



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 359 489**

51 Int. Cl.:  
**G01P 21/00** (2006.01)  
**G01N 3/30** (2006.01)  
**G01L 25/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **09753554 .6**  
96 Fecha de presentación : **18.05.2009**  
97 Número de publicación de la solicitud: **2158493**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **03.03.2010**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para calibrar sensores de aceleración y de fuerza.**

30 Prioridad: **29.05.2008 DE 10 2008 025 866**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**24.05.2011**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**24.05.2011**

73 Titular/es: **SPEKTRA Schwingungstechnik und  
Akustik GmbH Dresden  
Gostritzer Str. 61-63  
01217 Dresden, DE**

72 Inventor/es: **Brucke, Martin**

74 Agente: **Lehmann Novo, María Isabel**

ES 2 359 489 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

Procedimiento y dispositivo para calibrar sensores de aceleración y de fuerza.

5 La invención concierne a un procedimiento y a un dispositivo para inducir ondas en barras a fin de calibrar sensores de aceleración y sensores de fuerza, especialmente con altas amplitudes. Un sensor de esta clase es un convertidor electromecánico que convierte la magnitud mecánica aceleración o fuerza en una señal eléctricamente mensurable, por ejemplo carga o tensión. Para determinar el comportamiento de transmisión del sensor se tiene que realizar una calibración.

10 Se conocen diferentes equipos para calibrar sensores de aceleración. Dispositivos y procedimientos para calibrar transductores de vibración y de choque se describen en ISO 16063. En la calibración con amplitudes de aceleración  $> 1000 \text{ m/s}^2$  se tienen que emplear señales de forma de choques, es decir, temporalmente limitadas. El principio martillo-yunque generalmente conocido, que se basa en el choque de dos cuerpos sólidos, trabaja satisfactoriamente hasta amplitudes de aceleración de  $5000 \text{ m/s}^2$ . Para generar mayores aceleraciones con miras a la realización de calibraciones de alta calidad se tiene que utilizar el principio de la barra de Hopkinson. El procedimiento de calibración descrito se explica en ISO 16063-13. Para la calibración de sensores de fuerza se utilizan usualmente procedimientos estáticos. Es decir que se carga el sensor con una fuerza de peso estática. La calibración de sensores de fuerza por medio de señales temporalmente variables que se generan con una barra de Hopkinson representa una novedad.

En principio, se conocen tres métodos diferentes de calibración por medio de una barra de Hopkinson. Estos métodos diferentes conciernen a la sensórica de referencia empleada.

20 La aceleración en el extremo de la barra puede medirse por medio de un sistema de medida óptico (por ejemplo, un vibrómetro de láser) o de un sistema de aceleración de referencia o un sensor de fuerza. Otro método de calibración es la medición de la dilatación de la barra por medio de bandas extensométricas. A partir de la dilatación de la barra se calcula la aceleración del extremo de dicha barra.

25 El principio de la barra de Hopkinson se basa en que se propaga una onda mecánica en una barra esbelta larga. Debido a la reflexión de la onda en un extremo libre de la barra se produce un movimiento que genera la aceleración o fuerza requerida para la calibración de los sensores. Debido a las propiedades de una barra esbelta larga estas aceleraciones y fuerzas pueden alcanzar amplitudes muy altas ( $> 1.000.000 \text{ m/s}^2$  y  $> 100.000 \text{ N}$ , respectivamente).

30 En la barra de Hopkinson clásica se dispara un sólido, por ejemplo una bola de acero, sobre un extremo de la barra, de lo que resulta un choque de fuerza mecánico. Debido a este choque de fuerza se desencadena una onda de dilatación longitudinal en la barra y ésta se puede propagar a lo largo de la barra. La evolución temporal de la dilatación y de la aceleración y la evolución fuerza-tiempo en el extremo de la barra vienen definidas por la evolución fuerza-tiempo del choque de fuerza al principio de la barra. Por ejemplo, las bolas de acero grandes inducen un espectro de frecuencia muy estrecho. Al hacer más pequeño diámetro de las bolas pasan a ser más anchos los espectros de frecuencia. Sin embargo, las amplitudes máximas aumentan fuertemente al agrandarse el diámetro de las bolas.

Los inconvenientes principales de la barra de Hopkinson clásica son:

- La forma de la señal de aceleración no es influenciable,
- La duración de impulso de la aceleración viene prefijada por los compañeros de choque y, por tanto, sólo puede influenciarse con un alto coste,
- 40 - La reproducibilidad de la señales de aceleración y, por tanto, el resultado de calibración están limitados por el desgaste de los compañeros de choque,
- rango de amplitud inferior limitado de aproximadamente  $> 5.000 \text{ m/s}^2$ .

45 En el documento US 5 000 030 A se describen un procedimiento y un aparato para medir las características dinámicas de un acelerómetro de choque. En una barra de Hopkinson se encuentran una sensórica de referencia y en su extremo el sensor que se debe calibrar. La inducción de un choque mecánico puede efectuarse también, entre otros, por medio de un elemento piezoeléctrico. No se realiza una influenciación deliberada de la forma de las señales, la amplitud de las señales y la duración de los impulsos de las señales.

50 El documento US 3 830 091 A describe un sistema de ensayo para calibrar sensores de aceleración, en el que unos actores electromecánicos montados lateralmente en una barra de aluminio someten a vibraciones de resonancia a la barra por medio de una electrónica de control y regulación y en el que están montados en un extremo de la barra el sensor de aceleración que se debe ensayar y un sensor de aceleración de referencia. En este sistema de ensayo se pueden generar aceleraciones armónicas. Sin embargo, las frecuencias de la aceleración se pueden ajustar únicamente en múltiplos enteros de una frecuencia fundamental (por ejemplo, 1 kHz, 2 kHz, 3 kHz...). La amplitud de aceleración que puede lograrse asciende únicamente a alrededor de  $3.000 \text{ m/s}^2$ .

5 El problema de la invención consiste en el desarrollo de un procedimiento y un dispositivo para calibrar sensores de aceleración y de fuerza por medio de una barra de Hopkinson, con cuya ayuda se posibilite una influenciación deliberada de la forma de las señales, de la amplitud de las señales y también de la duración de los impulsos de las señales a lo largo de un gran intervalo de amplitudes. El dispositivo deberá ser de construcción sencilla y funcionar de manera segura y con poco mantenimiento.

Según la invención, el problema se resuelve con las características de la reivindicación 1 de procedimiento y con las características de la reivindicación 3 de dispositivo. Características de ejecución se describen en las reivindicaciones subordinadas 2, 4 y 5.

10 El dispositivo según la invención para calibrar sensores de aceleración y de fuerza utiliza una sensórica de referencia configurada de la manera usual en una barra de Hopkinson. La sensórica de referencia puede ser un sistema de medida óptico (por ejemplo, un vibrómetro de láser) o un sensor de referencia. Otro método de calibración es la medición de la dilatación de la barra por medio de bandas extensométricas. A partir de la dilatación de la barra se puede calcular la aceleración o la fuerza del extremo de la barra.

15 Una barra de Hopkinson usualmente empleada es una barra metálica de aproximadamente 2 m a 4 m de longitud y aproximadamente 18 mm a 30 mm de espesor.

En el extremo de la barra de Hopkinson está fijado el sensor que se debe calibrar. Un actor electromecánico fijado al extremo opuesto de la barra de Hopkinson sirve para inducir un impulso de aceleración o de fuerza.

20 Contrariamente a la barra de Hopkinson está fijada al actor electromecánico una contramasa que tiene que ser mucho más corta que la longitud de la barra y que ha de tener una masa  $> 1/100$  de la masa de la barra. Esta contramasa tiene la función de introducir la fuerza del actor en la barra.

El actor electromecánico está unido con una electrónica de control y regulación a través de una línea de control.

El actor electromecánico puede ser preferiblemente un actor piezoeléctrico o bien un actor magnetostrictivo. Un actor magnetostrictivo se puede acoplar de manera muy sencilla a la barra, pero tiene un rendimiento netamente peor que el de un actor piezoeléctrico.

25 Una línea de control puede conducir desde la sensórica de referencia hasta la electrónica de control y regulación.

El dispositivo puede emplearse para calibrar sensores de fuerza o de aceleración. Para calibrar sensores de aceleración se tiene que montar el sensor en el extremo libre de la barra. Para calibrar sensores de fuerza se tiene que montar el sensor más una masa de acoplamiento en el extremo libre de la barra.

El funcionamiento del dispositivo según la invención es como sigue:

30 Los inconvenientes descritos de procedimientos de calibración conocidos por medio de barras de Hopkinson tienen su causa en que la onda en la barra es iniciada por un choque de fuerza mecánico. La presente invención se basa en sustituir el choque de fuerza mecánico por un método alternativo para inducir ondas en la barra. Este método deberá convertir una señal de activación eléctrica en un choque de fuerza definido. Los convertidores de esta índole pueden denominarse en general actores. Para calibrar sensores de aceleración y de fuerza por medio del dispositivo  
35 según la invención se utilizan especialmente actores electromecánicos que tienen un gran intervalo de dinámica de fuerza (1 mN a 5 kN) y un gran rango de frecuencia utilizable ( $> 10$  kHz).

Se puede efectuar una regulación de la forma de los impulsos de aceleración o de fuerza midiendo la respectiva magnitud en la sensórica de referencia. Se entrega la magnitud de medida a una electrónica de regulación y se puede efectuar una distorsión previa deliberada de las señales de activación del actor electromecánico.

40 Cuando la barra de Hopkinson es puesta en estado de resonancia a sus frecuencias intrínsecas longitudinales, se efectúa, a potencia constante del excitador, una maximización de la amplitud de aceleración o de fuerza en el extremo de la barra. Se pueden conseguir así amplitudes de aceleración o de fuerza dotadas especialmente de una gran eficiencia energética.

45 Superponiendo ondas se maximiza la amplitud de aceleración o de fuerza en el extremo de la barra. Mediante la aportación reiterada de energía en forma de una estimulación renovada de la barra de Hopkinson por medio del actor electromecánico se puede incrementar escalonadamente la amplitud de fuerza o de aceleración.

Mediante la invención se pueden eliminar los inconvenientes del procedimiento de calibración clásico por medio de una barra de Hopkinson.

50 Las ventajas de la invención consisten en que se puede influir eléctricamente sobre la forma de la señal de aceleración. La duración de los impulsos de la señal de aceleración puede ser influenciada también por vía eléctrica. La invención posibilita una influenciación de la forma de las señales (señales armónicas, señales en forma de

impulsos), de la amplitud de las señales (típicamente  $20/s^2$  a  $100.000 m/s^2$ ) y también de la duración de los impulsos (típicamente  $50 \mu s$  a  $500 \mu s$ ) de las señales.

Prácticamente, no se produce desgaste alguno, por lo que se mejora la reproducibilidad de la señal de aceleración y del resultado de calibración.

- 5 Asimismo, como propiedades ventajosas del equipo de calibración pueden citarse la posibilidad de la sencilla automatización de los procesos de calibración y un funcionamiento más eficiente en materia de energía en comparación con el equipo de calibración convencional.

A continuación, se explica la invención con más detalle haciendo referencia a dos ejemplos de realización. Muestran:

La figura 1, un dispositivo de calibración con vibrómetro de láser como sensórica de referencia y

- 10 La figura 2, un dispositivo de calibración con sensor de fuerza como sensórica de referencia.

La figura 1 muestra un dispositivo para calibrar sensores de aceleración. El dispositivo consiste en una barra de Hopkinson 1 que está configurada como una barra metálica cilíndrica de una longitud de 2 m y un diámetro de 20 mm. Un actor piezoeléctrico 2 dispuesto al principio de la izquierda de la barra está unido con la barra de Hopkinson 1 por medio de un acoplamiento de fuerza. Una contramasa metálica cilíndrica 3 con un diámetro de 50 mm y una longitud de 30 mm está pegada con el actor 2. En el extremo derecho de la barra está montado el sensor 4 que se debe calibrar. La sensórica de referencia 8 está realizada en forma de un láser. La electrónica de control o regulación controla el actor piezoeléctrico 2 a través de una línea de control 7.

La figura 2 ilustra un dispositivo para calibrar sensores de fuerza. El dispositivo consiste en una barra de Hopkinson 1 que está configurada usualmente como una barra metálica cilíndrica de una longitud de 2 m y un diámetro de 20 mm. Un actor piezoeléctrico 2 está unido con la barra de Hopkinson 1 en el principio de la izquierda de esta barra por medio de un acoplamiento de fuerza. Una contramasa metálica cilíndrica 3 posee un diámetro de 50 mm y una longitud de 30 mm. Ésta está pegada con el actor piezoeléctrico 2, es decir que está unida con éste por medio de un material. En el extremo derecho de la barra están montados el sensor 4 que se debe calibrar, el sensor de referencia 8 y la masa de acoplamiento 9. La electrónica de control o regulación 6 controla el actor piezoeléctrico 2 a través de una línea de control 7.

Las señales del sensor 4 a calibrar y de la sensórica de referencia 8 son alimentadas a una electrónica de control o regulación 6. Activando el actor piezoeléctrico 2 con señales eléctricas definidas se generan ondas definidas en la barra. Por tanto, a partir de la reflexión de las ondas en el extremo derecho de la barra se pueden generar señales definidas de aceleración-tiempo o de fuerza-tiempo.

- 30 Variando las señales de activación eléctricas en el actor piezoeléctrico 2 se puede influir deliberadamente sobre las señales en el extremo derecho de la barra. La invención posibilita tanto una influenciación de la forma de las señales (señales armónicas, señales en forma de impulsos), de la amplitud de las señales (típicamente  $20 m/s^2$  a  $100.000 m/s^2$ ) y también de la duración de los impulsos (típicamente  $50 \mu s$  a  $500 \mu s$ ) de las señales.

Para generar una señal nominal definida en el extremo de la barra se pueden utilizar las señales reales de la sensórica de referencia para comparar éstas con la señal nominal. Por medio de métodos matemáticos adecuados se puede calcular una distorsión previa de las señales de activación para el actor, con lo que se genera la señal nominal en el extremo de la barra. Se pueden generar así señales de calibración que están acomodadas al respectivo sensor que se debe calibrar.

- 40 Para la consecución de amplitudes de señal especialmente altas en el extremo derecho de la barra se pueden utilizar las propiedades del continuo de dicha barra.

Por un lado, se puede excitar la barra con señales armónicas en la frecuencia intrínseca longitudinal. Se pueden conseguir así amplitudes de señal especialmente altas en el extremo de la barra con un mínimo de potencia eléctrica aportada.

- 45 Por otro lado, se puede activar periódicamente el actor con la misma señal. Cuando se adapta el período de activación al tiempo de propagación de la onda por la barra, la onda original se superpone a la respectiva onda recién generada. Debido a esta superposición se pueden lograr también amplitudes de señal especialmente altas en el extremo de la barra con una pequeña aportación de potencia eléctrica.

**Listado de símbolos de referencia**

- 50 1 Barra  
2 Actor electromecánico  
3 Contramasa  
4 Sensor a calibrar

- 5 Línea de control
- 6 Electrónica de control o regulación
- 7 Línea de control
- 8 Sensórica de referencia
- 5 9 Masa de acoplamiento

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Procedimiento para calibrar sensores de aceleración y de fuerza por medio de una barra de Hopkinson (1), en el que se encuentran en la barra de Hopkinson una sensórica de referencia (8) configurada de la manera usual y, en el extremo de la barra de Hopkinson, el sensor (4) que se debe calibrar, en el que se efectúa en el extremo de la barra de Hopkinson situado enfrente del sensor una excitación por medio de un actor electromagnético (2) para convertir una señal eléctrica en una fuerza mecánica, y en el que el actor electromecánico puede ser activado a través de una electrónica de control, **caracterizado** porque la electrónica de control sirve también como electrónica de regulación y la regulación de una forma de impulso de aceleración o de fuerza se efectúa por
- 10 - medición de la respectiva magnitud por medio de la sensórica de referencia,  
 - entrega de la magnitud de referencia a la electrónica de control y regulación y  
 - distorsión previa deliberada de las señales de activación del actor electromecánico.
- 15 2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** porque se maximiza la amplitud de aceleración o de fuerza en el extremo de la barra de Hopkinson por superposición de ondas.
3. Dispositivo para la puesta en práctica de un procedimiento según la reivindicación 1, en el que se encuentran en una barra de Hopkinson (1) una sensórica de referencia (8) configurada de la manera usual y, en el extremo de la barra de Hopkinson (1), el sensor (4) que se debe calibrar, y en el que un actor electromecánico (2) está fijamente montado en un extremo de la barra de Hopkinson (1), **caracterizado** porque
- 20 - el actor electromecánico (2) está unido con una electrónica de control y regulación (6) a través de una línea de control (7),  
 - una contramasa (3) está fijada al actor electromecánico (2) en posición opuesta a la barra de Hopkinson (1) y  
 - una línea de control (5) conduce de la sensórica de referencia (8) a la electrónica de control y regulación (6).
- 25 4. Dispositivo según la reivindicación 3, **caracterizado** porque el actor electromecánico (2) es un actor piezoeléctrico.
5. Dispositivo según la reivindicación 3, **caracterizado** porque el actor electromecánico (2) es un actor magnetostrictivo.

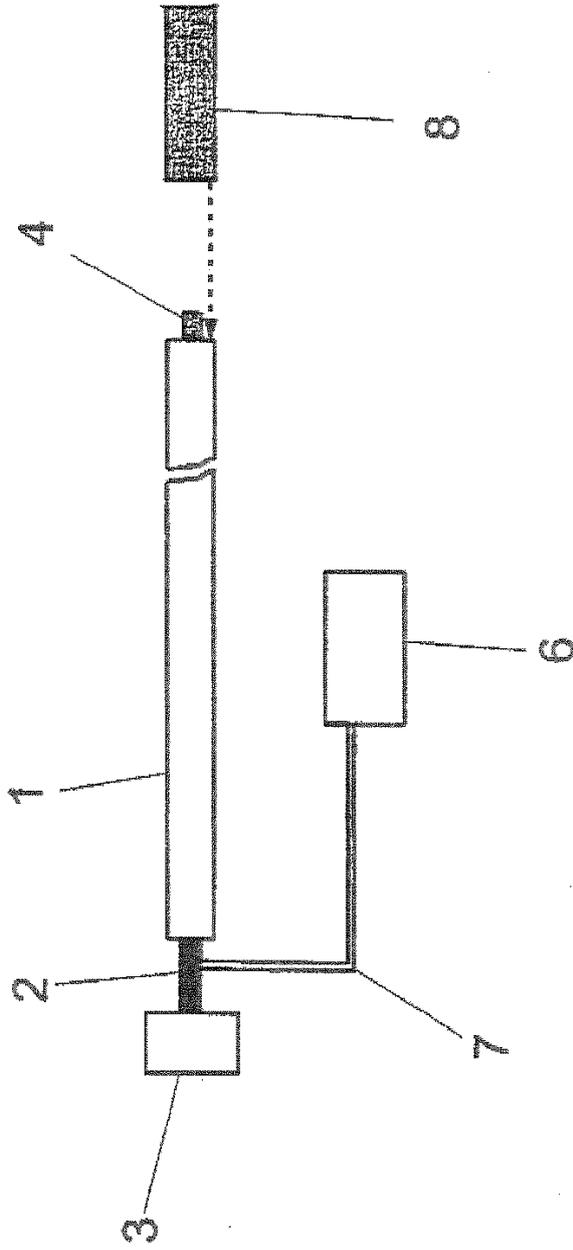


FIG. 1

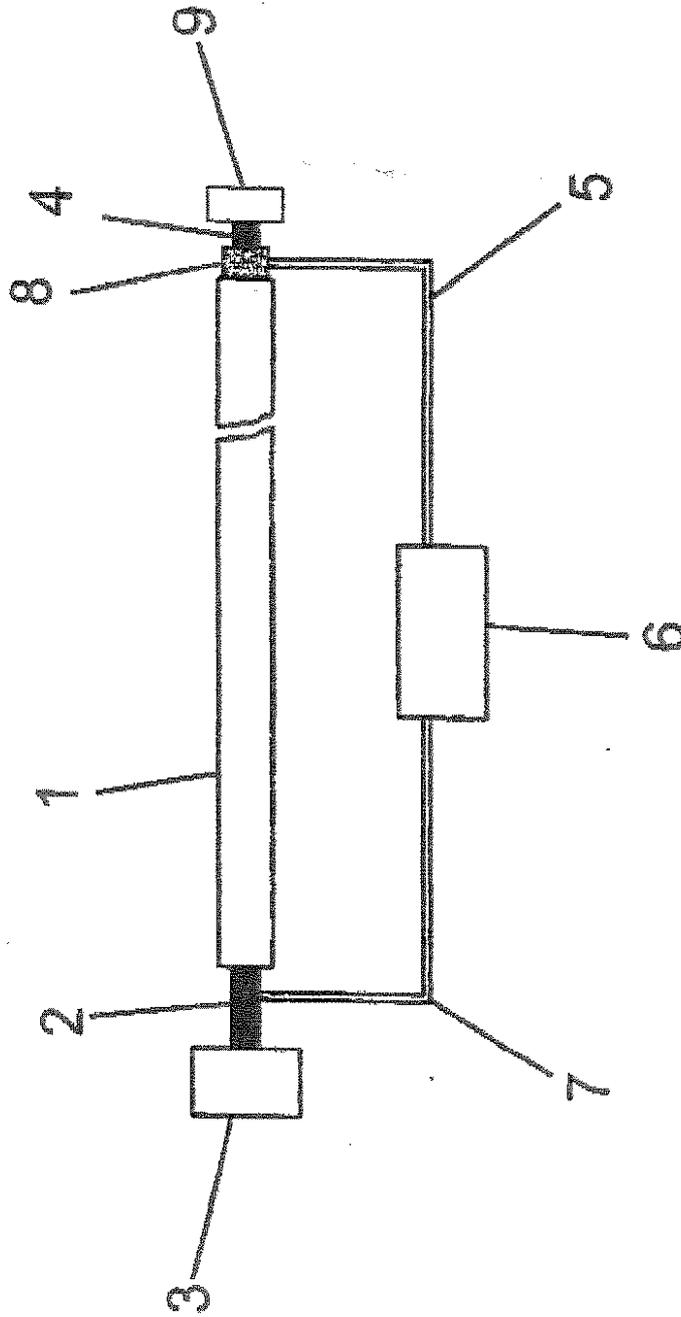


Fig. 2