

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 769 295**

51 Int. Cl.:

**G01N 27/90** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.09.2011** E 11183353 (9)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.12.2019** EP 2574912

54 Título: **Disposición para la detección de grietas en materiales metálicos**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**25.06.2020**

73 Titular/es:

**ABB TECHNOLOGY AG (100.0%)**  
**Affolternstrasse 44**  
**8050 Zürich, CH**

72 Inventor/es:

**LINDER, STEN y**  
**THEGEL, LENNART**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

**ES 2 769 295 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**

Disposición para la detección de grietas en materiales metálicos

Campo técnico

5 La presente descripción generalmente se refiere a la inspección de calidad de un material metálico y en particular a la detección de grietas en la superficie del material metálico mediante inducción.

Antecedentes

10 Se conoce detectar grietas en materiales metálicos, por ejemplo, en la producción de acero. Por ejemplo, se han utilizado técnicas inductivas para este propósito. Cuando se usa una técnica inductiva, se induce una corriente en el material metálico, p. ej. una plancha o una lámina de metal, mediante un campo magnético variable en el tiempo generado por una bobina transmisora alimentada con una corriente igualmente variable en el tiempo. Cuando la corriente inducida encuentra una grieta en el material metálico, la grieta constituye un obstáculo para la corriente inducida. Como resultado de ello, la grieta altera la corriente inducida en la grieta en comparación con un material metálico sin grieta. La corriente alterada proporciona un cambio en el campo magnético alrededor de la corriente. El cambio en el campo magnético se mide mediante una bobina receptora, por lo que se puede determinar que hay una grieta en la parte de superficie inspeccionada del material metálico.

15 Cuando se usan técnicas inductivas para la detección de grietas en materiales metálicos, la superficie del material metálico se examina normalmente mediante bobinas que se mueven a través de esa parte de la superficie que se va a inspeccionar.

20 El documento GB2401947 describe un aparato para la inspección de superficies críticas en discos de motores de aviones. Las redes de sensores de corriente inducida permiten generar imágenes bidimensionales para detectar grietas en regiones con daños por fricción. Según una realización, se da a conocer un devanado de accionamiento con dos tramos ortogonales. El devanado de accionamiento está dispuesto para inducir corrientes inducidas en el material para inspeccionar. Varios devanados de sensor están dispuestos para detectar campos magnéticos inducidos por las corrientes inducidas en el material.

25 El documento EP 1033571 da a conocer una sonda que tiene un primer sustrato en o sobre el que está dispuesta una bobina de sonda. Una segunda bobina de sonda se solapa al menos parcialmente con el área cubierta por la primera bobina de sonda, como se ve desde arriba. La segunda bobina está dispuesta en o sobre un segundo sustrato. Se puede proporcionar una pila de sustratos adicionales para bobinas de sonda adicionales. Al menos uno de los sustratos es un sustrato de película hecho de material flexible. Las bobinas primera y segunda se utilizan para detectar grietas o fallas con orientación diferente entre sí en el componente que se está probando.

30 En procesos de producción de productos metálicos, se ha comprobado que resulta difícil utilizar equipos del tipo mencionado anteriormente. En primer lugar, tales inspecciones de grietas pueden tardar demasiado tiempo en adaptarse a un flujo de producción. En segundo lugar, los dispositivos mecánicos necesarios para la inspección llegan a ser demasiado caros y sensibles para las condiciones, p. ej. altas temperaturas en un proceso de fundición continuo, que a menudo predominan durante la producción. En tercer lugar, tales inspecciones de grietas pueden no ser capaces de indicar la dirección de las grietas.

Breve descripción de la invención

En vista de lo anterior, un objeto general de la presente descripción es proporcionar una detección inductiva de grietas sobre grandes áreas de material metálico en un flujo de producción.

40 Otro objeto de la presente descripción es reducir el desgaste mecánico sometiendo una disposición para la detección de grietas durante la inspección de grietas.

Aún otro objeto de la presente descripción es proporcionar una detección inductiva de grietas sin partes móviles que se pueda utilizar para piezas de trabajo grandes tales como planchas, placas y bandas, aumentando así la fiabilidad y disminuyendo los costes de tal detección.

45 Por lo tanto, de acuerdo con un primer aspecto de la presente descripción, se proporciona una disposición para detectar grietas a lo largo de una banda de un material metálico que se mueve en relación con la disposición, comprendiendo la disposición: una disposición de bobina que tiene una primera parte de devanado que se extiende en una primera dirección para inducir una primera corriente en la primera dirección en una parte de la banda; una segunda parte de devanado que se extiende en una segunda dirección para inducir una segunda corriente en la segunda dirección en la parte de la banda, cruzándose entre sí la primera dirección y la segunda dirección, en donde la primera parte de devanado y la segunda parte de devanado forman parte de bobinas separadas eléctricamente; una primera bobina receptora dispuesta para detectar un campo magnético generado por la primera corriente y una segunda bobina receptora dispuesta para detectar un campo magnético generado por la segunda corriente, proporcionando el campo magnético generado por la primera corriente y el campo magnético generado por la segunda corriente una indicación de si una grieta está o no presente en la parte de la banda y una dirección de la

- grieta, en donde la primera bobina receptora está dispuesta en un lado de la primera parte de devanado y la segunda bobina receptora está dispuesta en un lado de la segunda parte de devanado, estando tanto la primera bobina receptora como la segunda bobina receptora dispuestas en el mismo plano que la primera parte de devanado y la segunda parte de devanado; un generador de señal dispuesto para alimentar una corriente individual variable en el tiempo en forma de un tren de impulsos, a cada una de la primera parte de devanado y la segunda parte de devanado para inducir la primera corriente y la segunda corriente en el material metálico; y una unidad de control para controlar el generador de señal para proporcionar de manera alterna la corriente variable en el tiempo a cada una de la primera parte de devanado y la segunda parte de devanado para así inducir de manera alterna la primera corriente y la segunda corriente en el material metálico.
- 5
- 10 La primera bobina receptora está dispuesta en un lado de la primera parte de devanado y la segunda bobina receptora está dispuesta en un lado de la segunda parte de devanado, estando dispuestas tanto la primera bobina receptora como la segunda bobina receptora en el mismo plano que la primera parte de devanado y la segunda parte de devanado. Mediante esta disposición, los campos magnéticos causados por la primera corriente y la segunda corriente inducidas en el material metálico pueden ser detectados de manera eficiente por las bobinas receptoras.
- 15
- Las mediciones realizadas por la primera bobina receptora y la segunda bobina receptora se pueden hacer así de manera conveniente entre impulsos posteriores.
- Mediante la presente descripción, se puede llevar a cabo una inspección de grietas sin contacto sobre grandes áreas de material metálico. Además, debido a que la primera parte de devanado y la segunda parte de devanado están dispuestas de manera que sus direcciones de extensiones se cruzan, pueden detectarse grietas con orientación diferente y la dirección en la que se extiende principalmente la grieta puede determinarse también con una disposición de bobina dispuesta de manera permanente durante la inspección de grietas. De ese modo, la disposición será mecánicamente mucho más simple que las soluciones de acuerdo con la técnica anterior, lo que dará como resultado menores costes, un funcionamiento más fiable y una vida útil más larga.
- 20
- 25 En una realización, la primera dirección y la segunda dirección son sustancialmente perpendiculares. De este modo, se puede proporcionar una detección óptima de grietas con respecto a grietas que tienen una orientación diferente.
- En una realización, la segunda parte de devanado está dispuesta aguas abajo de la primera parte de devanado con respecto a una dirección de movimiento del material metálico. Por lo tanto, una grieta puede ser inspeccionada tanto por la primera parte de devanado, detectando grietas principalmente en una primera dirección, como por la segunda parte de devanado que está dispuesta para detectar grietas principalmente en una segunda dirección sustancialmente ortogonal a la primera dirección, por lo que se puede determinar la dirección en la que se extiende una grieta.
- 30
- 35 En una realización, un devanado de la primera bobina receptora está dispuesto paralelo a la primera parte de devanado y un devanado de la segunda bobina receptora está dispuesto paralelo a la segunda parte de devanado. Por lo tanto, se obtiene una orientación óptima de la primera bobina receptora y la segunda bobina receptora para detectar los campos magnéticos en el material metálico.
- En una realización, la primera parte de devanado tiene una dirección de extensión sustancialmente constante a lo largo de una distancia donde la primera parte de devanado es paralela al devanado de la primera bobina receptora, y la segunda parte de devanado tiene una dirección de extensión sustancialmente constante a lo largo de una distancia donde la segunda parte de devanado es paralela al devanado de la segunda bobina receptora. Por lo tanto, las corrientes inducidas en el material metálico tendrán una dirección de propagación sustancialmente constante a lo largo de una distancia correspondiente a un ancho de banda que se desea medir para detectar grietas.
- 40
- 45 En una realización, la primera parte de devanado define un primer tramo de una bobina transmisora triangular sustancialmente en ángulo recto y la segunda parte de bobina define un segundo tramo de la bobina transmisora sustancialmente triangular, siendo el primer tramo y el segundo tramo sustancialmente tramos perpendiculares.
- En una realización, la primera parte de devanado y la segunda parte de devanado forman parte de bobinas separadas eléctricamente, estando dispuesta cada una de la primera parte de devanado y la segunda parte de devanado para ser alimentada con una corriente individual que varía con el tiempo.
- 50
- 55 En una realización, cada una de la primera parte de devanado y la segunda parte de devanado forma parte de una respectiva bobina transmisora de bobina con forma rectangular.
- Una realización comprende una unidad informática dispuesta para recibir señales basadas en el campo magnético detectado por la primera bobina receptora y en el campo magnético detectado por la segunda bobina receptora para determinar si hay o no una grieta en la banda.
- En una realización, la unidad informática está dispuesta para determinar una dirección de extensión de una grieta detectada basándose en el campo magnético detectado por la primera bobina receptora y en el campo magnético detectado por la segunda bobina receptora.

Una realización comprende una tercera bobina receptora que tiene un devanado dispuesto a lo largo del mismo eje que la primera bobina receptora, estando el devanado de la tercera bobina receptora dispuesto para detectar el campo magnético generado por la primera corriente.

5 Una realización tiene una tercera parte de devanado paralela a la segunda parte de devanado para inducir una tercera corriente en el material metálico, y una cuarta bobina receptora que tiene un devanado dispuesto paralelo al devanado de la segunda bobina receptora, estando dispuesto el devanado de la cuarta bobina receptora para detectar un campo magnético generado por la tercera corriente en el material metálico.

10 En general, todos los términos utilizados en las reivindicaciones deben interpretarse de acuerdo con su significado ordinario en el campo técnico a menos que se defina explícitamente lo contrario en el presente documento. Todas las referencias a "un/el elemento, aparato, componente, medio, etapa, etc." deben interpretarse abiertamente como al menos un ejemplo del elemento, aparato, componente, medio, etapa, etc., a menos que se indique explícitamente lo contrario. Las etapas de cualquier método dado a conocer en este documento no tienen que realizarse en el orden exacto descrito, a menos que se indique explícitamente.

Breve descripción de los dibujos

15 El concepto inventivo se describirá ahora, a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1a es una vista esquemática de una disposición para la detección de grietas en un material metálico, que no forma parte de la invención según las reivindicaciones.

La figura 1b muestra cómo se inspecciona un material metálico en busca de grietas mediante la disposición de la figura 1a;

20 La figura 2a es una vista esquemática de un segundo ejemplo de una disposición para la detección de grietas en un material metálico;

La figura 2b muestra cómo se inspecciona un material metálico en busca de grietas mediante la disposición de la figura 2a;

25 La figura 3 es una vista esquemática de una disposición para la detección de grietas que no forma parte de la invención según las reivindicaciones; y

La figura 4 es una vista esquemática de un cuarto ejemplo de una disposición para la detección de grietas.

Descripción detallada

30 El concepto inventivo se describirá más a fondo a continuación con referencia a los dibujos adjuntos, en los que se muestran algunas realizaciones del concepto inventivo. Sin embargo, el concepto inventivo puede realizarse de muchas formas diferentes y no debe interpretarse como limitado a las realizaciones establecidas en este documento; más bien, estas realizaciones se proporcionan a modo de ejemplo para que esta descripción sea exhaustiva y completa, y transmitirá completamente el ámbito de aplicación del concepto inventivo a los expertos en la materia.

35 La disposición que se presenta aquí está adaptada para detectar grietas en un material metálico. La disposición también puede determinar varios parámetros asociados con una grieta detectada, tales como la orientación de la grieta en el material metálico. De manera ventajosa, la disposición puede usarse en condiciones extremas, por ejemplo, en un proceso de fabricación de metal tal como un proceso de fundición o un proceso de laminación.

Cualquier material metálico que tenga una conductividad que sea lo suficientemente alta como para permitir que se induzca una corriente en el material metálico puede inspeccionarse mediante las disposiciones que aquí se presentan.

40 La figura 1a muestra una vista esquemática de una disposición para detectar grietas a lo largo de una banda de material metálico en movimiento. La disposición 1-1 comprende una disposición de bobina 3-1, un primer circuito amplificador 7-1, un segundo circuito amplificador 9-1, un generador de señal 13, una unidad de control 15, una unidad de procesamiento de señal 17 y una unidad informática 19.

45 La disposición de bobina 3-1 comprende una bobina transmisora en forma de una bobina transmisora triangular sustancialmente en ángulo recto 11 que tiene una primera parte de devanado 5a que define un primer tramo de la bobina transmisora triangular sustancialmente en ángulo recto 11, y una segunda parte de devanado 5b que define un segundo tramo de la bobina transmisora triangular sustancialmente en ángulo recto 11. El primer tramo y el segundo tramo pueden tener un ángulo  $\alpha$  entre ellos, siendo el ángulo  $\alpha$  sustancialmente de 90 grados. Por lo tanto, la primera parte de devanado 5a y la segunda parte de devanado 5b pueden ser sustancialmente perpendiculares.  
50 Para este fin, la primera parte de devanado 5a y la segunda parte de devanado 5b definen tramos adyacentes de la bobina transmisora triangular sustancialmente en ángulo recto 11. La primera parte de devanado 5a y la segunda parte de devanado 5b están por lo tanto conectadas eléctricamente y dispuestas para recibir y conducir la misma corriente variable en el tiempo  $i(t)$  desde el generador de señal 13.

5 La bobina transmisora puede ser una bobina transmisora triangular en forma de un triángulo isósceles o sustancialmente un triángulo isósceles. En este caso, la primera parte de devanado se proporciona en uno de los lados isósceles que define el primer tramo de la bobina transmisora triangular y una segunda parte de devanado se proporciona en el otro lado isósceles que define un segundo tramo de la bobina transmisora triangular. El ángulo entre los dos lados isósceles puede ser, en una realización, sustancialmente de 90 grados.

En algunas variantes de la bobina transmisora triangular o la bobina transmisora triangular sustancialmente en ángulo recto, el ángulo  $\alpha$  entre el primer tramo y el segundo tramo puede estar en cualquier lugar dentro del intervalo  $0 < \alpha < 180^\circ$ , es decir, el ángulo puede ser mayor de cero grados y menor de 180 grados.

10 La disposición de bobina 3-1 comprende además una primera bobina receptora 7 que tiene una parte de devanado 7a, y una segunda bobina receptora 9 que tiene una parte de devanado 9a. La primera bobina receptora 7 está dispuesta en un lado de la primera parte de devanado 5a y la segunda bobina receptora 9 está dispuesta en un lado de la segunda parte de devanado 5b. La primera bobina receptora 7 y la segunda bobina receptora 9 están dispuestas a una distancia tal de la primera parte de devanado 5a y la segunda parte de devanado 5b, respectivamente, que pueden detectar campos magnéticos a partir de corrientes inducidas creadas en un material metálico por la primera parte de devanado 5a y la segunda parte de devanado 5b, respectivamente.

La primera bobina receptora 7 y la segunda bobina receptora 9 pueden ser sustancialmente bobinas rectangulares, teniendo cada una un punto central interior. La parte de devanado 7a define un lado de la bobina receptora sustancialmente rectangular 7. La parte de devanado 9a define un lado de la bobina receptora sustancialmente rectangular 9.

20 El punto central interior de la primera bobina receptora 7 puede estar dispuesto preferiblemente a una distancia de la primera parte de devanado 5a correspondiente a la distancia en la que está ubicada la primera parte de devanado 5a desde una superficie 21 de un material metálico M para inspeccionar en busca de grietas, como se muestra en la figura 1b. El punto central interior de la segunda bobina receptora 9 puede estar dispuesto preferiblemente a una distancia de la segunda parte de devanado 5b correspondiente a la distancia en la que está ubicada la segunda parte de devanado 5b desde la superficie 21 del material metálico M para inspeccionar en busca de grietas. La parte de devanado 7a de la primera bobina receptora 7 puede estar dispuesta paralela a la primera parte de devanado 5a. La parte de devanado 9a de la segunda bobina receptora 9 está dispuesta paralela a la segunda parte de devanado 5b. Aquí, la parte de devanado 7a de la primera bobina receptora 7 y la parte de devanado 9a de la segunda parte de devanado 9 son sustancialmente perpendiculares entre sí, teniendo sustancialmente el mismo ángulo  $\alpha$  que la primera parte de devanado 5a y la segunda parte de devanado 5b entre sí. Debe observarse que las partes de devanado 7a y 9a pueden estar dispuestas en variantes de otras maneras con respecto a la primera parte de devanado 5a y la segunda parte de devanado 5b, respectivamente. Para este fin, las bobinas receptoras pueden estar dispuestas preferiblemente adyacentes a su respectivo devanado transmisor, es decir, la primera y la segunda parte de devanado.

35 Las partes de devanado 7a y 9a pueden tener extensiones longitudinales correspondientes a un ancho de la banda que se desea inspeccionar en busca de grietas.

40 En una variante de la disposición 1-1, la primera parte de devanado 5a, la segunda parte de devanado 5b, la primera bobina receptora 7 y la segunda bobina receptora 9 son sustancialmente bobinas planas, es decir, su dimensión en una dirección paralela a una perpendicular a la superficie del material metálico cuando se inspecciona el material metálico en busca de grietas mediante la disposición 1-1 es varias veces menor que cualquier otra dimensión de la disposición 1-1. En tal variante, tienen una dimensión de altura sustancialmente uniforme, siendo preferiblemente impresas o dispuestas de otro modo sobre o en un sustrato.

La bobina transmisora triangular sustancialmente en ángulo recto puede tener una extensión de altura varias veces menor que su extensión de longitud o anchura.

45 La primera parte de devanado 5a y la segunda parte de devanado 5b están dispuestas para recibir una corriente variable en el tiempo  $i(t)$  procedente del generador de señal 13. En una variante de la disposición 1-1, la corriente variable en el tiempo puede ser un tren de impulsos. Por lo tanto, la corriente que varía en el tiempo puede ser un cambio repentino de magnitud de la corriente de un nivel a otro, por ejemplo, de un nivel de corriente constante a corriente cero. El generador de señal 13 está dispuesto para recibir instrucciones referentes al tipo de señal para generar y a cuándo generarla, a través de una señal de control C1 proporcionada por la unidad de control 15.

Volviendo ahora a la figura 1b, la disposición 1-1 se describirá ahora en funcionamiento.

55 La disposición de bobina 3-1 normalmente se mantiene fija durante la inspección de grietas de un material metálico. Si la disposición 1-1 se acciona en condiciones extremas, p. ej. a altas temperaturas, la disposición de bobina 3-1 puede enfriarse, por ejemplo, mediante un fluido refrigerante tal como agua. Esto se aplica a todos los ejemplos descritos aquí.

Durante el funcionamiento, el material metálico M que se debe inspeccionar para detectar grietas se mueve en una dirección A con respecto a la disposición de bobina 3-1, preferiblemente a una velocidad sustancialmente constante,

5 en un lado de la disposición de bobina 3-1. Para este fin, cada disposición de bobina 3-1 puede moverse linealmente a una velocidad sustancialmente constante o alternativamente el material metálico M puede moverse con respecto a la disposición de bobina 3-1. El material metálico M puede moverse, por ejemplo, con respecto a la disposición de bobina 3-1, por debajo de la disposición de bobina 3-1. Por lo tanto, la disposición de bobina 3-1 se puede colocar sobre una superficie 20 del material metálico M a medida que se mueve por debajo de la disposición de bobina 3-1. De este modo, la disposición de bobina 3-1 se puede usar para inspeccionar una banda S a lo largo de la superficie 20 del material metálico M. Cabe señalar que la disposición de bobina podría, naturalmente, también colocarse, p. ej. debajo del material metálico, obteniendo así el mismo efecto que si estuviera colocada sobre el material metálico.

10 Con el fin de inspeccionar grietas, y en particular para determinar parámetros de grieta adicionales tales como la dirección de grieta, la segunda parte de devanado 5b está dispuesta aguas abajo de la primera parte de devanado 5a con respecto a la dirección de movimiento A del material metálico M. La distancia desde la primera parte de devanado 5a y la distancia desde la segunda parte de devanado 5b hasta la superficie 20 del material metálico M durante la inspección de grietas es considerablemente menor que una distancia desde la base de la bobina transmisora triangular sustancialmente en ángulo recto al vértice entre el primer tramo y el segundo tramo. En general, para todos los ejemplos de bobinas transmisoras presentadas aquí, la distancia desde la bobina transmisora hasta la superficie del material metálico para inspeccionar en busca de grietas es considerablemente menor que el tamaño de la bobina transmisora en un plano paralelo a la superficie 20 cuando el material metálico M está en posición para su inspección.

20 En una primera etapa durante el funcionamiento, la bobina transmisora triangular sustancialmente en ángulo recto 11 se alimenta de una corriente variable en el tiempo  $i(t)$  procedente del generador de señal 13. Tanto la primera parte de devanado 5a como la segunda parte de devanado 5b son por tanto alimentadas con la misma corriente variable en el tiempo  $i(t)$ .

25 A medida que la corriente variable en el tiempo  $i(t)$  circula a través de la primera parte de devanado 5a, se genera un campo magnético alrededor de la primera parte de devanado 5a. Cuando el material metálico M está dispuesto adyacente a la primera parte de devanado 5a, el campo magnético generado alrededor de la primera parte de devanado 5a induce una primera corriente  $i_1$  en una parte de la banda S del material metálico M. La primera corriente  $i_1$  es sustancialmente paralela a la dirección de circulación de la corriente variable en el tiempo  $i(t)$  en la primera parte de devanado 5a, circulando la primera corriente  $i_1$  en la dirección opuesta con respecto a la dirección de circulación de la corriente variable en el tiempo  $i(t)$  en la primera parte de devanado 5a. Mediante la primera corriente  $i_1$  se genera un campo magnético alrededor de la primera corriente  $i_1$  en el material metálico M.

30 A medida que la corriente variable en el tiempo  $i(t)$  circula a través de la segunda parte de devanado 5b, se genera un campo magnético alrededor de la segunda parte de devanado 5b. Cuando el material metálico M está dispuesto adyacente a la segunda parte de devanado 5b, el campo magnético generado alrededor de la segunda parte de devanado 5b induce una segunda corriente  $i_2$  en una parte de la banda S del material metálico M.

35 La segunda corriente  $i_2$  es sustancialmente paralela a la dirección de circulación de la corriente variable en el tiempo  $i(t)$  en la segunda parte de devanado 5b, circulando la segunda corriente  $i_2$  en la dirección opuesta con respecto a la dirección de circulación de la corriente variable en el tiempo  $i(t)$  en la segunda parte de devanado 5b. Mediante la segunda corriente  $i_2$ , se genera un campo magnético alrededor de la segunda corriente  $i_2$  en el material metálico M.

40 Debido a la ubicación de la primera bobina receptora 7, con relación a la primera parte de devanado 5a, la primera bobina receptora 7 puede detectar el campo magnético. En este caso, el campo magnético induce una tensión en la primera bobina receptora 7, cuya tensión se amplifica en el primer circuito amplificador 7-1. La tensión amplificada, en lo sucesivo denominada primera señal S1, se envía a la unidad de procesamiento de señal 17.

45 Debido a la ubicación de la segunda bobina receptora 9, con relación a la segunda parte de devanado 5b, la segunda bobina receptora 9 puede detectar el campo magnético. En este caso, el campo magnético induce una tensión en la segunda bobina receptora 9, cuya tensión se amplifica en el segundo circuito amplificador 9-1. La tensión amplificada, en lo sucesivo denominada segunda señal S2, se envía a la unidad de procesamiento de señal 17.

50 Debido al movimiento del material metálico M, la primera corriente  $i_1$  y la segunda corriente  $i_2$  pueden inducirse en la misma parte del material metálico M en diferentes momentos en el tiempo. Para este fin, el campo magnético detectado por la primera bobina receptora 7 y el campo magnético detectado por la segunda bobina receptora 9 proporcionan una indicación de si hay o no una grieta en la parte inspeccionada de la banda y también información referente, por ejemplo, a la orientación de la grieta, como se describirá con más detalle a continuación.

55 Como la primera parte de devanado 5a y la segunda parte de devanado 5b tienen una orientación diferente, en este ejemplo son sustancialmente perpendiculares, y de ese modo están dispuestas para inducir la primera corriente  $i_1$  y la segunda corriente  $i_2$  en el material metálico M en una primera dirección y una segunda dirección, respectivamente, cruzándose entre sí la primera dirección y la segunda dirección, pueden detectarse grietas con una orientación diferente mediante la primera bobina receptora 7 y la segunda bobina receptora 9.

Las grietas que tienen una extensión longitudinal perpendicular a la extensión longitudinal de una parte de devanado 5a, 5b proporcionan un mayor cambio en la corriente inducida asociada con esa parte de devanado 5a, 5b y, por tanto, un mayor cambio en la tensión inducida en la bobina receptora asociada 7, 9 en comparación con una grieta que tiene una extensión longitudinal que es paralela a la extensión longitudinal de una parte de devanado 5a, 5b. Es decir, las direcciones de circulación sustancialmente perpendiculares de la primera corriente  $i_1$  y la segunda corriente  $i_2$  hacen que la primera corriente  $i_1$  y la segunda corriente  $i_2$  encuentren la misma grieta desde diferentes direcciones a medida que el material metálico se mueve en la dirección de movimiento. La primera corriente  $i_1$  y la segunda corriente  $i_2$  se alteran así de manera diferente, por lo que los campos magnéticos correspondientes se alteran de manera diferente. Como se puede ver en el ejemplo de la figura 1b, la grieta C pasa primero por debajo de la primera bobina receptora 7, alterando así la intensidad del campo magnético. Dado que la grieta es transversal a la primera parte de devanado 5a y, por tanto, a la primera corriente  $i_1$ , la intensidad del campo magnético se altera notablemente. El cambio en la intensidad del campo magnético es detectado por la primera bobina receptora 7.

A medida que el material metálico M se mueve en la dirección A, la grieta C en el material metálico M también se mueve en la dirección A. Con el tiempo, la grieta C se moverá por debajo de la segunda bobina receptora 9. La grieta C tiene una dirección principal de extensión sustancialmente paralela a la segunda parte de devanado 5b y, por tanto, a la segunda corriente  $i_2$ . Por lo tanto, la intensidad del campo magnético se altera menos que al pasar la primera bobina receptora 7.

El cambio detectado en las intensidades del campo magnético se refleja en las tensiones inducidas en la primera bobina receptora 7 y en la segunda bobina receptora 9. Como resultado de ello, la primera señal y la segunda señal proporcionadas por el primer circuito amplificador 7-1 y el segundo circuito amplificador 9-1, respectivamente, también reflejan el cambio en las intensidades del campo magnético.

La primera señal S1 y la segunda señal S2 se analizan y se convierten de analógicas a digitales A/D en la unidad de procesamiento de señal 17. El análisis de la primera señal S1 y la segunda señal S2 puede implicar, por ejemplo, determinar valores medios de cada una de la primera señal S1 y la segunda señal S2 entre puntos específicos en el tiempo basándose en cambios de tiempo en la corriente variable en el tiempo  $i(t)$ . Los puntos específicos en el tiempo basados en cambios de tiempo en la corriente variable en el tiempo  $i(t)$  pueden ser proporcionados por la señal de control C2 procedente de la unidad de control 15.

Las señales convertidas A/D de la primera señal S1 y la segunda señal S2 se proporcionan a la unidad informática 19. Los valores de señal de las señales convertidas A/D se comparan en una primera etapa con valores de referencia correspondientes a un material metálico sin grietas y que tiene la misma composición metálica que el material metálico M. La comparación puede implicar, por ejemplo, determinar una diferencia entre el valor de señal de cada señal convertida A/D y el valor de referencia.

Basado en la comparación de los valores de señal de las señales convertidas A/D con los valores de referencia, los parámetros de grieta tales como la longitud de grieta, la dirección de grieta y la profundidad de grieta pueden determinarse en la unidad informática 19. La dirección de grieta puede, por ejemplo, determinarse determinando una relación entre los valores obtenidos al determinar las diferencias entre el valor de referencia y cada una de las señales convertidas A/D.

En los ejemplos en los que  $\alpha$  es 90 grados, un ángulo de grieta  $\beta$ , es decir, la dirección de grieta, con respecto a la perpendicular de una de la primera parte de devanado 5a y la segunda parte de devanado 5b se puede determinar mediante la relación:

$$B = 57,3 \cdot \arccot(dS1/dS2)$$

donde dS1 es el cambio de la señal proporcionada por la primera bobina receptora 7 debido a una grieta y dS2 es el cambio de la señal proporcionada por la segunda bobina receptora 9 debido a la grieta. Debe observarse que la relación anterior puede utilizarse en cualquiera de los cuatro ejemplos presentados aquí cuando el ángulo entre una primera parte de devanado y una segunda parte de devanado es de 90 grados y la primera parte de devanado y la segunda parte de devanado están dispuestas para detectar grietas a lo largo de la misma banda.

A medida que el material metálico M se mueve en la dirección A, se puede inspeccionar toda la banda S para detectar grietas mediante el proceso descrito anteriormente.

La disposición de bobina 3-1 puede estar orientada de manera que, en relación con un material metálico para inspección, cada una de la primera parte de devanado 5a y la segunda parte de devanado 5b se cruce con la dirección de movimiento A del material metálico M en aproximadamente 45 grados. En este ejemplo, lo mismo se aplica para el devanado 7a de la primera bobina receptora 7 y para el devanado 9a de la segunda bobina receptora 9.

La primera parte de devanado puede estar dispuesta sustancialmente perpendicular a la dirección de movimiento del material metálico, y la segunda parte de devanado está dispuesta sustancialmente paralela a la dirección de movimiento del material metálico. El devanado de la primera bobina receptora está dispuesto sustancialmente

paralelo a la primera parte de devanado y el devanado de la segunda bobina receptora está dispuesto sustancialmente paralelo a la segunda parte de devanado.

Un segundo ejemplo de una disposición para detectar grietas se describirá ahora con referencia a las figuras 2a-b. La segunda realización es especialmente adecuada para detectar grietas que son sustancialmente perpendiculares o paralelas a la dirección de movimiento de un material metálico que se inspecciona en busca de grietas.

La figura 2a muestra una vista esquemática de una disposición 1-2 para la detección de grietas a lo largo de una banda de un material metálico en movimiento. La disposición 1-2 comprende una disposición de bobina 3-2, un primer circuito amplificador 7-1, un segundo circuito amplificador 9-1, un generador de señal 13-1 que en este ejemplo que comprende un primer transistor 13a y un segundo transistor 13b, un control la unidad 15 para controlar el generador de señal 13-1, unidades de procesamiento de señal 17-1 y 17-2 y una unidad informática 23.

La disposición de bobina 3-2 comprende una primera bobina transmisora 21-1 que tiene una primera parte de devanado 21a que define un lado de la primera bobina transmisora 21-1, una segunda bobina transmisora 21-2 que tiene una segunda parte de devanado 21b que define un lado de la segunda bobina transmisora 21-2, una primera bobina receptora 7 que tiene una parte de devanado 7a y una segunda bobina receptora 9 que tiene una parte de devanado 9a.

La primera bobina transmisora 21-1 y la segunda bobina transmisora 21-2 son bobinas independientes. En particular, la primera parte de devanado 21a y la segunda parte de devanado 21b están separadas eléctricamente en el sentido de que cada una de la primera parte de devanado 21a y la segunda parte de devanado 21b puede alimentarse con una corriente individual variable en el tiempo. En el ejemplo mostrado en la figura 2a, cada una de la primera bobina transmisora 21-1 y la segunda bobina transmisora 21-2 tiene una forma sustancialmente rectangular.

La primera parte de devanado 21a y la segunda parte de devanado 21b son sustancialmente perpendiculares entre sí. La primera parte de devanado 21a y la segunda parte de devanado 21b están dispuestas para recibir corrientes variables en el tiempo  $i(t)$  procedentes del generador de señal 13-1 a través de sus respectivos transistores 13a y 13b. De ese modo, se genera un campo magnético respectivo en una parte de una banda de un material metálico que se mueve por debajo de la disposición de bobina 3-2, induciendo una primera corriente y una segunda corriente, respectivamente, en el material metálico como se explica adicionalmente con referencia a la figura 2b más abajo.

La primera bobina receptora 7 y la segunda bobina receptora 9 están orientadas de tal manera en relación con la primera parte de devanado 21a y la segunda parte de devanado 21b, respectivamente, que pueden detectar un campo magnético respectivo generado por la primera corriente y la segunda corriente

En una realización, la parte de devanado 7a de la primera bobina receptora 7 puede definirse como el devanado de la primera bobina receptora 7 que es sustancialmente paralelo a la primera parte de devanado 21a, mientras que la parte de devanado 9a de la segunda bobina receptora 9 puede definirse como el devanado de la segunda bobina receptora 9 que es sustancialmente paralelo a la segunda parte de devanado 21b. Debe observarse que la primera bobina receptora 7 y la segunda bobina receptora 9 en el segundo ejemplo son estructuralmente las mismas que en el primer ejemplo. Además, debe observarse que la primera bobina receptora y la segunda bobina receptora pueden estar dispuestas en una pluralidad de orientaciones con respecto a la primera parte de devanado y la segunda parte de devanado siempre que estén colocadas de manera que puedan detectar las corrientes inducidas en el material metálico para inspección mediante la primera parte de devanado y la segunda parte de devanado, respectivamente.

La primera bobina receptora 7 está dispuesta en un lado de la primera parte de devanado 21a. La segunda bobina receptora 9 está dispuesta en un lado de la segunda parte de devanado 21b. En particular, tanto la primera bobina receptora 7 como la segunda bobina receptora 9 están dispuestas en el mismo plano que la primera parte de devanado y la segunda parte de devanado, es decir, en un plano paralelo a una superficie de un material metálico para inspeccionar en busca de grietas.

La extensión de cada una de la primera parte de devanado 21a y la segunda parte de devanado 21b es sustancialmente constante a al menos una distancia  $d$  correspondiente a la extensión longitudinal del devanado 7a de la primera bobina receptora 7 y el devanado 9a de la segunda bobina receptora 9, respectivamente.

La disposición 1-2 se describirá ahora con más detalle en funcionamiento con referencia a la figura 2b. En la figura 2b, se muestra un material metálico M con una primera grieta C-1 y una segunda grieta C-2 a lo largo de una banda S para inspeccionar en busca de grietas, junto con la disposición 1-2. En el ejemplo de la figura 2b, el material metálico M tiene una dirección de movimiento A, que está hacia abajo en el dibujo. Cuando se inspecciona el material metálico M en busca de grietas, se prefiere que el material metálico M se mueva a una velocidad constante por debajo de la disposición de bobina 3-2.

La unidad de control 15 está dispuesta para proporcionar señales de control al generador de señal 13-1 para controlar de ese modo las corrientes variables en el tiempo  $i(t)$  proporcionadas por el primer transistor 13a y el segundo transistor 13b a la primera parte de devanado 21a y la segunda parte de devanado 21b, respectivamente. Las señales de control son preferiblemente tales que el generador de señal 13-1, a través del primer transistor 13a y el segundo transistor 13b, puede proporcionar alternativamente una corriente variable en el tiempo  $i(t)$  a cada una de



la primera parte de devanado 21a y la segunda parte de devanado 21b para inducir de manera alterna una primera corriente  $i_1$  y una segunda corriente  $i_2$  en el material metálico M.

De ese modo, en una primera etapa de inspección de grietas del material metálico M, la primera bobina transmisora 21-1 recibe una corriente variable en el tiempo  $i(t)$  en forma de un impulso de corriente procedente del primer transistor 13a que en la primera etapa está en su estado abierto. El impulso de corriente puede tener amplitud constante. La corriente durante esta primera etapa es preferiblemente constante y la duración del impulso de corriente es al menos lo suficientemente largo como para permitir que el campo magnético creado de ese modo penetre a una profundidad en el material metálico sustancialmente mayor que la profundidad de la grieta más profunda para medir.

En una segunda etapa, la unidad de control 15 controla el primer transistor 13a de manera que el primer transistor 13a se cierra, en donde el primer transistor 13a no proporciona corriente. La duración de la segunda etapa es en una realización aproximadamente la misma que la duración del impulso de corriente aplicado en la primera etapa. La primera corriente  $i_1$ , en respuesta a la caída repentina de la magnitud de corriente, es inducida en el material metálico M mediante la primera parte de devanado 21a. La primera corriente  $i_1$  circula en una dirección paralela a la extensión de la primera parte de devanado 21a. Se proporciona un campo magnético generado por la primera corriente  $i_1$  y detectado por la primera bobina receptora 7 al primer circuito amplificador 7-1.

En una tercera etapa, la segunda bobina transmisora 21-2 recibe una corriente variable en el tiempo  $i(t)$  en forma de un impulso de corriente procedente del segundo transistor 13b que en la tercera etapa está en su estado abierto. El impulso de corriente puede tener amplitud constante. En una realización, todos los impulsos de corriente tienen sustancialmente la misma amplitud. La tercera etapa es similar a la primera etapa descrita anteriormente para la primera bobina transmisora 21-1.

En una cuarta etapa, la unidad de control 15 controla el segundo transistor 13b de modo que el segundo transistor 13b se cierra, en donde el segundo transistor 13b no proporciona corriente. La duración de la cuarta etapa es la misma o sustancialmente la misma que la duración de la segunda etapa. La segunda corriente  $i_2$ , en respuesta a la caída repentina de la magnitud de corriente, es inducida en el material metálico M mediante la segunda parte de devanado 21b. La segunda corriente  $i_2$  circula en una dirección paralela a la extensión de la segunda parte de devanado 21b. Un campo magnético generado por la segunda corriente  $i_2$  y detectado por la segunda bobina receptora 9 se proporciona al segundo circuito amplificador 9-1.

El primer circuito amplificador 7-1 proporciona una primera señal S1, que es una señal amplificada del campo magnético detectado proporcionado por la primera bobina receptora 7 a la unidad de procesamiento de señal 17-1. El segundo circuito amplificador 9-1 proporciona una segunda señal S2, que es una señal amplificada del campo magnético detectado proporcionado por la segunda bobina receptora 9 a la unidad de procesamiento de señal 17-2. La primera señal S1 y la segunda señal S2 pueden procesarse adicionalmente en la unidad informática 23 para comparar con valores de referencia de un material metálico sin grietas y para comparar entre ellas para determinar si hay o no una grieta en esa parte de la banda en la que se han inducido la primera corriente  $i_1$  y la segunda corriente  $i_2$ . Además, también se determina la dirección de una grieta detectada.

El procedimiento anterior se repite cuando el material metálico M se mueve en relación con la disposición 1-2 para inspeccionar de ese modo toda la banda S.

La figura 3 ilustra una disposición para detectar grietas en un material metálico M. La disposición 1-3 es similar a la disposición 1-2. Sin embargo, la disposición de bobina 3-3 comprende una bobina transmisora 24, una primera bobina receptora 7, una segunda bobina receptora 9, una tercera bobina receptora 25 y una cuarta bobina receptora 27.

La bobina transmisora 24 tiene una primera parte de devanado 24a dispuesta adyacente a la primera bobina receptora 7 y la tercera bobina receptora 25, una segunda parte de devanado 24b dispuesta perpendicular o sustancialmente perpendicular a la primera parte de devanado 24a y una tercera parte de devanado 24c dispuesta perpendicular o sustancialmente perpendicular a la primera parte de devanado 24a y adyacente a la cuarta bobina receptora 27.

La disposición 1-3 comprende además un generador de señal 13-2, por ejemplo, en forma de un transistor, una unidad de control 15, un primer circuito amplificador 7-1, un segundo circuito amplificador 9-1, un tercer circuito amplificador 10-1, un cuarto circuito amplificador 11-1, una unidad de procesamiento de señal 17 y una unidad informática 19.

El funcionamiento del tercer ejemplo es similar a los ejemplos anteriores y, por tanto, solo se describirá brevemente aquí.

En funcionamiento, el generador de señal 13-2 se alimenta con señales de control procedentes de la unidad de control 15 para controlar la conmutación del generador de señal 13-2 que de ese modo puede alimentar una corriente variable en el tiempo  $i(t)$  al transmisor bobina 24, y así a cada una de la primera parte de devanado 24a, la

segunda parte de devanado 24b y la tercera parte de devanado 24c. La corriente variable en el tiempo  $i(t)$  puede ser, por ejemplo, impulsos de corriente, como se ha descrito anteriormente.

5 A medida que la corriente variable en el tiempo  $i(t)$  circula por la bobina transmisora 24 induce corrientes, y por tanto campos magnéticos, en diferentes direcciones en un material metálico M que se mueve en una dirección A en relación con la disposición de bobina 3-3. La primera parte de devanado 24a induce una primera corriente  $i_1$  en una primera dirección en el material metálico. La segunda parte de devanado 24b induce una segunda corriente  $i_2$  en el material metálico M, siendo la segunda corriente  $i_2$  sustancialmente perpendicular a la primera corriente  $i_1$ . La tercera parte de devanado 24c induce una tercera corriente  $i_3$  en el material metálico M sustancialmente paralela a la segunda corriente  $i_2$ .

10 La primera bobina receptora 7 está dispuesta para poder detectar un campo magnético creado por la primera corriente  $i_1$ . La segunda bobina receptora 9 está dispuesta para poder detectar un campo magnético creado por la segunda corriente  $i_2$ . La tercera bobina receptora 25 está dispuesta para poder detectar un campo magnético creado por la primera corriente  $i_1$  en una ubicación diferente a la de primera bobina receptora 7. La cuarta bobina receptora 27 está dispuesta para poder detectar la tercera corriente  $i_3$ .

15 La segunda bobina receptora 7 es para detectar grietas a lo largo de una primera banda Sa del material metálico M. La primera bobina receptora 9 es para detectar grietas a lo largo de una segunda banda Sb del material metálico M. La tercera bobina receptora 25 es para detectar grietas a lo largo de una tercera banda Sc del material metálico M y la cuarta bobina receptora 27 es para detectar grietas a lo largo de una cuarta banda Sd del material metálico M, siendo las bandas Sa-Sd bandas paralelas. Tal como se ha explicado anteriormente, la orientación de la primera parte de devanado 24a, la segunda parte de devanado 24b y la tercera parte de devanado 24c determinan la orientación de grietas que pueden detectarse de manera eficaz a lo largo de las bandas Sa-Sd.

20 Cuando la primera bobina receptora 7, la segunda bobina receptora 9, la tercera bobina receptora 25 y la cuarta bobina receptora 27 han detectado campos magnéticos respectivos mediante la inducción de corrientes en cada una de las bobinas receptoras 7, 9, 25 y 27, estas señales, es decir, corrientes, se envían a los circuitos amplificadores 7-1 a 11-1, respectivamente, antes de ser recibidas por la unidad de procesamiento de señal 17 y la unidad informática 19 para un procesamiento adicional y determinar si hay o no una grieta en una banda.

25 La figura 4 muestra una vista de un cuarto ejemplo de una disposición para detectar grietas en un material metálico M. La disposición 1-4 comprende una disposición de bobina 3-4, un generador de señal 13-2 y unidades informáticas 19-1 y 19-2.

30 La disposición 1-4 puede usarse para detectar grietas que son paralelas a una dirección de movimiento A del material metálico M en relación con una disposición de bobina 3-4 de la disposición 1-4, grietas que son sustancialmente perpendiculares a la dirección del movimiento A y también grietas que tienen una orientación entre estos extremos.

35 La disposición de bobina 3-4 comprende una pluralidad de bobinas transmisoras 24, dispuestas en una primera fila R1 y una segunda fila R2, solapándose parcialmente las bobinas transmisoras 24 de la segunda fila R2 con las bobinas transmisoras 24 de la primera fila R1. Las bobinas transmisoras 24 de la segunda fila R2 están desplazadas, en una dirección perpendicular a la dirección de movimiento A del material metálico M, con respecto a la disposición de bobina 3-4 en relación con las bobinas transmisoras 24 de la primera fila R1. La segunda fila R2 está aguas abajo en relación con la primera fila R1 en la dirección del movimiento A del material metálico M con respecto a la disposición de bobina 3-4. Mediante esta configuración de bobina, se puede realizar un escaneo con una resolución relativamente alta con respecto a las grietas en toda la superficie del material metálico M.

40 El solapamiento entre la primera fila R1 y la segunda fila R2 puede seleccionarse arbitrariamente. En una variante del cuarto ejemplo, las bobinas transmisoras de la segunda fila no están desplazadas con respecto a la primera fila de las bobinas transmisoras.

45 Cada bobina transmisora 24 tiene una primera parte de devanado 24a, una segunda parte de devanado 24b y una tercera parte de devanado 24c, como se describe anteriormente en relación con la descripción del tercer ejemplo. Además, cada bobina transmisora 24 que no está dispuesta para escanear una parte lateral del material metálico M, está asociada con cuatro bobinas receptoras colocadas a los lados de la primera parte de devanado 24a, la segunda parte de devanado 24b y la tercera parte de devanado 24c, como ya se ha explicado con referencia a la tercera realización.

50 Las bobinas transmisoras 24 de la primera fila R1 y la segunda fila R2 se alimentan con corrientes variables en el tiempo  $i(t)$  proporcionadas por el generador de señal 13-2. El generador de señal 13-2 puede implementarse, por ejemplo, mediante una cadena de transistores. Cada bobina transmisora 24 puede alimentarse con la corriente variable en el tiempo  $i(t)$  a través de un transistor respectivo. La conmutación del generador de señal 13-2 puede controlarse mediante la unidad de control 15.

55 En una realización, la corriente variable en el tiempo  $i(t)$  es un tren de impulsos de corriente. El generador de señal 13-2 se conmuta preferiblemente de modo que solo una bobina transmisora 24 reciba a la vez un impulso de

- 5 corriente procedente del generador de señal 13-2. Las bobinas transmisoras 24 pueden alimentarse con un impulso de corriente de manera sucesiva, en donde los campos magnéticos generados por una bobina transmisora 24 pueden ser detectados por sus bobinas receptoras asociadas antes de que otra bobina transmisora 24 sea alimentada con un impulso de corriente. En una realización, los impulsos de corriente se alimentan a las bobinas transmisoras 24 en el siguiente orden: a, b, c, d, e, donde a, b, c, d y e indican un orden de disposición de las bobinas transmisoras 24. La secuencia se repite posteriormente. Cada bobina transmisora puede activarse en una realización durante aproximadamente 20 milisegundos, en donde las mediciones asociadas con esa bobina transmisora se llevan a cabo durante aproximadamente 0,1 milisegundos después de la desactivación de la bobina transmisora.
- 10 En una variante, puede activarse cualquier otra bobina transmisora 24 en cada secuencia de medición. En una primera secuencia, pueden activarse, por ejemplo, las bobinas transmisoras 24 en las posiciones a, c y e, en donde en la siguiente secuencia, pueden activarse las bobinas transmisoras 24 en las posiciones b y d. Estas secuencias se repiten a medida que el material metálico se mueve en la dirección A en relación con la disposición de bobina 3-4. Esto puede ser beneficioso si una secuencia se lleva a cabo más rápidamente de lo que sería posible activando sucesivamente todas las bobinas transmisoras en cada repetición de la secuencia.
- 15 Como se ha explicado anteriormente, las mediciones se llevan a cabo normalmente mediante bobinas receptoras después de un impulso de corriente, p. ej. cuando la amplitud de corriente se ha establecido sustancialmente en cero. Las mediciones mediante las bobinas receptoras asociadas a esa bobina transmisora 24 se realizan normalmente antes de que se proporcione el siguiente impulso de corriente a otra bobina transmisora 24. Este procedimiento es el mismo que el descrito anteriormente con respecto al tercer ejemplo.
- 20 Todas las señales detectadas por las bobinas receptoras dispuestas para detectar una primera corriente respectiva se envían a la unidad informática 19-1 para su procesamiento. Todas las señales detectadas por las bobinas receptoras dispuestas para detectar una segunda corriente o una tercera corriente respectivas se envían a la unidad informática 19-2 para su procesamiento. Las grietas que tienen diferente orientación pueden ser evaluadas y detectadas.
- 25 En cualquiera de los cuatro ejemplos descritos anteriormente, la disposición de bobina puede estar dispuesta en o sobre un sustrato, definiendo así una disposición de bobina sustancialmente plana, que tiene una dimensión de longitud y una dimensión de anchura sustancialmente mayores que la dimensión de altura, cuya dimensión de altura está en una dirección paralela a una perpendicular a la superficie del material metálico para inspeccionar cuando se dispone debajo de la disposición de bobina. Sin embargo, debe observarse que otros diseños también son posibles dentro del ámbito de aplicación de esta descripción.
- 30 El concepto inventivo se ha descrito antes principalmente con referencia a algunas realizaciones. Sin embargo, como puede apreciar fácilmente una persona experta en la técnica, otras realizaciones diferentes a las descritas antes son igualmente posibles dentro del ámbito de aplicación de la invención, como se define en las reivindicaciones adjuntas. La extensión longitudinal de las bobinas receptoras puede, por ejemplo, diferir entre ellas. Además, la forma de las bobinas transmisoras puede ser de cualquier tipo, tal como circular o elíptica, siempre que la extensión de la primera parte de devanado y la segunda parte de devanado sea sustancialmente constante en una distancia correspondiente a la longitud de las bobinas receptoras correspondientes. Las bobinas receptoras también pueden tener diferentes formas.
- 35
- 40

**REIVINDICACIONES**

1. Disposición (1-1; 1-2; 1-3; 1-4) para detectar grietas a lo largo de una banda (S) de un material metálico (M) que se mueve en relación con la disposición, comprendiendo la disposición (1-1; 1-2; 1-3; 1-4):

una disposición de bobina (3-1; 3-2; 3-3) que tiene:

5 - una primera parte de devanado (5a; 21a; 24a) que se extiende en una primera dirección para inducir una primera corriente ( $i_1$ ) en la primera dirección en una parte de la banda (S),

- una segunda parte de devanado (5b; 21b; 24b) que se extiende en una segunda dirección para inducir una segunda corriente ( $i_2$ ) en la segunda dirección en la parte de la banda (S), cruzándose entre sí la primera dirección y la segunda dirección, en donde la primera parte de devanado (5a; 21a; 24a) y la segunda parte de devanado (5b; 21b; 24b) forman parte de bobinas separadas eléctricamente,

10 - una primera bobina receptora (7) dispuesta para detectar un campo magnético generado por la primera corriente ( $i_1$ ) y una segunda bobina receptora (9) dispuesta para detectar un campo magnético generado por la segunda corriente ( $i_2$ ), proporcionando el campo magnético generado por la primera corriente ( $i_1$ ) y el campo magnético generado por la segunda corriente ( $i_2$ ) una indicación de si una grieta está o no presente en la parte de la banda (S) y una dirección de la grieta,

en donde la primera bobina receptora (7) está dispuesta en un lado de la primera parte de devanado (5a; 21a; 24a) y la segunda bobina receptora (9) está dispuesta en un lado de la segunda parte de devanado (5b; 21b; 24b), estando tanto la primera bobina receptora (7) como la segunda bobina receptora (9) dispuestas en el mismo plano que la primera parte de devanado (5a; 21a; 24a) y la segunda parte de devanado (5b; 21b; 24b),

20 un generador de señal (13; 13-1; 13-2) dispuesto para alimentar una corriente individual variable en el tiempo en forma de un tren de impulsos, a cada una de la primera parte de devanado (5a; 21a; 24a) y la segunda parte de devanado (5b; 21b; 24b) para inducir la primera corriente ( $i_1$ ) y la segunda corriente ( $i_2$ ) en el material metálico (M),

25 una unidad de control (15) para controlar el generador de señal (13; 13-1; 13-2) para proporcionar de manera alterna la corriente variable en el tiempo a cada una de la primera parte de devanado (5a; 21a; 24a) y la segunda parte de devanado (5b; 21b; 24b) para así inducir de manera alterna la primera corriente ( $i_1$ ) y la segunda corriente ( $i_2$ ) en el material metálico (M).

2. Disposición (1-1; 1-2; 1-3; 1-4) según la reivindicación 1, en la que la primera dirección y la segunda dirección son sustancialmente perpendiculares.

30 3. Disposición (1-1; 1-2; 1-3; 1-4) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que un devanado (7a) de la primera bobina receptora (7) está dispuesto paralelo a la primera parte de devanado (5a; 21a; 24a) y un devanado (9a) de la segunda bobina receptora (9) está dispuesto paralelo a la segunda parte de devanado (5b; 21b; 24b).

35 4. Disposición (1-1; 1-2; 1-3; 1-4) según la reivindicación 3, en la que la primera parte de devanado (5a; 21a; 24a) tiene una dirección constante de extensión a lo largo de una distancia ( $w$ ;  $d$ ), donde la primera parte de devanado (5a; 21a; 24a) es paralela al devanado (7a) de la primera bobina receptora (7) y la segunda parte de devanado (5b; 21b; 24b) tiene una dirección constante de extensión a lo largo de una distancia ( $d$ ), donde la segunda parte de devanado (5b; 21b; 24b) es paralela al devanado (9a) de la segunda bobina receptora (9).

5. Disposición (1-2) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que cada una de la primera parte de devanado (5a; 21a; 24a) y la segunda parte de devanado (5b; 21b; 24b) forma parte de una bobina transmisora con forma rectangular respectiva (21-1, 21-2).

40 6. Disposición (1-1; 1-2; 1-3; 1-4) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la unidad informática (19; 19-1; 19-2) está dispuesta para recibir señales basadas en el campo magnético detectado por la primera bobina receptora (7) y en el campo magnético detectado por la segunda bobina receptora (9) para determinar si hay o no una grieta (C) en la banda (S).

45 7. Disposición (1-1; 1-2; 1-3; 1-4) según la reivindicación 6, en la que la unidad informática (19; 19-1; 19-2) está dispuesta para determinar una dirección de extensión de una grieta detectada (C) basándose en el campo magnético detectado por la primera bobina receptora (7) y en el campo magnético detectado por la segunda bobina receptora (9).

8. Disposición (1-3; 1-4) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende:

50 - una tercera bobina receptora (25) que tiene un devanado (25a) dispuesto a lo largo del mismo eje que la primera bobina receptora (7), estando dispuesto el devanado (25a) de la tercera bobina receptora (25) para detectar el campo magnético generado por la primera corriente ( $i_1$ ).

5 9. Disposición (1-3; 1-4) según la reivindicación 9, que tiene una tercera parte de devanado (24c) paralela a la segunda parte de devanado (24b) para inducir una tercera corriente ( $i_3$ ) en el material metálico (M), y una cuarta bobina receptora (27) que tiene un devanado (27a) dispuesto paralelo al devanado (9a) de la segunda bobina receptora (9), estando dispuesto el devanado (27a) de la cuarta bobina receptora (27) para detectar un campo magnético generado por la tercera corriente ( $i_3$ ) en el material metálico (M).

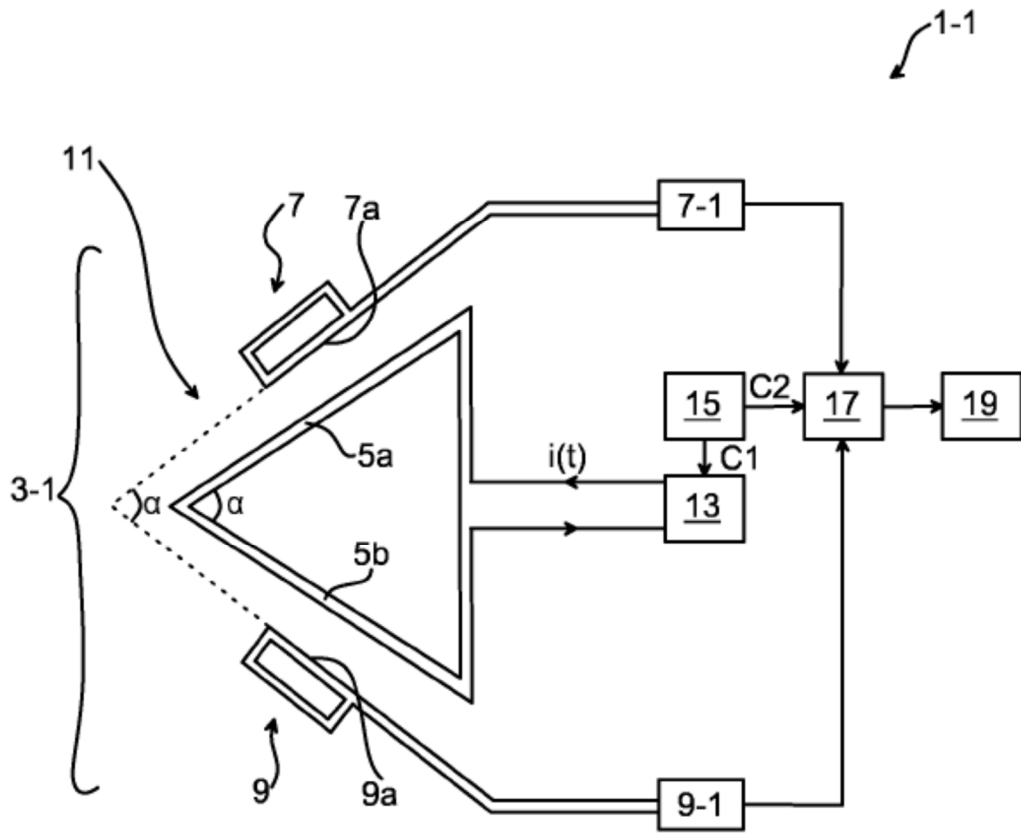


Fig. 1a

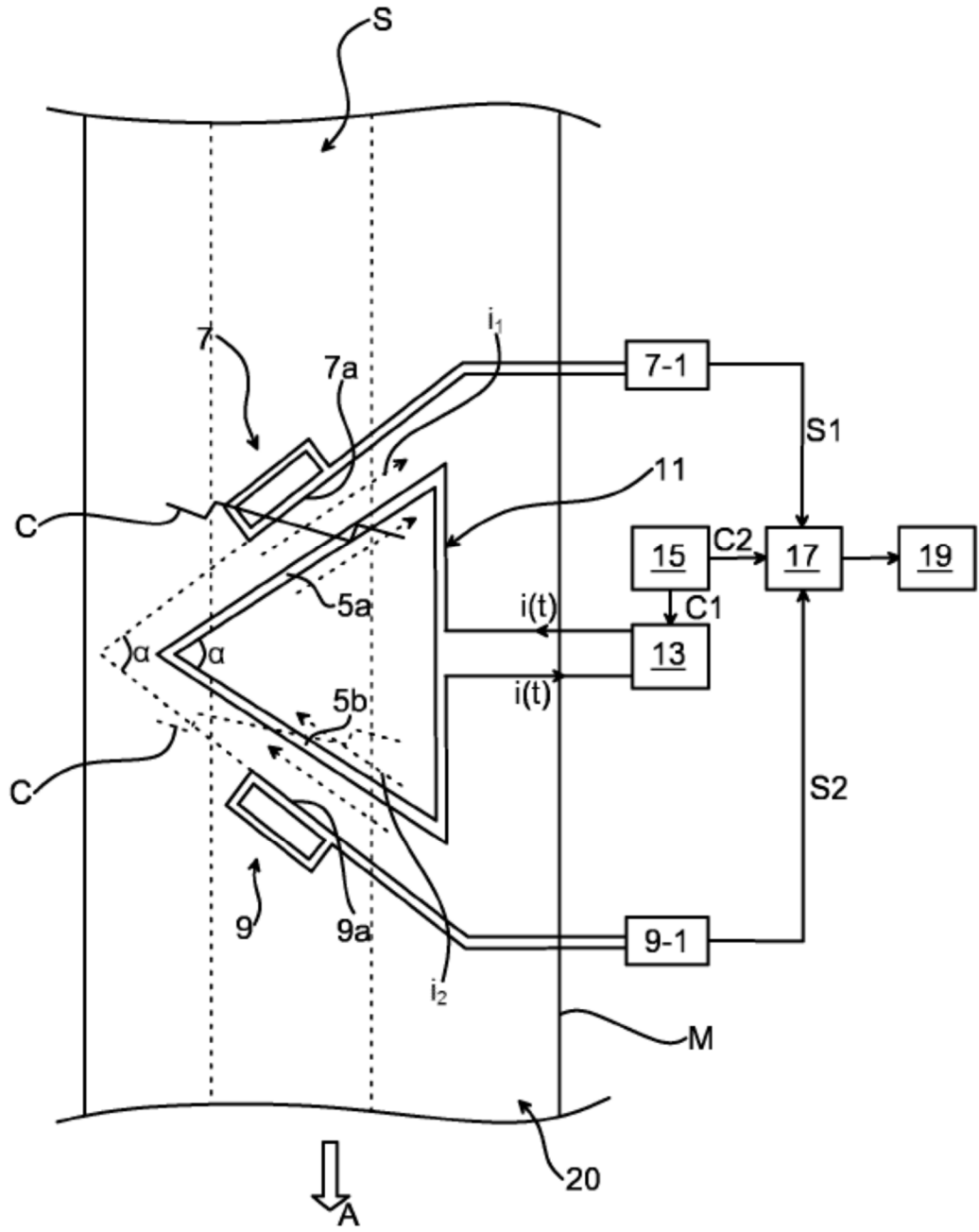


Fig. 1b

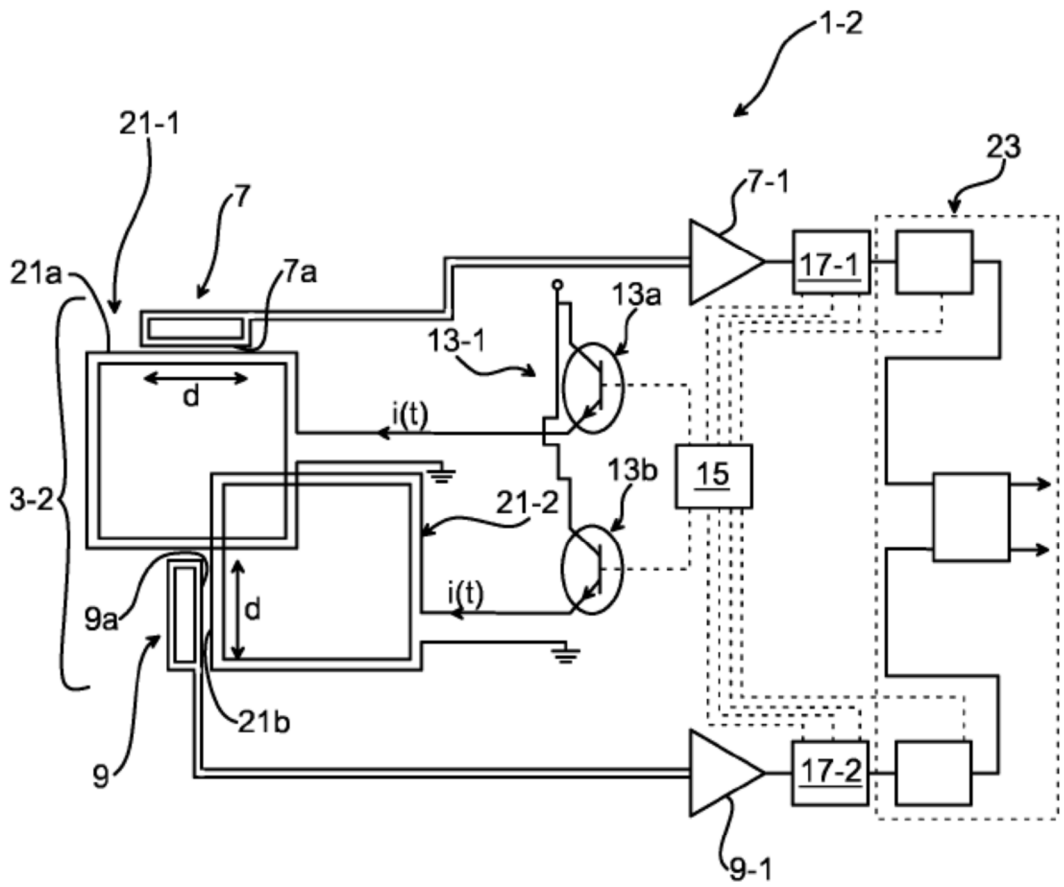


Fig. 2a



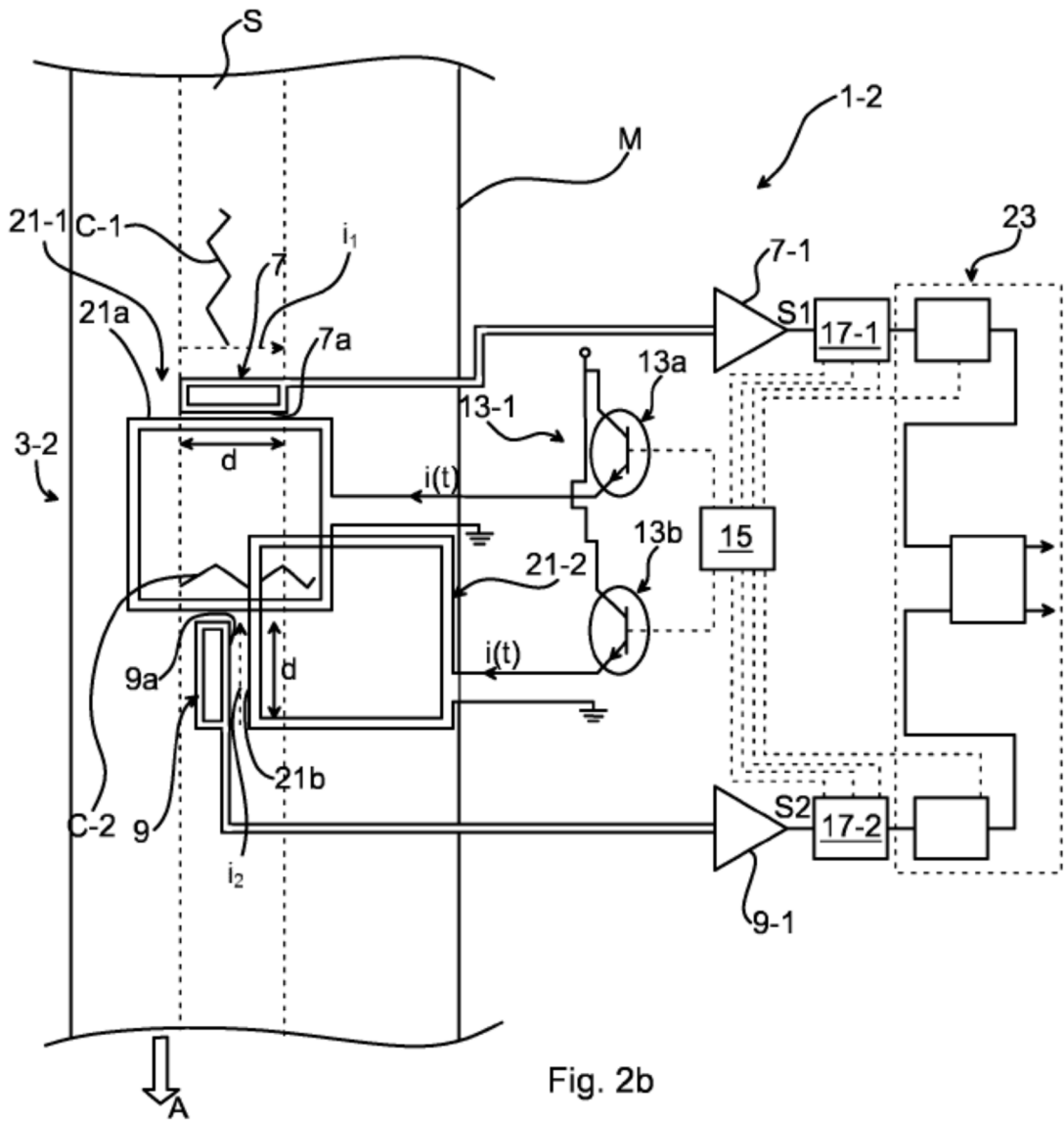


Fig. 2b

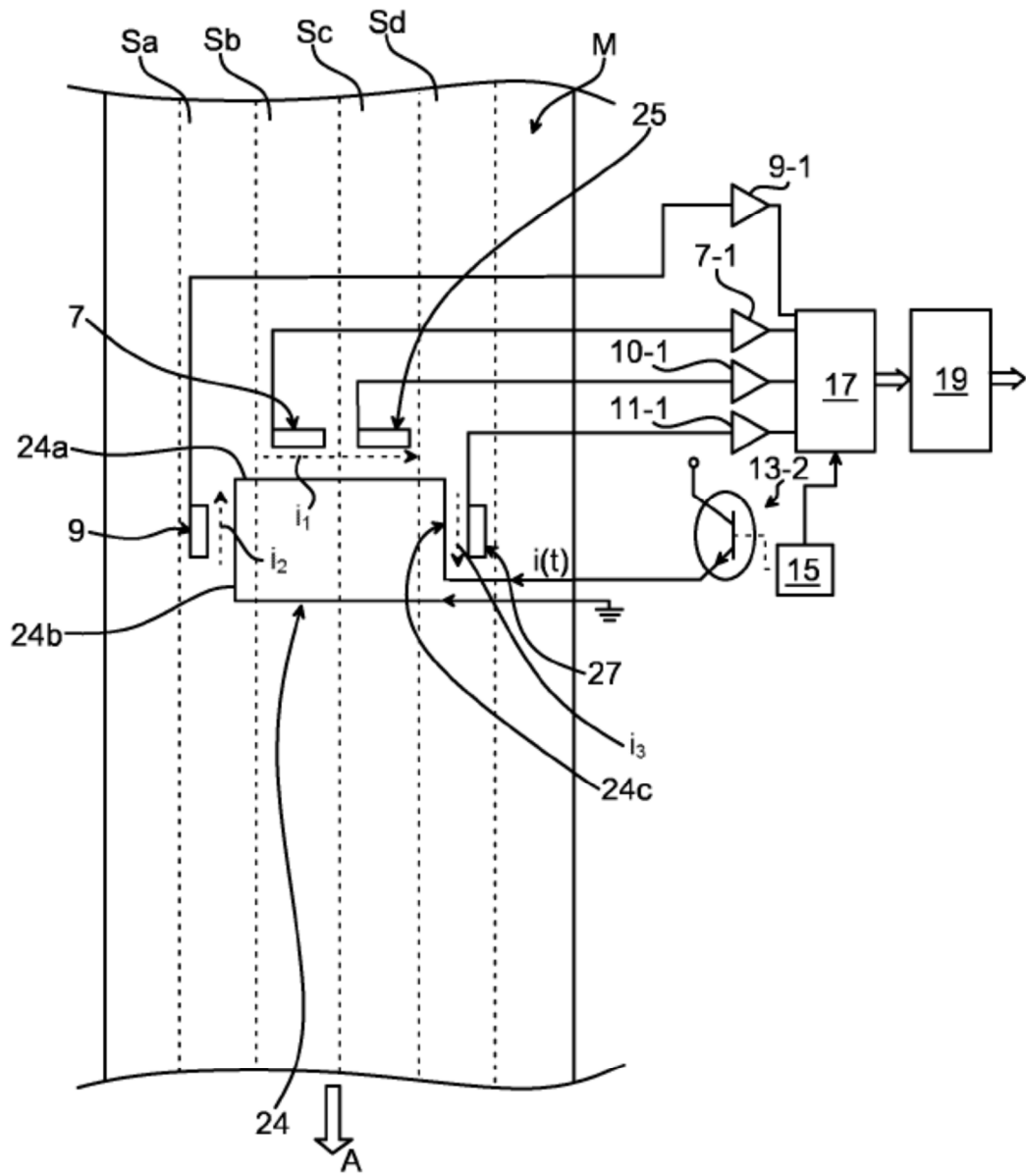


Fig. 3

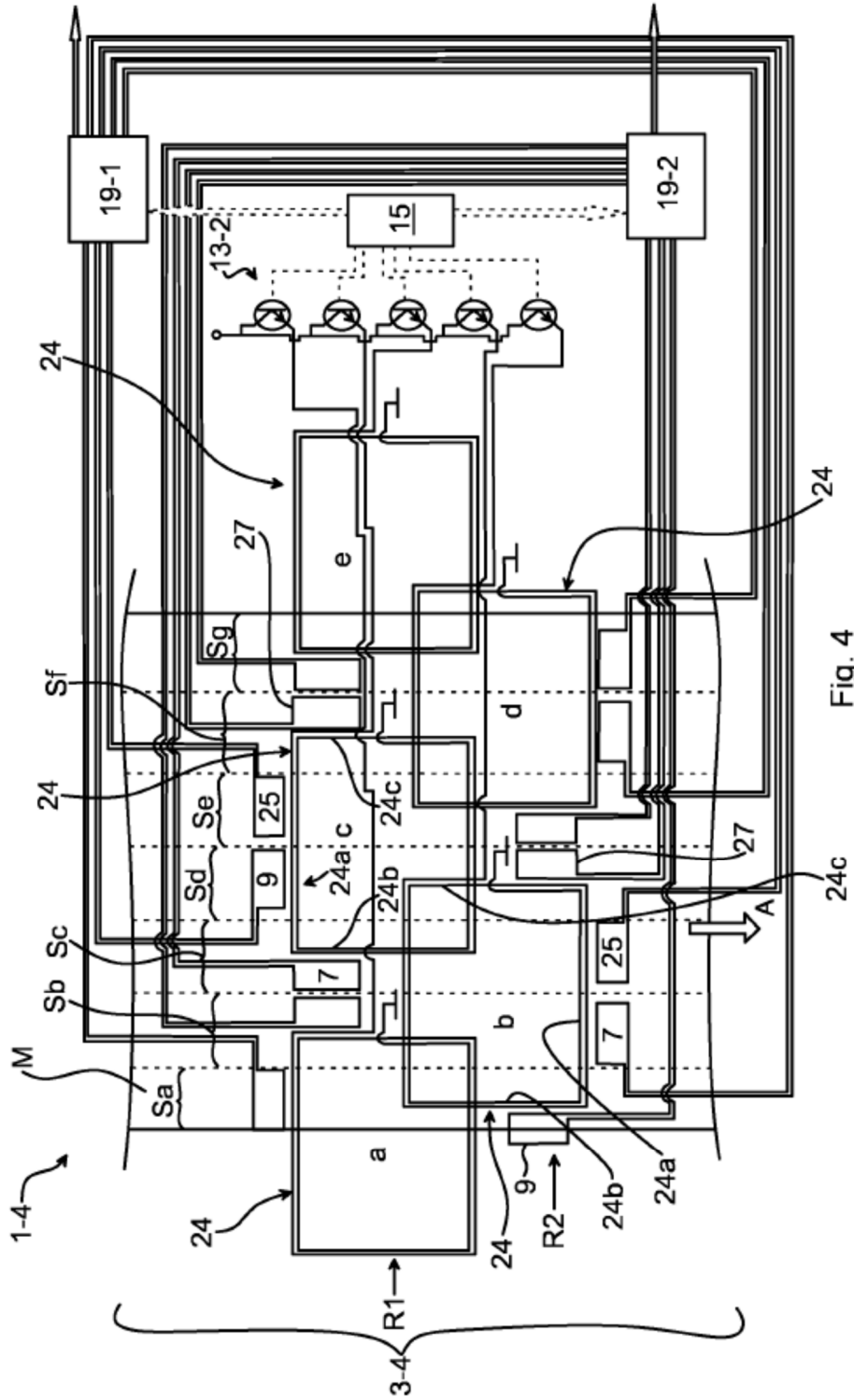


Fig. 4