

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 746 969**

51 Int. Cl.:

**G01N 27/90** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.05.2014 PCT/FR2014/051060**

87 Fecha y número de publicación internacional: **13.11.2014 WO14181061**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.05.2014 E 14727886 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.06.2019 EP 2994746**

54 Título: **Cabeza de control de un sensor de control no destructivo por corrientes de Foucault y sensor que consta de dicha cabeza de control**

30 Prioridad:

**10.05.2013 FR 1354218**

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

**09.03.2020**

73 Titular/es:

**COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET  
AUX ÉNERGIES ALTERNATIVES (100.0%)  
25, Rue Leblanc, Bâtiment "Le Ponant D"  
75015 Paris , FR**

72 Inventor/es:

**DECITRE, JEAN-MARC**

74 Agente/Representante:

**AZNÁREZ URBIETA, Pablo**

**ES 2 746 969 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**

Cabeza de control de un sensor de control no destructivo por corrientes de Foucault y sensor que consta de dicha cabeza de control

5 La presente invención se refiere a una cabeza de control de un sensor de control no destructivo por corrientes de Foucault y un sensor que consta de dicha cabeza de control.

10 Un sensor de control no destructivo de este tipo utiliza la propiedad electromagnética de las corrientes de Foucault para la detección de defectos tales como muescas, fisuras o corrosiones en estructuras conductoras de pequeño espesor, no necesariamente planas, tales como piezas metálicas aeronáuticas o nucleares. Por ejemplo, esta tecnología permite la inspección de tubos de generadores de vapor en centrales nucleares.

15 Una cabeza de control de dicho sensor consta, generalmente, de al menos un circuito con función de emisión alimentado con corriente alterna para generar un campo electromagnético local y al menos un receptor sensible a este campo electromagnético. El receptor electromagnético está constituido, a menudo, por una bobina receptora en cuyos bornes se induce una fuerza electromotriz de misma frecuencia que la de la corriente alterna de alimentación. Más exactamente, cuando la cabeza de control del sensor de control no destructivo con corrientes de Foucault está dispuesta en las inmediaciones de una pieza a inspeccionar, el circuito emisor es alimentado con señal sinusoidal.

20 Un campo electromagnético de misma frecuencia es emitido entonces al aire y en la pieza a inspeccionar. De ello se desprende que, en los bornes de la bobina receptora, una fuerza electromotriz inducida que proviene, por un lado, del acoplamiento entre el circuito emisor y la bobina receptora (estando este acoplamiento modificado en presencia de la pieza) y, por otro lado, del campo magnético radiado por las corrientes inducidas en la pieza y que expresa la eventual presencia de un defecto en esta última. La porción de fuerza electromotriz inducida que proviene del campo magnético radiado por la presencia del eventual defecto constituye la señal útil de la fuerza electromotriz inducida total.

25

30 La invención se aplica más particularmente a una cabeza de control de un sensor de control no destructivo por corrientes de Foucault con funciones separadas de emisión y recepción, es decir una cabeza de control que consta de un soporte sobre el que se dispone al menos un elemento de emisión/recepción, constando cada elemento de emisión/recepción de:

- un circuito emisor de un campo electromagnético local por circulación de una corriente alterna predeterminada en este circuito, y
- 35 - un receptor electromagnético sensible al campo electromagnético emitido localmente,

siendo este circuito emisor y este receptor electromagnético dispositivos separados.

40 En el caso de una cabeza de control con un solo elemento de emisión/recepción, es necesario desplazar el sensor según dos ejes principales para obtener la cartografía bidimensional de una zona a inspeccionar de una estructura conductora. Debiendo este desplazamiento presentar además cierta precisión, necesita un banco mecánico costoso capaz de notificar la posición actual según los dos ejes de desplazamiento. En estas condiciones, la inspección de la estructura conductora no solamente es compleja sino también muy lenta.

45 Es ventajoso, por lo tanto, multiplicar los elementos de emisión/recepción según una o varias direcciones en el soporte de la cabeza de control para limitar dicho desplazamiento del sensor. Pero, de forma general, un elemento de emisión/recepción de sensor de control no destructivo por corrientes de Foucault presenta un volumen ampliamente superior a la superficie de la zona que puede inspeccionar en la estructura conductora. Esta, que se puede calificar de "superficie útil" del elemento, es entonces limitada. Una separación mínima entre elementos de emisión/recepción debe, además, respetarse a veces según la forma de los elementos para garantizar un correcto funcionamiento del conjunto y detectar todos los defectos. De este modo, no es sencillo disponer los elementos de emisión/recepción sobre el soporte para permitir una inspección sin zona de sombra de la estructura conductora. Por ejemplo, en una realización de la solicitud de patente internacional WO 2012/018541 A1 ilustrada en la figura 7 de este documento, varios elementos de emisión/recepción con bobinas de emisión y bobinas de recepción separadas

50 están alineados en barra unidimensional, y conectados en serie para permitir varios controles de zonas simultáneos en una dimensión. Pero en esta configuración, no es posible obtener la detección de un elemento independientemente de los otros ya que las bobinas de emisión y de recepción se ponen en serie de la misma forma. Además, los elementos están alejados entre sí de modo que no permiten inspeccionar sin desplazamiento toda la zona cubierta por la barra. De este modo, no solamente es necesario un desplazamiento de la barra según un eje ortogonal a su eje principal, sino también un desplazamiento a lo largo de su eje principal para cubrir las zonas de sombra.

55

60

65 En la patente publicada con el número FR 2904693 B1 se propone una solución. Esta solución consiste en disponer varias líneas de elementos de emisión/recepción en una misma barra de control unidimensional, estando cada línea a partir de la segunda desplazada de la precedente para disponer los elementos de emisión/recepción en quince. Esta disposición en quince compensa la pequeña superficie útil de los elementos y permite un recubrimiento total

en el eje principal de la barra cuando esta está únicamente desplazada ortogonalmente a este eje principal. Un codificador mecánico puede utilizarse entonces para desplazar automáticamente las líneas entre sí durante la visualización de la zona barrida por el sensor y compensar de este modo el efecto de la puesta en quincunce de los elementos sobre el soporte. El desplazamiento de la cabeza de control es, por lo tanto, limitado pero no suprimido.

5 Otra solución, propuesta en la patente publicada con el número US 5.659.248, consiste en disponer los elementos de emisión/recepción en varias capas de matrices de estos elementos, estando estos dispuestos en quincunce de una capa a la otra, de nuevo para compensar su pequeña superficie útil. Esta configuración tridimensional suprime cualquier zona de sombra sin necesitar ningún desplazamiento de la cabeza de control del sensor, pero al precio de  
10 cierta complejidad, ya que es preciso prever varias capas de matrices superpuestas de elementos de emisión/recepción. Además, debido a que todos los elementos no se encuentran a la misma distancia de la superficie a inspeccionar, las correcciones a prever para compensar las diferencias de entrehierro de una capa a otra complican singularmente el procesamiento de los datos.

15 Otro ejemplo se describe en el documento WO2010/115963 A1 con receptores magnéticos dispuestos debajo de láminas conductoras, no correspondiendo la superficie útil a las dimensiones de las láminas.

De este modo, se puede desear prever una cabeza de control de un sensor de control no destructivo por corrientes de Foucault que permite librarse de al menos una parte de los problemas y restricciones mencionadas  
20 anteriormente.

Se propone, por lo tanto, una cabeza de control de un sensor de control no destructivo por corrientes de Foucault con funciones separadas de emisión y recepción según la reivindicación 1. En las reivindicaciones dependientes se definen modificaciones opcionales.

25 La invención se comprenderá con ayuda de la siguiente descripción, aportada únicamente a modo de ejemplo y realizada con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

- 30 - la figura 1 representa esquemáticamente la estructura general de un sensor de control no destructivo por corrientes de Foucault, según una realización de la invención,
- la figura 2 representa esquemáticamente y en vista desde arriba la estructura general de una cabeza de control del sensor de la figura 1, según una realización de la invención,
- las figuras 3A, 3B y 3C representan esquemáticamente y en vista desde arriba detalles de la cabeza de control de la figura 2,
- 35 - las figuras 4, 5 y 6 representan esquemáticamente, en perspectiva para las figuras 4 y 5, en vista desde arriba para la figura 6, diferentes variantes de realización de un elemento de emisión/recepción de la cabeza de control de la figura 2,
- la figura 7 representa esquemáticamente una primera variante de realización de la cabeza de control de la figura 2, y
- 40 - las figuras 8A y 8B representan esquemáticamente un detalle de una segunda variante de realización de la cabeza de control de la figura 2.

El sensor de control no destructivo por corrientes de Foucault representado esquemáticamente en la figura 1 consta de una cabeza de control 10, un módulo de procesamiento 12, por modulación/desmodulación, de datos destinados  
45 a y provenientes de la cabeza de control 10 y un conector 14, dispuesto sobre un soporte 16 de la cabeza de control 10. El conector 14 conecta eléctricamente pistas de conexión 18 del soporte 16 al módulo de procesamiento 12.

La cabeza de control 10 consta de varios elementos de emisión/recepción 20 distribuidos sobre el soporte 16 y conectados a las pistas de conexión 18. En el ejemplo de la figura 1, estos elementos 20 están distribuidos en matriz  
50 según dos ejes principales ortogonales x (eje de las líneas) e y (eje de las columnas) para formar una matriz de cuatro líneas y ocho columnas.

El módulo de procesamiento 12, tal como se representa esquemáticamente en la figura 1, consta de una unidad de procesamiento 22 asociada de forma convencional a una memoria 24 (por ejemplo una memoria RAM) y capaz de  
55 generar y procesar datos con destino en o provenientes de los elementos de emisión/recepción 20, siendo estos datos transmitidos a través del conector 14.

La unidad de procesamiento 22 puede implementarse, por ejemplo, en un dispositivo informático tal como un ordenador convencional que consta de un procesador asociado a una o varias memorias para el almacenamiento de  
60 ficheros de datos y de programas informáticos. La unidad de procesamiento 22 puede entonces, a su vez, considerarse como formada por un procesador asociado a una memoria de almacenamiento de las instrucciones que ejecuta en forma de programas informáticos. Estos programas informáticos, o funciones de un mismo programa informático, son capaces de modular y, opcionalmente, multiplexar señales de control destinadas a controlar las funciones de emisión de campos electromagnéticos de los elementos 20 de forma independiente y sincronizada.  
65 También son capaces de opcionalmente demultiplexar, pero al menos de desmodular y procesar señales de detección provenientes de las funciones de recepción de corrientes de Foucault inducidas de los elementos 20 de

forma también independiente y sincronizada. También podrían estar al menos en parte microprogramados o microcableados en circuitos integrados dedicados. De este modo, como variante, el dispositivo informático que emplea la unidad de procesamiento 22 podría reemplazarse por un dispositivo electrónico compuesto únicamente por circuitos digitales (sin programa informático) para la realización de las mismas acciones. La función de multiplexado/demultiplexado es opcional en el módulo de procesamiento 12 porque los elementos de emisión/recepción 20 pueden estar topológicamente organizados para poder ser solicitados/interrogados unos independientemente de otros sin necesitar multiplexado. El funcionamiento de la unidad de procesamiento 22 es bien conocido por el experto en la materia y no se detallará más.

El soporte 16 es, ventajosamente, un soporte flexible que permite a la matriz de elementos de emisión/recepción 20 adaptarse al relieve de la superficie regular de cualquier estructura conductora destinada a ser inspeccionada por el sensor de control no destructivo por corrientes de Foucault de la figura 1. Puede constar de varias capas de película flexible de poliimida, por ejemplo Kapton (marca registrada), sobre o a través de las cuales se disponen los elementos constitutivos de los elementos de emisión/recepción 20 y de las pistas de conexión 18. De este modo, la cabeza de control 10 es flexible y garantiza un entrehierro constante (es decir, distancia entre la superficie inspeccionada y los elementos de emisión/recepción 20).

Cada elemento de emisión/recepción 20 dispuesto sobre el soporte 16 de la cabeza de control 10 tiene funciones separadas de emisión y de recepción. Para ello consta de:

- un circuito 26 emisor de un campo electromagnético local  $\vec{B}$  por circulación de una corriente alterna  $i$  predeterminada en este circuito, y
- un receptor electromagnético 28 sensible al campo electromagnético  $\vec{B}$  emitido localmente.

Más exactamente, el circuito emisor 26 es una porción de lámina conductora que se extiende sobre una capa del soporte 16 según una dirección principal predeterminada de circulación de la corriente alterna  $i$ . Esta dirección principal predeterminada es la del eje  $z$  y de las ocho columnas en el ejemplo ilustrado. Más exactamente también y de forma opcional, la porción de lámina conductora 26 es de superficie rectangular orientada según las direcciones de los dos ejes  $x$  e  $y$ .

El receptor electromagnético 28 es, por ejemplo, una bobina receptora dispuesta enfrente de la porción de lámina conductora 26 con respecto a un eje normal a la capa del soporte 16 sobre la cual se extiende esta porción de lámina 26. Este eje normal es, por lo tanto, el eje  $z$  ortogonal a  $x$  e  $y$ . La bobina receptora 28 está, por otro lado, constituida por cierto número de espiras enrolladas alrededor de un eje de detección electromagnético paralelo al eje  $x$ , es decir ortogonal al eje normal  $z$  y al eje  $y$  de la dirección principal predeterminada de circulación de la corriente alterna  $i$  en la porción de lámina conductora 26. Teniendo en cuenta su disposición alrededor del eje  $x$ , la bobina receptora 28 no puede estar dispuesta sobre una sola capa del soporte 16, sino sobre al menos dos capas distintas y en su espesor. En este espesor, puede estar dispuesta por encima, por debajo o a uno y otro lado de la lámina conductora 26. Es sensible a una componente  $B_x$  del campo electromagnético homogéneo emitido localmente.

De esta configuración se desprende que el elemento de emisión/recepción 20 de la figura 1 es de superficie útil significativa contrariamente a los elementos de emisión/recepción conocidos generalmente, debido a la unipolaridad de la señal de detección de defectos que proporciona. Más exactamente, se muestra experimentalmente que la respuesta proporcionada por la bobina receptora 28 de cualquier elemento de emisión/recepción a una excitación de la porción de lámina conductora correspondiente 26 presenta las características siguientes:

- su unipolaridad conduce a una forma de señal no nula en toda la extensión de un defecto,
- puede ser negativa, pero solamente en una zona muy limitada, lo que evita la anulación potencial de respuesta cuando dos defectos son vecinos y detectables por varios elementos de emisión/recepción vecinos,
- su forma se aproxima a la de la función rectangular en el conjunto de la superficie del elemento de emisión/recepción y presenta incluso un claro nivel de escasa ondulación para defectos de longitud superior a cierto umbral,
- es de amplitud constante sea cual sea la longitud del defecto.

Cabrá destacar además que la proyección ortogonal de la bobina receptora 28 en el plano  $(x,y)$  presenta un volumen correspondiente a la superficie rectangular de la porción de lámina conductora 26 recubriéndola. Más exactamente, la bobina receptora 28 está constituida por espiras rectangulares en una longitud, según el eje  $y$ , igual a la dimensión según el mismo eje de la porción de lámina conductora 26 y en una anchura, según el eje  $x$ , igual a la dimensión según el mismo eje de la porción de lámina conductora 26. De este modo, el volumen del elemento de emisión/recepción 20 corresponde de forma precisa a su superficie útil y es posible disponer en ella varios de este tipo, uno al lado de otro, muy cerca unos de otros y en matriz, para constituir la cabeza de control 10. El sensor de control no destructivo por corrientes de Foucault de la figura 1 está, de este modo, particularmente adaptado para la inspección estática de zonas bidimensionales de estructuras conductoras, siendo estas zonas bidimensionales de las mismas dimensiones que la matriz de los elementos de emisión/recepción 20. La flexibilidad del soporte 16 permite además adaptarse a superficies ajustadas que presentan cierto relieve.

La estructura más precisa de la cabeza de control 10, esquemáticamente representada en la figura 1, se detallará a continuación en referencia a la figura 2.

5 Según la realización ilustrada en esta figura, los elementos de emisión/recepción 20 se alinean de cuatro en cuatro según el eje y de las columnas de la matriz que constituyen. Se disponen, además, en quince de ocho en ocho con uno de dos según el eje x de las líneas de la matriz. La disposición en quince para evitar las zonas de sombra, pero esto no es indispensable. Además, las porciones de láminas de una misma columna de la matriz de elementos de emisión/recepción 20 están conectadas en serie entre sí para formar solamente una sola lámina conductora que forma una columna matricial enfrente de la cual se disponen varias bobinas receptoras.

Más exactamente, cuatro porciones de láminas están conectadas en serie para formar una única lámina conductora C1 que forma la primera columna de la matriz paralelamente al eje y. En esta primera columna están dispuestas cuatro bobinas receptoras 28<sub>1,1</sub>, 28<sub>2,1</sub>, 28<sub>3,1</sub> y 28<sub>4,1</sub> de ejes de detección paralelos al eje x. Otras cuatro porciones de láminas están conectadas en serie para formar una única lámina conductora C2 que forma la segunda columna de la matriz paralelamente al eje y. En esta segunda columna están dispuestas cuatro bobinas receptoras 28<sub>1,2</sub>, 28<sub>2,2</sub>, 28<sub>3,2</sub> y 28<sub>4,2</sub> de ejes de detección paralelos al eje x, en quince con respecto a las bobinas receptoras 28<sub>1,1</sub>, 28<sub>2,1</sub>, 28<sub>3,1</sub> y 28<sub>4,1</sub>. Otras cuatro porciones de láminas están conectadas en serie para formar una única lámina conductora C3 que forma la tercera columna de la matriz paralelamente al eje y. En esta tercera columna están dispuestas cuatro bobinas receptoras 28<sub>1,3</sub>, 28<sub>2,3</sub>, 28<sub>3,3</sub> y 28<sub>4,3</sub> de ejes de detección paralelos al eje x, en quince con respecto a las bobinas receptoras 28<sub>1,2</sub>, 28<sub>2,2</sub>, 28<sub>3,2</sub> y 28<sub>4,2</sub> para encontrarse alineadas según el eje x con las bobinas receptoras 28<sub>1,1</sub>, 28<sub>2,1</sub>, 28<sub>3,1</sub> y 28<sub>4,1</sub>. Otras cuatro porciones de láminas están conectadas en serie para formar una única lámina conductora C4 que forma la cuarta columna de la matriz paralelamente al eje y. En esta cuarta columna están dispuestas cuatro bobinas receptoras 28<sub>1,4</sub>, 28<sub>2,4</sub>, 28<sub>3,4</sub> y 28<sub>4,4</sub> de ejes de detección paralelos al eje x, en quince con respecto a las bobinas receptoras 28<sub>1,3</sub>, 28<sub>2,3</sub>, 28<sub>3,3</sub> y 28<sub>4,3</sub> para encontrarse alineadas según el eje x con las bobinas receptoras 28<sub>1,2</sub>, 28<sub>2,2</sub>, 28<sub>3,2</sub> y 28<sub>4,2</sub>. Otras cuatro porciones de láminas están conectadas en serie para formar una única lámina conductora C5 que forma la quinta columna de la matriz paralelamente al eje y. En esta quinta columna están dispuestas cuatro bobinas receptoras 28<sub>1,5</sub>, 28<sub>2,5</sub>, 28<sub>3,5</sub> y 28<sub>4,5</sub> de ejes de detección paralelos al eje x, en quince con respecto a las bobinas receptoras 28<sub>1,4</sub>, 28<sub>2,4</sub>, 28<sub>3,4</sub> y 28<sub>4,4</sub> para encontrarse alineadas según el eje x con las bobinas receptoras 28<sub>1,3</sub>, 28<sub>2,3</sub>, 28<sub>3,3</sub> y 28<sub>4,3</sub>. Otras cuatro porciones de láminas están conectadas en serie para formar una única lámina conductora C6 que forma la sexta columna de la matriz paralelamente al eje y. En esta sexta columna están dispuestas cuatro bobinas receptoras 28<sub>1,6</sub>, 28<sub>2,6</sub>, 28<sub>3,6</sub> y 28<sub>4,6</sub> de ejes de detección paralelos al eje x, en quince con respecto a las bobinas receptoras 28<sub>1,5</sub>, 28<sub>2,5</sub>, 28<sub>3,5</sub> y 28<sub>4,5</sub> para encontrarse alineadas según el eje x con las bobinas receptoras 28<sub>1,4</sub>, 28<sub>2,4</sub>, 28<sub>3,4</sub> y 28<sub>4,4</sub>. Otras cuatro porciones de láminas están conectadas en serie para formar una única lámina conductora C7 que forma la séptima columna de la matriz paralelamente al eje y. En esta séptima columna están dispuestas cuatro bobinas receptoras 28<sub>1,7</sub>, 28<sub>2,7</sub>, 28<sub>3,7</sub> y 28<sub>4,7</sub> de ejes de detección paralelos al eje x, en quince con respecto a las bobinas receptoras 28<sub>1,6</sub>, 28<sub>2,6</sub>, 28<sub>3,6</sub> y 28<sub>4,6</sub> para encontrarse alineadas según el eje x con las bobinas receptoras 28<sub>1,5</sub>, 28<sub>2,5</sub>, 28<sub>3,5</sub> y 28<sub>4,5</sub>. Por último, cuatro últimas porciones de láminas están conectadas en serie para formar una única lámina conductora C8 que forma la octava y última columna de la matriz paralelamente al eje y. En esta octava columna están dispuestas cuatro bobinas receptoras 28<sub>1,8</sub>, 28<sub>2,8</sub>, 28<sub>3,8</sub> y 28<sub>4,8</sub> de ejes de detección paralelos al eje x, en quince con respecto a las bobinas receptoras 28<sub>1,7</sub>, 28<sub>2,7</sub>, 28<sub>3,7</sub> y 28<sub>4,7</sub> para encontrarse alineadas según el eje x con las bobinas receptoras 28<sub>1,6</sub>, 28<sub>2,6</sub>, 28<sub>3,6</sub> y 28<sub>4,6</sub>.

45 En resumen, la matriz de elementos de emisión/recepción 20 está constituida por ocho columnas, formadas por ocho láminas conductoras C1 a C8 paralelas entre sí, equidistantes, cercanas unas de otras y destinadas a ser atravesadas por una corriente i de dirección según el eje y, y por cuatro líneas, en cada una de las cuales se disponen en quince, enfrente de las ocho láminas conductoras según el eje z, ocho bobinas receptoras de ejes de detección orientados según el eje x, para formar treinta y dos elementos de emisión/recepción 20.

50 Además, las bobinas receptoras están conectadas en serie dos a dos, ventajosamente según el eje x, para reducir en la medida de lo posible el número de hilos de alimentación. Esta puesta en serie se realiza con un paso de dos para evitar cualquier acoplamiento entre láminas conductoras y bobinas receptoras vecinas.

55 De este modo, en la primera línea de la matriz:

- las bobinas receptoras 28<sub>1,1</sub> y 28<sub>1,3</sub> están conectadas en serie a una salida de adquisición R1 a la izquierda de la matriz,
- las bobinas receptoras 28<sub>1,5</sub> y 28<sub>1,7</sub> están conectadas en serie a una salida de adquisición R1' a la derecha de la matriz,
- las bobinas receptoras 28<sub>1,2</sub> y 28<sub>1,4</sub> están conectadas en serie a una salida de adquisición R2 a la derecha de la matriz, y
- las bobinas receptoras 28<sub>1,6</sub> y 28<sub>1,8</sub> están conectadas en serie a una salida de adquisición R2' a la derecha de la matriz.

65 En la segunda línea de la matriz:

- las bobinas receptoras 28<sub>2,1</sub> y 28<sub>2,3</sub> están conectadas en serie a una salida de adquisición R3 a la izquierda de la matriz,
- las bobinas receptoras 28<sub>2,5</sub> y 28<sub>2,7</sub> están conectadas en serie a una salida de adquisición R3' a la derecha de la matriz,
- las bobinas receptoras 28<sub>2,2</sub> y 28<sub>2,4</sub> están conectadas en serie a una salida de adquisición R4 a la derecha de la matriz, y
- las bobinas receptoras 28<sub>2,6</sub> y 28<sub>2,8</sub> están conectadas en serie a una salida de adquisición R4' a la derecha de la matriz.

En la tercera línea de la matriz:

- las bobinas receptoras 28<sub>3,1</sub> y 28<sub>3,3</sub> están conectadas en serie a una salida de adquisición R5 a la izquierda de la matriz,
- las bobinas receptoras 28<sub>3,5</sub> y 28<sub>3,7</sub> están conectadas en serie a una salida de adquisición R5' a la derecha de la matriz,
- las bobinas receptoras 28<sub>3,2</sub> y 28<sub>3,4</sub> están conectadas en serie a una salida de adquisición R6 a la derecha de la matriz, y
- las bobinas receptoras 28<sub>3,6</sub> y 28<sub>3,8</sub> están conectadas en serie a una salida de adquisición R6' a la derecha de la matriz.

En la cuarta línea de la matriz:

- las bobinas receptoras 28<sub>4,1</sub> y 28<sub>4,3</sub> están conectadas en serie a una salida de adquisición R7 a la izquierda de la matriz,
- las bobinas receptoras 28<sub>4,5</sub> y 28<sub>4,7</sub> están conectadas en serie a una salida de adquisición R7' a la derecha de la matriz,
- las bobinas receptoras 28<sub>4,2</sub> y 28<sub>4,4</sub> están conectadas en serie a una salida de adquisición R8 a la derecha de la matriz, y
- las bobinas receptoras 28<sub>4,6</sub> y 28<sub>4,8</sub> están conectadas en serie a una salida de adquisición R8' a la derecha de la matriz.

Además, Además, las láminas conductoras C1 a C8 están todas constituidas por varios hilos conductores de una misma corriente *i* dispuestos en paralelo según el eje *y*, y están conectadas dos a dos en cuatro bobinas emisoras rectangulares, estando dos láminas conductoras conectadas entre sí separadas por al menos otra lámina conductora para evitar cualquier acoplamiento entre láminas conductoras vecinas. En el plano de la figura 2, las láminas conductoras conectadas entre sí están separadas por otras tres láminas conductoras. Más exactamente, las láminas C1 y C5 están conectadas entre sí y alimentadas eléctricamente (con corriente *i*) en la parte superior izquierda de la matriz, las láminas C2 y C6 están conectadas entre sí y alimentadas eléctricamente (con corriente *i*) en la parte superior izquierda de la matriz, las láminas C3 y C7 están conectadas entre sí y alimentadas eléctricamente (con corriente *i*) en la parte inferior derecha de la matriz, las láminas C4 y C8 están conectadas entre sí y alimentadas eléctricamente (con corriente *i*) en la parte inferior derecha de la matriz.

De este modo, para adquirir las señales de detección de cada una de las bobinas receptoras, conviene proceder a las emisiones/recepciones siguientes:

- alimentar, en la parte superior izquierda de la matriz, la primera bobina emisora constituida por las láminas conductoras C1 y C5 conectadas entre sí y adquirir las señales en las salidas R1, R3, R5, R7, R1', R3', R5' y R7' para tener las respuestas de las bobinas receptoras 28<sub>1,1</sub>, 28<sub>2,1</sub>, 28<sub>3,1</sub>, 28<sub>4,1</sub>, 28<sub>1,5</sub>, 28<sub>2,5</sub>, 28<sub>3,5</sub> y 28<sub>4,5</sub>,
- alimentar, en la parte superior izquierda de la matriz, la segunda bobina emisora constituida por las láminas conductoras C2 y C6 conectadas entre sí y adquirir las señales en las salidas R2, R4, R6, R8, R2', R4', R6' y R8' para tener las respuestas de las bobinas receptoras 28<sub>1,2</sub>, 28<sub>2,2</sub>, 28<sub>3,2</sub>, 28<sub>4,2</sub>, 28<sub>1,6</sub>, 28<sub>2,6</sub>, 28<sub>3,6</sub> y 28<sub>4,6</sub>,
- alimentar, en la parte inferior derecha de la matriz, la tercera bobina emisora constituida por las láminas conductoras C3 y C7 conectadas entre sí y adquirir las señales en las salidas R1, R3, R5, R7, R1', R3', R5' y R7' para tener las respuestas de las bobinas receptoras 28<sub>1,3</sub>, 28<sub>2,3</sub>, 28<sub>3,3</sub>, 28<sub>4,3</sub>, 28<sub>1,7</sub>, 28<sub>2,7</sub>, 28<sub>3,7</sub> y 28<sub>4,7</sub>, y
- alimentar, en la parte inferior derecha de la matriz, la cuarta bobina emisora constituida por las láminas conductoras C4 y C8 conectadas entre sí y adquirir las señales en las salidas R2, R4, R6, R8, R2', R4', R6' y R8' para tener las respuestas de las bobinas receptoras 28<sub>1,4</sub>, 28<sub>2,4</sub>, 28<sub>3,4</sub>, 28<sub>4,4</sub>, 28<sub>1,8</sub>, 28<sub>2,8</sub>, 28<sub>3,8</sub> y 28<sub>4,8</sub>.

Teniendo en cuenta que dos láminas conductoras conectadas entre sí son recorridas por una corriente de misma intensidad pero de sentido contrario, esto se puede compensar jugando con el sentido de enrollamiento de las bobinas receptoras.

En lo que concierne a la conexión precisa de las láminas conductoras entre sí, el detalle A de la figura 2 se ilustra de forma precisa en la figura 3A y el detalle B de la figura 2 se ilustra de forma precisa en la figura 3B. Estos detalles muestran que cada bobina emisora constituida por dos láminas conductoras conectadas entre sí consta de espiras

rectangulares distribuidas sobre dos capas del soporte 16. Las porciones de espiras según el eje y que constituyen las láminas conductoras (C1 y C2 en la figura 3A, C5 y C6 en la figura 3B), representadas en líneas continuas, se disponen sobre una primera capa del soporte 16 mientras que las porciones de espiras según el eje x de conexión entre láminas conductoras, representadas en líneas discontinuas, se disponen sobre una segunda capa del soporte 16. La unión entre las porciones de espiras de la primera capa y las de la segunda capa se realiza por orificios pasantes ilustrados mediante puntos negros en las figuras 3A y 3B. La alimentación con corriente de cada bobina emisora se realiza mediante una conexión "in" de llegada de la corriente i y una conexión "out" de salida de la corriente i. En la topología de las figuras 3A y 3B, se eligió conectar una de las porciones de espira de cada lámina conductora C5 y C6 a la llegada "in" y una de las porciones de espira de cada lámina conductora C1 y C2 a la salida "out".

En lo que concierne a la conexión precisa de las bobinas receptoras entre sí, el detalle C de la figura 2 se ilustra de forma precisa en la figura 3C. Este ilustra en particular las bobinas receptoras  $28_{1,2}$ ,  $28_{1,3}$ ,  $28_{1,4}$  y  $28_{2,3}$ . Estas bobinas receptoras están constituidas por espiras de forma rectangular y dispuestas en el espesor del soporte 16. Para cada espira rectangular, una primera porción representada en línea continua fina está dispuesta sobre la primera capa mencionada anteriormente del soporte 16, una segunda porción representada en línea discontinua fina está dispuesta sobre la segunda capa mencionada anteriormente del soporte y otras dos porciones que conectan las primera y segunda porciones están constituidas por orificios pasantes entre las dos capas, estando estos orificios pasantes ilustrados mediante puntos negros.

El entrelazamiento de las espiras de las bobinas receptoras entre los hilos conductores de las láminas conductoras se ilustra por representación en la figura 3C, en líneas continuas gruesas, de las láminas conductoras C2, C3 y C4 dispuestas sobre la primera capa del soporte 16 con las primeras porciones de espiras de las bobinas receptoras. La disposición relativa entre una bobina receptora  $28_{i,j}$  de la figura 3C y los hilos conductores de la porción de lámina conductora correspondiente  $C_j$  se ilustra más claramente en perspectiva en la figura 4.

Cabe destacar, por lo tanto, que de acuerdo con la implementación ilustrada por las figuras 3C y 4 de la matriz de elementos de emisión/recepción 20, esta solamente necesita dos capas L1 y L2 conectadas entre sí por orificios pasantes. El soporte 16 puede, por lo tanto, estar realizado concretamente en Kapton (marca registrada) con dos capas de cobre. Cabe destacar también que las bobinas receptoras  $28_{1,3}$ ,  $28_{1,4}$  y  $28_{2,3}$  están en extremo de línea para las conexiones a las salidas R1, R2 y R3 de modo que un hilo conductor de retorno a las salidas R1, R2 y R3 está previsto en la segunda capa del soporte 16. En cambio, no está previsto ningún hilo de retorno para la bobina receptora  $28_{1,2}$ , al no estar esta al final de línea y estando conectada en serie a la bobina receptora  $28_{1,4}$ .

Como variante y como se ilustra en perspectiva en la figura 5, el hilo conductor de retorno de una serie de bobinas receptoras se puede utilizar para formar espiras suplementarias de estas bobinas receptoras que se entrelazan también con los hilos conductores de las láminas conductoras. En este caso, es necesario disponer de tres capas L1, L2 y L3 de soporte 16 para que las espiras del trayecto de retorno no estén en contacto con las espiras del trayecto de ida en una bobina receptora  $28_{i,j}$ . Esto aumenta la sensibilidad del elemento de emisión/recepción.

Como variante también y como se ilustra en vista desde arriba en la figura 6, el entrelazamiento de las espiras de una bobina receptora  $28_{i,j}$  con los hilos conductores de la lámina conductora correspondiente  $C_j$  puede estar concebido para presentar varias espiras, en este caso tres, entre cada hilo conductor de la lámina conductora. Esto aumenta también la sensibilidad del elemento de emisión/recepción.

La figura 7 representa esquemáticamente una ligera variante de realización de la cabeza de control de la figura 2. Esta variante de realización consiste en prever una masa eléctrica 30 que se extiende entre las cuarta C4 y quinta C5 láminas conductoras. A esta masa eléctrica 30 están conectadas todas las series de bobinas receptoras conectadas a las salidas R1 a R8 y R1' a R8'. Esta variante de realización presenta la ventaja de su simplicidad en términos de conexiones eléctricas ya que no es necesario ningún hilo de retorno. En cambio, las prestaciones del sensor de control están sustancialmente degradadas ya que esta simplificación se realiza al precio de una medida de componente normal del campo electromagnético inducido.

Las figuras 8A y 8B ilustran una variante de realización según la cual las láminas conductoras C1 a C8 se superponen parcialmente de modo que las bobinas receptoras dispuestas en quince de una lámina conductora a otra se superponen también parcialmente. En esta configuración, la densidad de los elementos de emisión/recepción aumenta y no hay ninguna zona de sombra como muestra la figura 8A en la que se ilustra parcialmente a modo de ejemplo las láminas conductoras C2, C3 y C4 y ciertas de sus bobinas receptoras. El detalle D rodea en particular las zonas ocupadas por las bobinas receptoras  $28_{2,1}$  et  $28_{2,2}$ . La figura 8B representa esquemáticamente, para el detalle D, la disposición relativa posible de los hilos conductores de láminas y de las espiras de bobinas receptoras así como de los hilos de retorno de líneas que permite necesitar solamente dos capas de soporte 16 para realizar esta configuración.

Parece claramente que un sensor de control no destructivo por corrientes de Foucault tal como el descrito anteriormente permite, gracias a la configuración particular de sus elementos de emisión/recepción que le garantizan una superficie útil elevada, una inspección estática de estructuras bidimensionales sin zona de sombra. Es posible

5 detectar en ellas todos los posibles defectos de orientación dada y de longitud superior a una longitud dada en la superficie cubierta por la cabeza de control, y esto, sea cual sea la posición de estos defectos con respecto a los elementos de emisión/recepción. Además, la disposición matricial idéntica de los elementos de emisión/recepción garantiza un entrehierro constante y, por lo tanto, una sensibilidad idéntica de la cabeza de control en toda su superficie de inspección sea cual sea el emplazamiento de un defecto.

Cabe destacar, por otro lado, que la invención no está limitada a las realizaciones descritas anteriormente.

10 Inspirándose, por ejemplo, en la enseñanza de los documentos mencionados anteriormente, en particular de los documentos de patente FR 2904693 B1 y US 5.659.248, se puede aumentar la densidad de los elementos de emisión/recepción para reducir la longitud mínima de los defectos que pueden ser detectados, utilizando un soporte con cuatro o más capas. En particular, es posible disponer en ángulo recto dos matrices de elementos tales como la ilustrada en la figura 2 sobre al menos cuatro capas de soporte para poder detectar todos los defectos posibles sea cual sea su orientación.

15 Como variante también, es posible colocar núcleos de ferrita para aumentar la sensibilidad de los elementos de emisión/recepción. Dispuestos en la superficie externa de los elementos y en hojas planas, permiten impedir la radiación de campo electromagnético en el aire, disminuir la reluctancia del circuito de emisión/recepción y, posteriormente, aumentar las corrientes inducidas en la estructura conductora a inspeccionar. Dispuestos en el  
20 espesor de las bobinas receptoras, permiten reducir su reluctancia y aumentar la sensibilidad del sensor.

25 Como variante también, los receptores electromagnéticos de los elementos de emisión/recepción se han previsto en forma de bobinas receptoras en las realizaciones descritas anteriormente, pero estas bobinas receptoras podrían sustituirse, más generalmente, por otros receptores electromagnéticos, entre los cuales receptores de tipo GMR (del inglés "Giant MagnetoResistance") por ejemplo. Basta que estos receptores electromagnéticos se dispongan enfrente de las láminas conductoras según el eje z y para presentar un eje de detección electromagnético según el eje x para convenir en una cabeza de control según la invención. Los receptores GMR no constan de espiras. Pueden depositarse en superficie según un apilamiento de capas nanométricas de materiales electromagnéticos, indistintamente por encima o por debajo de las láminas conductoras. La presencia de campos electromagnéticos  
30 locales generados por la circulación de corrientes inductoras en las láminas conductoras produce, en estos receptores GMR, variaciones de resistencias detectables en forma de variaciones de tensiones cuando una corriente circula por ellos. Por lo tanto, es muy simple adaptar las realizaciones detalladas anteriormente sustituyendo las bobinas receptoras por dichos receptores GMR.

35 En general, será más evidente para el experto en la materia que se pueden aportar diversas modificaciones de las realizaciones descritas anteriormente, a la luz de la enseñanza que acaba de ser divulgada.

**REIVINDICACIONES**

1. Cabeza de control (10) de un sensor de control no destructivo por corrientes de Foucault con funciones separadas de emisión y recepción que consta de un soporte (16) sobre el que se dispone al menos un elemento de emisión/recepción (20), constando cada elemento de emisión/recepción (20) de:
- un circuito (26) emisor de un campo electromagnético local por circulación de una corriente alterna predeterminada (i) en este circuito (26), y
  - un receptor electromagnético (28) que presenta un eje de detección electromagnético (x) sensible al campo electromagnético emitido localmente,
- en la que:
- el circuito emisor (26) es una porción de lámina conductora que se extiende sobre una capa del soporte (16) según una dirección principal predeterminada (y) de circulación de la corriente alterna (i), y
  - el receptor electromagnético (28) está dispuesto:
    - enfrente del circuito emisor (26) con respecto a un eje (z) normal a la capa del soporte (16) sobre la cual se extiende esta porción de lámina (26), y
    - de modo que su eje de detección electromagnético (x) sea ortogonal a este eje normal (z) y ortogonal a la dirección principal predeterminada (y) de circulación de la corriente alterna (i) en la porción de lámina conductora (26),
- caracterizada por que** cada porción de lámina que forma un circuito emisor (26) es de superficie rectangular de misma anchura, ortogonalmente a la dirección principal predeterminada (y), que la lámina conductora que consta de ella y la proyección normal de cada receptor electromagnético (28) sobre la porción de lámina enfrente de la cual está dispuesto corresponde a esta superficie rectangular y en concreto a esta anchura.
2. Cabeza de control (10) según la reivindicación 1, que consta de varios elementos de emisión/recepción (20) dispuestos uno al lado del otro según al menos una dirección principal del soporte (16).
3. Cabeza de control (10) según la reivindicación 2, en la que los elementos de emisión/recepción (20) están dispuestos en matriz según dos direcciones principales (x, y), correspondiendo la primera (y) de las dos direcciones principales a la de circulación de la corriente (i) en cada porción de lámina (26) y estando los elementos de emisión/recepción (20) alineados según esta primera dirección (y) para formar varias columnas (C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8) de la matriz, correspondiendo la segunda (x) de las dos direcciones principales a la del eje de detección electromagnético de cada receptor electromagnético (28) y estando los elementos de emisión/recepción (20) dispuestos en quince según esta segunda dirección (x) para formar varias líneas de la matriz.
4. Cabeza de control (10) según la reivindicación 3, en la que las porciones de láminas (26) de una misma columna de la matriz de elementos de emisión/recepción (20) están conectadas en serie entre sí para formar solamente una sola lámina conductora que forma una columna matricial (C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8) enfrente de la cual se disponen varios receptores electromagnéticos (28<sub>1,1</sub>-28<sub>4,1</sub>, 28<sub>1,2</sub>28<sub>4,2</sub>, 28<sub>1,3</sub>-28<sub>4,3</sub>, 28<sub>1,4</sub>-28<sub>4,4</sub>, 28<sub>1,5</sub>-28<sub>4,5</sub>, 28<sub>1,6</sub>28<sub>4,6</sub>, 28<sub>1,7</sub>-28<sub>4,7</sub>, 28<sub>1,8</sub>-28<sub>4,8</sub>).
5. Cabeza de control (10) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en la que la porción de lámina (26) de cada elemento de emisión/recepción (20) está constituido por varios hilos conductores de una misma corriente (i) dispuestos en paralelo según la dirección principal predeterminada (y) de circulación de esta corriente.
6. Cabeza de control (10) según las reivindicaciones 4 y 5, en la que las láminas conductoras que forman columnas matriciales (C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8) están conectadas dos a dos en bobinas emisoras cuyas espiras constan de los hilos conductores de estas láminas conductoras, estando dos láminas conductoras conectadas entre sí separadas por al menos otra lámina conductora.
7. Cabeza de control (10) según la reivindicación 5 o 6, en la que el receptor electromagnético (28) de cada elemento de emisión/recepción (20) es una bobina con espiras de forma rectangular entrelazadas entre los hilos conductores de la porción de lámina conductora (26) enfrente de la cual está dispuesta.
8. Cabeza de control (10) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en la que el soporte (16) consta de varias capas (L1, L2; L1, L2, L3) de película flexible de poliimida.
9. Sensor de control no destructivo por corrientes de Foucault que consta de:
- una cabeza de control (10) con al menos un elemento de emisión/recepción (20) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8,
  - un módulo de procesamiento (12), por modulación/desmodulación, de datos destinados a y provenientes de la

cabeza de control (10), y

- un conector (14), dispuesto sobre el soporte (16) de la cabeza de control (10), que conecta eléctricamente pistas de conexión (18) del soporte (16) al módulo de procesamiento (12), estando las pistas de conexión (18) conectadas eléctricamente a dicho al menos un elemento de emisión/recepción (20).

5

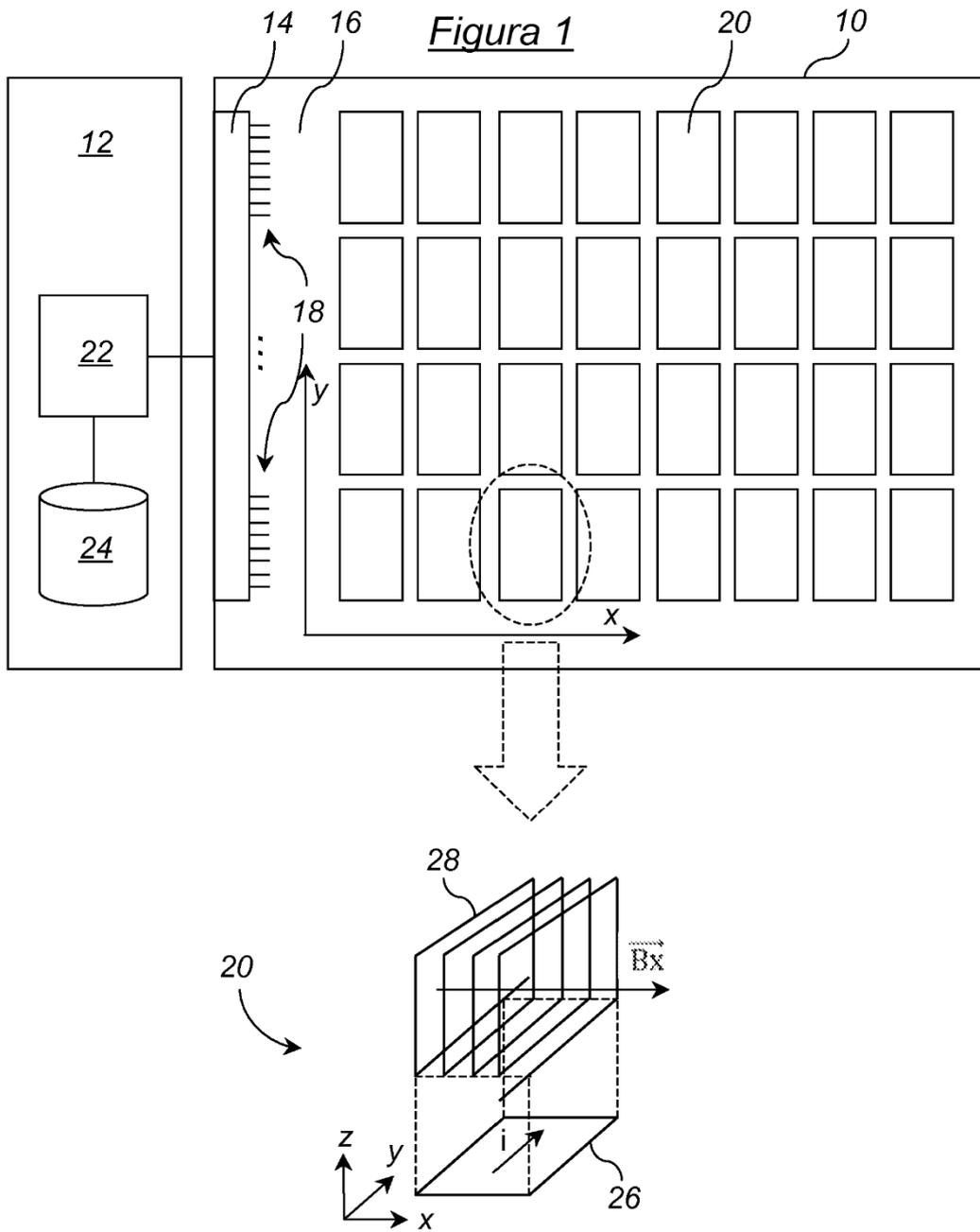
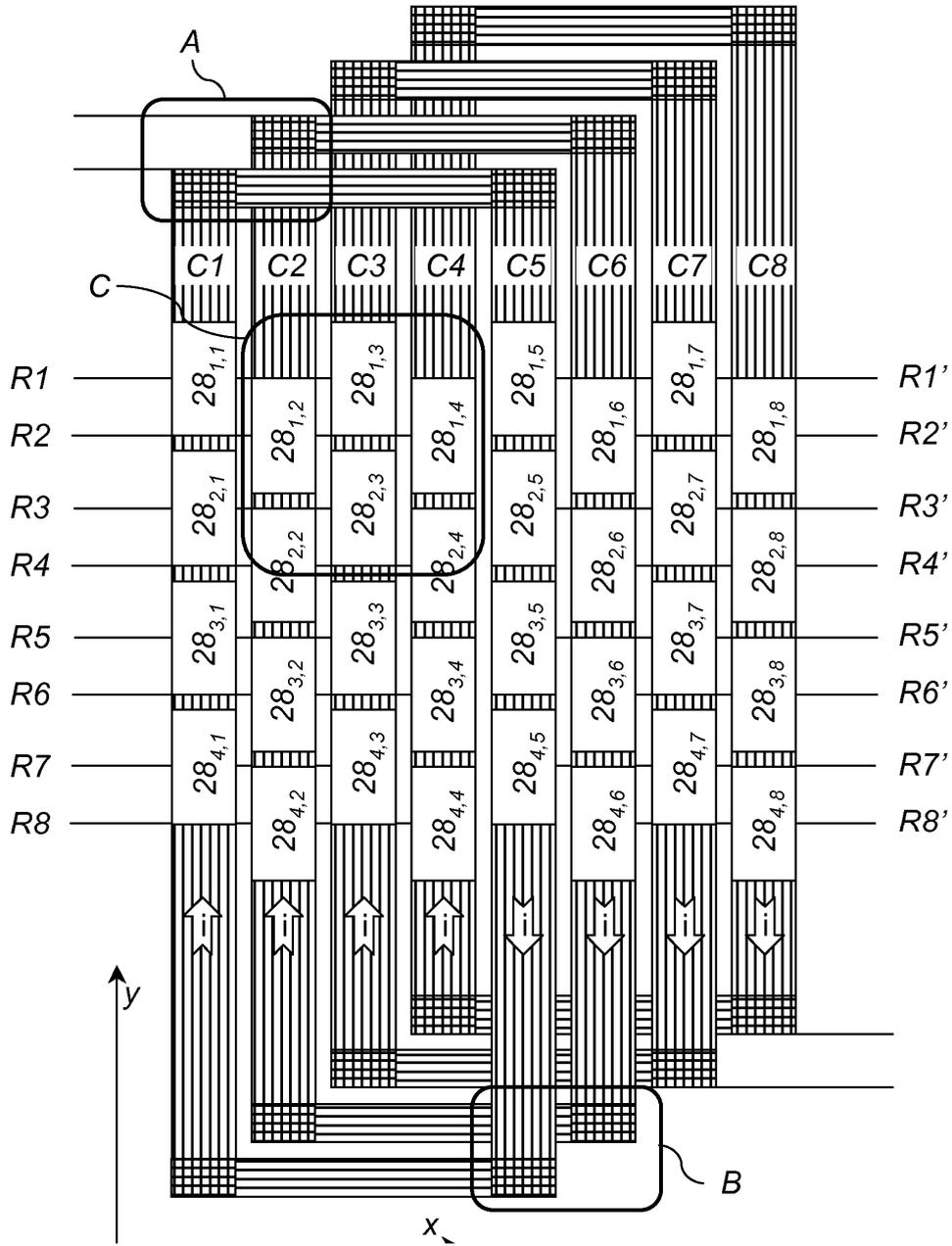
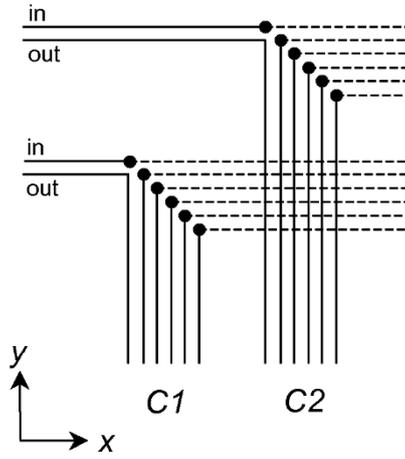


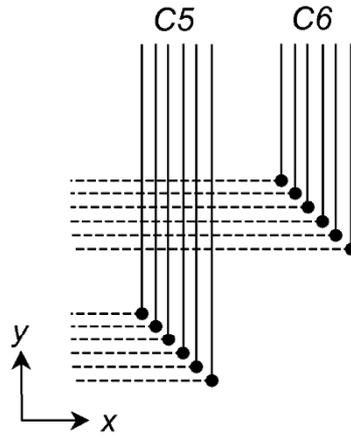
Figura 2



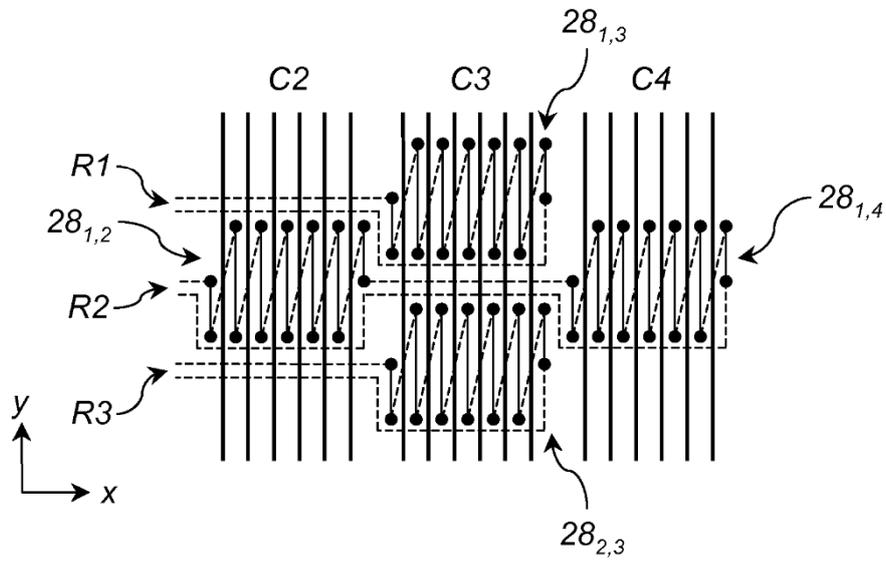
*Figura 3A*

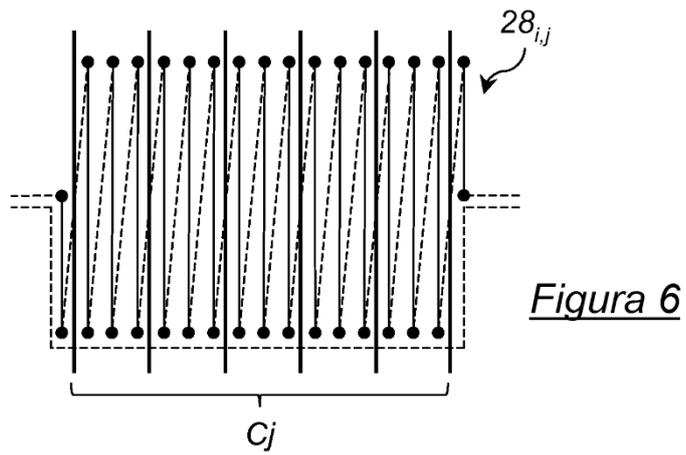
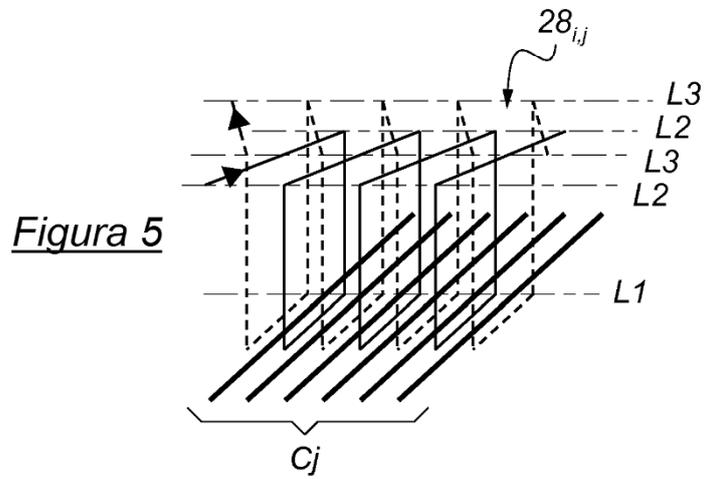
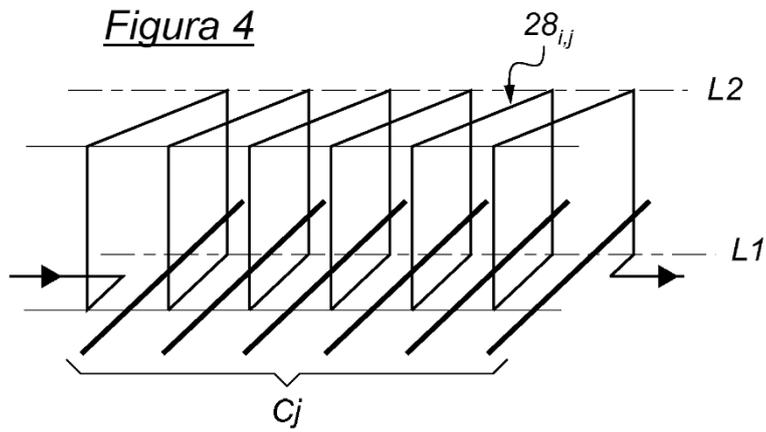


*Figura 3B*

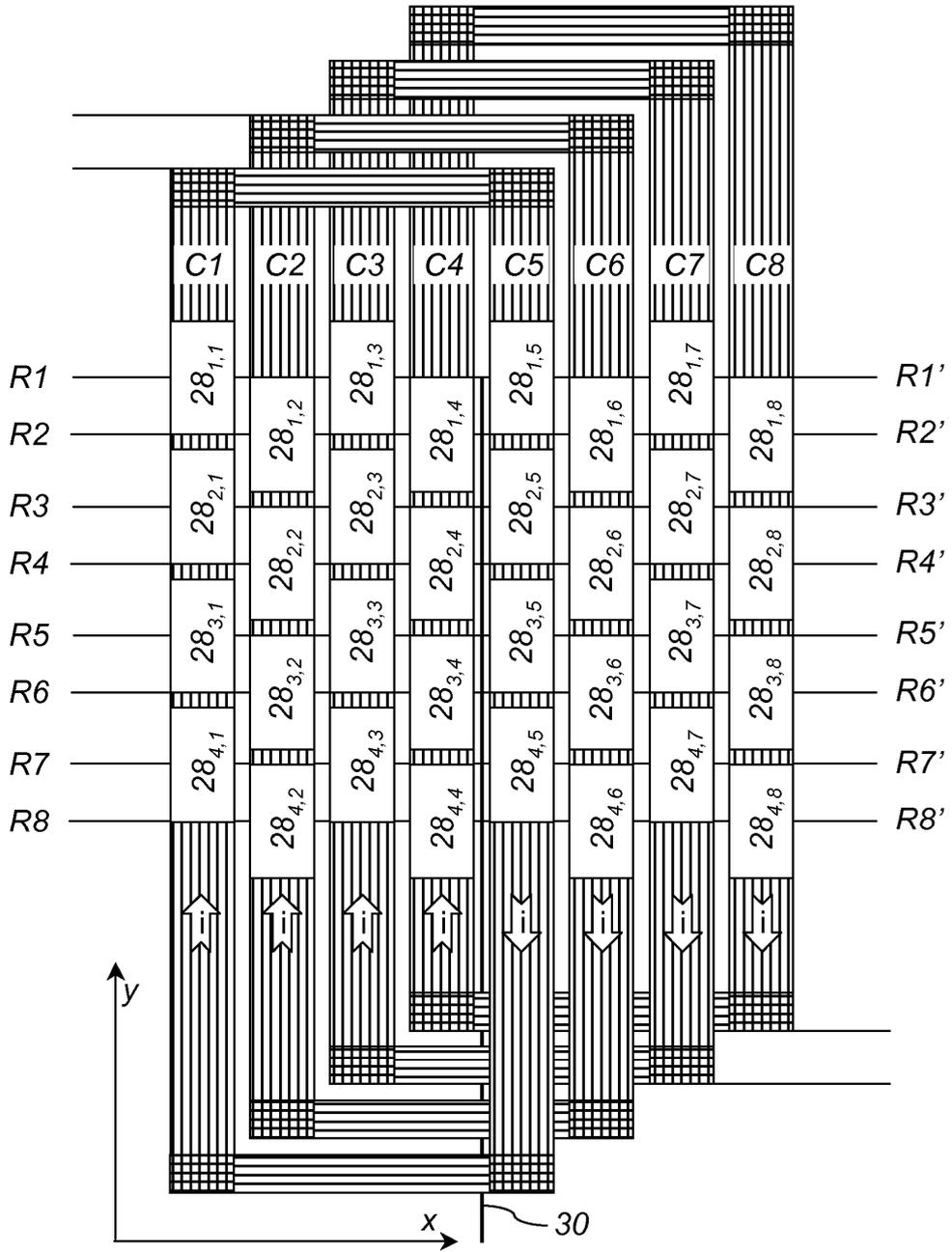


*Figura 3C*

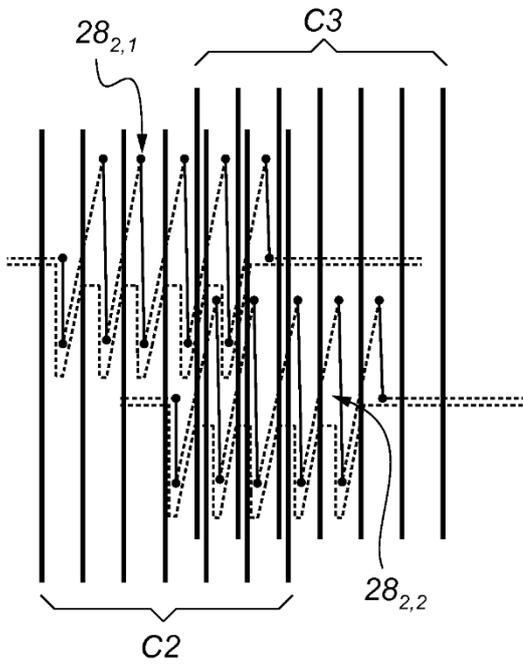




*Figura 7*



*Figura 8B*



*Figura 8A*

