

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 023 032**

51 Int. Cl.:

B61K 9/08 (2006.01)

B60M 3/00 (2006.01)

B61L 25/02 (2006.01)

G01R 15/18 (2006.01)

G01R 33/07 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.04.2021 PCT/CA2021/050476**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.10.2021 WO21203204**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.04.2021 E 21784599 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.03.2025 EP 4132835**

54 Título: **Dispositivo, sistema y método para detectar corriente de fuga para un sistema de potencia de tracción**

30 Prioridad:

09.04.2020 US 202063007595 P

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

29.05.2025

73 Titular/es:

**HATCH LTD. (100.00%)
2800 Speakman Drive
Mississauga, Ontario L5K 2R7, CA**

72 Inventor/es:

**GORCZYCA, MATTHEW;
MITCHELL, MARK JAMES;
MCGINN, PATRICK HENRY;
CAMPBELL, MICHAEL MORGAN y
BROWN, MATTHEW DOUGLAS**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 3 023 032 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

Dispositivo, sistema y método para detectar corriente de fuga para un sistema de potencia de tracción

5 Campo

La presente divulgación se refiere a sistemas de potencia de tracción que incluyen sistemas ferroviarios eléctricos.

10 Antecedentes

Las corrientes parásitas o las fugas de corriente son un problema común en los sistemas ferroviarios eléctricos. Las fugas de corriente pueden dañar el sistema de raíles y la infraestructura circundante. Las fugas de corriente pueden provocar la corrosión de los raíles, la infraestructura metálica cercana (como tuberías o conductores de gas y agua) y las estructuras metálicas, como las varillas de refuerzo de hormigón. La fuga de corriente también puede provocar una pérdida de energía.

Los procedimientos convencionales que intentan detectar si existen corrientes de fuga y dónde requieren que el personal realice pruebas a nivel de la vía y camine por la vía para realizar las inspecciones. En un procedimiento de prueba de vía convencional, una fuente de corriente en un punto de inyección crea una serie de pulsos de encendido y apagado, que se miden en un punto de medición más a lo largo de la vía. La intensidad de un pulso de punto final se compara con la intensidad del pulso de punto de inicio correspondiente, y la pérdida de corriente medida se usa para inferir que hay una fuga en algún lugar a lo largo de una sección de la vía que se está probando e inferir la gravedad de la fuga. Sin embargo, existen problemas importantes con dichos procedimientos existentes. Por ejemplo:

Tiempo: las pruebas en vía convencionales requieren una cantidad significativa de tiempo para que el personal configure el equipo de prueba y recorra las vías

30 Logística: el acceso a las vías está restringido a las horas no operativas, lo que a menudo proporciona un periodo de solo varias horas (de 1 a 2 horas) de tiempo de trabajo real disponible. El acceso a las vías también está altamente controlado con respecto a los diferentes grupos de personal que requieren acceso físico a la misma área. Las pruebas de corriente de fuga suelen cancelarse en el último momento.

35 Técnico: Los procedimientos convencionales de prueba en vía actualmente en vigor proporcionan resultados no repetibles y muy variables. El procedimiento depende en gran medida del punto específico en el que se realizan las pruebas (es decir, la influencia de un depósito de almacenamiento cercano no arroja datos viables). Los procedimientos convencionales no producen datos de salida sobre los que sea adecuado tomar decisiones de ingeniería para mitigar las fugas de corriente en un sistema de raíles. Los procedimientos convencionales también suelen intentar detectar si existen corrientes de fuga dentro de una parte del área de un sistema de raíles en general, pero no proporcionan ninguna indicación de la ubicación exacta dentro del sistema ferroviario ni del alcance de la fuga. De hecho, la sección probada de una vía generalmente varía de 300 a 1500 m de largo, y la ubicación exacta del punto de fuga no se puede identificar utilizando sistemas y métodos convencionales.

45 El documento WO 2017/082730 A1 describe un sistema y un método para detectar corrientes parásitas en una vía de sistema ferroviario eléctrico, en donde se proporciona al menos un sensor de campo magnético, que se configura para detectar valores de un parámetro de campo magnético. El sensor de campo magnético se mueve a lo largo de la vía y detecta los valores de los parámetros del campo magnético en las ubicaciones de detección a lo largo de la vía. Los valores de parámetros de campo magnético detectados se procesan para determinar el estado de la vía comparando, para una parte de la ruta actual que comprende una primera ubicación de detección y una segunda ubicación de detección diferente de la primera ubicación de detección, un primer valor de parámetro de campo magnético detectado en la primera ubicación de detección con un segundo valor de parámetro de campo magnético detectado en la segunda ubicación de detección, y si el primer valor del parámetro de campo magnético detectado difiere del segundo valor de parámetro de campo magnético detectado en una cantidad predeterminada., luego marcando la parte de la ruta actual como una parte de corriente parásita. El sensor de campo magnético se monta en un vehículo configurado para el desplazamiento a lo largo de la vía. Se aplica una tensión entre un raíl de vía y tierra, para que una corriente fluya a través del raíl de vía.

60 El documento WO 2016/101032 A1 describe un sistema para detectar la presencia de un extremo de raíl en un raíl de una vía férrea, que incluye una estructura de soporte que se puede montar en un componente de un vehículo ferroviario.

65 El documento WO 02/30729 A1 describe un sistema de inspección de vías de raíles proporcionado para su uso junto con un vehículo no ferroviario que tiene un compartimento para equipos.

Breve descripción de las figuras

- 5 La Figura 1 muestra un sensor electromagnético montado en un vehículo ferroviario que tiene un sensor de posición según una realización de la invención.
- La Figura 2 muestra la dirección del campo magnético en relación con una corriente que sale de la página.
- 10 La Figura 3 muestra una sección transversal de una representación de un raíl por el que pasa una corriente, el campo magnético asociado y una representación de una fuga.
- Las figuras 4A y 4B muestran realizaciones de instrumentos de raíles para detectar un campo magnético según la presente invención.
- 15 La Figura 5 muestra una vista en perspectiva de un concentrador de flujo colocado sobre un raíl, el concentrador de flujo para detectar la corriente de fuga en el raíl según una realización de la invención.
- La Figura 6 muestra un gráfico de dos conjuntos de mediciones utilizando un sensor a lo largo de una sección de vía según una realización de la invención.
- 20 La Figura 7 muestra una configuración abierta de una bobina de Rogowski con respecto a un raíl de vía electrificado según una realización de la invención.
- La Figura 8 muestra un gráfico de los datos recopilados al mover una bobina de Rogowski a lo largo de un raíl de vía electrificado según una realización de la invención.
- 25 La Figura 9A muestra una representación de un raíl con una corriente de fuga que se desplaza en la dirección vertical y horizontal.
- La Figura 9B muestra una vista en perspectiva de una bobina magnética según una realización de la invención colocada adyacente a un segmento de raíl.
- 30 La Figura 10 muestra una representación ilustrativa del método de detección de fugas por reflectometría en el dominio del tiempo en un sistema de raíles con un perfil de pulso negativo en un punto de fuga según una realización de la invención.
- 35 La Figura 11A muestra un bucle inductivo según una realización de la invención.
- La Figura 11B muestra un gráfico de la inductancia frente a la distancia a lo largo de un raíl de vía electrificado.

40 Descripción detallada

Según la invención, se proporciona un sistema con las características de la reivindicación 1, un método con las características de la reivindicación 9, así como un instrumento de raíl con las características de la reivindicación 11. Las realizaciones ejemplares son evidentes a partir de las reivindicaciones dependientes y de la siguiente descripción. El dispositivo, el sistema y el método ayudan a determinar la ubicación de las corrientes de fuga en un sistema ferroviario eléctrico. Puede haber varias causas diferentes de una fuga de corriente en un sistema ferroviario eléctrico. Las fugas pueden localizarse, por ejemplo, cuando el material conductor entra en contacto con el raíl (por ejemplo, material húmedo que toca el raíl u otro material conductor que toca los raíles), o la fuga puede distribuirse, por ejemplo, como resultado del polvo conductor en un área del sistema ferroviario eléctrico.

50 En una realización de la invención, el sistema, el dispositivo y el método utilizan un instrumento de raíl, tal como un sensor electromagnético no invasivo, para medir las propiedades eléctricas y/o magnéticas relacionadas con los raíles de potencia de tracción e identificar una fuga de corriente basándose en esas mediciones. Un raíl de potencia de tracción puede ser cualquier raíl que forme parte de un sistema de potencia de tracción, que incluye los raíles que se utilizan para soportar y guiar un vehículo, el raíl de retorno negativo, que puede ser o no un raíl de circulación, y un tercer o cuarto raíl, que suministra energía pero no es un raíl de rodadura. La detección de una fuga de corriente en un raíl puede comprender determinar si hay una disminución de la corriente en una ubicación a lo largo del raíl electrificado. Una disminución de corriente puede identificarse determinando un cambio en el campo magnético en una ubicación con respecto a una ubicación diferente o adyacente del raíl.

60 En un sistema de raíles, la corriente eléctrica que atraviesa el raíl genera un campo magnético alrededor del raíl. Una fuga o pérdida de corriente en una ubicación puede determinarse detectando una variación en el campo magnético en esa ubicación en relación con otra ubicación en el raíl, tal como una ubicación adyacente. En otro ejemplo, la corriente de fuga puede detectarse directamente.

5 El instrumento de raíl puede comprender una configuración abierta. En una configuración abierta, el instrumento de raíl abarca una distancia seleccionada para sentir/detectar un campo magnético promedio en un área alrededor de una parte del raíl en un momento determinado. Esto contrasta con un sensor que solo puede detectar el campo magnético en un único punto discreto. El área alrededor de la parte del raíl para la que se promedia el campo magnético, según una realización de la invención, puede corresponder a la distancia que abarca el instrumento de raíl. La configuración abierta del instrumento de raíl puede comprender una curva en el instrumento de raíl por lo que una parte del instrumento de raíl se curva alrededor de una parte del raíl que se está detectando.

10 El instrumento puede disponerse en un vehículo que se mueve a lo largo de un segmento del raíl. El vehículo puede moverse continuamente a lo largo del segmento del raíl. A medida que el vehículo se mueve a lo largo del segmento del raíl durante un periodo de tiempo, el instrumento de raíl se usa para obtener múltiples lecturas del campo magnético para diferentes partes de ese segmento del raíl durante el periodo de tiempo. El sistema puede identificar una corriente de fuga en una ubicación del segmento del raíl basándose en las múltiples lecturas del campo magnético tomadas durante el periodo de tiempo.

15 El instrumento de raíl puede comprender un concentrador de flujo que comprende un sensor magnético y un material que forma una ruta de flujo de alta permeabilidad. El sensor magnético puede comprender uno o más de un sensor de efecto Hall, un magneto-transistor, un magnetómetro AMR, un magnetómetro GMR, un magnetómetro de unión de túnel magnético, un sensor MEMS basado en la fuerza de Lorentz, un sensor MEMS basado en túneles de electrones, un magnetómetro de compuerta de flujo, un sensor de campo magnético de bobina y un magnetómetro SQUID.

20 En otra realización, el instrumento puede comprender una bobina de tipo Rogowski en una configuración abierta.

25 El dispositivo, el sistema y el método de detección de fugas de corriente ferroviaria según esta invención pueden usarse con sistemas ferroviarios eléctricos que comprenden una o más vías, cada una con 1 o 2 raíles de retorno negativo, y pueden incluir un alimentador de refuerzo negativo (NRF). Cuando hay dos vías, discurren en paralelo. Los raíles de retorno negativo y los NRF, cuando están presentes, discurren en paralelo a lo largo del derecho de paso del raíl y se unen de forma cruzada entre sí a intervalos a lo largo del derecho de paso formando una cuadrícula. El NRF es un cable eléctrico aislado, por lo que las fugas de corriente del NRF suelen ser raras.

30 La Figura 1 muestra una realización de la invención, en donde el sistema 100 detecta el campo electromagnético alrededor de un raíl y comprende un sensor de campo electromagnético no invasivo 102 y un sensor de posición 104. Los sensores pueden montarse en un carro 106 que rueda sobre los raíles de circulación 108. El carro 106 puede ser un carro tirado a mano o cualquier vehículo, tal como un carro de tracción, un vehículo de raíles o un vagón de tren. El carro puede alimentarse por cualquier medio, como propulsado por humanos, a gas o diésel, a batería eléctrica o a través de un sistema de tracción. Las corrientes de fuga provocan un cambio en la corriente en los raíles de circulación; por ejemplo, una fuga puede hacer que disminuya la magnitud de la corriente primaria que atraviesa el raíl. El cambio en la corriente se correlaciona con un cambio en el campo magnético en el área alrededor del raíl. Un cambio en el campo magnético detectado alrededor del raíl puede ser indicativo de una fuga de corriente del raíl. El sensor de posición 104, que también puede denominarse sensor de cadena o sensor de estacionamiento, rastrea la posición del sensor de campo magnético 102, por ejemplo, en relación con el conductor (el raíl 108). El cambio en el flujo magnético alrededor del raíl puede correlacionarse con los datos de tiempo y/o posición del carro recopilados, proporcionando así una imagen de alta resolución para ayudar a detectar una fuga de corriente parásita. El análisis de datos se puede utilizar para ayudar a identificar una firma precisa que sea altamente indicativa de la ubicación de una fuga actual

35 La Figura 2 representa una sección transversal del raíl 202 con una corriente eléctrica 204 que se desplaza hacia delante a través del raíl (y sale de la página en el dibujo representativo). El campo magnético 206 en este caso se orienta en sentido contrario a las agujas del reloj alrededor del raíl.

40 La Figura 3 muestra un ejemplo representativo de los contornos y las regiones de los campos magnéticos y sus intensidades alrededor del raíl. El segmento de raíl 302 se conecta a tierra con una línea de tierra 304, como se muestra en la parte inferior izquierda de la figura. La corriente principal 306 que pasa a través del raíl es paralela a la dirección del raíl. Los campos magnéticos 308 alrededor del raíl se correlacionan linealmente con la corriente que atraviesa el raíl. En un ejemplo, una medición de referencia de la corriente magnética alrededor de un raíl con corriente cero que atraviesa el raíl puede determinarse usando un instrumento de raíl y compararse con las mediciones tomadas con el mismo sensor cuando la corriente eléctrica atraviesa el raíl. En otro ejemplo, se puede inyectar una corriente constante conocida en el raíl provocando un campo magnético conocido alrededor del raíl. La corriente eléctrica puede inyectarse en el raíl específicamente para comprobar si hay fugas de corriente y los cambios/diferencias en el campo magnético en diferentes puntos alrededor del raíl pueden ser indicativos de una corriente de fuga. En otros ejemplos, una corriente fluctuante puede estar

presente en el raíl, por ejemplo, como resultado de que los trenes circulen a lo largo del raíl.

Se pueden usar uno o más sensores magnéticos para medir los campos magnéticos alrededor de un raíl alimentado. Los sensores magnéticos pueden ser sensores de efecto Hall. El sensor de efecto Hall sin contacto se puede mover a lo largo de un raíl tomando medidas puntuales de partes del campo magnético alrededor del raíl. Las variaciones en la corriente primaria que atraviesa el raíl pueden determinarse midiendo e identificando las variaciones en el campo magnético correspondiente en una o más ubicaciones a lo largo del raíl. Los cambios en el campo magnético a lo largo del raíl, que pueden detectarse mediante un sensor de efecto Hall, se correlacionan linealmente con los cambios en la corriente que atraviesa el raíl en los puntos de medición. Sin embargo, las mediciones tomadas por un sensor de efecto Hall convencional dependen de la distancia de ese sensor al raíl porque los gradientes magnéticos alrededor de una parte del raíl pueden ser relativamente fuertes pero variables. Dichos sensores también se ven afectados negativamente por los granos magnéticos naturales. Por lo tanto, incluso sin corriente, dichos sensores Hall pueden adquirir una variación significativa en el campo magnético detectado.

Las Figuras 4A y 4B muestran realizaciones de un instrumento de raíl 400A, 400B para detectar las propiedades eléctricas o magnéticas de raíl de un raíl 404. El instrumento de raíl 400A, B puede montarse en un carro tal como el mostrado en la Figura 1. El instrumento de raíl 400A, 400B comprende una configuración abierta. El instrumento de raíl 400A, B comprende un conductor alargado 402 que se configura para añadir variaciones en el campo magnético a través de un área del raíl. El conductor alargado 402 puede disponerse por encima del raíl 404. El conductor alargado 402 puede rodear una parte del radio del raíl 404 para detectar las propiedades eléctricas o magnéticas de múltiples caras del raíl. El conductor alargado 402 puede tener forma de herradura. Se puede decir que la forma del conducto alargado 402 es en una configuración en "U" o arqueada. Tal configuración puede permitir un mejor movimiento del instrumento de raíl a lo largo del raíl.

La parte abierta de una configuración en "U" puede posicionarse alrededor del raíl como se muestra en la Figura 4A, de manera que una parte del raíl 404 se posiciona entre los extremos abiertos del conductor 406, 408. En otro ejemplo, el instrumento de raíl puede posicionarse completamente por encima del raíl, de manera que los extremos abiertos del instrumento en forma de "U" estén más altos en el espacio por encima de la parte superior del raíl, de forma similar a como se muestra en la Fig. 4B. Un conductor metálico en forma de "U" para el instrumento sobre raíl puede permitir una mejor medición del flujo magnético alrededor del raíl y, al mismo tiempo, evitar que los objetos del entorno del raíl entren en contacto con el instrumento mientras pasa por el raíl. Tener el instrumento demasiado cerca del raíl puede provocar que el instrumento choque con algo dentro del entorno del sistema de raíles.

El instrumento de raíl puede formarse por una sola pieza o por varias piezas. El instrumento de raíl puede comprender una superficie alargada. Por ejemplo, el instrumento de raíl puede tener dos piezas de forma similar que se unen para formar una superficie alargada. La superficie alargada puede ser una o más de una superficie plana y una forma de "U". Cuando se utilizan múltiples piezas para formar el instrumento sobre raíles, las piezas pueden unirse entre sí sin holgura entre ellas. O como se muestra en la Figura 4, las piezas pueden unirse entre sí con una pequeña holgura entre ellas. Uno o más sensores pueden posicionarse en el centro del instrumento de raíl, incluso en la holgura entre otras dos piezas. El instrumento de raíl puede disponerse en un carro que se mueve a lo largo del raíl de manera que el instrumento de raíl detecte las propiedades eléctricas o magnéticas del raíl en puntos a lo largo del raíl. El instrumento de raíl puede comprender una superficie alargada, tal como una superficie plana, en una o más de las direcciones longitudinal y lateral en relación con el eje del raíl. Una superficie alargada, tal como una superficie plana del instrumento de raíl, puede ayudar a detectar todo el flujo magnético dentro de la región a lo largo de una parte del raíl que está cubierta por la superficie del instrumento de raíl. Esto puede proporcionar mediciones que son menos sensibles a la variación natural del campo magnético a lo largo de una longitud del raíl, y también puede ayudar a aumentar la densidad de flujo en el sensor del instrumento de raíl. La superficie alargada puede actuar además como un escudo para fuentes externas y puede hacer que las mediciones sean menos sensibles a la holgura entre el raíl y el sensor (incluidas las variaciones en esa holgura a medida que el instrumento se mueve a lo largo del raíl). La forma de U también puede ayudar a mitigar aún más la variabilidad magnética natural del raíl en la orientación plana. El alargamiento de la forma de U a lo largo del raíl puede mitigar de manera similar la variabilidad magnética natural del raíl en la orientación longitudinal.

El instrumento de raíl para detectar un campo magnético puede comprender un concentrador de flujo magnético. El concentrador de flujo magnético puede estar en una configuración abierta y comprender un material con una alta permeabilidad magnética combinado con un sensor de campo magnético, tal como un sensor magnético de efecto Hall. Un concentrador de flujo magnético puede ayudar a proporcionar lecturas del campo magnético que son un promedio del campo magnético de un área alrededor de una parte del raíl en un momento determinado. Una lectura del promedio del campo magnético alrededor de un área de una parte del raíl usando el concentrador de flujo puede ser mejor para detectar la corriente de fuga que simplemente una lectura del campo magnético en un punto discreto particular próximo al raíl usando solo un sensor de efecto Hall convencional. El concentrador de flujo magnético es menos sensible a pequeñas variaciones en la distancia del sensor al raíl a medida que el sensor se mueve a lo largo del raíl durante un período de tiempo.

El concentrador de flujo magnético también es menos sensible a las diferencias discretas de campo magnético entre puntos adyacentes en el raíl causadas por el perfil magnético del raíl de acero, que es una propiedad inherente del propio raíl. Además, el concentrador de flujo magnético puede configurarse para obtener lecturas del campo magnético de un raíl al que se suministra una corriente alterna o continua. El concentrador de flujo magnético puede configurarse para ver múltiples caras del raíl al mismo tiempo mediante el uso de un conductor alargado que discurre perpendicular al propio raíl. Alternativa o adicionalmente, el concentrador de flujo magnético comprende conductores alargados en una dirección que es paralela al raíl.

El concentrador de flujo magnético puede comprender un núcleo de hierro. El núcleo de hierro es un material que tiene una permeabilidad magnética mayor que la del aire. El núcleo de hierro puede ayudar a uno o más de reorientar y concentrar el campo magnético en el área alrededor del raíl de modo que el campo se centre en un punto específico para que el sensor magnético lo detecte, como el sensor magnético de efecto Hall. Un núcleo de hierro puede ayudar a usar el concentrador de flujo magnético para obtener lecturas de los campos magnéticos alrededor del raíl cuando se inyecta una corriente continua al sistema de raíl. El concentrador de flujo magnético que comprende el material con alta permeabilidad magnética y el sensor de efecto Hall puede estar en una configuración abierta, por ejemplo, una configuración en forma de arco, en "U" o en forma de herradura. Otras configuraciones abiertas del concentrador de flujo magnético pueden incluir, sin limitación, una forma generalmente plana o llana, una forma de U aplanada que se asemeja a una C, un arco poco profundo, una forma de V o cualquier otra configuración similar. Dichas configuraciones abiertas pueden permitir que el instrumento de raíl envuelva mejor una parte del raíl para mejorar la detección del campo magnético en un área más grande alrededor del raíl, pero aun así permitir que el instrumento se mueva rápidamente por el raíl (como en un carro o tren) para obtener muchas lecturas de una gran parte del raíl durante un periodo de tiempo relativamente corto. La configuración abierta puede ser de manera que reduce considerablemente el riesgo de que el instrumento de raíl entre en contacto involuntariamente con algo mientras mueve el instrumento a lo largo del raíl.

El sensor de efecto Hall puede posicionarse entre dos piezas de material de alta permeabilidad magnética en el concentrador de flujo. Por ejemplo, el sensor de efecto Hall puede posicionarse en el extremo cerrado de la forma de "U" entre dos piezas de imagen especular que forman el resto del concentrador de flujo. En otros ejemplos, se puede usar un sensor magnético distinto de un sensor de efecto Hall como parte del concentrador de flujo magnético. El concentrador también puede reducir el efecto del perfil magnético del raíl.

El concentrador de flujo magnético puede ser un concentrador de flujo magnético estrecho en una o más dimensiones. Por ejemplo, el concentrador puede extenderse entre aproximadamente 1 mm y 5 cm a lo largo de la longitud del raíl. El concentrador estrecho se puede usar para capturar una parte o sección transversal del flujo magnético del raíl en una posición dada.

En otra realización, tal como se muestra en la Figura 5, el concentrador de flujo magnético 500 puede ser un concentrador de flujo magnético profundo 502 que se extiende entre aproximadamente 5 cm y 100 cm a lo largo de la longitud del raíl 504. El concentrador de flujo magnético 500 comprende una primera parte 502A y una segunda parte 502B, y un sensor magnético 506 colocado entre la primera parte 502A y la segunda parte 502B. El concentrador de flujo magnético profundo 500 puede usarse para capturar un flujo magnético integrado y promediado de un área de los raíles que corresponde a la longitud y el ancho del concentrador 500 (es decir, sobre cortes continuos del flujo magnético en el raíl). El concentrador de flujo magnético profundo puede proporcionar una mayor ganancia de la señal/corriente que circula por el raíl, al tiempo que ayuda a reducir el ruido y los efectos de las no homogeneidades magnéticas dentro del raíl.

Una corriente de fuga se puede detectar haciendo funcionar simultáneamente dos sensores a lo largo del raíl y midiendo la variación en la corriente y/o el campo magnético entre un primer sensor en una primera posición y un segundo sensor en una segunda posición, estando el segundo sensor a una distancia seleccionada detrás del primer sensor en relación con la dirección de desplazamiento de los sensores. La distancia puede ser, por ejemplo, de 3 metros, correspondiente a un carro de medición o vehículo que sostiene los sensores, de hasta 100 m, hasta 200 m o, por ejemplo, tan larga como la longitud de un tren o más (mediante el uso de vagones separados). En otro ejemplo, la posición de un sensor puede ser fija y el segundo sensor puede montarse en un carro. Se pueden usar muchos sensores en serie. Las lecturas de varios sensores se pueden usar en diversas combinaciones, según los datos que se requieran para detectar una fuga. Por ejemplo, se pueden usar las lecturas de los sensores que pasan sobre la misma ubicación de un raíl. Se pueden utilizar las lecturas de los sensores, tomadas al mismo tiempo, pero para diferentes partes de la misma longitud de raíl.

En una realización de la presente divulgación en la que existe una corriente fluctuante a través del raíl, por ejemplo, como resultado de que los trenes circulen por el raíl, se pueden usar dos sensores. Los dos sensores pueden configurarse de manera que el segundo sensor se retrase en distancia con respecto al primer sensor. Los dos sensores miden al menos una parte del campo magnético alrededor del raíl (el campo magnético correspondiente a la corriente que pasa a través del raíl). Las medidas pueden ser de dos puntos del raíl. Las mediciones pueden realizarse al mismo tiempo. Las medidas pueden ser dos puntos del raíl al mismo tiempo. Al medir el campo magnético del raíl en dos puntos al mismo tiempo, se puede obtener una medición diferencial

de manera que el campo magnético base (es decir, inherente al raíl de acero y causado por la aceleración/desaceleración de los trenes) pueda identificarse y/o filtrarse y excluirse. En el caso de una corriente fluctuante en el raíl, si no se utilizan dos sensores y solo un sensor mide un primer punto seguido de un segundo punto, no será posible distinguir si los resultados son diferencias en el tiempo o diferencias debidas a una fuga. Además, al usar dos sensores a una distancia mayor, los sensores pueden detectar mejor las fugas distribuidas (como las que pueden ser causadas por polvo conductor). En este último caso, el primer sensor puede ser estacionario mientras el segundo sensor se mueve a lo largo del raíl. Si hay una fuga distribuida, el campo magnético medido correlacionado con la corriente del raíl disminuirá gradualmente con el tiempo a medida que el sensor móvil se mueva a lo largo del raíl (y en comparación con el campo magnético medido del sensor estacionario). En otra realización, los sensores pueden colocarse en el mismo vehículo o en vehículos separados configurados para moverse a lo largo del raíl. Las mediciones entre los dos sensores se comparan y las fugas se localizan a lo largo del raíl cuando hay una variación entre la medición del primer sensor y la medición del segundo sensor.

La Figura 6 muestra dos conjuntos de mediciones, y su diferencial, de un sensor (como salida de tensión del sensor) a medida que se mueve continuamente a lo largo de un segmento de un raíl desde las posiciones 0 a 1000 mm según una realización de la invención. En una realización de la presente divulgación, se toma un primer conjunto de mediciones sin que se inyecte corriente en el sistema (el trazado se muestra en una línea negra continua en la Fig. 6). Este conjunto de mediciones identifica las fluctuaciones en el campo magnético ambiental creadas por el propio raíl de acero. Posteriormente, se toma un segundo conjunto de mediciones de las mismas ubicaciones del raíl mientras la corriente fluye a través del raíl (por ejemplo, una inyección de 50 A) (el trazado se muestra en línea punteada en la Fig. 6). Al comparar los dos conjuntos de mediciones, se pueden identificar las fluctuaciones en el campo magnético ambiental del raíl, a fin de identificar y aislar el campo magnético creado por la corriente aplicada y la correspondiente fuga, si la hubiera. Un cambio en el campo magnético entre los dos conjuntos de mediciones en una ubicación particular indica un cambio en la corriente eléctrica o una fuga, por ejemplo, como se muestra por un aumento en los datos a 400 mm de la Fig. 6. Esta diferencia, junto con los datos de posición del sensor, determina la presencia de una fuga en el sistema de raíles y su ubicación. Por lo tanto, el sistema de detección de campo electromagnético en esta realización consiste en un sensor de campo magnético y una entrada de sensor de posición. Los sensores pueden montarse, por ejemplo, en un vehículo (tal como un carro) que rueda sobre los raíles de circulación para recopilar más fácilmente una serie de mediciones a lo largo de una sección de la vía. Sin embargo, los instrumentos no necesitan ser conducidos por un vehículo y, en su lugar, pueden usarse para tomar mediciones puntuales en ubicaciones específicas de manera discontinua.

El sistema puede comprender un sensor de posición para proporcionar resultados más precisos. Las mediciones del campo magnético tomadas en un punto del raíl pueden coincidir con la posición física real del instrumento del raíl cuando está realizando la medición en el punto. El sensor de posición puede monitorizar de forma continua y precisa la posición del instrumento de raíl en relación con el raíl. El sensor de posición se puede usar además para capturar la ubicación del sensor a lo largo del raíl, que se puede usar para hacer referencias cruzadas con la ubicación de rutas de corriente divergentes, como enlaces cruzados y conexiones de cable atornilladas. Esta información puede ayudar a separar los cambios esperados en la corriente causados por rutas de corriente divergentes intencionales de la corriente de fuga no intencional. El sensor de posición tiene en cuenta los conductores de posición fija conectados al raíl de rodadura que pueden cambiar la magnitud del campo magnético. Este sensor también puede relacionar los datos del campo magnético con una posición exacta dentro de la red de potencia de tracción.

El análisis de datos puede ayudar a garantizar una firma precisa de la ubicación de la fuga actual. Debido a la alta sensibilidad de los sensores utilizados en el sistema y a la importante cantidad de influencia e interferencia de otras fuentes (otros conductores portadores de corriente, vibraciones, otras fuentes de corriente, campo magnético terrestre), se puede utilizar una plataforma avanzada de análisis de datos para diferenciar entre los puntos de fuga de corriente, por un lado, y otros factores que podrían producir falsos positivos, por otro lado. La combinación de un sensor de posición y/o un análisis de datos con el instrumento del raíl puede ayudar a proporcionar un valor preciso de la corriente del raíl de circulación antes y después de un punto de fuga que identifique de manera única un punto de corriente de fuga que requerirá reparación por mantenimiento.

En otra realización del sistema, tal como se muestra en la Figura 7, se usa una bobina abierta de tipo Rogowski 702 para medir la corriente a lo largo del raíl 704. La bobina 702 comprende un toroide parcial de cable 703 de manera que hay un primer extremo 706 y un segundo extremo 708, y los extremos del toroide parcial no se encuentran de tal manera que se pueda pasar un raíl 704 entre los mismos. La bobina de Rogowski abierta infiere la corriente primaria (es decir, a través del raíl 704) mediante la integración de la velocidad de cambio del campo magnético y puede usarse para identificar cambios en la corriente. Específicamente, la bobina de Rogowski 702 resuelve los componentes de corriente alterna de la corriente eléctrica a medida que se mueve a lo largo del raíl. En una realización, la bobina de Rogowski 702 está en una configuración abierta de manera que no forme un bucle completo (los extremos 706 y 708 no se tocan) como en una bobina de Rogowski convencional. La configuración de bobina Rogowski 702 abierta ayuda a capturar un promedio de una parte de los cambios en la corriente a través de un área del raíl 704 en lugar de un solo punto. Los extremos de la bobina

Rogowski abierta no se unen para permitir que la bobina envuelva parcialmente el raíl. En un ejemplo, se coloca la bobina de Rogowski de forma abierta de modo que al menos una parte del raíl esté entre los extremos abiertos de la bobina. En esta configuración, el raíl pasa entre los extremos a medida que la bobina se mueve por el raíl. En otro ejemplo, la bobina de Rogowski de forma abierta puede posicionarse de manera que los extremos abiertos estén por encima del raíl. En una realización, la bobina se puede usar a cualquier frecuencia dentro del intervalo utilizable del instrumento. En otra realización, el espectro de frecuencia de salida derivado de las mediciones de la bobina puede filtrarse a un intervalo de frecuencias específico. Por ejemplo, se puede inyectar una corriente alterna a una frecuencia específica en el raíl y la salida del instrumento (bobina de Rogowski) se puede filtrar a esa misma frecuencia. Cuando el valor de corriente resuelto detectado a lo largo del raíl cae por debajo de un cierto umbral de detección, esto significa la presencia de una fuga.

Como puede verse en la Figura 8, la magnitud de la medición de corriente inferida por la bobina cae proporcionalmente al tamaño/magnitud de la fuga en la posición de la fuga (en esta prueba a 600 mm). Cada trazado de la Figura 8 muestra un ejemplo representativo de un porcentaje de caídas de magnitud máxima en el mismo segmento del raíl para diferentes cantidades de fuga de corriente. En otra realización, se usan dos bobinas de Rogowski, que se mueven a la misma velocidad a una distancia predeterminada entre sí. Las diferencias en las mediciones de las dos bobinas indican un cambio en la corriente eléctrica en algún punto entre las dos bobinas, localizando así una fuga entre las dos bobinas. Específicamente, las dos bobinas deducen la misma proporción de corriente y, por lo tanto, si una primera bobina y una segunda bobina detectan la misma proporción de corriente, esto indica que no hay ninguna fuga. Si, por otro lado, una bobina infiere menos corriente en relación con la otra bobina, esto indica una fuga entre las bobinas. El uso de dos bobinas de Rogowski como método de detección puede ayudar a detectar mejor las fugas de corriente distribuida.

La Figura 9A muestra una representación de un raíl 902 con una corriente de fuga tangencial 904, y la Figura 9B muestra una bobina de detección magnética 906 que es ortogonal al eje del raíl 902 según una realización de la invención. La bobina magnética 902 puede usarse para detectar directamente la corriente de fuga que se desplaza en una dirección distinta a la longitud del raíl 906. Esto puede ser tangencial o alejado del raíl, u ortogonal en otro plano, o generalmente no paralelo y no ortogonal en un ángulo torcido con respecto a un raíl. La corriente de fuga que se aleja del raíl hace que el campo magnético alrededor de la corriente de fuga se desplace en una nueva dirección que es diferente del campo magnético correspondiente a la corriente primaria que viaja a través del raíl. La corriente de fuga 904 puede fluir vertical, horizontalmente o en alguna combinación de las mismas en cualquier dirección, pero no a través de una ruta que esté a lo largo del raíl. Cuando se usa una bobina magnética u otro sensor electromagnético de este tipo, se puede inyectar una corriente alterna en el raíl mientras el sensor discurre a lo largo del raíl. El sensor magnético ignora la corriente longitudinal (es decir, la corriente que atraviesa el raíl/corriente primaria) y solo detecta el componente tangencial de la corriente producida por una fuga. La ubicación de una corriente de fuga a lo largo del raíl puede determinarse por la corriente de fuga detectada y la posición del sensor en el punto de detección. En una realización, la bobina y un condensador en serie pueden formar un circuito resonante LC a la frecuencia de inyección de corriente alterna, lo que reduce la interferencia provocada por el ruido de corriente alterna en el raíl y aumenta la sensibilidad de la bobina a la frecuencia de inyección.

En otra realización del sistema, tal como se muestra en la Figura 10, las corrientes de fuga se detectan enviando un pulso a través del raíl y detectando una reflexión o discontinuidad de ese pulso. La reflexión o discontinuidad significa la fuga en el punto de reflexión/discontinuidad. El método de reflectometría en el dominio del tiempo (TDR) comprende modelar el raíl como una línea de transmisión con una impedancia característica. Por ejemplo, en un sistema que tiene dos conductores paralelos en el que un conductor es el raíl y el otro se conecta a tierra, y entre los conductores hay un material aislante (es decir, dieléctrico), se puede establecer una impedancia característica que puede transmitir un pulso a lo largo de la línea de transmisión. Un impulso de tensión rápido (corto) enviado al raíl se refleja cada vez que cambia la impedancia característica. Una fuga provocará un cambio en la impedancia. El cambio en la impedancia, por ejemplo si hay un cortocircuito o un circuito abierto, produce una reflexión que puede ser detectada por un medidor TDR. La reflexión puede ser positiva o negativa dependiendo de la forma en que cambie la impedancia. Una fuga generalmente produce una reflexión negativa porque es una inducción localizada a tierra. El tiempo de vuelo del pulso, o el tiempo entre el envío de un pulso y la recepción de la reflexión, se puede usar para determinar la distancia desde el punto de inyección hasta la fuga. La medición proporciona una distancia desde el pulso hasta el punto de reflexión. El movimiento más cerca de la fuga producirá distancias más cortas hasta que se pueda determinar la posición de la fuga. La distancia se puede detectar hasta 100 m o hasta 200 m.

En otra realización del sistema, tal como se muestra en la Figura 11A, se detecta una fuga de corriente mediante la medición de las propiedades eléctricas del raíl/conductor mediante mediciones inductivas que apuntan a una fuga. Esto se logra identificando un cambio en las propiedades magnéticas localizadas del raíl. Un bucle (de cable, por ejemplo) creado por un conductor puede considerarse un inductor y tiene una inductancia basada en el área del bucle. Una fuga en el raíl provoca un bucle que comprende: un electrodo en el raíl, la longitud del raíl hasta la fuga, la fuga (suponiendo que la resistencia a tierra es baja), la ruta de retorno del suelo y una conexión a tierra. En cualquier momento, la bobina de alambre que se mueve a lo largo del raíl estará entre dos puntos de fuga. A medida que el circuito se acerca a una fuga, el valor de inductancia cae y alcanza un

mínimo local. A medida que el bucle se aleja de la fuga, la inductancia aumenta. Estos mínimos locales que significan fugas se pueden ver en el gráfico de la Figura 11B. Por lo tanto, las fugas pueden formar bucles paralelos. Se puede usar un medidor LCR para medir la inductancia a lo largo del raíl. A medida que cambia la distancia entre el punto de medición y la fuga más cercana, el área del bucle cambia, lo que afecta a la inductancia medida. La ubicación de las dos fugas más cercanas se puede determinar mediante la inductancia medida. La inductancia medida llegará a cero (mínimo local) en la ubicación de las fugas.

5

Cualquier realización del sistema de detección de campo electromagnético puede usarse independientemente o en combinación con una o más de las otras realizaciones del sistema.

10

REIVINDICACIONES

1. Un sistema para localizar una fuga de corriente en un raíl de potencia de tracción, el sistema comprende:
 - 5 un vehículo configurado para moverse a lo largo de un segmento del raíl y proporcionar una ubicación del vehículo a lo largo del segmento del raíl en diversos puntos temporales; y
 - 10 un instrumento de raíl dispuesto en el vehículo, comprendiendo el instrumento de raíl un concentrador de flujo magnético en una configuración abierta que comprende un conductor alargado que discurre en una dirección paralela a una parte del raíl y que tiene una sección transversal arqueada, en forma de U o en forma de herradura para obtener una lectura del campo magnético promedio de la parte del raíl, el instrumento configurado para tomar lecturas del campo magnético promedio en un área de partes del raíl mientras el vehículo se mueve a lo largo del segmento,
 - 15 un procesador para recibir las ubicaciones del vehículo y las lecturas del instrumento de raíl durante un periodo de tiempo y determina la ubicación de una fuga de corriente en el raíl en función de las ubicaciones del vehículo y las lecturas del instrumento de raíl.
 2. El sistema de la reivindicación 1, en donde el instrumento de raíl comprende una bobina abierta tipo Rogowski.
 3. El sistema de la reivindicación 2, en donde la bobina de Rogowski se sintoniza para resonar a una frecuencia específica o la bobina de Rogowski se filtra para aislar una frecuencia específica.
 - 25 4. El sistema de la reivindicación 1, en donde el material del concentrador de flujo magnético comprende dos partes, el sensor magnético se dispone entre las dos partes del material.
 5. El sistema de la reivindicación 1, en donde el concentrador de flujo magnético es un concentrador de flujo magnético estrecho o un concentrador de flujo magnético profundo, extendiéndose el concentrador de flujo una distancia seleccionada en una dirección paralela a una longitud del raíl de potencia de tracción.
 - 30 6. El sistema de la reivindicación 1, en donde el sensor magnético es un sensor de efecto Hall, un magneto-transistor, un magnetómetro AMR, un magnetómetro GMR, un magnetómetro de unión de túnel magnético, un sensor MEMS basado en la fuerza de Lorentz, un sensor MEMS basado en túneles de electrones, un magnetómetro de compuerta de flujo, un sensor de campo magnético de bobina o un magnetómetro SQUID.
 - 35 7. El sistema de la reivindicación 1, en donde el instrumento comprende un conductor alargado que discurre tangencial o perpendicular a una parte del raíl para obtener una lectura promedio del campo magnético de la parte del raíl.
 - 40 8. El sistema de la reivindicación 1, en donde el conductor comprende dos extremos, y al menos una parte del raíl se dispone entre los dos extremos.
 - 45 9. Un método para determinar una fuga de corriente a lo largo de un raíl de potencia de tracción, que comprende,
 - 50 hacer funcionar un sensor que tiene un concentrador de flujo magnético a lo largo del raíl, estando el concentrador de flujo magnético en una configuración abierta y que comprende un conductor alargado que discurre en una dirección paralela a una parte del raíl y que tiene una sección transversal arqueada, en forma de U o en forma de herradura para obtener una lectura promedio del campo magnético de la parte del raíl;
 - inyectar una corriente en el raíl para provocar un campo magnético conocido alrededor del raíl;
 - 55 detectar una diferencia entre la lectura promedio del campo magnético y el campo magnético conocido;
 - determinar una posición del sensor a lo largo del raíl donde se detecta la diferencia; y
 - determinar la fuga de corriente en la ubicación a lo largo del raíl en función de la diferencia y la posición.
 - 60 10. El método de la reivindicación 9, en donde el sensor es una bobina de detección magnética dispuesta ortogonal al raíl.

- 5 11. Un instrumento de raíl para detectar las propiedades eléctricas o magnéticas de los raíles en puntos a lo largo de un raíl de tracción, que comprende un concentrador de flujo magnético en una configuración abierta que comprende un conductor alargado que discurre en una dirección paralela a una parte del raíl y que tiene una sección transversal arqueada, en forma de U o en forma de herradura para obtener una lectura promedio del campo magnético de la parte del raíl.
12. El instrumento de raíl de la reivindicación 11, en donde el concentrador de flujo magnético comprende un material de alta permeabilidad magnética y un sensor magnético.
- 10 13. El instrumento de raíl de la reivindicación 11, en donde el sensor magnético se dispone entre dos partes del material.
14. El instrumento de raíl de la reivindicación 11, que comprende una bobina abierta tipo Rogowski.
- 15 15. El instrumento de raíl de la reivindicación 12, en donde el sensor magnético es un sensor de efecto Hall, un magneto-transistor, un magnetómetro AMR, un magnetómetro GMR, un magnetómetro de unión de túnel magnético, un sensor MEMS basado en la fuerza de Lorentz, un sensor MEMS basado en túneles de electrones, un magnetómetro de compuerta de flujo, un sensor de campo magnético de bobina o un magnetómetro SQUID.
- 20 16. Uso del instrumento de raíl de la reivindicación 11, para detectar la corriente de fuga en el raíl de tracción de potencia.
- 25

DIBUJOS

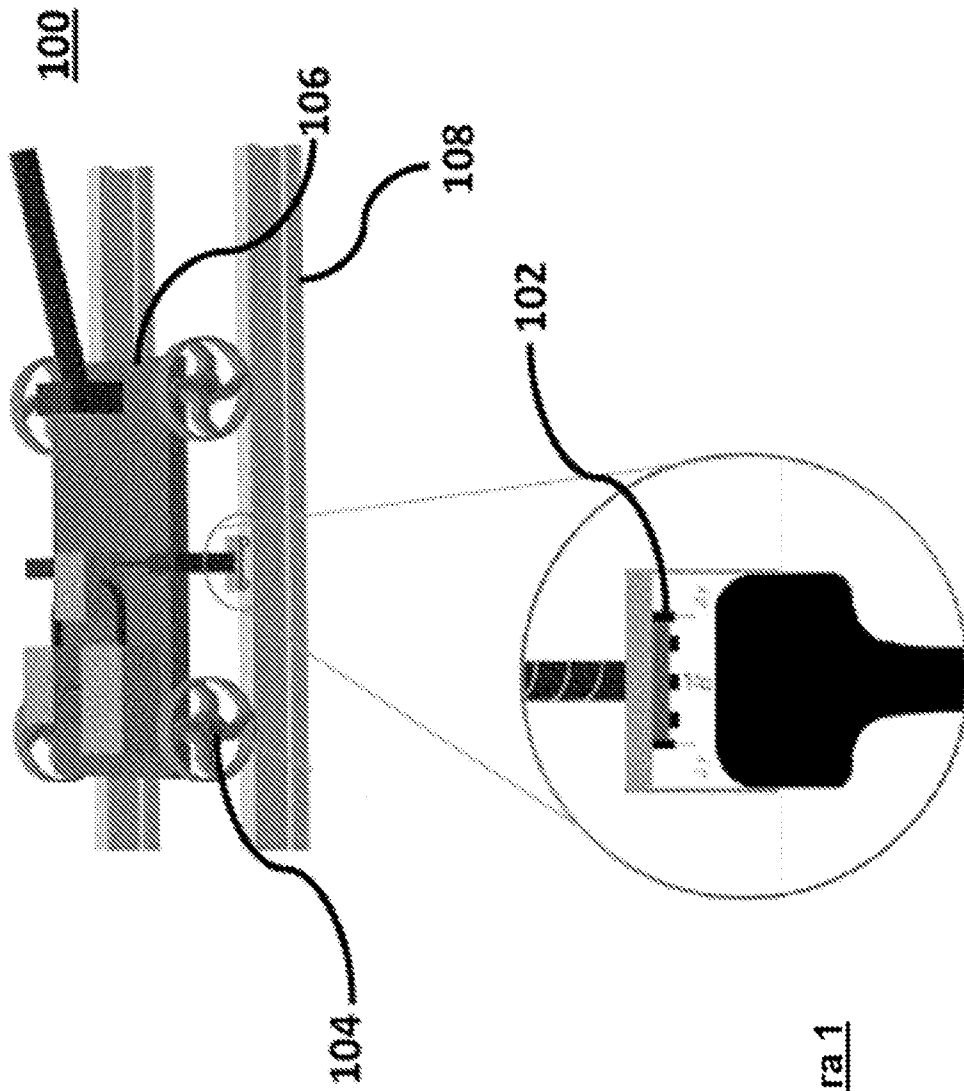


Figura 1

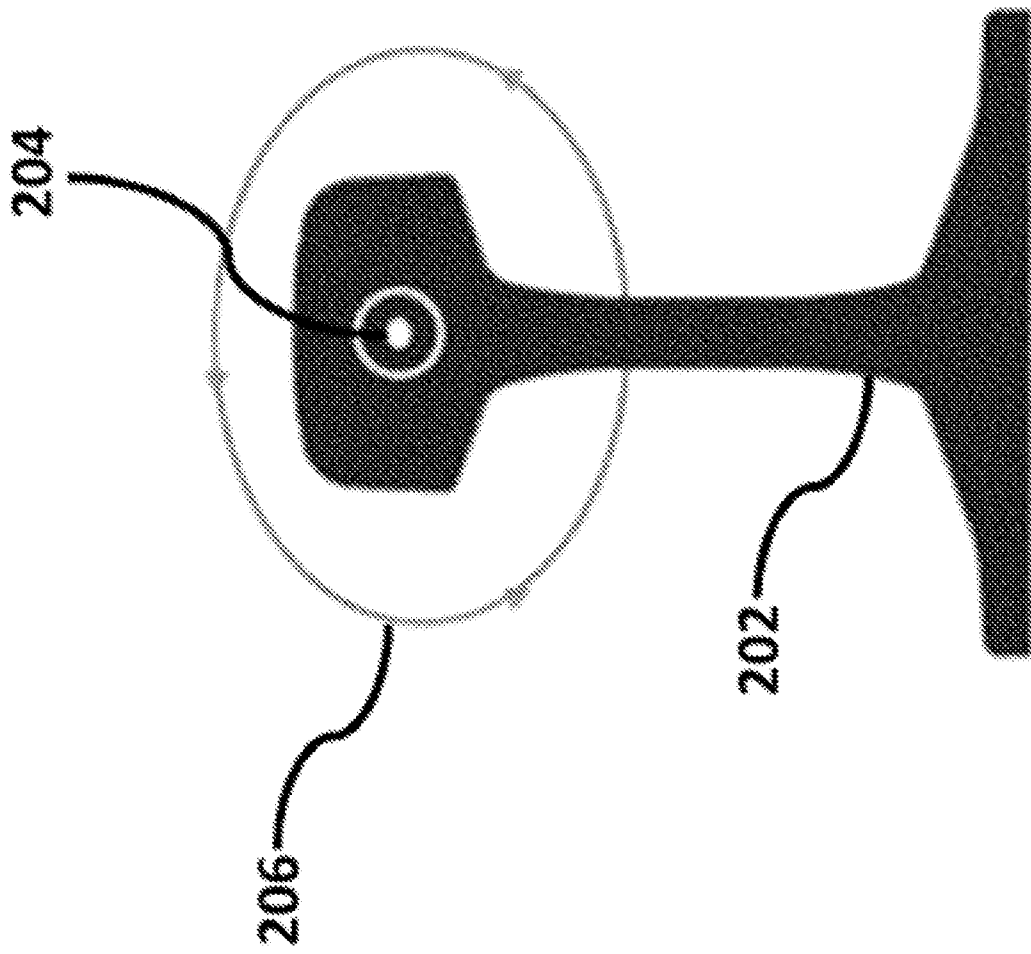


Figura 2

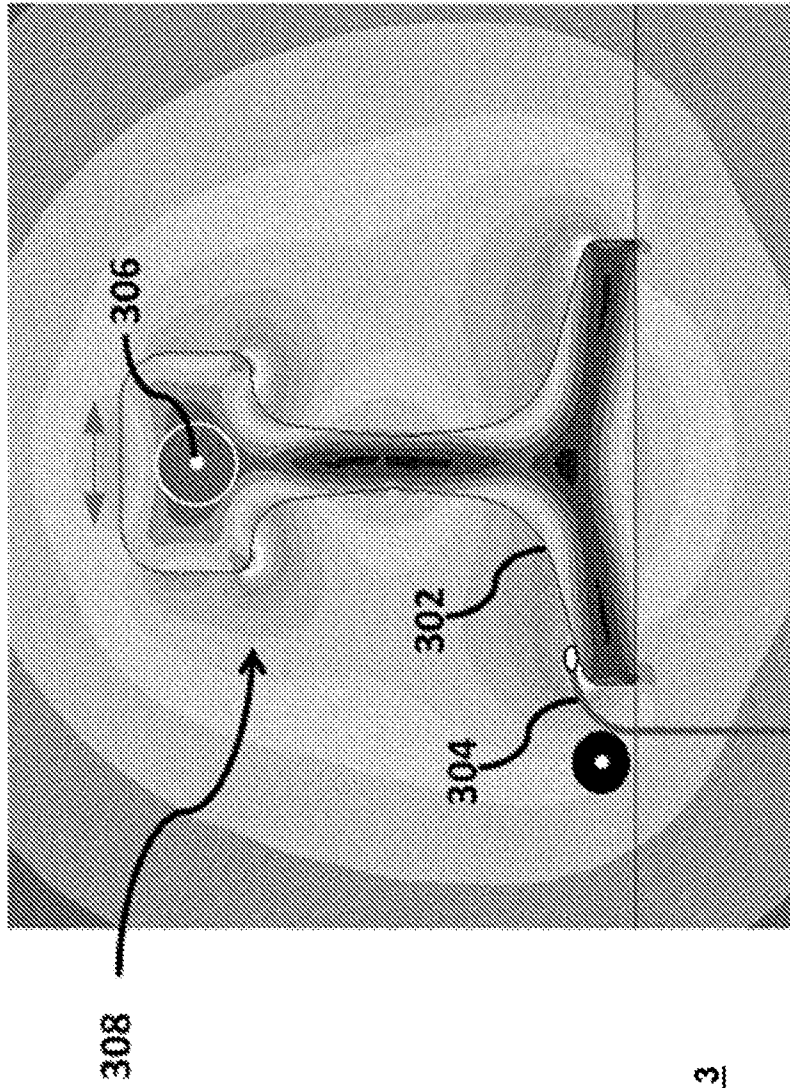


Figura 3

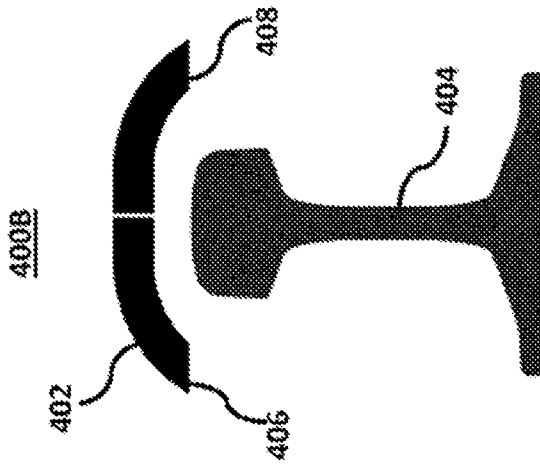


Figure 4A

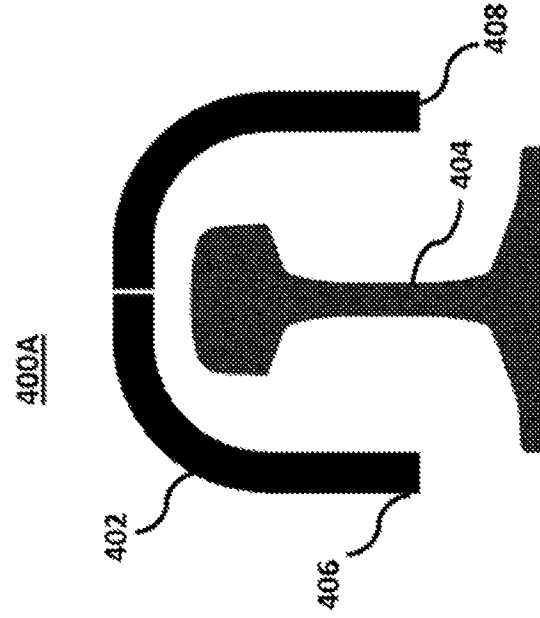


Figure 4B

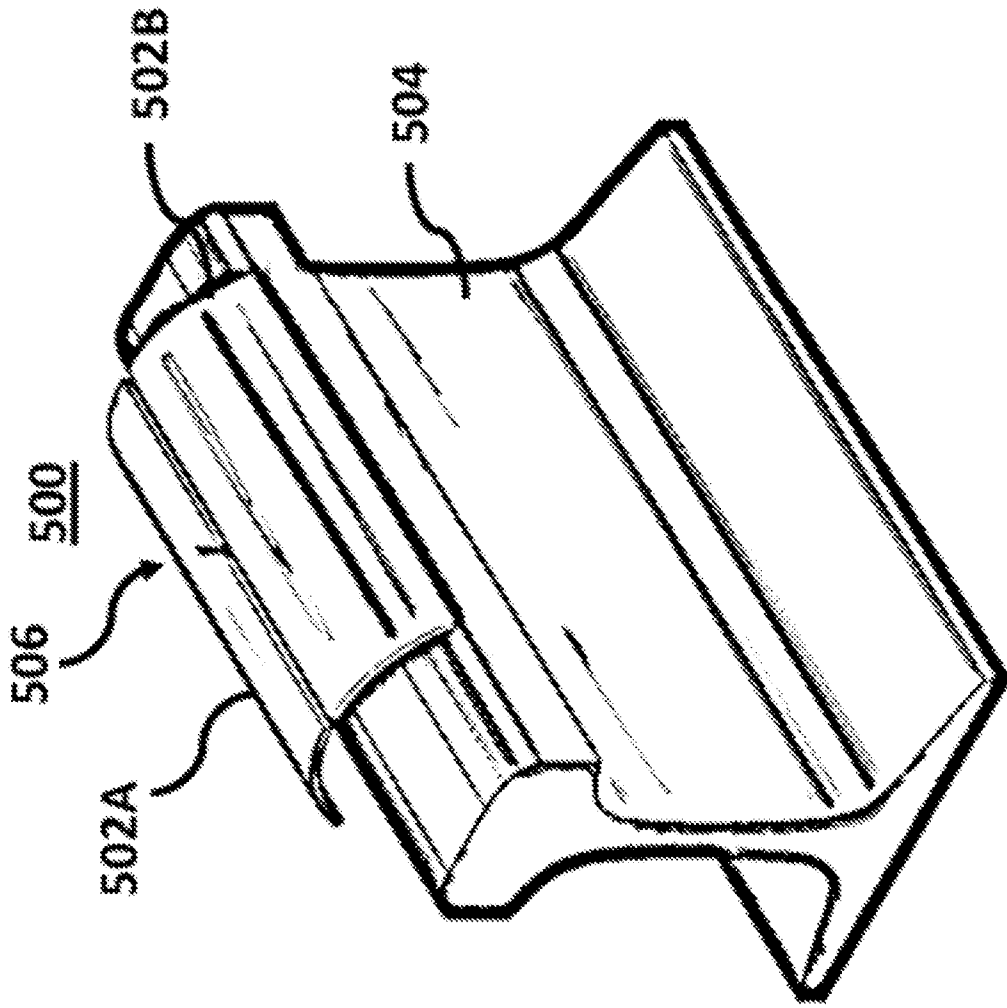


Figure 5

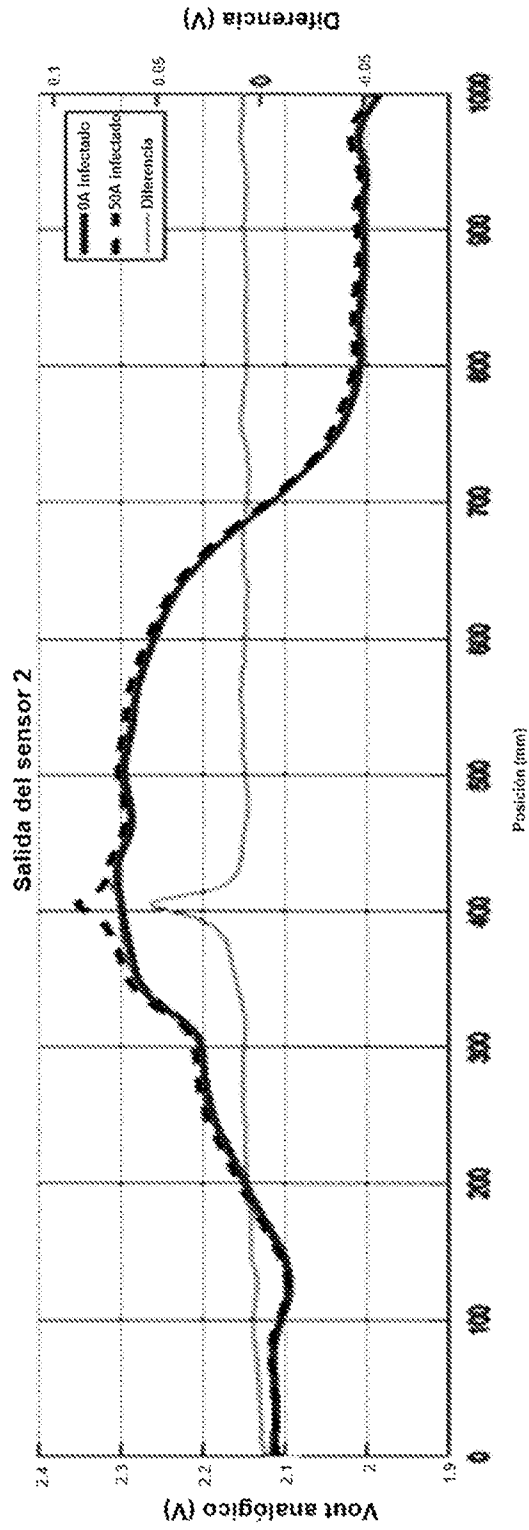


Figura 6

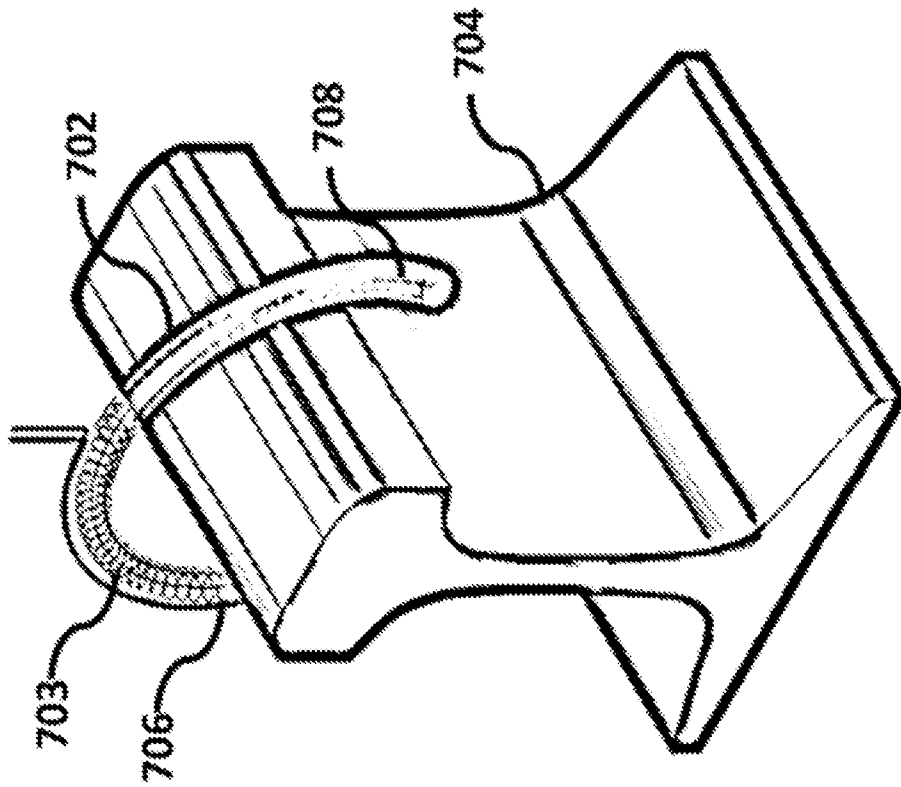


Figura 7

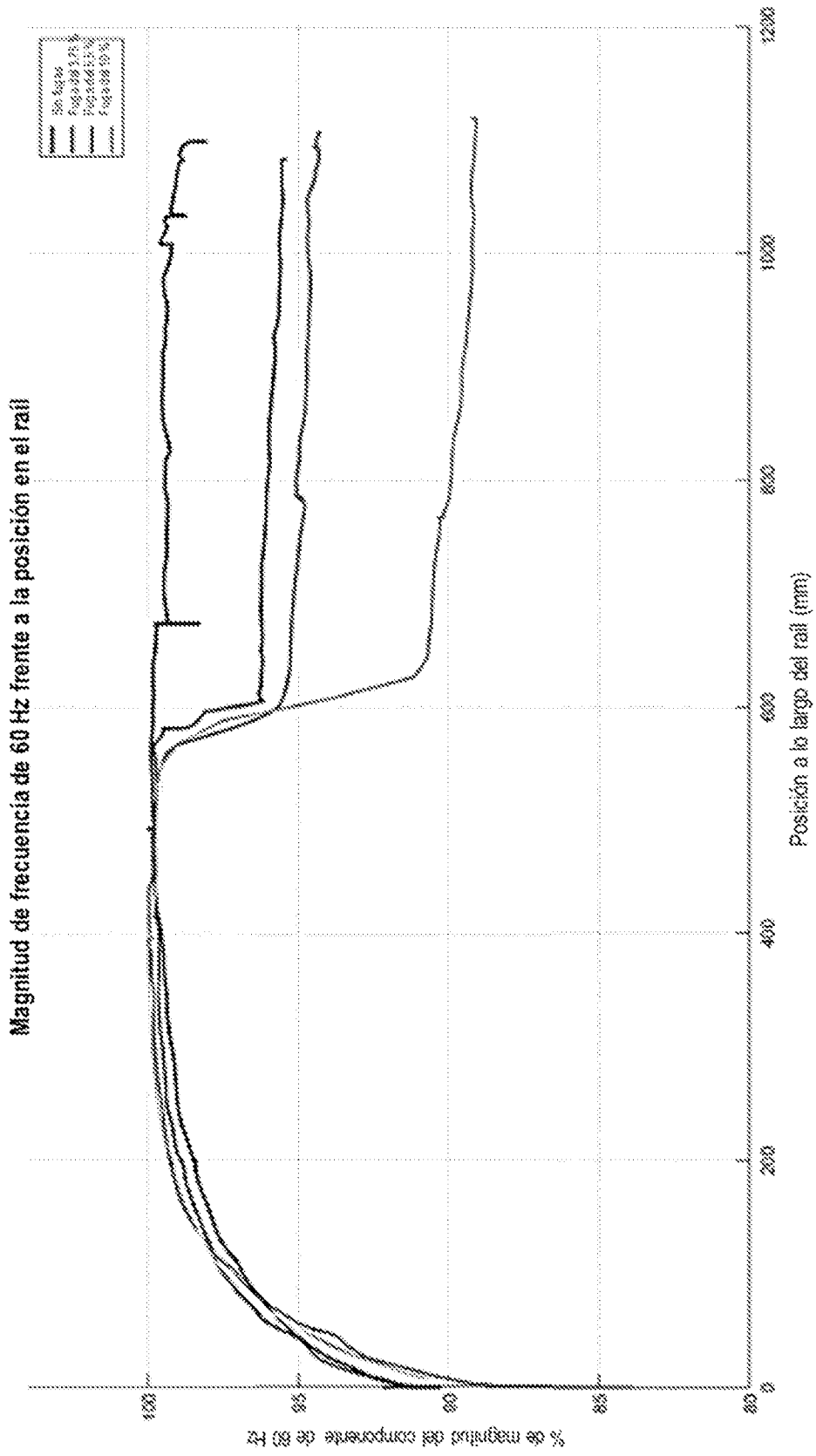


Figura 8

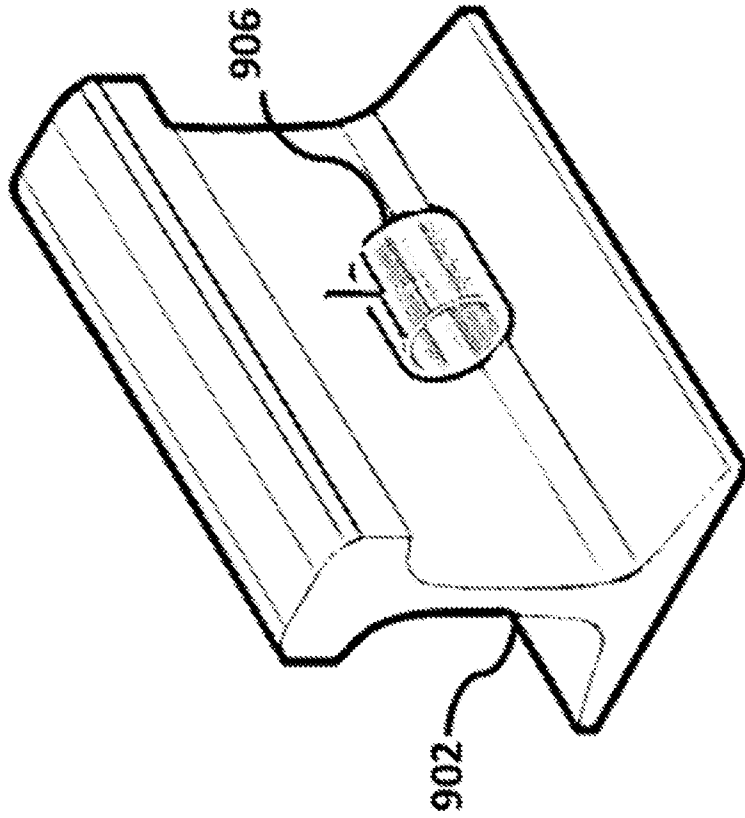


Figura 9B

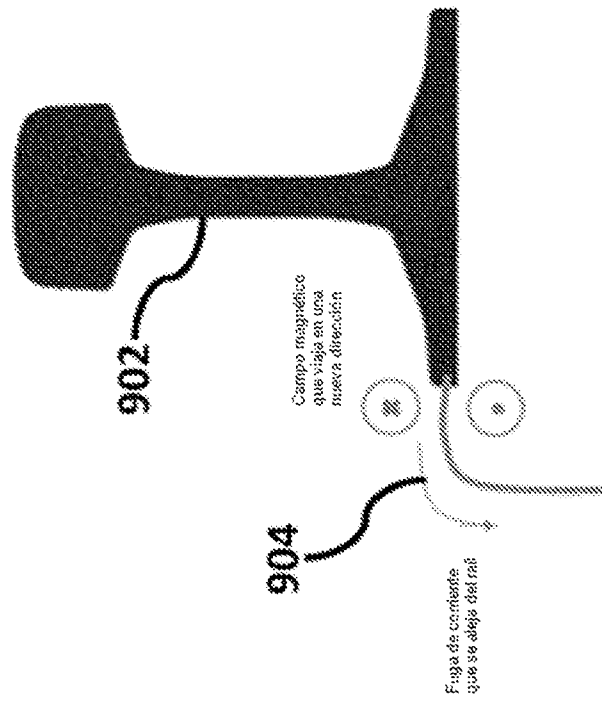


Figura 9A

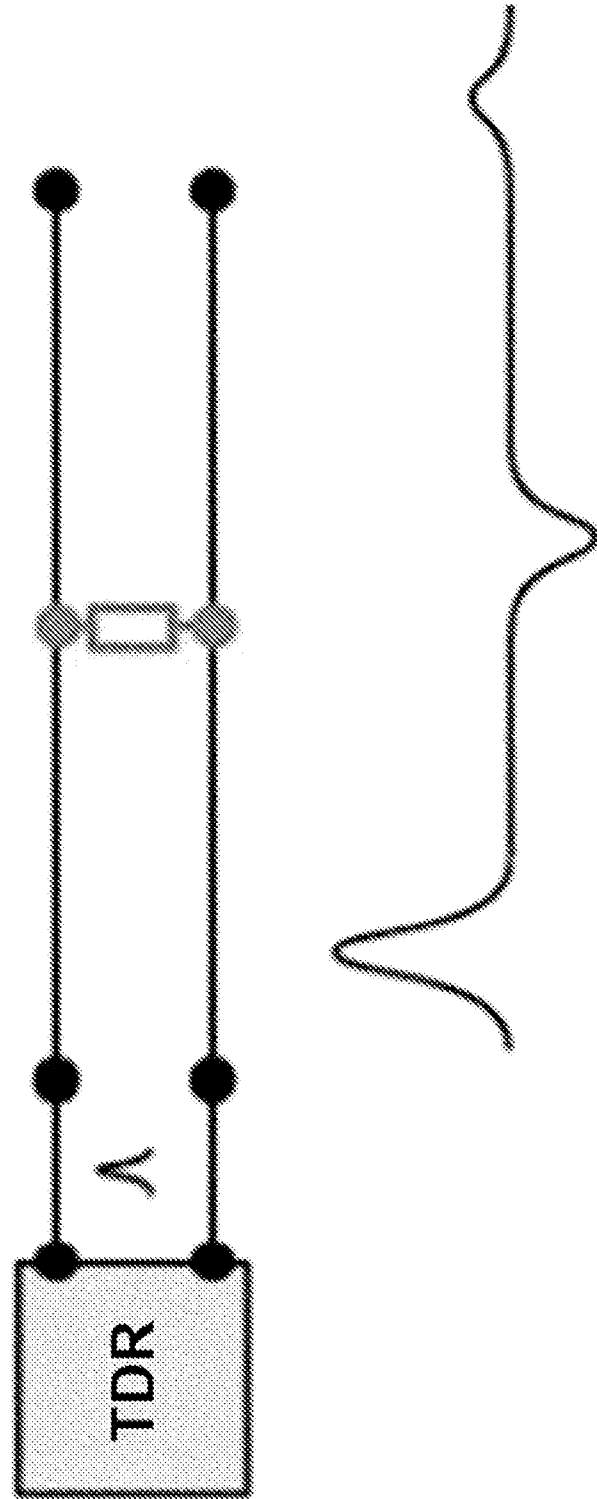


Figura 10

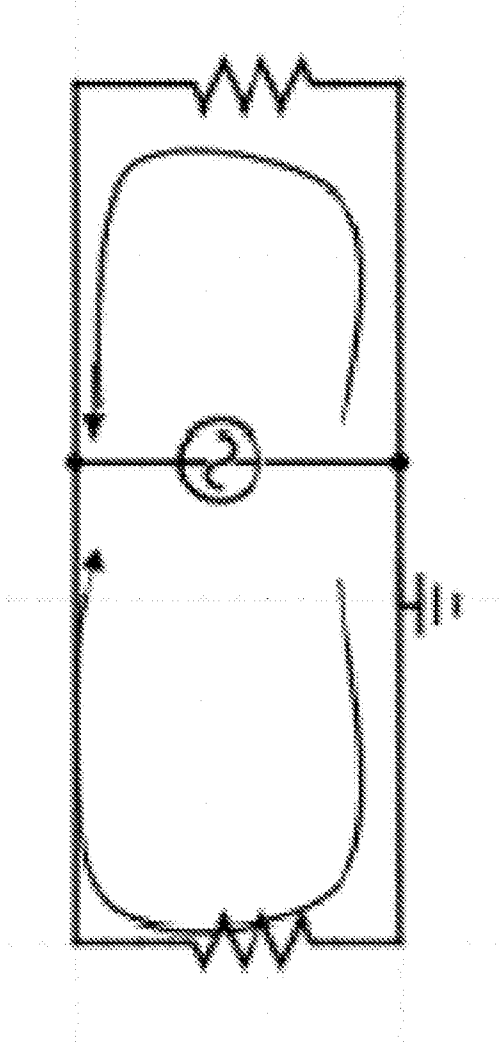


Figura 11A

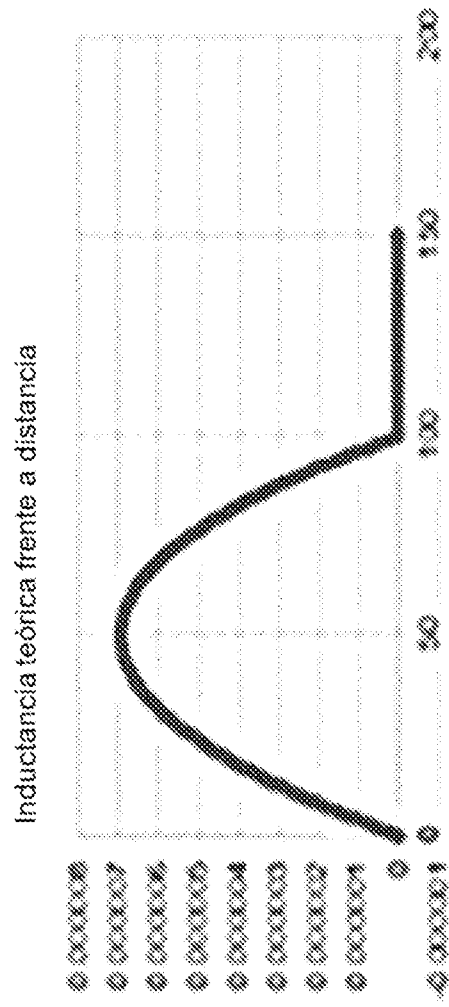


Figura 11B