



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① Número de publicación: **2 334 529**

② Número de solicitud: 200700741

⑤ Int. Cl.:
G01M 17/10 (2006.01)
B61K 9/12 (2006.01)

⑫

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN PREVIO

B2

② Fecha de presentación: **21.03.2007**

④ Fecha de publicación de la solicitud: **11.03.2010**

Fecha de la concesión: **18.10.2011**

Fecha de modificación de las reivindicaciones:
08.08.2011

④ Fecha de anuncio de la concesión: **28.10.2011**

④ Fecha de publicación del folleto de la patente:
28.10.2011

⑦ Titular/es: **CONSTRUCCIONES Y AUXILIAR DE
FERROCARRILES, S.A.**
José Miguel Iturrioz, 26
20200 Beasain, Guipúzcoa, ES
Centro de Estudios e Investigaciones Técnicas de
Guipúzcoa (CEITG)

⑦ Inventor/es: **Giménez Ortiz, José Germán y**
Gómez Martín, Eduardo

⑦ Agente: **Buceta Facorro, Luis**

⑤ Título: **Método de medida de los esfuerzos generados en el punto de contacto rueda-carril de vehículos ferroviarios.**

⑦ Resumen:

Método de medida de los esfuerzos generados en el punto de contacto rueda-carril de vehículos ferroviarios, que comprende el posicionamiento de sensores extensométricos (6) sobre el velo (3) de una rueda (1) ferroviaria, para medir la deformación en determinados puntos de dicho velo (3) de la rueda (1) de aplicación, de cuyas señales se utiliza un armónico para determinar las cargas que afectan al punto de contacto de la rueda (1) sobre el carril de apoyo, disponiéndose los sensores extensométricos (6) combinados en puentes o circuitos de medida, para eliminar los armónicos no deseados de las señales de medida de deformación, situándose para ello los sensores extensométricos (6) de cada puente o circuito de medida en puntos determinados sobre el velo (3) de la rueda (1) de aplicación.

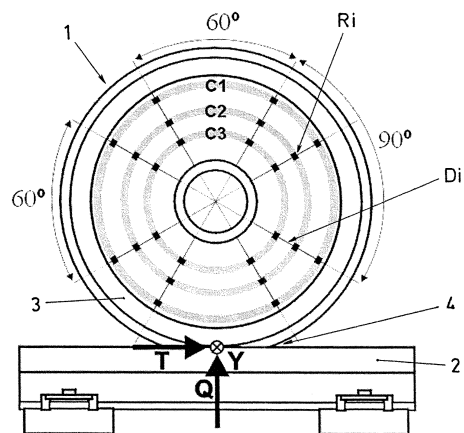


Fig. 4

ES 2 334 529 B2

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 40.2.8 LP.

ES 2 334 529 B2

DESCRIPCIÓN

Método de medida de los esfuerzos generados en el punto de contacto rueda-carril de vehículos ferroviarios.

5 Sector de la técnica

La presente invención está relacionada con la dinámica de vehículos ferroviarios y más concretamente con la medición de los esfuerzos producidos en el contacto rueda-carril.

10 Estado de la técnica

15 El conocimiento de los esfuerzos involucrados en el contacto rueda-carril es imprescindible, tanto para procesos de homologación dinámica de vehículos ferroviarios, como para el estudio científico de fenómenos asociados a la dinámica de los mismos.

Los esfuerzos que aparecen en el punto de contacto rueda-carril son de tres tipos:

20 - Cargas verticales (Q) que constan de una componente media debida al peso del vehículo y componentes dinámicas que se pueden producir en diferentes situaciones de marcha, como puede ser, por ejemplo en la circulación en curva o en circulación bajo irregularidades de la vía.

25 - Cargas laterales (Y) que toman fundamentalmente importancia en la circulación en curva, aunque también existen otras condiciones de circulación donde se pueden generar niveles elevados de estas cargas, como por ejemplo en la circulación por un cambio de agujas o en régimen inestable.

30 - Cargas longitudinales (T) debidas en parte a la diferencia de recorridos a realizar en una curva por la rueda interior y exterior de un mismo eje y a la diferencia de radios de rodadura entre puntos de contacto de ambas ruedas. A esta diferencia contribuyen el desplazamiento lateral del eje y la conicidad del perfil de rodadura de las ruedas. Las fuerzas de tracción y freno se transmiten también a través de este tipo de esfuerzos.

Para realizar la medición de estas cargas (Q, Y y T), una de las soluciones del Estado de la Técnica es la utilización de tramos de vía sensorizados, resultando una solución costosa y limitada en sus posibilidades de ensayo.

35 Actualmente para las mediciones requeridas en los procesos de homologación dinámica de vehículos, se utilizan ejes dinamométricos basados en ejes convencionales instrumentados con extensómetros, que mediante la medida de las deformaciones unitarias de distintos puntos del conjunto eje-rueda permiten obtener el valor de las cargas de contacto rueda-carril.

40 Sin embargo existen grandes dificultades para la medida precisa de estos esfuerzos mediante los ejes dinamométricos utilizados hasta la fecha, debido a diferentes factores:

45 - Para un mismo punto de medida instrumentado, se mezclan los efectos de las diferentes cargas vertical (Q), lateral (Y) y longitudinal (T) asociadas al punto de contacto.

- Las sensibilidades, para cada una de las cargas de contacto, varían en función de la posición angular del conjunto eje-rueda, así como de la posición lateral del área de contacto.

50 - Dificultades para la determinación de los puntos a instrumentar cuyas señales sean suficientemente diferentes como para estimar con precisión suficiente las cargas deseadas.

- Las fuerzas inerciales asociadas al conjunto del eje montado introducen errores dinámicos en la estimación de las fuerzas de contacto, errores que son dependientes a su vez de la localización de los puntos instrumentados.

55 - Las fuerzas centrífugas y los momentos giroscópicos soportados por la rueda introducen variaciones importantes en las señales de los puntos instrumentados, convirtiéndose en importantes fuentes de error.

60 En el mundo ferroviario se utilizan comúnmente diversos métodos de medida de los esfuerzos de contacto, los cuales se pueden clasificar según el elemento soporte de los sensores utilizados para la medida, distinguiéndose: métodos basados en el cuerpo del eje, métodos basados en el alma de la rueda, métodos basados en elementos de la suspensión primaria y métodos mixtos, combinación de los anteriores.

Los métodos de medida basados en la instrumentación del cuerpo de eje no son capaces, de eliminar la influencia de la variación de la posición del punto de contacto rueda-carril, en la medida de la carga lateral.

65 Los métodos de medida basados en la instrumentación de la rueda no eliminan, de origen, la influencia de la variación del punto de contacto para ninguna de las cargas aplicadas en el punto de contacto rueda-carril.

ES 2 334 529 B2

Los métodos de medida basados en la instrumentación de la rueda no plantean ninguna solución suficientemente satisfactoria para eliminar o reducir la influencia de la rotación del eje, persistiendo errores de rizado que pueden ser muy elevados dependiendo del tipo de rueda utilizada, de los puntos de medida escogidos y del tipo de carga medida.

5 Los métodos de medida basados en elementos de la suspensión primaria no son válidos para la medida de las cargas laterales (Y).

Los métodos mixtos intentan combinar las ventajas de los diferentes métodos para la medida de cada una de las cargas de contacto, no obstante, no son capaces de eliminar sus limitaciones más importantes.

10 Los métodos existentes no plantean ninguna estrategia satisfactoria y de validez universal para seleccionar la combinación de puntos de medida más adecuada para cada uno de los métodos, utilizándose en muchas ocasiones combinaciones de puntos de mayor sensibilidad a las cargas de contacto, los cuales no necesariamente tienen que aportar la mejor solución de medida.

15 En los métodos existentes no se compensa el error introducido por parámetros inherentes a los propios ejes dinámicos, como fuerzas centrífugas, fuerzas de inercia del conjunto del eje y momentos giroscópicos.

20 En definitiva se puede afirmar que el Estado de la Técnica actual no constituye una solución precisa que pueda ser aplicada de forma general a cualquier tipo de vehículo.

Objeto de la invención

25 El método objeto de la invención permite la medida precisa de las cargas existentes en el punto de contacto rueda-carril así como la propia posición de este punto de contacto, eliminando a su vez los errores asociados a las fuerzas de inercias, las fuerzas centrífugas, los momentos giroscópicos, los efectos cruzados entre las diferentes cargas a medir verticales, laterales y longitudinales (Q, Y y T) y los errores cometidos por la variación, tanto lateral como angular, de la posición del punto de contacto, resultando un método realmente ventajoso, frente a las soluciones conocidas, para el análisis del comportamiento dinámico de un vehículo ferroviario.

30 El nuevo método de medida, basado en la colocación de sensores en el velo de la rueda, es un método no invasivo, por no realizar ningún tipo de mecanizado en las ruedas del vehículo, de tal forma que el conjunto del eje con las ruedas puede ser utilizado nuevamente para el servicio comercial del vehículo, no alterando además su comportamiento dinámico ni su resistencia mecánica.

35 En el punto de contacto entre la rueda y el carril de un vehículo que circula por la vía a la velocidad de marcha, se producen unos esfuerzos verticales (Q), laterales (Y) y longitudinales (T), que son determinantes, para el análisis del comportamiento dinámico de un vehículo ferroviario.

40 Para eliminar la influencia de los efectos cruzados entre las cargas (Q, Y y T), la variación de la posición del punto de contacto, y las fuerzas centrífugas, se trabaja con los armónicos puros de las sensibilidades a cada una de estas cargas (Q, Y y T), de forma que las sensibilidades asociadas a la variación de la posición del punto de contacto rueda-carril se comportan de forma lineal y su influencia en la estimación de las cargas es fácilmente eliminable mediante la combinación de señales obtenidas de distintos puntos de medida, y el efecto de las fuerzas centrífugas es eliminado por completo por afectar exclusivamente a la componente continua de las sensibilidades.

45 En el método objeto de la invención, se definen unos círculos de medida, correspondiendo cada uno de ellos a todos los sensores contenidos en un mismo anillo circular de la superficie de una de las caras del velo de la rueda, quedando dichos círculos de medida caracterizados por su dimensión radial y la cara del velo de la rueda en donde se encuentren los sensores.

50 Posicionando los sensores dentro del círculo de medida correspondiente, y combinando de forma ventajosa estos sensores en distintos circuitos de medida, como por ejemplo puentes de Wheatstone, se obtienen las señales dependientes del armónico de medida.

55 Por cada círculo de medida se construyen al menos dos circuitos o puentes de medida (puente en fase y puente en cuadratura), ambos construidos de la misma forma, pero desfasados entre sí, de tal forma que las señales obtenidas de cada uno de ellos se encuentren en cuadratura respecto al armónico medido.

60 En caso de ser necesario mejorar el ancho de banda del sistema de medida caben dos posibilidades: por cada círculo de medida instrumentar parejas de puentes en fase y cuadratura adicionales, los cuales se construyen de la misma forma que los anteriores pero desplazados angularmente de los primeros, o bien aumentar el número de sensores interconectados entre sí en cada círculo de medida.

65 Todas las señales correspondientes a los puentes de un mismo círculo de medida se combinan adecuadamente, de tal forma que se obtienen por cada círculo de medida dos señales linealmente dependientes de la posición del punto de contacto. Una de estas señales es dependiente a su vez de las cargas verticales (Q) y laterales (Y), y la otra dependiente de la carga longitudinal (T).

ES 2 334 529 B2

Para reducir los errores asociados a las fuerzas de inercia y a los momentos giroscópicos soportados por el eje dinamométrico, las señales obtenidas de cada uno de los círculos de medida se corrigen mediante la utilización de sensores de movimiento lineal y angular colocados en las cajas de grasa del eje instrumentado.

5 La selección de los círculos de medida apropiados para llevar a cabo el posicionamiento de los sensores sigue un criterio matemático en el que se tienen en cuenta las sensibilidades de todos los círculos de medida disponibles en cada cara del velo de la rueda.

10 Combinando las señales de los distintos círculos de medida se obtienen finalmente todas las cargas de contacto, calculándose también la posición del punto de contacto rueda-carril.

Descripción de las figuras

15 La figura 1 muestra una vista en perspectiva de un conjunto rueda-carril en el que se observan las cargas del punto de contacto.

20 La figura 2a muestra una vista en alzado del conjunto rueda-carril, en la que el velo de la rueda dispone de un único sensor activo, en este caso una galga extensométrica.

La figura 2b muestra un gráfico de la descomposición en frecuencia de la señal de deformación bajo la aplicación de carga vertical constante, obtenido del punto instrumentado de la figura anterior, utilizando un conexionado en formación de cuarto de puente de Wheatstone.

25 La figura 3a muestra una vista en alzado del conjunto rueda-carril bajo la aplicación de una carga vertical (Q) constante con cuatro sensores, en este caso también extensómetros, dispuestos angularmente en un mismo círculo de medida en el velo de la rueda.

30 La figura 3b muestra un gráfico de la descomposición en frecuencia de la señal de deformación bajo la aplicación de carga vertical constante, obtenido del puente de medida formado por los puntos instrumentados de la figura anterior.

35 La figura 4 muestra una vista en alzado esquemática de sensores extensométricos posicionados en diferentes círculos de medida.

La figura 5a muestra una vista en alzado del conjunto rueda-carril con un ejemplo de aplicación del método basado en el primer armónico utilizando dos diámetros de medida por puente según la invención.

40 La figura 5b muestra la interconexión de los sensores extensométricos para la formación de los dos circuitos o puentes de medida correspondientes a la solución mostrada en la figura anterior.

45 La figura 6a muestra una vista en alzado del conjunto rueda-carril con un ejemplo de aplicación de una pareja de puentes redundantes adicionales respecto de los puentes de la figura anterior, para su utilización conjunta con estos últimos, ampliando así el ancho de banda del sistema de medida.

La figura 6b muestra la interconexión de los sensores extensométricos para la formación de los dos puentes de medida redundantes correspondientes a la solución mostrada en la figura anterior.

50 La figura 7a muestra una vista en alzado del conjunto rueda-carril con un ejemplo de aplicación del método basado en el primer armónico utilizando cuatro diámetros de medida por puente según la invención.

La figura 7b muestra la interconexión de los sensores extensométricos para la formación de los dos puentes de medida correspondientes a la solución mostrada en la figura anterior.

55 La figura 8a muestra una vista en alzado del conjunto rueda-carril con un ejemplo de aplicación del método basado en el segundo armónico utilizando dos diámetros de medida por puente o circuito de medida según la invención.

60 La figura 8b muestra la interconexión de los sensores extensométricos para la formación de los dos puentes de medida correspondientes a la solución mostrada en la figura anterior.

Descripción detallada de la invención

65 El objeto de la presente invención es un método de medida de las cargas existentes en el punto de contacto rueda-carril de vehículos ferroviarios, que puede utilizarse para medir de forma precisa tanto el valor de todas las cargas como la propia posición del punto de contacto, eliminando a su vez los errores inherentes asociados a los ejes dinamométricos utilizados hasta la fecha.

ES 2 334 529 B2

El método de medida objeto de la invención, se basa en la utilización de señales dependientes de armónicos puros de la señal de deformación unitaria, obtenida de los puntos instrumentados del velo (3) de la rueda (1), para obtener, combinándolas adecuadamente, los valores de las cargas verticales (Q), laterales (Y) y longitudinales (T) y la posición del punto de contacto (4) rueda (1)-carril (2), del vehículo ferroviario en circulación.

La señal que se obtiene con un único sensor extensométrico bajo la aplicación de carga constante contiene un amplio espectro de armónicos (ver figuras 2a y 2b). Para eliminar armónicos no deseados se utilizan diversos sensores extensométricos (6) colocados en el velo (3) de la rueda (1), los cuales se combinan de forma favorable, para la eliminación de los armónicos no deseados de la deformación unitaria.

La forma práctica de conseguir el citado objetivo es disponer los n sensores extensométricos utilizados en diferentes posiciones angulares β_j combinados en puentes o circuitos de medida. Estas posiciones se eligen de forma que al combinar sus señales se cancelen en la señal resultante E_i los armónicos no deseados asociados a cada parámetro de medida de cualquier carga $F(t)$.

$$E_i = F(t) \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{j=1}^n K_{kj} \cos(k(\alpha + \beta_j))$$

Donde K_{kj} es la sensibilidad de cada uno de los sensores ante el parámetro de medida de carga $F(t)$ correspondiente, k es el orden del armónico considerado, β_j es la posición angular del sensor siendo j el número de orden de la posición y α es la posición angular de la rueda.

La eliminación de un armónico k exige que se cumplan las siguientes ecuaciones:

$$\sum_{j=1}^n K_{kj} \cos(k\beta_j) = 0$$

$$\sum_{j=1}^n K_{kj} \sin(k\beta_j) = 0$$

Una forma ventajosa de conseguir la condición anterior es utilizar sensores extensométricos con la misma sensibilidad a los parámetros de medida de las cargas de deformación, colocados de forma simétrica respecto de un diámetro de referencia y en posiciones angulares que para cada uno de los armónicos a eliminar satisface la ecuación:

$$\sum_{j=1}^n \cos(k\beta_j) = 0$$

La imposición de esta ecuación para cada uno de los armónicos permite definir diferentes posiciones angulares de los sensores extensométricos de medida de tal forma que se eliminen los armónicos no deseados.

Todos los sensores extensométricos (6) contenidos en una misma posición radial, de la misma cara del velo (3) de la rueda (1), definen lo que se denominan círculos de medida (C_j), pudiéndose obtener, por cada círculo de medida (C_j), diferentes señales independientes, ver figura 4.

Una forma práctica y simplificada de aplicación del método, consiste en combinar sensores extensométricos situados sobre un mismo círculo de medida, tal y como se indica a continuación. Este procedimiento también es aplicable, de forma total o parcial, al caso general siempre que se verifiquen las condiciones generales anteriores.

Cada sensor extensométricos (6) perteneciente a un mismo círculo de medida (C_j), dispone de otro sensor extensométricos (6) colocado diametralmente opuesto al primero, es decir desfasado respecto del anterior 180° , configurando lo que se denomina un diámetro de medida (D_i), ver figuras 3a y 3b.

Los sensores extensométricos (6) pertenecientes a un mismo círculo de medida (C_j) y a un mismo diámetro de medida (D_i), se combinan entre sí de tal forma que sus sensibilidades se restan, en el caso de querer medir armónicos

ES 2 334 529 B2

impares, y se suman en el caso de querer medir armónicos pares, eliminándose a su vez de las señales resultantes todos los armónicos pares e impares respectivamente.

5 Cada uno de los puentes de medida (7) asociados a un mismo círculo de medida (C_j), esta compuesto por el mismo número m de diámetros (D_1, \dots, D_m), colocados, para cada puente, en las mismas posiciones angulares β_i radianes, con un mínimo de dos diámetros por puente de medida, donde cuanto mayor sea el número de diámetros (m) mayor será el ancho de banda de la solución adoptada.

10 Los diámetros (D_1, \dots, D_m) pertenecientes a un mismo circuito o puente de medida (7), tienen interconectados los sensores extensométricos (6) que los componen de tal forma, que las sensibilidades asociadas a cada uno de los diámetros (D_i), se suman o se restan, según corresponda, para la medida aislada del armónico puro deseado.

15 Por cada círculo de medida (C_j) se instrumentan al menos dos circuitos o puentes de medida (7), uno denominado puente en fase (F), correspondiéndole una señal (E_F), y otro denominado puente en cuadratura (C), correspondiéndole una señal (E_C), ambos con la misma configuración pero desfasados angularmente uno del otro $90^\circ/k$, donde k indica el armónico puro en el que se basa la medida, correspondiendo 90° al primer armónico, 45° al segundo armónico y así sucesivamente.

20 Para mejorar el ancho de banda del sistema de medida, también es posible instrumentar, para cada círculo de medida (C_j), al menos otros dos puentes de medida adicionales, denominados puente en fase redundante (F_R) (señal E_{RF}) y puente en cuadratura redundante (C_R) (señal E_{RC}), todos ellos constituidos de la misma forma que los anteriores, pero desfasados de los primeros un ángulo (φ).

25 De cada pareja de señales (E_F y E_C) correspondientes a los puentes en fase (F) y cuadratura (C), de cada círculo de medida (C_j), se obtienen dos señales dependientes de la amplitud demodulada del armónico puro de interés (E_1 y E_2), donde la primera de las señales (E_1) depende de la posición del punto de contacto (4) y de las cargas verticales (Q) y laterales (Y), y la segunda (E_2) depende de la posición del punto de contacto (4) y de la carga longitudinal de contacto (T).

30 Para obtener las señales (E_1 y E_2) es necesario el conocimiento de la posición angular (α) de la rueda (1) instrumentada, procediendo tal y como se indica a continuación, donde (k) vuelve a ser el índice que indica el armónico que se pretende demodular:

$$35 \quad E_1 = E_F \cdot \cos(k \cdot \alpha) - E_C \cdot \sin(k \cdot \alpha)$$

$$E_2 = E_F \cdot \sin(k \cdot \alpha) + E_C \cdot \cos(k \cdot \alpha)$$

40 En el caso de tener también instrumentados puentes redundantes, se procede de forma análoga, tal y como se indica a continuación, donde (φ) vuelve a ser el desfase angular de los puentes redundantes respecto a los principales, procediendo de forma análoga en el caso de disponer de más de una pareja de puentes redundantes:

$$45 \quad E_1 = E_F \cdot \cos(k \cdot \alpha) - E_C \cdot \sin(k \cdot \alpha) + E_{RF} \cdot \cos(k \cdot (\alpha + \varphi)) - E_{RC} \cdot \sin(k \cdot (\alpha + \varphi))$$

$$E_2 = E_F \cdot \sin(k \cdot \alpha) + E_C \cdot \cos(k \cdot \alpha) + E_{RF} \cdot \sin(k \cdot (\alpha + \varphi)) + E_{RC} \cdot \cos(k \cdot (\alpha + \varphi))$$

50 Al disponer de señales dependientes de la amplitud de armónicos puros, la influencia de la variación del punto de contacto se comporta de forma lineal, y por tanto las señales (E_1 y E_2) se pueden expresar como función de las cargas de contacto (Q , Y y T) rueda (1)-carril (2) y de la variación de su punto de aplicación respecto al punto de rodadura nominal, definido por las coordenadas (ΔR y Δb).

55 De esta forma las señales (E_1 y E_2) se expresan según la siguiente ecuación, donde (K_Q) es la sensibilidad a la carga vertical (Q), (K_Y) es la sensibilidad a la carga lateral (Y), (K_{Qb}) es la sensibilidad al momento que genera la carga vertical (Q) por la variación de la posición del punto de contacto (4), (K_{YR}) es la sensibilidad al momento que genera la carga lateral (Y) por la variación de la posición del punto de contacto (4), (K_T) es la sensibilidad a la carga longitudinal (T) y (K_{TR}) es la sensibilidad al momento que genera la carga longitudinal (T) por la variación de la posición del punto de contacto (4):

$$65 \quad E_1 = K_Q \cdot Q + K_Y \cdot Y + K_{Qb} \cdot Q \cdot \Delta b + K_{YR} \cdot Y \cdot \Delta R$$

$$E_2 = K_T \cdot T + K_{TR} \cdot T \cdot \Delta R$$

ES 2 334 529 B2

Las cotas lateral Δb y radial ΔR del contacto rueda-carril están relacionadas por el propio perfil de la rueda, lo que permitiría obtener mediante tres señales E_1 y E_2 independientes el valor de las cargas y la posición del punto de contacto, siempre y cuando se conociera la relación no lineal entre Δb y ΔR . En caso de no conocer esta relación cabe la posibilidad de utilizar un mayor número de señales E_1 y E_2 siempre y cuando el sistema de ecuaciones asociado estuviera bien condicionado.

A su vez, siendo el armónico de medida el primero y escogiendo puntos del velo (3) de la rueda (1) suficientemente alejados de la llanta (5) de la rueda (1), las sensibilidades asociadas a la variación de la posición del punto de contacto (4) coinciden para las cargas verticales y laterales de contacto (Q e Y) aplicadas, siempre que las mismas se asocien al momento relacionado con la variación de la carga.

Bajo esta condición las señales (E_1 y E_2) se pueden volver a expresar en función de una sensibilidad (K_M) al momento producido por las cargas vertical (Q) y lateral (Y) al variar el punto de contacto rueda-carril (4):

$$E_1 = K_Q \cdot Q + K_Y \cdot Y + K_M \cdot M$$

$$E_2 = K_T \cdot T + K_{TR} \cdot T \cdot \Delta R$$

A partir del citado momento, la eliminación de la influencia de la posición del punto de contacto para la medida de las cargas aplicadas se convierte en un problema puramente lineal, donde también es posible obtener la posición del punto de contacto (4) teniendo en cuenta la relación existente entre Δb y ΔR a través del perfil.

De esta forma, cuando se utiliza el primer armónico, partiendo de señales (E_1 y E_2) procedentes de distintos círculos de medida (C_j), es posible obtener el valor de todas las cargas de contacto (Q , Y y T) y de la posición del punto de aplicación (4) de las mismas, reduciendo el número de círculos de medida (C_j) necesarios, siendo tres el número de círculos de medida necesarios de forma general.

Conocidos los valores de las señales (E_1 y E_2) correspondientes a todos círculos de medida (C_j) utilizados, y contenido el valor de estas señales, para un instante de tiempo concreto, en dos vectores $\{V_1\}$ y $\{V_2\}$, se obtiene el valor de las cargas (Q , Y y T) y resto de parámetros a medir, resolviendo los dos sistemas de ecuaciones siguientes:

$$\{V_1\} = [A] \cdot \{Q \ Y \ M\}$$

$$\{V_2\} = [B] \cdot \{T \ T \cdot \Delta R\}$$

En estas ecuaciones $[A]$ es la matriz de las sensibilidades asociadas a la señal (E_1) para todos los círculos de medida (C_j) y $[B]$ es la matriz de sensibilidades asociadas a la señal (E_2) para todos los círculos de medida (C_j).

Para el caso en el que se utilice un armónico de medida distinto del primero, en las ecuaciones resultantes se sustituye el momento equivalente M por la posición radial y lateral del punto de contacto multiplicado por la carga lateral (Y) y vertical (Q) respectivamente.

Para seleccionar la posición y el número p de círculos de medida (C_j) a utilizar, así como el armónico de medida asociado a cada uno de ellos, se sigue un criterio matemático en el que se tienen en cuenta las sensibilidades para cada uno de los armónicos de mayor peso de todos los círculos (C_j) posibles, con relación a todas las cargas (Q , Y y T) aplicadas, y con la variación del punto de aplicación (4) de las mismas, pudiéndose calcular estas sensibilidades de forma teórica o experimental.

Para evaluar qué combinación es la que presenta mejor comportamiento, se sigue el criterio de minimizar el nivel de ruido eléctrico en la medida de los parámetros de interés, donde se puede ponderar a su vez la importancia del ruido asociado a cada parámetro, de tal forma que se de mayor importancia a la medida de unos parámetros respecto a otros.

Una forma no limitativa de llevar a la práctica este proceso de selección es la siguiente: Se evalúa cada una de las matrices $[A]$ y $[B]$, para todas las combinaciones posibles de círculos de medida (C_j), mediante la descomposición en valores singulares de cada una de las matrices normalizadas a los fondos de escala de cada parámetro de medida, obteniendo así para cada una de ellas sus valores singulares (Λ_i), mediante los cuales y a través de la siguiente ecuación se evalúa la calidad de la combinación (η), de forma que cuanto menor sea este término (η) menor será la influencia del ruido sobre el sistema de medida:

$$\eta = \Sigma(1/(\Lambda_i)^2)$$

Este criterio se puede modificar ligeramente para buscar la solución que ofrezca mejor comportamiento para algún parámetro en concreto, buscando los valores singulares de las matrices resultantes de multiplicar las matrices $[A]$ y

ES 2 334 529 B2

[B] normalizadas a los fondos de escala de cada parámetro de medida, por matrices de ponderación del error. Hay que indicar que también es posible sustituir este criterio por otro criterio matemático.

Al utilizar señales dependientes de un armónico puro distinto de la componente continua, ni las fuerzas centrífugas soportadas por la rueda, ni las fuerzas de inercia laterales introducen ningún error en la medida de los parámetros de interés.

Sin embargo, otras sollicitaciones asociadas a la inercia influyen sobre el primer armónico, por lo que para la reducción de los errores dinámicos asociados, y los errores debidos a los momentos giroscópicos, en las cajas de grasa del vehículo se incorporan sensores de movimiento lineal y de movimiento angular, tales como respectivamente acelerómetros y giróscopos, de tal forma, que se miden las condiciones de aceleración y velocidad angular a las que se ve sometido el eje dinamométrico.

Conocidas las aceleraciones y velocidades angulares, a las que se ve sometido el eje dinamométrico, así como la dependencia lineal de cada una de las señales (E_1 y E_2) a cada una de ellas, calculada de forma teórica o experimental, se añaden los términos de compensación correspondientes a todas las señales (E_1 y E_2), para eliminar los errores debidos a esfuerzos inerciales y giroscópicos.

A modo de ejemplo de aplicación no limitativo se describen cuatro realizaciones diferentes de obtener las señales dependientes del armónico de interés para un círculo de medida (C_j) genérico, tres de ellas basadas en la medida del primer armónico con dos y cuatro diámetros por puente de medida, ver figuras 5a a 7b, y una cuarta basada en el segundo armónico con dos diámetros tal y como se muestra en las figuras 8a y 8b. En estos cuatro ejemplos de aplicación se ha supuesto que los sensores de medida (6) utilizados son galgas extensométricas, combinadas en formación de puente de Wheatstone (7) y que la posición angular (α) de la rueda (1) es conocida. (La medición de este ángulo (α) no es objeto de la patente y puede realizarse por cualquiera de los métodos conocidos: rueda dentada con sensor inductivo o capacitivo, encoder, resolver,...)

En las figuras 5a y 5b, se definen cuatro diámetros de medida (D_i), dos por cada puente (F y C). Los diámetros correspondientes a cada uno de los puentes (F y C) se posicionan angularmente a 60° uno del otro. El puente en fase (F) esta compuesto por los extensómetros denominados (R_{Fi}) y el puente en cuadratura (C) por los extensómetros denominados (R_{Ci}). Ambos puentes (F y C) se encuentran desfasados 90° entre si. En la formación eléctrica del puente de Wheatstone (7), las sensibilidades de los extensómetros (R_{Fi} o R_{Ci}) de un mismo diámetro de medida se restan, y las correspondientes a los extensómetros de distintos diámetros de medida se suman entre si, obteniéndose de esta forma las señales (E_F y E_C).

Llegados a este punto y conocida la posición angular (α) de la rueda (1), y por consiguiente también de los propios diámetros (D_i), las señales finales (E_1 y E_2), correspondientes al círculo de medida (C_j) en cuestión, son obtenidas mediante las siguientes operaciones con las señales de los puentes (E_F y E_C):

$$E_1 = E_F \cdot \cos(\alpha) - E_C \cdot \sin(\alpha)$$

$$E_2 = E_F \cdot \sin(\alpha) + E_C \cdot \cos(\alpha)$$

En este caso las señales (E_1 y E_2) son señales dependientes de la sensibilidad a las cargas (Q, Y y T) y de la posición del contacto rueda-carril, para el primer armónico, donde se ha eliminado la influencia de armónicos pares, incluyendo la componente de continua (DC) y la influencia del tercer armónico.

El segundo de los ejemplos corresponde a una solución que incorpora puentes redundantes (F_R y C_R). Se parte de la solución anterior, figuras 5a y 5b, para ampliar su ancho de banda mediante la incorporación de puentes redundantes (F_R y C_R) adicionales. Con este propósito, a los puentes (F y C) de las figuras 5a y 5b, se añaden en la misma rueda (1) los puentes descritos en las figuras 6a y 6b, los cuales se construyen de la misma forma que los descritos en el ejemplo anterior, pero desfasados un ángulo $\varphi=36^\circ$ con respecto a éstos. Los extensómetros correspondientes a los puentes en fase y cuadratura redundantes (R_{FiR} y R_{CiR} respectivamente) se conectan eléctricamente según lo indicado en la figura 6b, obteniéndose de esta forma las señales (E_{RF} y E_{RC}) correspondientes a cada uno de los puentes de medida redundantes (F_R y C_R).

Para obtener las señales (E_1 y E_2) dependientes del primer armónico, teniendo en cuenta que (E_F y E_C) corresponden a las señales obtenidas de los puentes descritos en las figuras 5a y 5b, en este caso se realizan las siguientes operaciones:

$$E_1 = E_F \cdot \cos(\alpha) - E_C \cdot \sin(\alpha) + E_{RF} \cdot \cos(\alpha + 36^\circ) - E_{RC} \cdot \sin(\alpha + 36^\circ)$$

$$E_2 = E_F \cdot \sin(\alpha) + E_C \cdot \cos(\alpha) + E_{RF} \cdot \sin(\alpha + 36^\circ) + E_{RC} \cdot \cos(\alpha + 36^\circ)$$

ES 2 334 529 B2

En esta solución las señales (E_1 y E_2) son señales dependientes de la sensibilidad a las cargas (Q, Y y T) y de la posición del contacto rueda-carril para el primer armónico, donde se ha eliminado la influencia de armónicos pares, incluyendo la componente de continua (DC) y la componente del tercer y quinto armónico.

5 Para el último de los tres ejemplos basado en el primer armónico, figuras 7a y 7b, se definen cuatro diámetros de medida (D_i) por puente. En este caso, los dos diámetros interiores de ambos puentes se separan angularmente 24° entre sí, y 36° con el diámetro exterior más próximo. El puente en fase (F) está compuesto por los extensómetros denominados (R_{Fi}) y el puente en cuadratura (C) por los denominados (R_{Ci}), ambos desfasados 90° entre sí. En la formación eléctrica del puente de Wheatstone (7), las sensibilidades de los extensómetros de un mismo diámetro de
10 medida se restan, y las correspondientes a los extensómetros de distintos diámetros de medida se suman entre sí, al igual que ocurría en el ejemplo anterior, obteniéndose de esta forma las señales (E_F y E_C).

Las señales finales (E_1 y E_2), se obtienen operando de la misma forma que en el ejemplo anterior, tal y como se indica a continuación:

15

$$E_1 = E_F \cdot \cos(\alpha) - E_C \cdot \sin(\alpha)$$

20

$$E_2 = E_F \cdot \sin(\alpha) + E_C \cdot \cos(\alpha)$$

En este caso las señales (E_1 y E_2) son señales dependientes de la sensibilidad a las cargas (Q, Y y T) y de la posición del contacto rueda-carril para el primer armónico, donde se ha eliminado la influencia de armónicos pares, incluyendo la componente de continua (DC), y la influencia del tercer y quinto armónico. La influencia del séptimo
25 armónico queda atenuada aproximadamente 5 dB.

En el cuarto y último ejemplo, basado en el segundo armónico, figuras 8a y 8b, se emplearán las sensibilidades de las cargas de contacto (Q, Y y T) y de la posición del contacto rueda-carril al segundo armónico. Se disponen así dos diámetros (D_i) por cada puente (F o C), desplazados 90° uno de otro. El puente en fase (F) está compuesto por
30 los extensómetros denominados (R_{Fi}) y el puente en cuadratura (C) por los denominados (R_{Ci}), ambos desfasados 45° entre sí. En la formación eléctrica de los puentes de Wheatstone (7), las sensibilidades de los extensómetros de un mismo diámetro de medida se suman, y las correspondientes a los extensómetros de distintos diámetros de medida se restan entre sí, obteniéndose de esta forma las señales (E_F y E_C).

35 Debido a que se buscan las sensibilidades al segundo armónico, para obtener las señales (E_1 y E_2) se realizan las siguientes operaciones:

40

$$E_1 = E_F \cdot \cos(2\alpha) + E_C \cdot \sin(2\alpha)$$

$$E_2 = E_F \cdot \sin(2\alpha) - E_C \cdot \cos(2\alpha)$$

45 En este último ejemplo las señales (E_1 y E_2) obtenidas, dependen de las sensibilidades a las cargas de contacto (Q, Y y T) y de la posición del contacto rueda-carril al segundo armónico, eliminándose la influencia de los armónicos impares, la componente de continua (DC), así como el cuarto y el octavo armónicos pares.

50 En todos los ejemplos descritos, por cada círculo de medida (C_j) se obtienen dos señales (E_1 y E_2), donde la primera (E_1) se utilizará para la obtención de la medida de las cargas verticales (Q), laterales (Y) y la posición del punto de contacto (4), y la señal (E_2) para la medida de las cargas longitudinales (T).

55 La medida de la posición del punto de contacto (4) no se realiza directamente, ya que en primer lugar se obtiene el valor de un momento equivalente ejercido por las cargas verticales (Q) y laterales (Y) al variar su posición respecto a un punto de referencia, el punto de rodadura nominal, tenido en cuenta en el proceso de calibración del sistema de medida.

60

65

REIVINDICACIONES

1. Método de medida de los esfuerzos generados en el punto de contacto rueda-carril de vehículos ferroviarios, que se emplea para medir las cargas verticales (Q), laterales (Y) y longitudinales (T) existentes en el punto de contacto (4) rueda carril, así como la propia posición del punto de contacto (4), y que comprende el posicionamiento de sensores extensométricos (6) que van combinados en puentes o circuitos de medida sobre puntos del velo (3) de la rueda (1) de aplicación, en donde a cada sensor extensométrico (6) le corresponde otro desfasado 180° del primero, determinando cada pareja un diámetro de medida (Di), y en donde dichos sensores extensométricos (6) se sitúan en posiciones angulares β_j respecto de un diámetro de referencia, de manera que mediante los sensores extensométricos (6) se obtienen señales de deformación del velo (3) de la rueda (1) de aplicación, aislándose uno de los armónicos de dichas señales de deformación para determinar las cargas dinámicas de parámetro de medida F(t) que se producen en el punto de contacto de la rueda (1) sobre el carril de apoyo, para lo cual se eliminan los demás armónicos de esas señales de deformación, **caracterizado** porque para eliminar los armónicos no deseados de las señales de deformación del velo (3) de la rueda (1) las posiciones angulares β_j en las que se sitúan los sensores extensométricos (6) respecto al diámetro de referencia se determinan de acuerdo con las ecuaciones siguientes, que se establecen para cada uno de los armónicos k que se desean eliminar:

$$\sum_{j=1}^n K_{kj} \cos(k \cdot \beta_j) = 0$$

$$\sum_{j=1}^n K_{kj} \sin(k \cdot \beta_j) = 0$$

donde K_{kj} es la sensibilidad de cada uno de los sensores ante el parámetro de medida de cualquier carga F(t) correspondiente, k es el orden de cada armónico que se desea eliminar, β_j es la posición angular de cada sensor extensométrico (6) con respecto al diámetro de referencia, siendo j el número de orden de la posición;

las señales de deformación asociadas a los sensores extensométricos (6) de un mismo diámetro de medida (Di) se suman, o se restan, según el armónico aislado para la medida sea respectivamente par o impar, eliminándose a su vez todos los armónicos cuyo carácter par o impar es contrario al de medida;

por cada puente de medida se obtiene una señal E_f , y se monta otro puente idéntico asociado pero cuya posición está girada respecto del anterior un ángulo de $90^\circ/k$ o cualquier múltiplo impar de esta cantidad, que proporciona una señal E_c , siendo k el orden del armónico a medir.

2. Método de medida de los esfuerzos generados en el punto de contacto rueda-carril de vehículos ferroviarios, según la primera reivindicación, **caracterizado** porque para cada pareja de señales E_f y E_c asociadas y denominadas como principales se obtienen otras dos señales E1 y E2 definidas por las fórmulas:

$$E_1 = E_f \cdot \cos(k \cdot \alpha) - E_c \cdot \sin(k \cdot \alpha)$$

$$E_2 = E_f \cdot \sin(k \cdot \alpha) + E_c \cdot \cos(k \cdot \alpha)$$

donde (α) es la posición angular de la rueda (1) instrumentada y (k) es el número de orden del armónico a demostrar.

3. Método de medida de los esfuerzos generados en el punto de contacto rueda-carril de vehículos ferroviarios, según las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque por cada pareja de puentes en fase y cuadratura se colocan parejas de puentes redundantes adicionales, cada uno de ellos girados respecto de los principales un ángulo φ diferente.

4. Método de medida de los esfuerzos generados en el punto de contacto rueda-carril de vehículos ferroviarios, según las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque las señales E1 y E2 de cada conjunto de puentes en fase y cuadratura principales y redundantes asociados, se definen por las fórmulas:

$$E_1 = E_f \cdot \cos(k \cdot \alpha) - E_c \cdot \sin(k \cdot \alpha) + E_{RF} \cdot \cos(k \cdot (\alpha + \varphi)) - E_{RC} \cdot \sin(k \cdot (\alpha + \varphi))$$

$$E_2 = E_f \cdot \sin(k \cdot \alpha) + E_c \cdot \cos(k \cdot \alpha) + E_{RF} \cdot \sin(k \cdot (\alpha + \varphi)) + E_{RC} \cdot \cos(k \cdot (\alpha + \varphi))$$

donde E_{RF} es la señal del puente en fase redundante, E_{RC} es la señal del puente en cuadratura redundante, α es la posición angular de la rueda (1) instrumentada y φ es el desfase angular entre los puentes principales y los puentes redundantes.

ES 2 334 529 B2

5. Método de medida de los esfuerzos generados en el punto de contacto rueda-carril de vehículos ferroviarios, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque se utilizan al menos tres parejas de puentes principales de sensores extensométricos (6) .

5 6. Método de medida de los esfuerzos generados en el punto de contacto rueda-carril de vehículos ferroviarios, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque todos los sensores de cada pareja de puentes de medida principales y redundantes asociados se sitúan sobre un mismo círculo de medida.

10 7. Método de medida de los esfuerzos generados en el punto de contacto rueda-carril de vehículos ferroviarios, según la reivindicación sexta y cualquiera de las reivindicaciones anteriores restantes, **caracterizado** porque las cargas vertical (Q) y lateral (Y) y la posición del contacto rueda/carril se obtienen por combinación lineal de tres señales E_1 correspondientes a tres círculos de medida diferentes.

15 8. Método de medida de los esfuerzos generados en el punto de contacto rueda-carril de vehículos ferroviarios, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque para eliminar los errores de medida de las cargas y posición del contacto rueda-carril, asociados a los esfuerzos inerciales y giroscópicos soportados por el eje montado en las cajas de grasa del vehículo se incorporan sensores de movimiento lineal y de movimiento angular, los cuales miden las condiciones de aceleración y velocidad angulares a las que se ve sometido el eje dinamométrico.

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

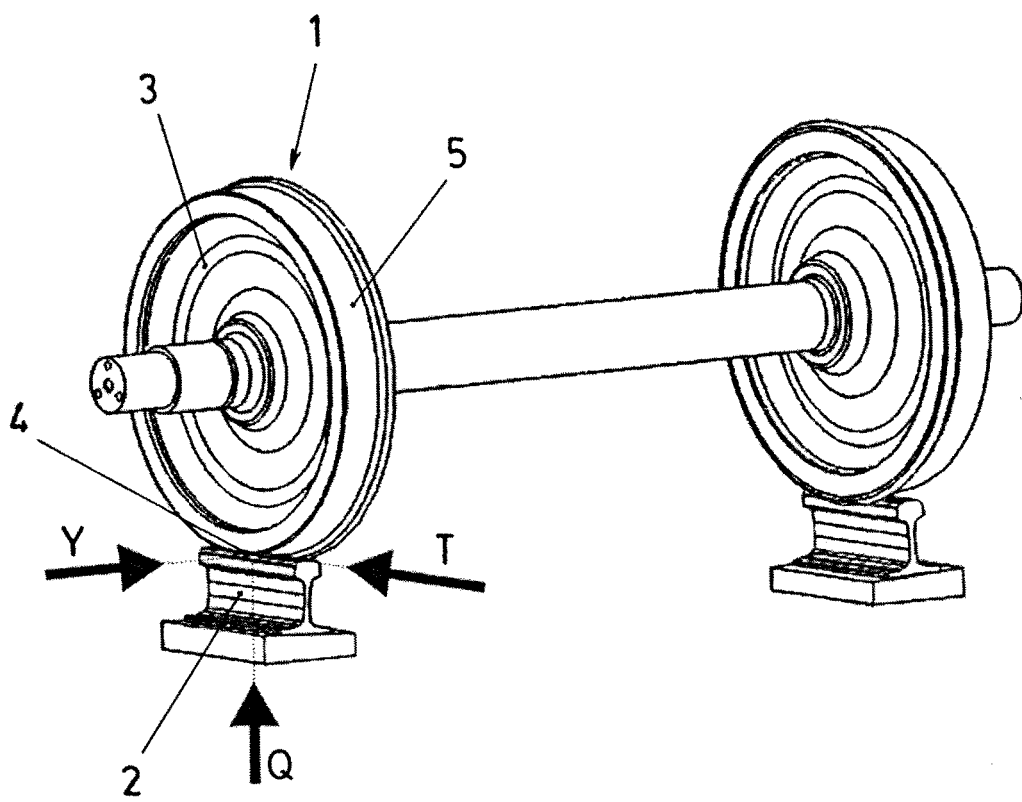


Fig. 1

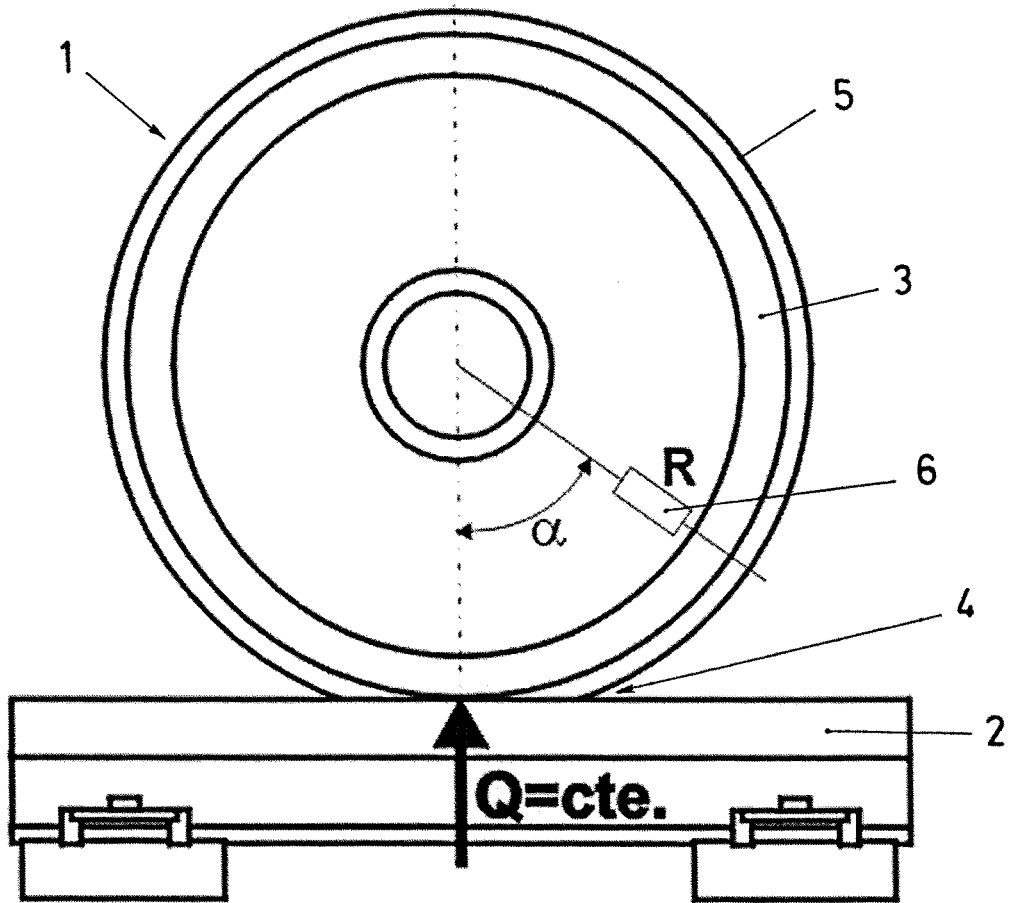


Fig. 2a

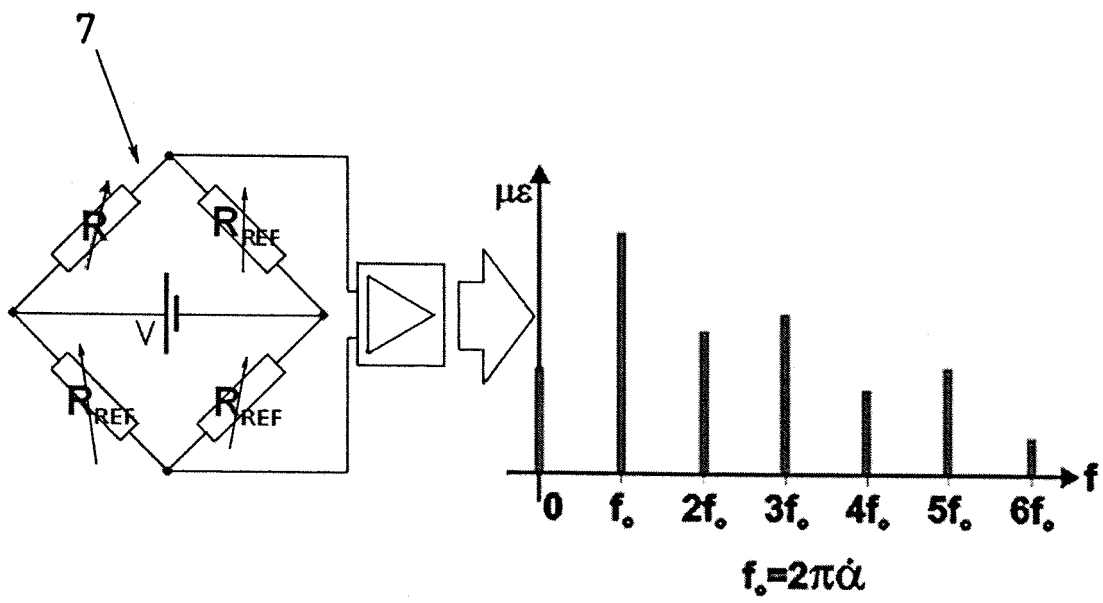


Fig. 2b

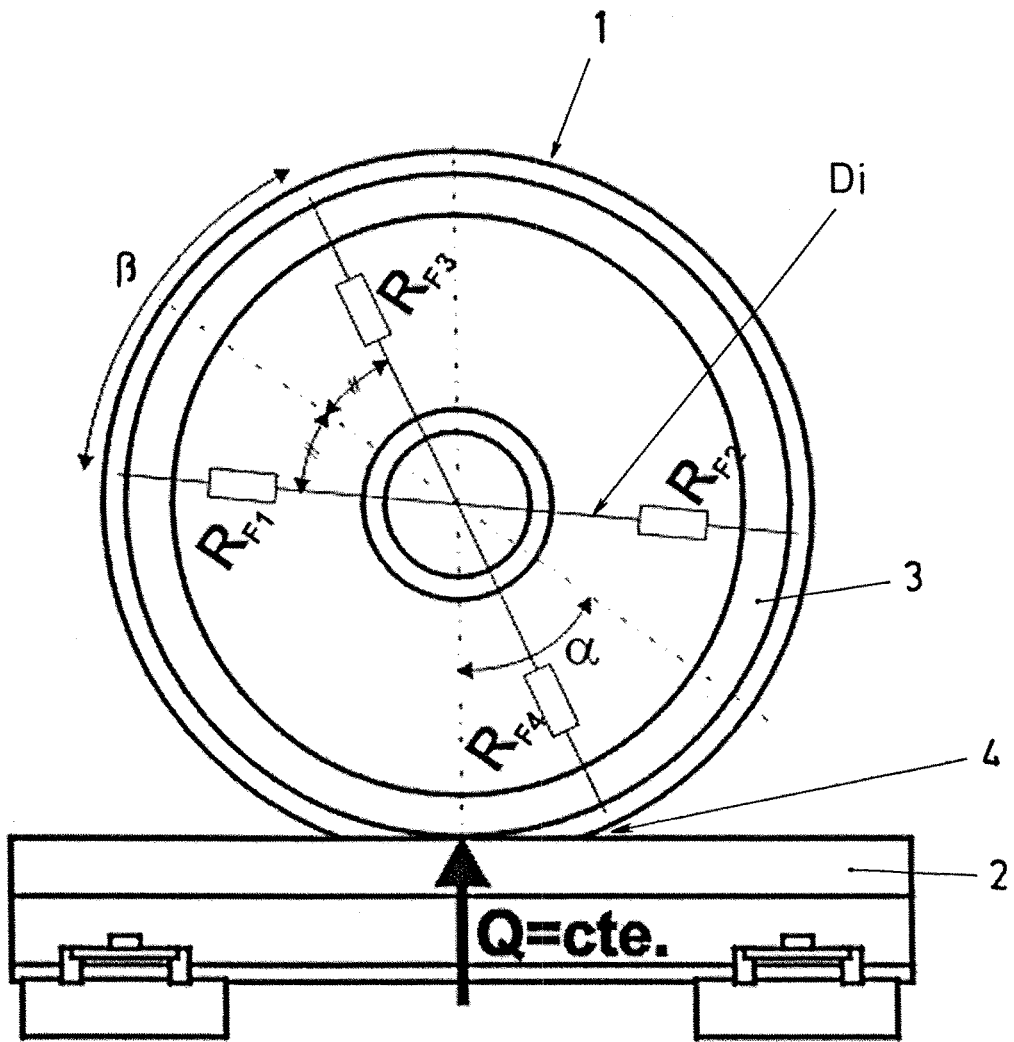


Fig. 3a

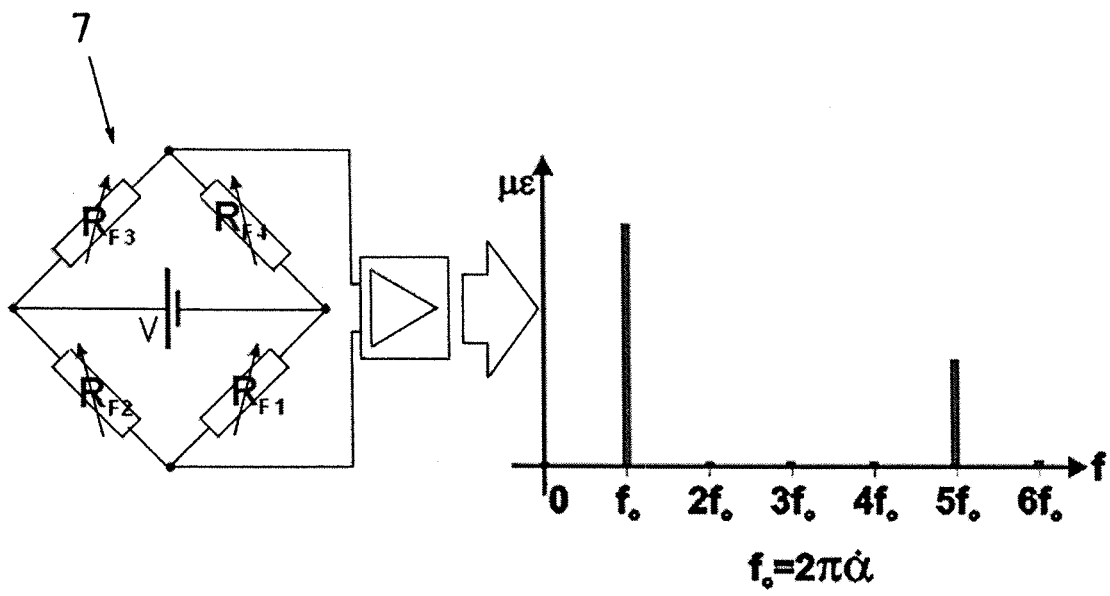


Fig. 3b

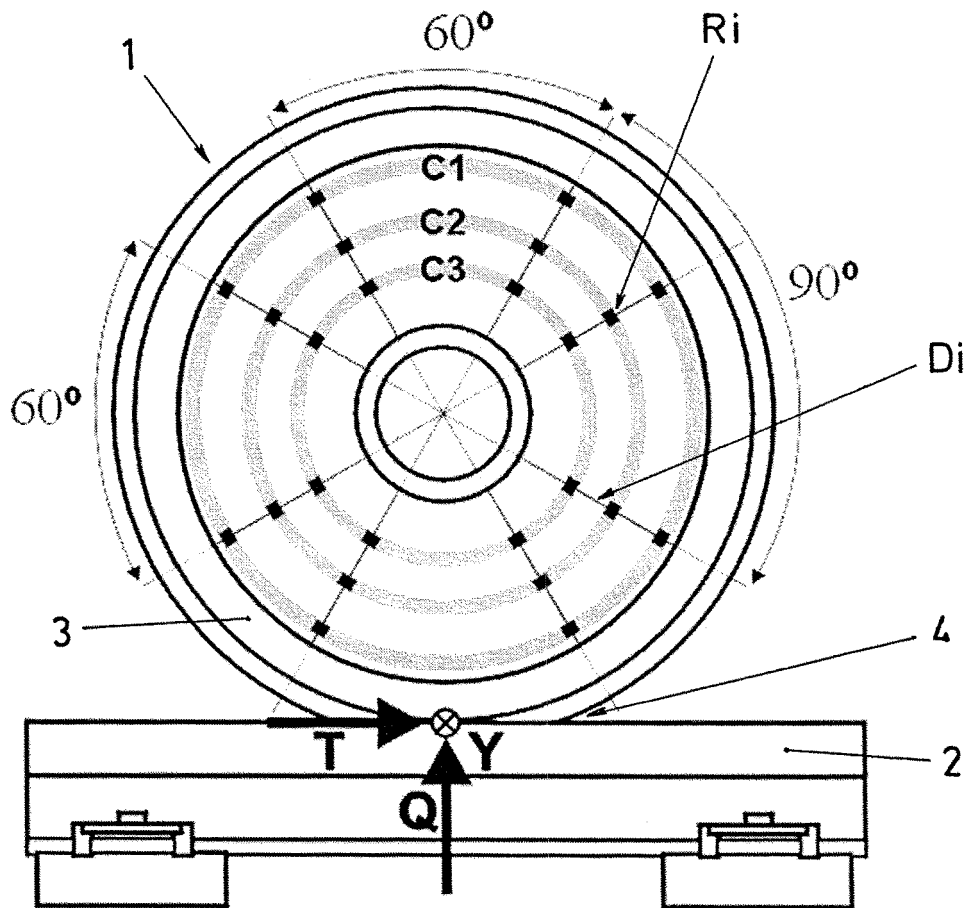


Fig. 4

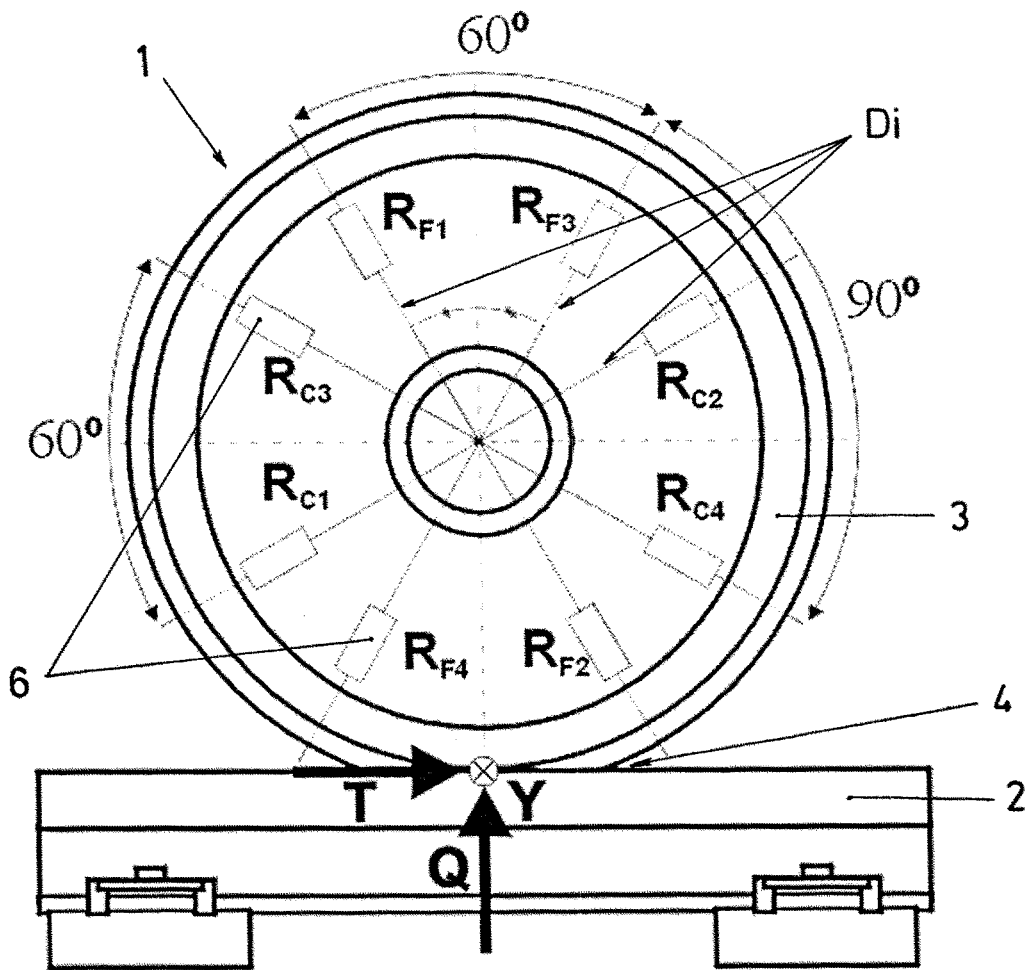


Fig. 5a

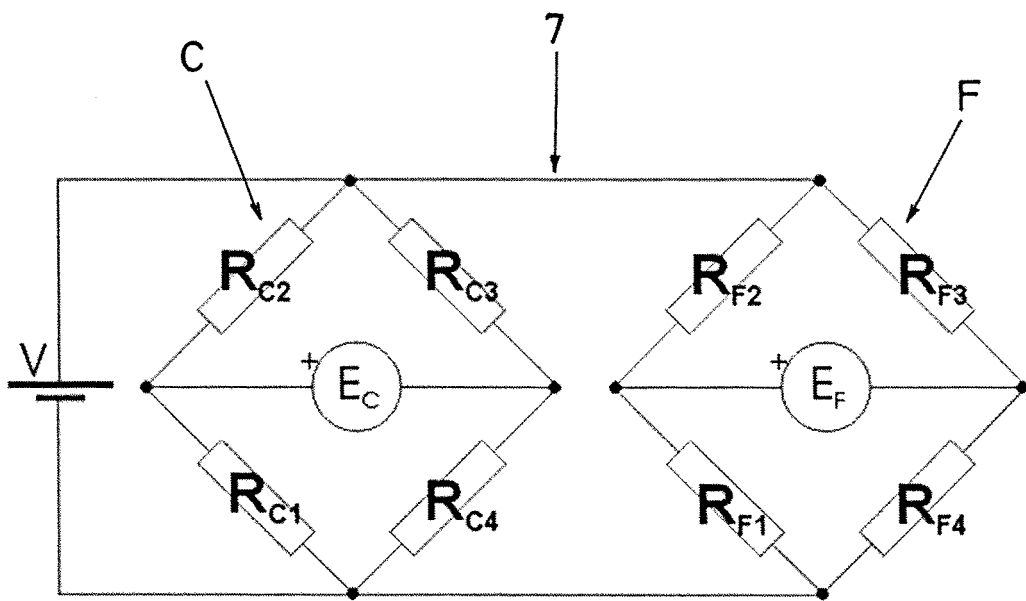


Fig. 5b

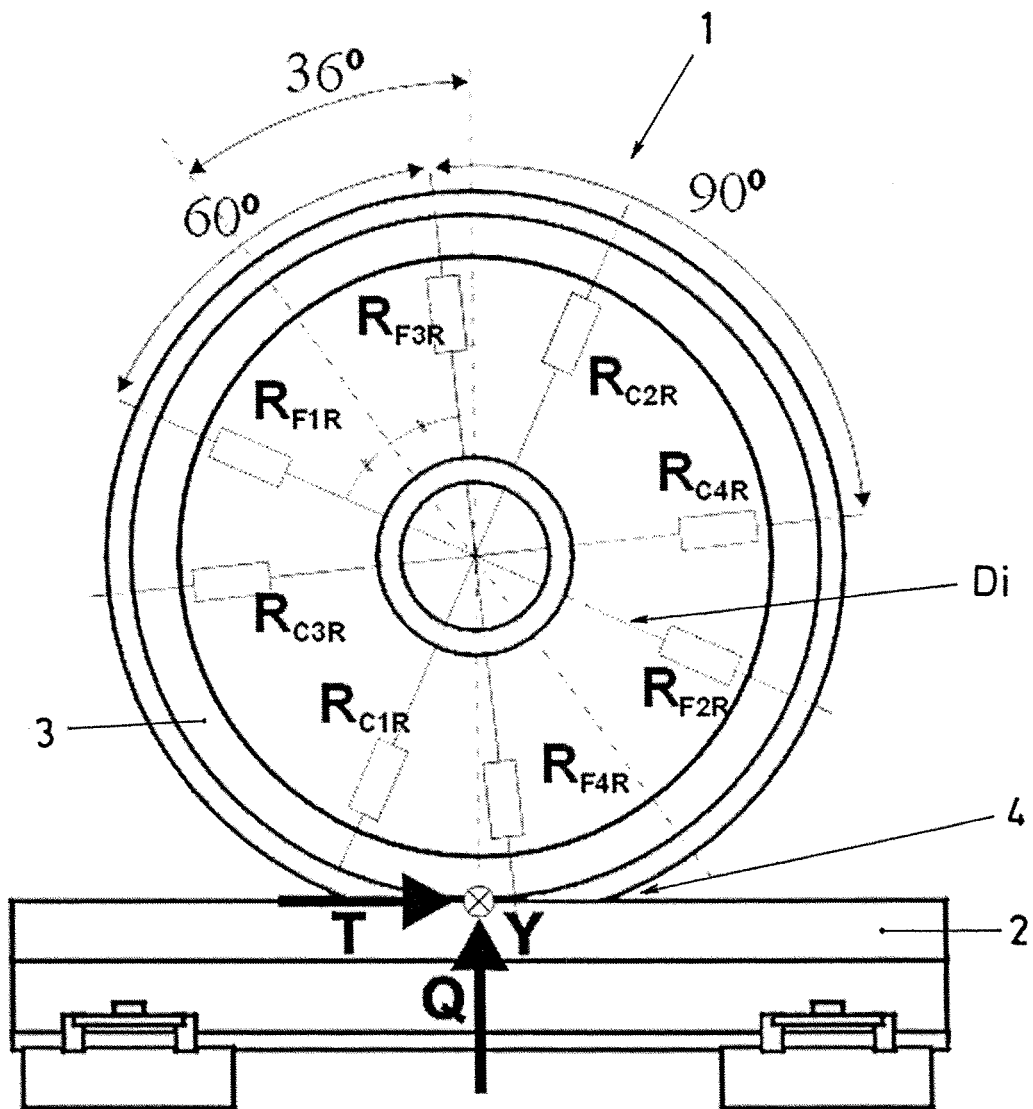


Fig. 6a

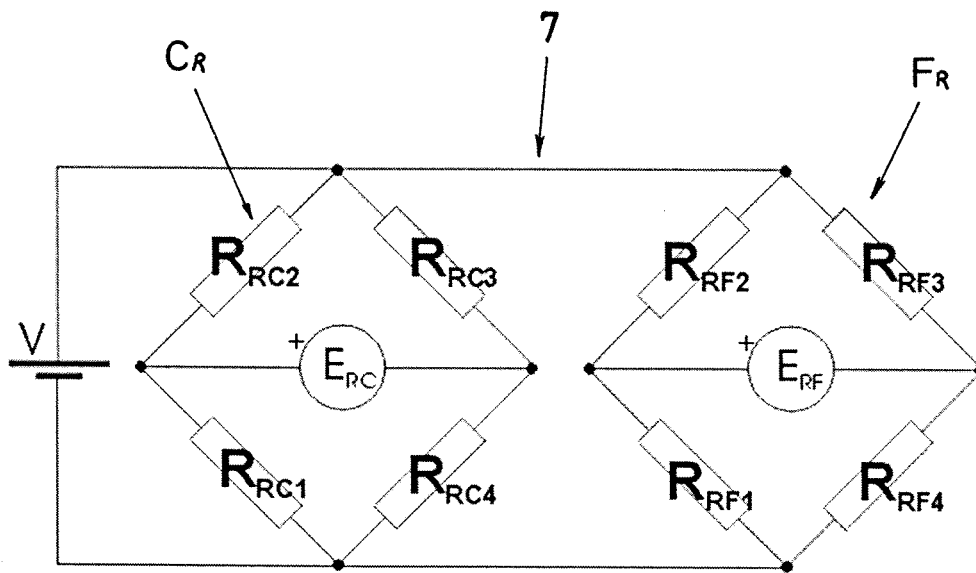


Fig.6b

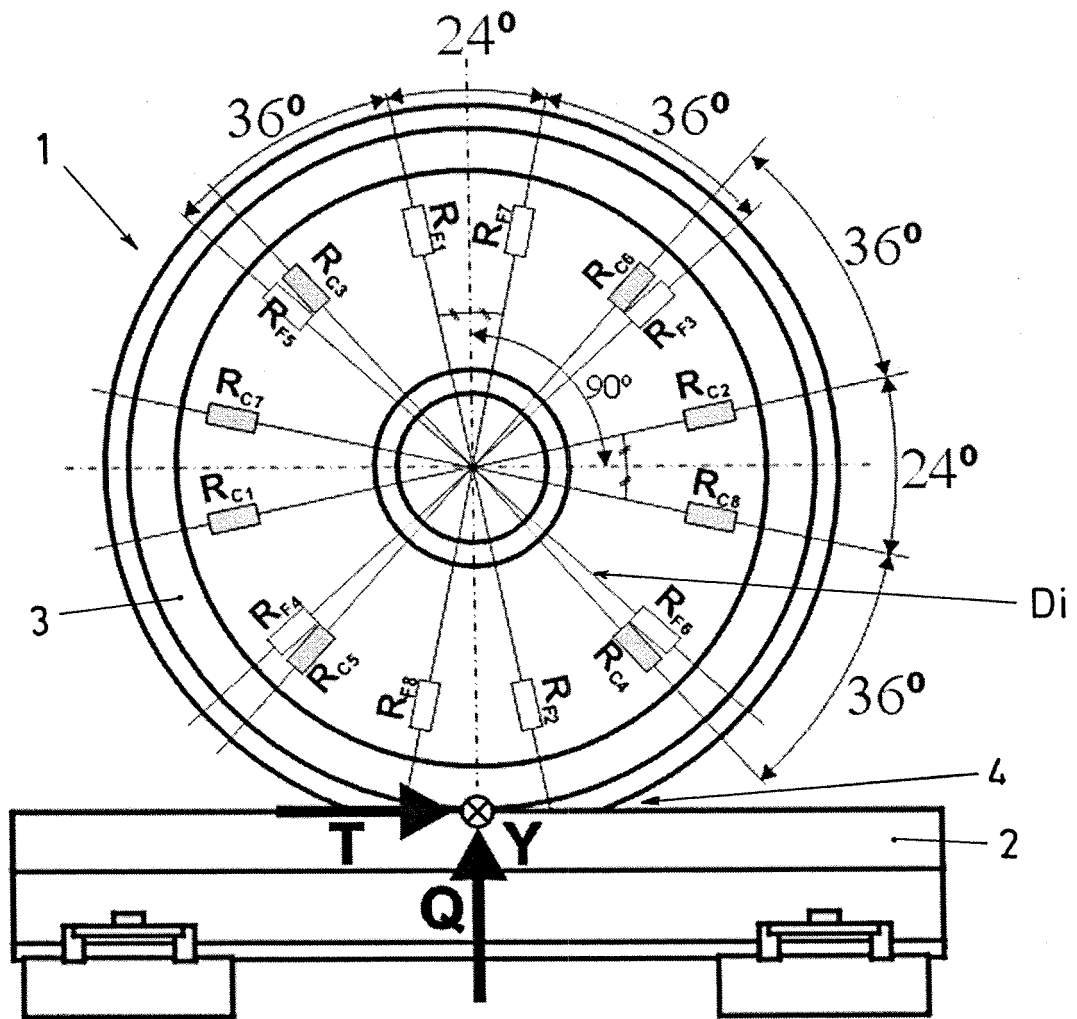


Fig.7a

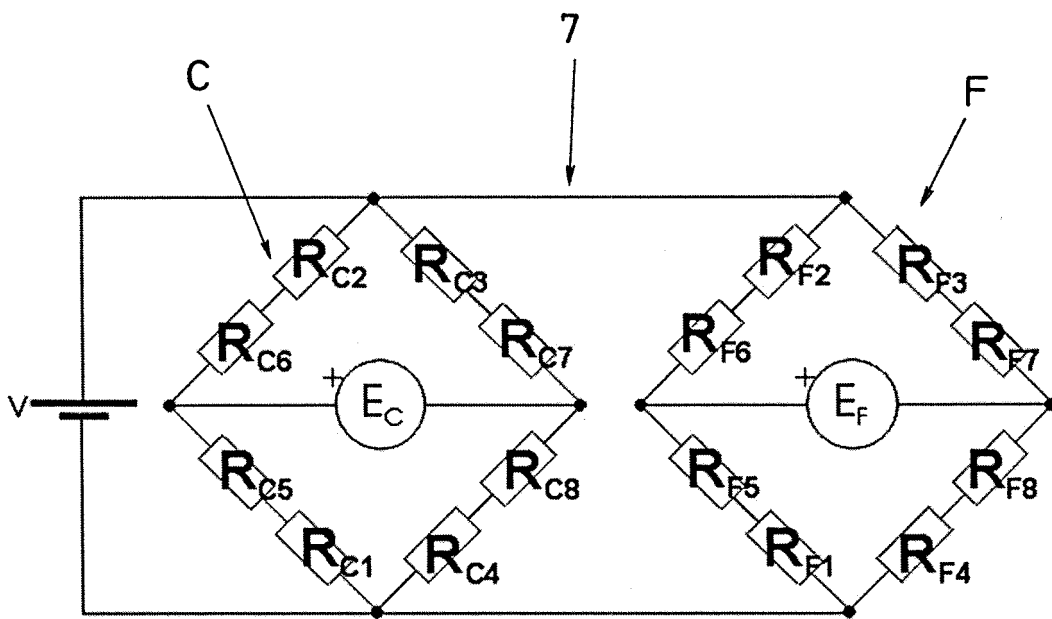


Fig.7b

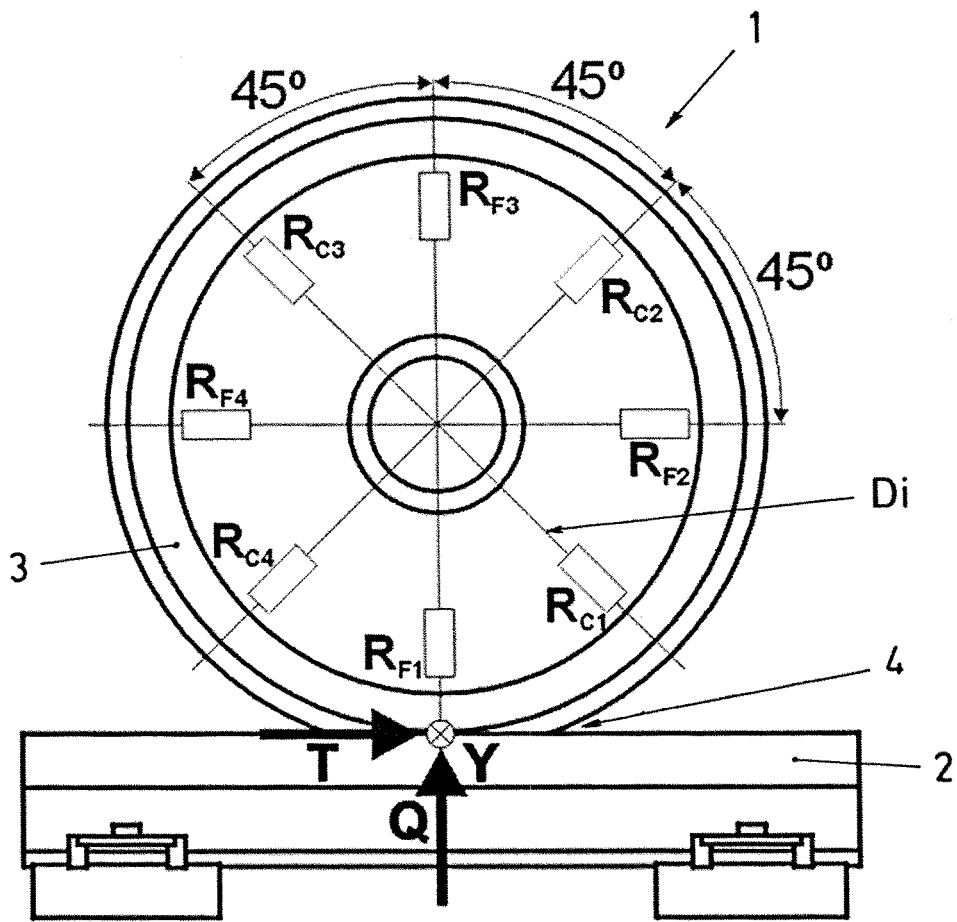


Fig. 8a

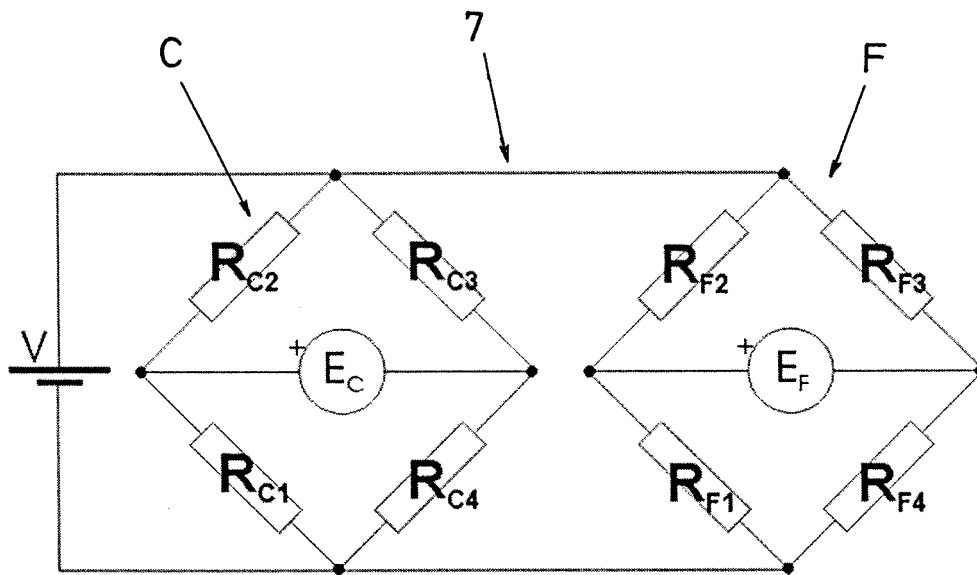


Fig. 8b



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① ES 2 334 529

② Nº de solicitud: 200700741

③ Fecha de presentación de la solicitud: 21.03.2007

④ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤ Int. Cl.: **G01M 17/10** (2006.01)
B61K 9/12 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	EDUARDO GÓMEZ et al. Medidas en el contacto rueda-carril. TecniRail Ferrocarril & Empresa. Marzo 2006. Pg. 25. Recuperado de Internet: http://www.caf.net/img/prensa/notprensa/20060428092608tecnirail2.pdf	1-15
X	US 5492002 A (HIGGINS RICHARD L ET AL) 20.02.1996, columna 4, línea 63 - columna 21, línea 67; dibujos.	1-15
E	EP 1780524 A2 (DEUTSCHE BAHN AG [DE]) 02.05.2007, todo el documento.	1-15
A	ES 2258069 T3 (SIEMENS SGP VERKEHRSTECH GMBH) 06.08.2006, columna 4, línea 31 - columna 8, línea 57; dibujos.	1-15
A	EP 0580969 A1 (DEUTSCHE BAHN AG [DE]) 02.02.1994, columna 2, línea 26 - columna 3, línea 47; dibujos.	1-15

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
25.02.2010

Examinador
P. Tauste Ortiz

Página
1/1