 -0,4 -0,4 -1,8 -0,2 0 0,6 0,2

Fig. 9A

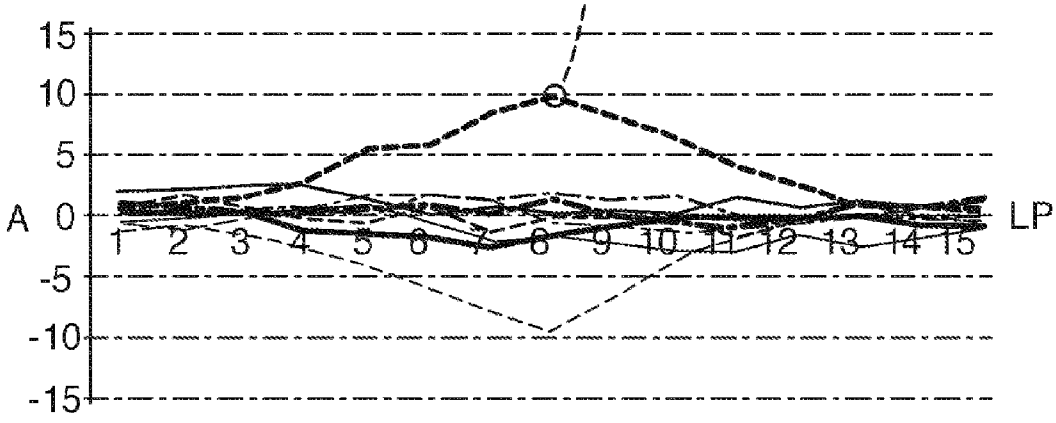

15
10
5
A 0
-5
-10
-15
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
LP

Fig. 9B

BM

	LP														
UP	1	3	-2	4	-5	3	1	5	2	-2	0	2	-3	1	-1
	3	-2	3	-1	-3	3	0	5	-4	11	-3	-3	3	0	3
	2	4	3	1	2	2	-2	-3	12	-1	4	-4	4	0	2
	2	-4	5	1	3	-4	1	8	4	-10	1	0	-5	5	2
	-2	-4	3	2	0	-2	8	-2	-8	-1	-3	-4	-5	1	-2
	-4	-2	-1	2	-3	9	-2	-9	2	5	3	5	4	-4	-4
	-3	-4	3	-2	4	1	-10	3	-4	-5	0	-1	2	0	-3
	5	-1	-4	2	-2	-9	-3	-5	-2	3	3	0	-5	-4	5
	2	4	-3	5	-5	-2	2	3	-5	1	-3	2	-4	3	2

Fig. 10A

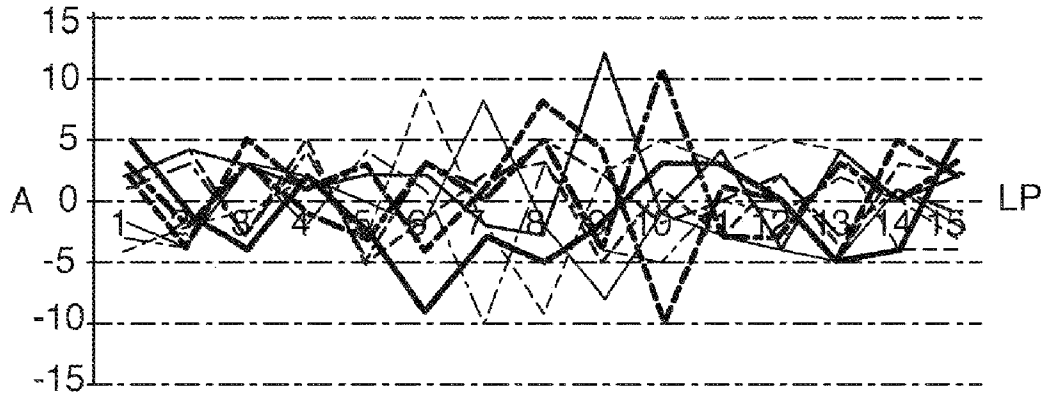


Fig. 10B

BM

	LP															
UP	0,2	1,2	-0,4	2,2	-0,6	0,2	1,2	1,4	1	-1,8	4,6	-0,4	-0,4	0	0,6
	1,2	-0,4	2,6	-1,4	1,2	1,4	2	0,2	-1,6	6,2	0,4	-2,4	0,2	0,6	-0,4
	-0,4	2,6	-1,8	0,4	2	2,4	0,2	-2	7,8	0	-4	0	0	-1,2	0,4
	1,8	-0,8	-1	1,4	1,2	0,2	-2,2	9,6	-0,8	-5,2	0,2	1,2	-0,6	1,4	1,4
	-0,6	-0,4	0,2	0,4	-0,2	-1,8	8,2	0	-6,6	0,2	0,4	-2,2	1,4	1,2	-0,8
	-0,6	-0,2	1	0	-2	6,2	-0,2	-9,2	0,4	-1,4	-2,6	1,6	1,8	-0,8	-1,8
	-0,4	-0,4	1,2	-1,4	4	0	-8,2	-0,2	-1	-1	-0,4	1,6	-1,4	-1,4	-2,2
	0	1,2	-1	2,4	0,4	-6,6	0	-0,4	-0,2	0,6	1,4	-1	-1,4	-2,2	1,6
	0,8	-0,4	0,6	0,8	-4,8	-0,4	-1,4	-0,8	-0,4	0,6	-0,2	-0,6	-2,2	1,6	0,4

Fig. 11A

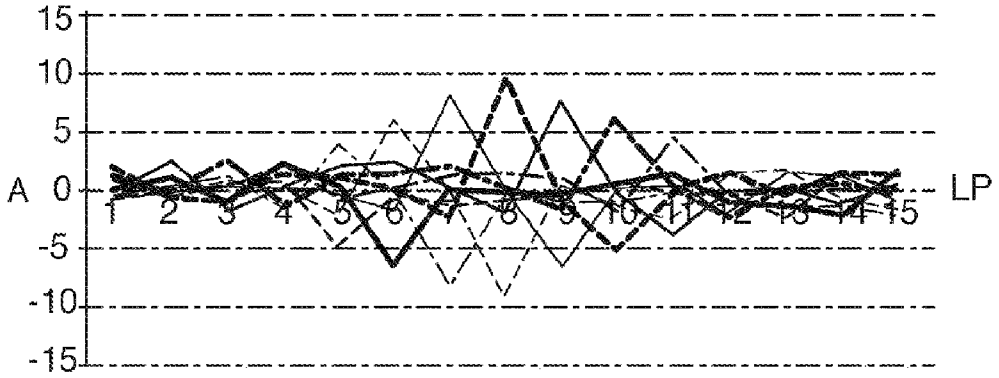


Fig. 11B

BM

	LP															
UP	1	3	-2	4	-5	3	1	5	2	-2	0	2	-3	1	-1
	3	-2	3	-1	-3	3	0	5	-4	2	-3	-3	3	0	3
	2	4	3	1	2	2	-2	-3	4	-1	4	-4	4	0	2
	2	-4	5	1	3	-4	1	5	4	0	1	0	-5	5	2
	-2	-4	3	2	0	-2	5	-2	-1	-1	-3	-4	-5	1	-2
	-4	-2	-1	2	-3	0	-2	5	2	5	3	5	4	-4	-4
	-3	-4	3	-2	4	1	2	3	-4	-5	0	-1	2	0	-3
	5	-1	-4	2	-2	-1	-3	-5	-2	3	3	0	-5	-4	5
	2	4	-3	5	-5	-2	2	3	-5	1	-3	2	-4	3	2

Fig. 12

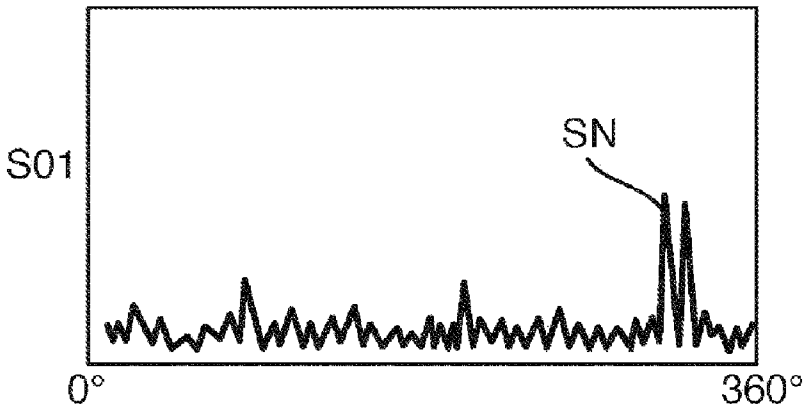


Fig. 13A

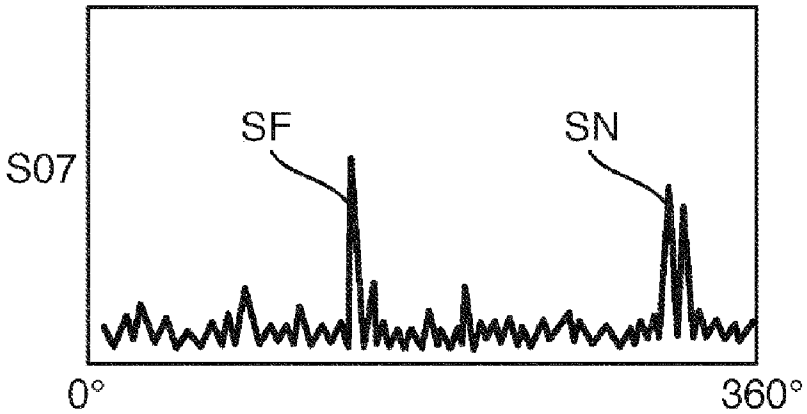


Fig. 13B

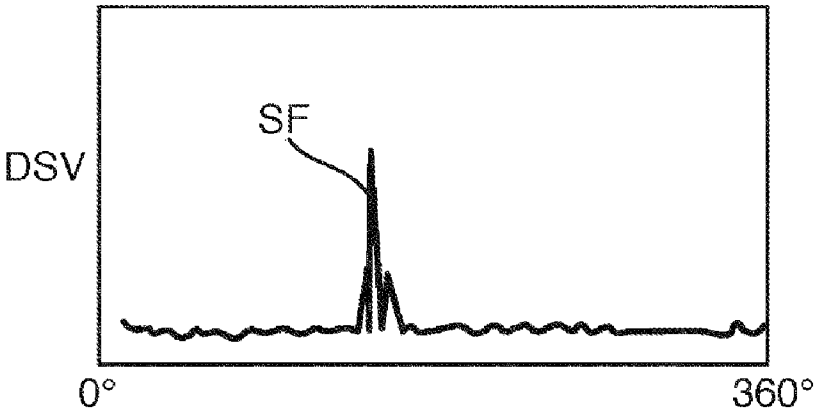


Fig. 13C