

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 010 166**

51 Int. Cl.:

G01G 3/14

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.02.2022** **PCT/EP2022/054467**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.09.2022** **WO22180066**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.02.2022** **E 22707431 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.01.2025** **EP 4298410**

54 Título: **Dispositivo de pesaje y procedimiento de pesaje con una corrección central digital del valor de medición**

30 Prioridad:
24.02.2021 DE 102021104430

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
01.04.2025

73 Titular/es:
QLAR EUROPE GMBH (100.00%)
Pallaswiesenstraße 100
64293 Darmstadt, DE

72 Inventor/es:
BOUVRON, SAMUEL

74 Agente/Representante:
ELZABURU, S.L.P

ES 3 010 166 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 de pesaje y procedimiento de pesaje con una corrección central digital del valor de medición

La presente invención se refiere a un dispositivo de pesaje y a un procedimiento de pesaje con una corrección central digital del valor de medición.

- 5 Los dispositivos de pesaje se utilizan, para medir fuerzas, en particular fuerzas de peso de las mercancías a pesar.
- Los dispositivos de pesaje suelen presentar una absorción de fuerza, una célula de carga y un dispositivo de evaluación.
- La absorción de fuerza es una estructura estructural o un cuerpo, sobre el que se puede colocar la mercancía a pesar, de modo que la absorción de fuerza absorbe la fuerza del peso de la mercancía a pesar y lo transmite a una base. La célula de carga comprende uno o más sensores de fuerza y se usa para detectar la fuerza del peso absorbida por la absorción de fuerza. Los dispositivos de pesaje industriales también pueden comprender varias células de carga. Las células de carga están dispuestas en la trayectoria de adhesión desde la absorción de fuerza hasta la base, es decir, registran toda o parte de la fuerza del peso, que se transmite a la base a través de la(s) célula(s) de carga.
- 10 Las células de carga pueden detectar cambios de forma en un cuerpo de medición, que está conectado con la absorción de fuerza o que forma parte de la absorción de fuerza, por ejemplo, mediante bandas de extensión. Las bandas de extensión se pueden unir, por ejemplo, a un soporte de la absorción de fuerza, y detectar la deformación del soporte, a partir del cual se puede determinar la fuerza de peso aplicada. De este modo también se pueden medir fuerzas cortantes en vigas horizontales, que son proporcionales a la fuerza del peso. Por lo tanto, existen muchas posibilidades de disponer las células de carga en el dispositivo de pesaje.
- 15 Normalmente a cada célula de carga se le asigna un dispositivo de evaluación, con el que se determina la fuerza del peso medida con la célula de carga. Si un dispositivo de pesaje presenta varias células de carga, las fuerzas de peso correspondientes se suman.
- 20 Desde el documento EP 0 670 479 A1 por ejemplo, se conoce una célula de carga de este tipo, en la cual está integrado un dispositivo de corrección modular. Esta célula de carga también puede presentar un sensor de temperatura, para tener en cuenta la temperatura medida al corregir las señales de medición.
- 25 Desde el documento JP H11-37827 A se conoce un dispositivo de pesaje con una función de corrección integrada. Este dispositivo de pesaje presenta diferentes características para diferentes temperaturas y diferentes direcciones de carga. Esto corrige los efectos de temperatura e histéresis.
- Desde el documento DE 10 2006 009 005 A1 se conoce un procedimiento para reemplazar células de carga en una disposición de pesaje calibrada con varias células de carga. Las células de carga están conectadas con una unidad de control a través de al menos un sistema BUS. Las células de carga transmiten los valores de peso a medir en forma de tensiones, que generan los valores de conteo correspondientes en la unidad de control. Cada célula de carga presenta un conjunto de parámetros internos por célula de carga. Cuando se reemplazan las células de carga, los datos escritos de los parámetros internos de la nueva célula de carga en la disposición de pesaje, se ponen a disposición de manera legible en la respectiva memoria de parámetros interna de las células de carga.
- 30 Desde el documento GB 1 495 278 A se conoce otro procedimiento, en el que se compensa la influencia de la temperatura durante el proceso de pesaje.
- Desde el documento EP 2 457 070 B1 se conoce otro dispositivo de pesaje, que presenta un sensor de temperatura, para corregir los efectos dependientes de la temperatura.
- Desde el documento EP 2 278 283 A1 se conoce un procedimiento para la corrección de temperatura de un dispositivo de medición de fuerza, en particular una escala.
- 40 En la tecnología de pesaje directo, como se describe, por ejemplo, en "News, Novedades de SCHENCK PROCESS, Heavy Industry 12.2005DE, 20 años de SCHENCK - tecnología de pesaje directo, soluciones de pesaje óptimas para la industria siderúrgica", los sensores de fuerza o las células de carga, están conectados de manera rígida con la absorción de fuerzas, normalmente atornilladas o pegadas.
- 45 Esto supone ventajas para la tecnología de pesaje directo, como la ausencia de piezas móviles y de ajustes mecánicos. Además, las células de carga requieren poco mantenimiento y son resistentes a la contaminación.
- Sin embargo, esta tecnología de pesaje directo también tiene desventajas. Se aplican fuerzas transversales a las células de carga, lo que puede provocar perturbaciones importantes en las señales de medición. La omisión de cojinetes de elastómero u otros medios de protección contra interferencias puede afectar significativamente al resultado de la medición.
- 50

La invención se basa en el objetivo de crear un dispositivo de pesaje y un procedimiento de pesaje, que permitan realizar mediciones de fuerza con gran precisión, estando diseñado el dispositivo de pesaje aquí utilizado de manera

muy sencilla, económica y fiable. Este objetivo se resuelve mediante los objetos de las reivindicaciones de patente independientes. En las respectivas reivindicaciones subordinadas se indican perfeccionamientos ventajosos.

Según un primer aspecto de la presente invención está previsto un dispositivo de pesaje con una corrección central digital del valor de medición, que comprende al menos una célula de pesaje, que está conectada a través de una línea de señales y/o datos con un dispositivo de evaluación central, para transmitir una señal de medición de peso, siendo el dispositivo de evaluación central una unidad de evaluación para determinar la fuerza medida con el dispositivo de pesaje, a partir de la señal de medición de peso.

El dispositivo de pesaje se caracteriza porque la unidad de evaluación comprende un modelo funcional digital del dispositivo de pesaje, que presenta uno o más módulos de simulación de errores, representando, cada módulo de simulación de errores, un modelo del dispositivo de pesaje, que simula un error de medición específico del dispositivo de pesaje, y presentando cada módulo de simulación de errores, uno o más parámetros de modelo, con los que se modela el dispositivo de pesaje, y se proporciona un dispositivo de aprendizaje, con el que se pueden determinar los parámetros del modelo durante un proceso de aprendizaje, en el que se generan las señales de medición de referencia mediante una o más cargas de referencia, por lo que el modelo funcional presenta un módulo de curva característica que convierte la señal de medición de peso, en una señal de peso o viceversa, y el módulo de curva característica presenta parámetros de curva característica, que se determinan mediante el dispositivo de aprendizaje durante el proceso de aprendizaje.

Como se explicará con más detalle utilizando el ejemplo siguiente, un módulo de simulación de errores cambia una señal. Este cambio se puede realizar de tal manera que se agregue un error predeterminado a la señal. Sin embargo, este cambio también puede ser un cambio en la señal, de modo que la señal se rectifique o se corrija por un error predeterminado.

Con ambos tipos de módulos de simulación de errores, es posible crear un modelo funcional, con el que el dispositivo de evaluación puede emitir un valor de peso corregido y libre de errores de medición.

La corrección de medición digital central mediante un modelo funcional digital, que se enseña mediante un proceso de aprendizaje, permite el uso de una o varias células de carga simples que se integran en el dispositivo de pesaje. Al enseñar la curva característica de todo el dispositivo de pesaje utilizando el módulo de curva característica, y enseñar uno o más módulos de simulación de errores, la calibración de una célula de carga individual para todo el dispositivo de pesaje es despreciable, más bien, el modelo funcional se utiliza para enseñar la curva característica y/o los módulos de simulación de errores para todo el dispositivo de pesaje, ya sea todos a la vez o uno tras otro.

Por lo tanto, la estructura mecánica del dispositivo de pesaje con una absorción de fuerza y una o más células de carga, se puede configurar inicialmente según las condiciones locales. Las células de carga se conectan a través de una línea de señales y/o datos con el dispositivo de evaluación central y luego se enseñan los parámetros de curva característica del módulo de curva característica y los parámetros de modelo de uno o más módulos de simulación de errores.

El modelo funcional representa, por lo tanto, todo el dispositivo de pesaje. Mediante el uso de uno o más módulos de simulación de errores, se puede utilizar una estructura muy sencilla del dispositivo de pesaje, lo que conduce a una señal de medición de peso propensa a errores y/o se pueden utilizar células de carga muy simples, propensas a errores y/o las células de carga se pueden conectar rígidamente con la absorción de fuerza (= tecnología de pesaje directo), lo que provoca errores, particularmente debido a las fuerzas transversales. Todos estos errores se pueden compensar de manera centralizada mediante el modelo funcional digital. Esto da como resultado un dispositivo de pesaje muy preciso, mientras que al mismo tiempo la estructura de todo el dispositivo de pesaje se puede mantener muy simple y económica. Esto se consigue principalmente mediante la combinación de la corrección central de los valores de medición mediante el modelo funcional digital y el aprendizaje del modelo funcional, mediante el dispositivo de aprendizaje.

Preferentemente, el módulo de curva característica está diseñado para convertir la señal de peso en una señal de medición de peso (virtual) y los módulos de simulación de errores están diseñados para cambiar esta señal de medición de peso por un componente de error.

La señal de peso es una señal analógica o digital, que representa el peso a medir. La señal de medición de peso es una señal, que corresponde a la señal de medición generada por las células de carga. Cuando se utiliza un medidor de tensión único, la señal de medición del peso corresponde a las galgas extensométricas.

En dicho modelo funcional, el valor de entrada es la señal de peso y el valor de salida es una señal de medición de peso simulada y propensa a errores. Se le puede enseñar muy fácilmente a un modelo funcional de este tipo, utilizando cargas de referencia.

Sin embargo, en principio también es posible que el módulo de curva característica convierta una señal de medición de peso propensa a errores, en un valor de peso propenso a errores, y que el módulo o los módulos de simulación de errores conviertan la señal de peso propensa a errores o el valor de peso propenso a errores en un valor de peso corregido. En este modelo funcional "invertido", la variable de entrada es la señal de medición de peso realmente

medida propensa a errores, y la variable de salida es el valor de peso corregido. Estos módulos de simulación de errores también se pueden denominar módulos de corrección, ya que corrigen el valor de peso por el error respectivo. Sin embargo, modelar el modelo funcional invertido es significativamente más complejo, que el del modelo funcional no invertido.

5 Preferentemente, se puede desconectar uno de los varios módulos de simulación de errores. En el modelo funcional, los módulos de simulación de errores desconectados se pueden sustituir por el factor "1", de modo que la señal de medición de peso emitida por el módulo de curva característica o el valor de peso emitido, no se modifican mediante un módulo de simulación de errores desconectado. El dispositivo de pesaje puede presentar varias células de carga, combinándose las señales de las distintas células de carga en una estación de recogida de señales de medición, para formar la señal de medición del peso. Las señales individuales se combinan sumándolas, para formar la señal de medición del peso, y las señales individuales también se pueden prever con un factor diferente, que puede diferir de "1" si actúan diferentes palancas sobre las células de carga. Los factores también pueden presentar signos diferentes si las cargas de tracción y de compresión actúan sobre diferentes células de carga al mismo tiempo. La combinación de las señales de cada célula de carga está determinada por la estructura de la absorción de fuerza.

15 Las células de carga pueden presentar salidas analógicas, que están conectadas con una o varias líneas de señales, para transmitir una señal analógica, al dispositivo de evaluación central. Las células de carga con salidas analógicas son, por ejemplo, galgas extensométricas sin procesamiento de señales propio. Las células de carga también pueden presentar salidas digitales, que están conectadas con una o varias líneas de datos, para transmitir una señal digital al dispositivo de evaluación central. Estas células de carga con salidas digitales disponen de un procesamiento digital de las señales de medición, que normalmente se registran de forma analógica.

La(s) célula(s) de carga pueden presentar una o varias galgas extensométricas. En particular, las galgas extensométricas (DMS) pueden estar dispuestas en un puente de medición de Wheatstone.

25 Las células de carga se pueden integrar en el dispositivo de pesaje con una conexión rígida, es decir, acopladas rígidamente a la absorción de fuerza. La absorción de fuerza es cualquier cuerpo de pesaje o cuerpo a pesar, como por ejemplo un contenedor, un puente, una plataforma o un marco, que sirva para absorber la mercancía a pesar. Una conexión rígida se realiza, por ejemplo, mediante una unión de material (soldadura, puntear y soldar, pegado) o una unión positiva (unión por tornillo, unión a presión), para absorber la fuerza. Una conexión rígida significa que no están previstos cojinetes de elastómero o similares entre la célula de carga y la absorción de fuerza, por ejemplo, para eliminar fuerzas transversales u otras fuerzas disruptivas. Una conexión rígida de este tipo no requiere mantenimiento, pero puede provocar que las respectivas células de carga absorban fuerzas transversales y otras fuerzas, que perturben la medición. De acuerdo con la invención, estos efectos perturbadores se pueden corregir de manera centralizada mediante el modelo funcional digital.

35 Además, el dispositivo de pesaje se puede diseñar de tal manera, que el flujo de fuerza entre la absorción de fuerza y la base se conduzca exclusivamente a través de la(s) célula(s) de pesaje. Con este diseño del dispositivo de pesaje, no se producen derivaciones de fuerza, que puedan provocar errores de medición.

El dispositivo de pesaje puede presentar uno o más sensores de temperatura, que están dispuestos cerca de al menos una de las células de carga. Con un sensor de temperatura de este tipo se puede registrar la temperatura en la zona de las células de carga y utilizarla para su corrección mediante el modelo funcional digital.

40 Preferentemente, se proporcionan al menos dos o más módulos de simulación de errores para corregir una de las causas de errores existentes:

- Linealidad;
- Fluencia (absorción de fuerza, célula de carga);
- Histéresis;
- Desviaciones térmicas del punto cero;
- 45 • Desviaciones del punto cero en relación con un gradiente térmico;
- Variaciones en la sensibilidad de la célula de carga debido a cambios de temperatura;
- Choques;
- Posición de la carga;
- Fuerzas transversales;
- 50 • Errores debido a la inclinación.

En principio, en el marco de la invención es posible diseñar el dispositivo de pesaje utilizando un modelo funcional muy general, que se base, por ejemplo, en una red neuronal u otro modelo general de autoaprendizaje. Sin embargo, este modelado general requiere una variedad de cargas de referencia en todos los estados posibles. Los estados pueden variar dependiendo de la temperatura, el lugar de carga y la dinámica de carga. Con un modelo tan general, el proceso de aprendizaje es muy complejo.

El modelo funcional de acuerdo con la invención, que comprende un módulo de curva característica y al menos uno y preferentemente más módulos de simulación de errores, presenta inherentemente, por lo tanto, una estructura de modelo típica del dispositivo de pesaje, con la que se visualizan al menos la curva característica y una o varias causas de error que están indicadas. Esto hace que enseñar el modelo funcional sea mucho más fácil y rápido que con un modelo funcional general. Con dispositivos de pesaje de diseño sencillo se ha demostrado en la práctica, que tanto los parámetros de la curva característica como los parámetros del modelo, se pueden determinar de manera fiable con sólo unas pocas cargas de referencia. En el caso de dispositivos de pesaje para pesar cargas grandes (por ejemplo, varias toneladas), puede resultar muy complejo poder proporcionar un gran número de cargas de referencia diferentes. Con el modelo funcional de acuerdo con la invención se ha demostrado que a veces son suficientes algunas cargas de referencia diferentes y la carga cero, para enseñar de manera fiable el modelo funcional.

El dispositivo de evaluación puede presentar un filtro de paso bajo, para filtrar un valor de temperatura, en particular un valor de temperatura de un cuerpo de medición, de una célula de carga.

Al filtrar con el filtro de paso bajo, el valor filtrado corresponde a un valor de temperatura retardado. Este valor de temperatura retardado a veces se corresponde mejor con la temperatura real de un cuerpo, que con la temperatura medida, particularmente si éste tiene una capacidad calorífica significativamente mayor que la del sensor de temperatura. Este valor de temperatura filtrado se puede utilizar, por ejemplo, como valor de temperatura para un cuerpo de medición de una célula de carga.

Este valor de temperatura filtrado con el filtro de paso bajo también se puede utilizar para calcular un gradiente de temperatura, formando la diferencia entre el valor de temperatura realmente medido y el valor de temperatura filtrado. Un gradiente de temperatura de este tipo influye, por ejemplo, en la tensión térmica de un cuerpo de medición.

Esta es una opción muy simple que solo requiere un sensor de temperatura para determinar un gradiente.

Un dispositivo de evaluación y un procedimiento de este tipo para evaluar la señal de medición de una célula de carga con un valor de temperatura filtrado de esta manera, representa un concepto de invención independiente que también se puede utilizar independientemente del modelo funcional digital, en particular para determinar un gradiente y/o para corregir la salida de una célula de carga.

Según otro aspecto, está previsto un procedimiento de pesaje con una corrección central digital del valor de medición, en el que se detecta una señal de medición de peso con al menos una célula de carga, que se transmite a través de una línea de señal y/o datos a un dispositivo de evaluación central, por lo que el dispositivo de evaluación central con una unidad de evaluación, determina la fuerza medida por el dispositivo de pesaje a partir de la señal de medición de peso, y el dispositivo de evaluación convierte la señal de medición de peso en una señal de peso, utilizándose un modelo funcional digital del dispositivo de pesaje, para simular el dispositivo de pesaje con sus efectos de error, y así compensar los errores en la señal de peso.

Al simular el dispositivo de pesaje con sus efectos de error, se pueden compensar los efectos de error en la señal de salida del peso. Esto permite el uso de células de carga simples propensas a errores o un dispositivo de pesaje simple propenso a errores, y aun así permite pesar con precisión la mercancía a pesar.

Preferentemente, el modelo funcional digital ha aprendido previamente, con un dispositivo de aprendizaje durante un proceso de aprendizaje, en el que se han generado señales de medición de referencia utilizando una o más cargas de referencia. Esto permite crear un dispositivo de pesaje individual y seguir pesando la mercancía de manera fiable y precisa de manera sencilla. Esto permite tener en cuenta las condiciones locales individuales y utilizar la absorción de fuerza en una amplia variedad de formas. Mediante el aprendizaje del modelo funcional digital al dispositivo de pesaje, los errores en el dispositivo de pesaje causados por el diseño se compensan automáticamente. La combinación del modelo funcional digital modular y el aprendizaje permite una implementación rápida y sencilla de dispositivos de pesaje individuales, para una amplia variedad de aplicaciones.

Un módulo de curva característica del modelo funcional puede convertir la señal de medición de peso, en señal de peso o viceversa, para la simulación, presentando el módulo de curva característica, parámetros de curva característica, que se pueden determinar previamente mediante el proceso de aprendizaje.

Dado que con este procedimiento se aprende la curva característica en sí, la curva característica de una célula de carga en sí es irrelevante. Más bien se aprende la curva característica de todo el dispositivo de pesaje, lo que significa que se tiene en cuenta automáticamente la influencia de los demás componentes del dispositivo de pesaje, como, por ejemplo, la absorción de fuerza, el cuerpo de medición, etc.

El aprendizaje se realiza preferentemente mediante un procedimiento de optimización, en particular un procedimiento

de optimización iterativo, en el que los parámetros individuales se optimizan paso a paso.

Uno o más módulos de simulación de errores del modelo funcional digital del dispositivo de pesaje, pueden simular cada uno al menos un error de medición específico del dispositivo de pesaje, y para ello cada módulo de simulación de errores puede utilizar uno o más parámetros del modelo, determinados previamente mediante el proceso de aprendizaje.

Los aspectos individuales se pueden aplicar de manera independiente o en combinación.

La invención se explica a continuación con más detalle, a modo de ejemplo, mediante los dibujos. Los dibujos se muestran en:

la Fig. 1 una parte de una báscula para contenedores en un alto horno con tecnología de pesaje directo,

la Fig. 2 esquemáticamente la estructura de un dispositivo de pesaje en un diagrama de bloques,

la Fig. 3 un módulo de evaluación para evaluar las señales de medición, que presenta un modelo funcional digital, en un diagrama de bloques,

la Fig. 4 el modelo funcional digital de la Fig. 3 con un módulo de curva característica y varios módulos de simulación de errores en un diagrama de bloques,

la Fig. 5 una parte de una báscula de carril en una representación esquemática, y

la Fig. 6 una parte de una báscula de bogie con un sistema de referencia.

Un primer ejemplo de realización de un dispositivo de pesaje, de acuerdo con la invención, es una báscula de alto horno en un alto horno (Fig. 1).

El dispositivo de pesaje presenta un contenedor 2 para contener una masa fundida líquida, como absorción de fuerza. El dispositivo de pesaje 1 presenta tres células de carga 3. Cada una de las tres células de carga 3 está dispuesta entre el contenedor 2 y una placa base 4. El contenedor 2 está soportado exclusivamente por las células de carga 3, de modo que no se puede producir ninguna adherencia paralela a las células de carga 3. La placa base 4, que forma la base, también se denomina estructura de conexión.

Las células de carga 3 están conectadas rígidamente con el contenedor 2. En el presente ejemplo de realización están atornillados al contenedor 2. En los dispositivos de pesaje se utilizan a menudo cojinetes de elastómero para acoplar la respectiva célula de carga a la absorción de fuerza, para desacoplar las fuerzas disruptivas y asegurar, que el flujo de fuerza de la absorción de fuerza a la célula de carga 3 sólo se produzca en la dirección deseada. Estos cojinetes de elastómero requieren un mantenimiento intensivo. Además, tales cojinetes de elastómero son sensibles al calor y, por lo tanto, difíciles de utilizar en un dispositivo de pesaje para masa fundida, procedente de un alto horno. La conexión rígida requiere mucho menos mantenimiento que un acoplamiento con cojinetes de elastómero. Sin embargo, la conexión rígida entre las células de carga 3 y el contenedor 2 tiene la desventaja de que también se transmiten fuerzas disruptivas a las células de carga 3, lo que puede afectar a la medición.

Las células de carga individuales 3 presentan como sensores, galgas extensométricas (DMS) 5. Las galgas extensométricas se pueden conectar, por ejemplo, en un puente de Wheatstone.

Las células de carga individuales 3 presentan un dispositivo de lectura con un convertidor A/D para que se emita una señal de medición digital.

Cada una de las células de carga 3 está conectada con una estación de recogida de señales de medición 7 a través de una línea de datos 6 (Fig. 2). En la estación de recogida de señales de medición 7 se leen las señales de medición de cada célula de carga 3 y se combinan entre sí. En el presente ejemplo de realización se suman las señales de medición de las tres células de carga 3, ya que el dispositivo de medición está diseñado de tal manera que las tres células de carga miden básicamente la misma proporción de carga. Sin embargo, puede ocurrir que las relaciones de apalancamiento, con las que actúa la carga sobre la respectiva célula de carga sean diferentes, de modo que las señales de medición de las distintas células de carga se deban multiplicar por un factor, para generar una señal global correcta.

La señal de medición $S_m(t)$ generada por la estación de recogida de señales de medición 7 se transmite a través de otra línea de datos 8 a un dispositivo de evaluación central 9.

El dispositivo de evaluación central 9 presenta un modelo funcional digital 10 del dispositivo de pesaje 1 (Figs. 3, 4). En una entrada 11 del modelo funcional digital hay una señal, que describe el peso $M(t)$ medido por el dispositivo de pesaje 1. Se emite una señal en una salida 12 del modelo funcional digital 10, que refleja una señal de medición simulada $sf_m(t)$, por lo que en el presente ejemplo de realización la señal de medición simulada se modifica de tal manera, que se simulan los errores del dispositivo de pesaje 1, de modo que la señal de medición simulada es una señal de medición propensa a errores $sf_m(t)$.

El modelo funcional 10 representa una simulación digital del dispositivo de pesaje 1, mediante el cual cuando se aplica un peso predeterminado $M(t)$, se emite la señal de medición simulada $sf_m(t)$.

Opcionalmente, el modelo funcional digital 10 puede presentar una o más entradas para variables de perturbación, que se tienen en cuenta al simular la señal de medición. En la presente realización ejemplar (Fig. 3), una señal que refleja la temperatura $T(t)$ en las células de carga 3, se especifica como una variable de perturbación en el modelo funcional digital 10.

El modelo funcional digital 10 forma parte de un bucle de evaluación 14, que presenta una entrada 15 para recibir la señal de medición $s_m(t)$ desde la estación de recogida de señales de medición 7. La entrada 15 está conectada con un comparador 16. El comparador 16 está además conectado con la salida 12 del modelo funcional digital 10 y calcula la diferencia entre la señal de medición medida $s_m(t)$ y la señal de medición propensa a errores simulada $sf_m(t)$ emitida por el modelo funcional 10. El comparador 16 emite una señal de diferencia Δs , que se envía a un integrador 17 situado aguas abajo. El integrador 17 integra la señal de diferencia Δs y emite la señal de peso $M(t)$. La salida del integrador 17 está conectada con la entrada 11 del modelo funcional digital 10. Además, en la conexión entre el integrador 17 y el modelo funcional digital 10 está prevista una salida 18, que sale del dispositivo de evaluación central 9 y por la que se emite la señal que describe el peso $M(t)$.

Como se explicará con más detalle a continuación, el modelo funcional digital 10 está diseñado de tal manera que, basándose en la señal de peso $M(t)$ presente en la entrada, se genera la señal de medición propensa a errores $sf_m(t)$. De este modo se simulan los errores sistemáticos del dispositivo de pesaje 1 con el modelo funcional digital 10.

Siempre que haya una diferencia entre la señal de medición medida $s_m(t)$ y la señal de medición simulada propensa a errores $sf_m(t)$, la señal de diferencia Δs se desvía de cero y al integrar usando el integrador 17, el valor de la señal de peso $M(t)$ aumenta o disminuye dependiendo del signo de la señal de diferencia Δs . Si coincide la señal de medición medida $s_m(t)$ con la señal de medición simulada propensa a errores $sf_m(t)$, entonces la señal de diferencia Δs es igual a cero, lo que significa que la señal de peso $M(t)$ en la salida del integrador 17 es estable. Esta señal de peso $M(t)$ corresponde al peso realmente medido con el dispositivo de pesaje 1, y se emite por la salida 18 como valor de peso.

El dispositivo de evaluación central 9 presenta además un dispositivo de aprendizaje, que en el presente ejemplo de realización se compone de un módulo de optimización 18, un registrador de datos 19 y un módulo de derivación 20 (Fig. 3). El módulo de derivación 20 está dispuesto en la entrada 15 del dispositivo de evaluación central 9 y puede bifurcar la señal de medición medida $s_m(t)$ y alimentarla con una línea de datos 21 al registrador de datos 19, en el que las señales de medición medidas $s_m(t)$ son almacenados. El registrador de datos 19 está conectado con líneas de datos adicionales 22 y 23 con la salida 12 del modelo funcional 10 y con la entrada 11 del modelo funcional 10, para leer la señal de medición simulada propensa a errores $sf_m(t)$ y la señal de peso $M(t)$.

Si se detectan variables de perturbación, estas también se leen de manera sincronizada con las señales de medición de referencia y las señales de peso, y se almacenan en el registrador de datos 19.

Además, el módulo de optimización presenta una línea de datos 42 hacia el modelo funcional digital 10, para transmitir parámetros determinados usando un procedimiento de optimización al modelo funcional digital 10.

El modelo funcional digital 10 presenta un módulo de curva característica 24, que está dispuesto directamente en la entrada 11 del modelo funcional digital (Fig. 4). El módulo de curva característica convierte la señal de peso $M(t)$ en una primera señal de medición preliminar $sv1(t)$, usando una curva característica predeterminada, que corresponde a la curva característica del dispositivo de pesaje 1. La curva característica se aproxima utilizando la siguiente función cúbica:

$$Sv1 = P1 * s_m(t) + Pq * (s_m(t))^2 + Pc * (s_m(t))^3$$

Esta función presenta un parámetro lineal $P1$, un parámetro cuadrático Pq y un parámetro cúbico Pc . Con esta función se convierte el valor de peso en una señal de medición $sv1$, que es una señal de medición ficticia, esencialmente libre de errores, procedente del dispositivo de pesaje 1.

Por lo tanto, la curva característica se aproxima mediante una función no lineal. Esto corrige las no linealidades en la curva característica real.

Al módulo de curva característica 24 le sigue un módulo de simulación de errores 25, para corregir la fluencia de un cuerpo de medición. En las células de carga 3, las galgas extensométricas 5 están fijadas a un cuerpo de medición, que se deforma bajo carga. La deformación del cuerpo de medición se mide mediante las galgas extensométricas 5. Si la carga sobre el cuerpo de medición continúa durante un período de tiempo más largo, el cuerpo de medición se deforma cada vez más. Esto se llama fluencia. La fluencia se simula con un filtro de paso bajo. Para calcular el efecto de la fluencia sobre la señal de medición preliminar $sv1$, se utiliza una constante de tiempo $P_{\text{tau-kriech-mess}}$ necesaria para la fluencia del cuerpo de medición. La constante de tiempo para la fluencia $P_{\text{tau-kriech-mess}}$ se debe determinar mediante un procedimiento de optimización.

Con el módulo de simulación de errores 25 para la fluencia, se convierte la primera señal preliminar $sv1$ en una

segunda señal preliminar sv2, modificándose la señal de medición en función del efecto de fluencia en el dispositivo de pesaje 1. Por lo tanto, la segunda señal de medición preliminar sv2 se modifica correspondientemente, como ocurre en el dispositivo de pesaje 1 debido a la fluencia.

La segunda señal de medición preliminar sv2 se alimenta a un módulo de simulación de errores 26 para corregir la histéresis. En el presente ejemplo de realización se simula el efecto de histéresis mediante un modelo. En la literatura se conocen diferentes modelos para simular la histéresis, tales como, por ejemplo:

el modelo dipolo (similitud con los dipolos magnéticos; KÖNIG, Hans Günter. PROPIEDADES DEL CUERPO DE MEDICIÓN METÁLICO PARA LA TECNOLOGÍA DE MEDICIÓN EN TÚNEL DE VIENTO. Disertación; Universidad Técnica de Darmstadt, 06/1992),

el modelo de Preisach (suma de operadores de histéresis elementales; F. Preisach: Sobre el efecto magnético. En: Revista de Física. Volumen 94, 1935, págs. 277-302), el modelo de Dahl (P.R. Dahl Amortiguación por fricción sólida de vibraciones mecánicas AIAA J., 14 (12) (1976), págs. 1675-1682),

el modelo de Masing (conexión paralela de elementos elementales elástico-plásticos ideales; GUTZER, Ulrich; IDENTIFICACIÓN DINÁMICA DE LA HISTÉRESIS ESTÁTICA USANDO EL EJEMPLO DE UNA CUERDA DE ESCALERA; Disertación; Universidad Técnica de Darmstadt, 01/1998),

el modelo de similitud (modelo puramente matemático basado en el supuesto de que los bucles de histéresis internos son similares a la envolvente; KOLSCH, H. AMORTIGUACIÓN DE VIBRACIONES MEDIANTE HISTÉRESIS ESTÁTICA. Fila 11: Tecnología de vibración; Volumen 190. Informes de avance de VDI; editorial VDI, 1993), o

el modelo Lu-Gre (modelo de fricción basado en barras deslizantes; Karl Johan Åström, C. Canudas de Wit revisando el modelo de fricción de LuGre; Movimiento de adherencia-deslizamiento y dependencia de la velocidad IEEE Control Systems Magazine, 28 (6) (2008), págs. 101-114).

A la hora de calcular el efecto de histéresis se deben tener en cuenta los siguientes parámetros a determinar mediante el procedimiento de optimización:

- P_hyst - Fuerza a partir de la cual se desliza un elemento de fricción ficticio;
- P_sigma - Constante del resorte, de un resorte, que actúa sobre el elemento de fricción ficticio;
- P_alpha, P_beta - Parámetros que definen la desviación del curso lineal de la curva característica.

La composición de los parámetros puede variar según el modelo.

El módulo de simulación de errores 26 para la histéresis transforma la segunda señal de medición preliminar sv2 en una tercera señal de medición preliminar sv3 según el efecto de histéresis, que se produce en el dispositivo de pesaje 1.

Al módulo de simulación de errores 26 para la histéresis le sigue un módulo de simulación de errores 27 para la fluencia de las galgas extensométricas 5. La fluencia de las galgas extensométricas se simula mediante un filtro de paso bajo en combinación con un término de corrección, que es proporcional a la derivada después del tiempo t. Para el cálculo se utiliza un parámetro $P_{\tau \text{ krie chDMS}}$ que se determinará mediante el procedimiento de optimización, para la constante de tiempo de la fluencia de las galgas extensométricas, así como un parámetro $P_{\text{krie chDMS}}$, que describe un breve rebasamiento de la señal de medición durante la fluencia de la galga extensométrica. Con el módulo de simulación de errores 27 se genera una cuarta señal de medición preliminar sv4 para la fluencia de las galgas extensométricas 5.

La cuarta señal de medición preliminar sv4 se alimenta a un módulo de simulación de errores 28 para una corrección del punto cero. El punto cero depende de la temperatura. La señal de temperatura variable en el tiempo T(t) está presente en la entrada 13 del modelo funcional digital 10. La experiencia ha demostrado que el valor de temperatura de los sensores de temperatura cambia más rápido que el valor de temperatura del cuerpo de medición de la célula de carga 3. Sin embargo, la temperatura del cuerpo de medición es relevante para el cambio del punto cero. Por lo tanto, la señal de temperatura T(t) se filtra primero con un filtro de paso bajo 29, lo que da como resultado un valor de temperatura retardado Tm(t), que corresponde a la temperatura del cuerpo de medición.

El efecto sobre la señal de medición debido a la desviación del punto cero se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$sv5 = sv4 + P_{tk0} * (T_m(t) - T_{ref}),$$

por lo que sv5 es la quinta señal de medición preliminar, Tref es una temperatura de referencia a la que no hay ninguna desviación del punto cero, y Ptk0 es un parámetro que se establece mediante el procedimiento de optimización, que describe el cambio en el punto cero, dependiendo de la desviación de la temperatura a partir de la temperatura de referencia.

La sensibilidad de medición de las galgas extensométricas 5 depende de la temperatura, por lo que la quinta señal de medición preliminar sv5 se corrige a una sexta señal de medición preliminar sv6, mediante un módulo de simulación de errores 30 para cambiar la sensibilidad de las galgas extensométricas. Esta corrección se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$5 \quad sv6 = sv5 * (1 + PtkC * (Tm(t) - Tref)),$$

por lo que el parámetro PtkC, que se determina mediante el procedimiento de optimización, representa la sensibilidad de las galgas extensométricas en función de la temperatura.

Un gradiente de temperatura provoca tensiones térmicas en el cuerpo de medición. Las tensiones térmicas provocan deformaciones del cuerpo de medición, que son detectadas por las galgas extensométricas 5 y provocan un error de medición sistemático. Por lo tanto, la sexta señal de medición preliminar sv6 se envía a otro módulo de simulación de errores 31, para corregir la influencia debida al gradiente de temperatura. En este módulo de simulación de errores 31, además del valor de temperatura "retardado" del cuerpo de medición Tm(t), también se tiene en cuenta el valor de temperatura T(t) realmente medido con el sensor de temperatura, y se calcula la diferencia de temperatura entre estos dos valores de temperatura. Este valor de referencia de temperatura se multiplica por un parámetro de corrección Pgradient, y se suma a la sexta señal de medición preliminar sv6 según la siguiente fórmula, con lo que se calcula la señal de medición propensa a errores sm(t):

$$s_{fn}(t) = sv6 + (T(t) - Tm(t)) * Pgradient,$$

con lo cual se genera la salida de la señal de medición propensa a errores, en la salida del modelo funcional digital 10. La determinación del valor del gradiente mediante el filtro de paso bajo 29 es posible en dispositivos de pesaje, en los que el flujo de calor siempre esté rectificado. Si hay un flujo de calor en diferentes direcciones, entonces es aconsejable utilizar dos o más sensores de temperatura, para poder determinar la(s) dirección(es) del flujo de calor.

En el dispositivo de pesaje mostrado en la Fig. 1, con el que se pesa metal fundido en un alto horno, siempre hay un flujo de calor en una dirección. En este dispositivo de pesaje se utiliza el modelo funcional con todos los módulos de simulación de errores 25 - 31.

Para que el modelo funcional digital 10 refleje correctamente el dispositivo de pesaje 1, es necesario enseñarle. Para ello se suministra al dispositivo de pesaje una señal de referencia. La señal de referencia se puede generar, por ejemplo, colocando un cuerpo de calibración con un peso predeterminado. Sin embargo, la señal de calibración también se puede generar por medio de un dispositivo generador de fuerza mecánica, tal como un sello de presión y una célula de carga de referencia, que se aplica al dispositivo de pesaje, siendo la célula de carga de referencia una célula de carga de alta precisión para medir la señal de referencia.

En un dispositivo de pesaje como el mostrado en la Fig. 1, con el que se van a pesar grandes cantidades de masa fundida en caliente, es conveniente utilizar una o más cucharas de referencia, cada una con un peso predeterminado, como pesas de referencia.

El componente central del dispositivo de aprendizaje es el módulo de optimización 18, que puede recibir las señales de medición de referencia por medio del módulo de derivación 20 y del registrador de datos 19, y almacenarlas temporalmente en el registrador de datos 19 y al mismo tiempo registrar las señales de peso M(t) generado por el bucle de evaluación 14.

En un proceso de aprendizaje, primero se utilizan señales de medición de referencia sm-ref(t) generadas por medio de uno o más pesos de referencia o un dispositivo de referencia, como se muestra, por ejemplo, en la Fig. 6. Las señales de medición de referencia, los pesos de referencia y, si es necesario, las variables de perturbación se almacenan en el registrador de datos 19.

Usando un proceso de optimización, los parámetros individuales P se varían en el modelo funcional digital 10, de modo que el peso o pesos de referencia, se aplican a la entrada 11 del modelo funcional 10, y la señal de medición propensa a errores sfm(t) se simula en la misma lo más cerca posible de las señales de medición de referencia almacenadas y registradas sm-ref(t).

Esto significa que, durante el proceso de aprendizaje, la desviación o el error de las señales de medición simuladas propensas a errores sfm(t), se puede minimizar.

Con un modelo funcional digital 10 optimizado de esta manera, se puede generar una señal de peso M(t) a partir de la señal de medición de peso sm(t), usando el bucle de evaluación 14, corregida en relación con los errores simulados por los módulos de simulación de errores individuales. Por lo tanto, los módulos de simulación de errores también se podrían denominar módulos de corrección.

Existen diferentes procedimientos de optimización, que se pueden utilizar para minimizar el error. En el ejemplo de realización presente, el procedimiento de optimización utilizado fue la optimización del enjambre de partículas (PSO) en combinación con el algoritmo de Levenberg-Marquardt, que es un procedimiento de optimización numérica para

resolver problemas de compensación no lineal utilizando el procedimiento de mínimos cuadrados.

Los procedimientos basados en gradientes también están disponibles como procedimientos de optimización. En principio, también se pueden utilizar procedimientos no basados en gradientes. Los procedimientos basados en gradiente incluyen el procedimiento de descenso de gradiente, el procedimiento de descenso de gradiente con restricciones o el procedimiento cuasi-Newton. Sólo requieren una pequeña desviación de los parámetros de control del dispositivo de pesaje, en función de su estado de funcionamiento.

Los procedimientos basados en gradientes tienen la ventaja de que proporcionan un modelo muy preciso del sistema respectivo para el entorno del estado de funcionamiento, que se puede determinar fácil y rápidamente desviando un parámetro de control.

Los procedimientos no basados en gradientes son, por ejemplo, el procedimiento simplex-Nelder-Mead o el procedimiento de evolución diferencial. En el libro de texto Optimización de Florian Jarre y Josef Stör (DOI10.1007/978-3-642-18785-8) se ofrece una visión general de diferentes procedimientos de optimización.

Independientemente de si el procedimiento de optimización es un procedimiento basado en gradiente o un procedimiento no basado en gradiente, generalmente es, principalmente, un procedimiento de optimización iterativo, que optimiza los parámetros paso a paso.

Si la señal de referencia se genera con un cilindro de presión y se mide con una célula de carga de referencia, el proceso de aprendizaje se puede realizar de manera totalmente automática. Sin embargo, si se aplican manualmente diferentes pesos de referencia, entonces el proceso de aprendizaje se debe realizar de manera semiautomática y el peso de referencia aplicado se debe introducir en un lugar adecuado en el dispositivo de evaluación central 9.

El modelo funcional digital 10 mostrado en la Fig. 4 está diseñado específicamente para un dispositivo de pesaje. En principio, sería posible utilizar un modelo general en lugar de un modelo específico, que está representado, por ejemplo, por una red neuronal. Sin embargo, el uso de un modelo tan específico requiere significativamente menos valores de referencia para el aprendizaje, lo que hace que el aprendizaje sea mucho más fácil y rápido. En casos individuales puede ser suficiente incluso aplicar simplemente la carga cero y otra carga de referencia durante el aprendizaje para entrenar completamente el modelo funcional digital 10.

Durante el aprendizaje se registran y almacenan preferentemente todos los valores de medición, las correspondientes variables de perturbación y las cargas de referencia de manera sincronizada, para que estén disponibles para el proceso de optimización.

En el ejemplo de realización anterior, el dispositivo de aprendizaje 18, 19, 20 está integrado en el dispositivo de evaluación central 9. En principio, también es posible registrar primero todos los datos de referencia durante el proceso de aprendizaje y realizar la optimización en un dispositivo, independiente del dispositivo de evaluación central, en el que se guarda una copia del bucle de evaluación 14.

Un segundo ejemplo de realización de un dispositivo de pesaje 1 es una báscula de carril, que presenta varias células de carga 3 a lo largo de dos carriles 32 de una vía de tren. La Fig. 5 muestra esquemáticamente sólo una sección de un único carril 32 con una representación esquemática de la célula de carga 3. La célula de carga 3 presenta tres galgas extensométricas 33, que están pegadas a la vía, estando situada la célula de carga 3 en la zona entre dos traviesas 34. Una célula de carga 3 de este tipo puede presentar también más de tres galgas extensométricas 33. Si el carril 32 se carga en la zona de la célula de carga 3, entonces el carril 32 se dobla y esta flexión es detectada por la célula de carga 3. El carril 32 sirve, por lo tanto, como cuerpo de medición. Este dispositivo de pesaje 1 puede comprender un gran número de células de carga 3 a lo largo de dos carriles 32 de una vía, que están fijadas a los carriles 32 a intervalos regulares, por ejemplo, a lo largo de una distancia de 20 a 50 m. Esto permite registrar el peso de un vagón cuando se desplaza lentamente sobre el carril. En este caso, varios grupos de células de carga 3 dispuestos uno cerca del otro, están conectados respectivamente con un dispositivo de evaluación central 9, de tal manera que los grupos individuales de células de carga 3 se registran y evalúan independientemente unos de otros.

Esencialmente se puede utilizar para esta báscula de carril, el mismo modelo funcional del ejemplo de realización anterior, que se muestra en la Fig. 4. Sin embargo, en esta báscula de carril, las influencias térmicas no están claramente alineadas, por lo que es conveniente prever dos o más sensores de temperatura, para que se puedan detectar claramente gradientes de temperatura en una o varias direcciones.

Otro ejemplo de realización es un dispositivo de pesaje 1 para bogies de tren. En la Fig. 6, sólo se muestra una única sección de un carril 35, que descansa sobre dos células de carga 3. Las células de carga 3 están dispuestas a su vez sobre una placa base 36. No hay más conexión entre el carril 35 y la placa base 36, de modo que no hay ninguna desviación de fuerza hacia las células de carga 3. Las células de carga 3 están conectadas rigidamente tanto con la placa base 36 como con el carril 35, es decir, están atornilladas entre sí o conectadas entre sí mediante un ajuste a presión.

Sobre este dispositivo de pesaje 1 está dispuesto un dispositivo de referencia, que comprende un sello de presión 37, un cilindro hidráulico 38 y una célula de carga de referencia 39. La célula de carga de referencia 39 está acoplada con

el sello de presión 37 y con el cilindro hidráulico 38 mediante cojinetes de elastómero. El cilindro hidráulico 38 está fijado por su extremo superior a una placa de soporte 40, que está unida con la placa base 36 con varillas de soporte 41.

Accionando el cilindro hidráulico 38 se puede ejercer una fuerza sobre el sello de presión 37, que se transmite al carril 35 y, por lo tanto, es detectada por las células de carga 3. La célula de carga de referencia 39 mide con precisión la fuerza ejercida por el cilindro hidráulico 38 y genera una señal de referencia.

Con este dispositivo de referencia, se puede generar, registrar y utilizar automáticamente una secuencia de diferentes señales de referencia, para optimizar un modelo funcional digital 10.

Después del aprendizaje de los parámetros del modelo funcional digital, se retira el dispositivo de referencia y se puede utilizar el dispositivo de pesaje para pesar los bogies.

Estos dispositivos de pesaje para bogies suelen estar instalados en naves, en las que existen condiciones de temperatura definidas. Por lo tanto, este dispositivo de pesaje no está sujeto a fluctuaciones de temperatura o éstas son insignificantes.

Se ha demostrado que este dispositivo de pesaje 1 se puede simular muy bien con un modelo funcional digital 10, que sólo presenta el módulo de curva característica 24 y el módulo de simulación de errores 26 para corregir el efecto de histéresis. Se puede prescindir de todos los demás módulos de simulación de errores presentes en el ejemplo de realización mostrado en la Fig. 4.

El módulo de curva característica, que aproxima la curva característica con una función cúbica, por un lado, convierte la señal de peso en una señal de medición y, por otro lado, compensa la no linealidad de la curva característica.

Con el módulo de simulación de errores 26 para un efecto de histéresis se compensan muy bien los efectos de histéresis, que se producen en este dispositivo de pesaje 1.

Este ejemplo muestra que no todos los módulos de simulación de errores del modelo funcional digital 10 de la Fig. 4 son necesarios para simular un dispositivo de pesaje. Dependiendo de qué causas de error predominen en un dispositivo de pesaje, se pueden seleccionar los módulos de simulación de errores correspondientes.

En una forma de realización preferente, los módulos individuales de simulación de errores 25 - 31 se pueden conectar individualmente.

Con un dispositivo de referencia, como se muestra en la Fig. 6, con el que se puede realizar el proceso de aprendizaje de manera automática, el modelo funcional digital también puede aprender con una combinación diferente de módulos de simulación de errores. Esto le permite determinar qué módulos de simulación de errores son realmente relevantes para el respectivo dispositivo de pesaje, para minimizar el error. Si por ejemplo, resulta que un determinado módulo de simulación de errores no consigue ninguna mejora en la minimización del error, esto significa que el error corregido por este módulo de simulación de errores no se produce en el dispositivo de pesaje correspondiente.

La invención se ha explicado anteriormente utilizando varios ejemplos, que utilizan un modelo funcional que recibe una señal de peso como señal de entrada y genera una señal de medición simulada propensa a errores como señal de salida. A través del bucle de evaluación que se muestra en la Fig. 3, se puede determinar el peso real corregido utilizando este modelo funcional y la señal de medición generada por el dispositivo de pesaje 1.

En principio, también es posible prever un modelo funcional digital, que reciba la señal de medición medida como entrada, y emita como salida un valor de peso corregido. A continuación, se deben invertir correspondientemente los módulos individuales del modelo funcional digital según la Fig. 4. Esta inversión es fácil para módulos individuales, pero para otros puede ser muy compleja, razón por la cual el modelo de función digital no invertida explicado anteriormente, es más fácil de implementar.

La invención se puede resumir brevemente como sigue:

La invención se refiere a un dispositivo de pesaje y a un procedimiento de pesaje con una corrección digital central del valor de medición. El dispositivo de pesaje se simula en un dispositivo de evaluación central con un modelo funcional digital del dispositivo de pesaje. El modelo funcional digital del dispositivo de pesaje puede aprender mediante un dispositivo de aprendizaje, de modo que se compensen los errores de medición del dispositivo de pesaje.

Esto permite pesar de manera fiable y precisa mediante dispositivos de pesaje de diseño muy sencillo.

En el ejemplo de realización explicado anteriormente, la estación de recogida de señales de medición 7 está dispuesta cerca de las células de carga 3. La estación de recogida de señales de medición está conectada con el dispositivo de evaluación central 9, mediante una línea de datos 8, que es claramente más larga que las líneas de datos entre las células de carga 3 y la estación de recogida de señales de medición 7. La línea de datos 8 puede presentar una longitud de al menos 10 m, en particular 20 m y en particular 30 m.

Sin embargo, la estación de recogida de señales de medición 7 también se puede integrar en el marco de la invención

en el dispositivo de evaluación central 9.

Lista de números de referencia

	1	Dispositivo de pesaje
	2	Contenedor
5	3	Célula de carga
	4	Placa base
	5	Galgas extensométricas
	6	Línea de datos
	7	Estación de recogida de señales de medición
10	8	Línea de datos
	9	Dispositivo de evaluación central
	10	Modelo funcional digital
	11	Entrada del modelo funcional
	12	Salida del modelo funcional
15	13	Entrada del modelo funcional (variable de perturbación)
	14	Bucle de evaluación
	15	Entrada del dispositivo de evaluación central
	16	Comparador
	17	Integrador
20	18	Módulo de optimización
	19	Registrador de datos
	20	Módulo de derivación
	21	Línea de datos
	22	Línea de datos
25	23	Línea de datos
	24	Módulo de curva característica
	25	Módulo de simulación de errores, fluencia del cuerpo de medición
	26	Módulo de simulación de errores, histéresis
	27	Módulo de simulación de errores, fluencia del DMS
30	28	Módulo de simulación de errores, corrección del punto cero
	29	Filtro de paso bajo
	30	Módulo de simulación de errores, sensibilidad
	31	Módulo de simulación de errores, influencia del gradiente de temperatura
	32	Carril
35	33	Punto de fijación
	34	Traviesa
	35	Carril

	36	Placa base
	37	Sello de presión
	38	Cilindro hidráulico
	39	Célula de carga de referencia
5	40	Placa de soporte
	41	Varilla de soporte
	42	Línea de datos

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo de pesaje (1) con una corrección central digital del valor de medición,
que comprende al menos una célula de carga (3),
que está conectada mediante una línea de señal y/o datos (6,8) con una unidad de evaluación central (9), para
transmitir una señal de medición de peso, en el que la unidad de evaluación central presenta una unidad de
evaluación, para determinar la fuerza medida con el dispositivo de pesaje, basándose en la señal de medición de
peso,
caracterizado por que
la unidad de evaluación comprende un modelo funcional digital (10) del dispositivo de pesaje, que presenta uno o
más módulos de simulación de errores, en el que cada módulo de simulación de errores representa un modelo del
dispositivo de pesaje, que simula al menos un error de medición específico del dispositivo de pesaje, y cada módulo
de simulación de errores presenta uno o más parámetros de modelo, con los que se modela el dispositivo de
pesaje, en el que se proporciona un dispositivo de aprendizaje, con el que se pueden determinar los parámetros
de modelo durante un proceso de aprendizaje, en el que se generan señales de medición de referencia mediante
una o más cargas de referencia, en el que el modelo funcional presenta un módulo de curva característica (24),
que convierte la señal de medición de peso en una señal de peso o viceversa, y el módulo de curva característica
presenta parámetros de curva característica, que se determinan mediante el dispositivo de aprendizaje durante el
proceso de aprendizaje.
2. El dispositivo de pesaje según la reivindicación 1,
caracterizado por que,
el módulo de curva característica está diseñado para convertir la señal de peso en la señal de medición de peso,
y los módulos de simulación de errores para simular la señal de peso están diseñados de tal manera, que cambian
la señal de medición de peso en caso de que se produzca un error en el dispositivo de pesaje.
3. El dispositivo de pesaje según la reivindicación 1 o 2,
caracterizado por que,
cada uno de los varios módulos de simulación de errores se puede desconectar.
4. El dispositivo de pesaje según una de las reivindicaciones 1 a 3,
caracterizado por que,
el dispositivo de pesaje presenta varias células de carga, por lo que las señales de las células de carga individuales
se combinan para formar la señal de medición de peso.
5. El dispositivo de pesaje según una de las reivindicaciones 1 a 4,
caracterizado por que,
la(s) célula(s) de carga presenta(n) uno o más galgas extensométricas.
6. El dispositivo de pesaje según una de las reivindicaciones 1 a 5,
caracterizado por que,
las células de carga están integradas en el dispositivo de pesaje con conexiones rígidas.
7. El dispositivo de pesaje según una de las reivindicaciones 1 a 6,
caracterizado por que,
el dispositivo de pesaje presenta un sensor de temperatura, dispuesto en, o cerca de al menos, una de las células
de carga, para registrar la temperatura.
8. El dispositivo de pesaje según una de las reivindicaciones 1 a 7,
caracterizado por que,
se proporcionan al menos dos o más módulos de simulación de errores, para corregir cada una de las siguientes
causas de error:

- linealidad;
 - fluencia (absorción de fuerza, célula de carga);
 - histéresis;
 - desviaciones térmicas del punto cero;
 - 5 - desviaciones del punto cero en relación con un gradiente térmico;
 - variaciones en la sensibilidad de las células de carga debido a cambios de temperatura;
 - choques;
 - posición de la carga;
 - fuerzas transversales;
 - 10 - errores debidos a la inclinación.
9. El dispositivo de pesaje según la reivindicación 8,
- caracterizado por que,
- el módulo de curva característica está diseñado de tal manera, que se aproxima a la curva característica del dispositivo de pesaje, con una función no lineal.
- 15 10. Un procedimiento de pesaje, con una corrección central digital del valor de medición, en el que
- con al menos una célula de carga (3) se registra una señal de medición de peso ($s_m(t)$), que se transmite a través de una línea de señal y/o datos (6,8) a una unidad de evaluación central (9), en donde
- la unidad de evaluación central determina la fuerza medida con el dispositivo de pesaje (1) con una unidad de evaluación basándose en la señal de medición de peso, en donde la unidad de evaluación convierte la señal de
- 20 medición de peso en una señal de peso,
- caracterizado por que
- un modelo funcional digital (10) del dispositivo de pesaje se utiliza, para simular el dispositivo de pesaje con sus efectos de error, y así compensar los errores en la señal de peso.
11. El procedimiento de pesaje según la reivindicación 10,
- 25 caracterizado por que,
- el modelo funcional digital ha aprendido previamente con un dispositivo de aprendizaje durante un proceso de aprendizaje, en el que se han generado señales de medición de referencia utilizando una o más cargas de referencia.
12. El procedimiento de pesaje según la reivindicación 11,
- 30 caracterizado por que,
- el proceso de aprendizaje se basa en un proceso de optimización iterativo.
13. El procedimiento de pesaje según una de las reivindicaciones 10 a 12,
- caracterizado por que,
- 35 un módulo de curva característica del modelo funcional convierte la señal de medición de peso en la señal de peso o viceversa, para la simulación, y el módulo de curva característica presenta parámetros de curva característica, que han sido predeterminados mediante el proceso de aprendizaje.
14. El procedimiento de pesaje según una de las reivindicaciones 10 a 13,
- caracterizado por que,
- 40 uno o más módulos de simulación de errores del modelo funcional digital del dispositivo de pesaje simulan cada uno al menos, un error de medición específico del dispositivo de pesaje, y cada módulo de simulación de errores utiliza uno o más parámetros del modelo, que han sido predeterminados mediante el proceso de aprendizaje.

15. El procedimiento según una de las reivindicaciones 10 a 14,
caracterizado por que,
se utiliza un dispositivo de pesaje según una de las reivindicaciones 1 a 9.

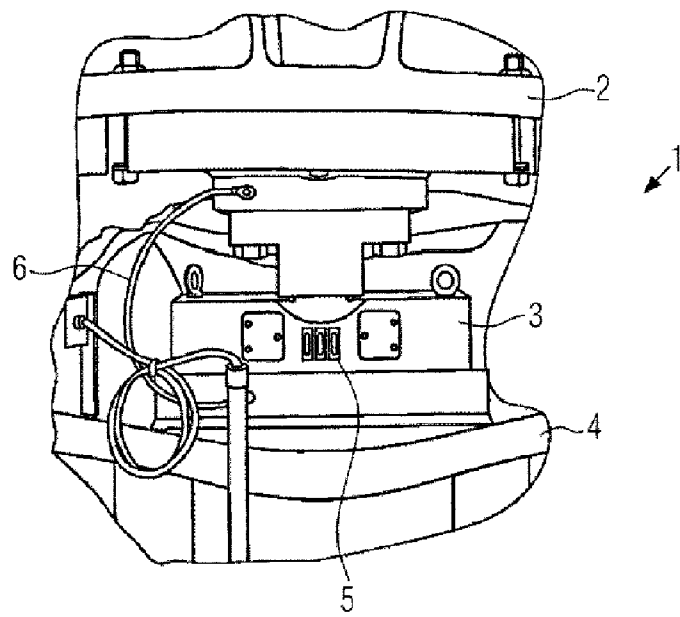


FIG. 1

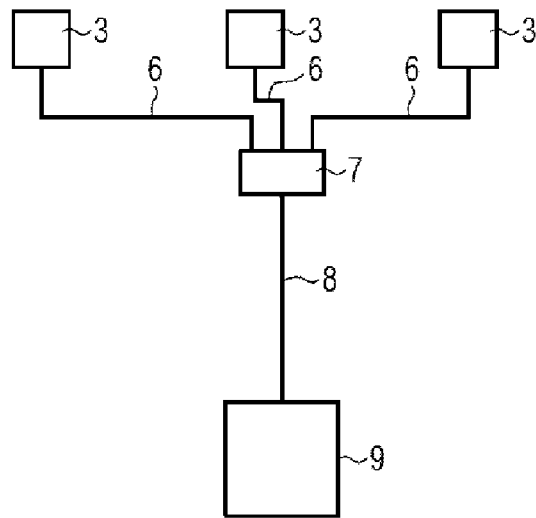


FIG. 2

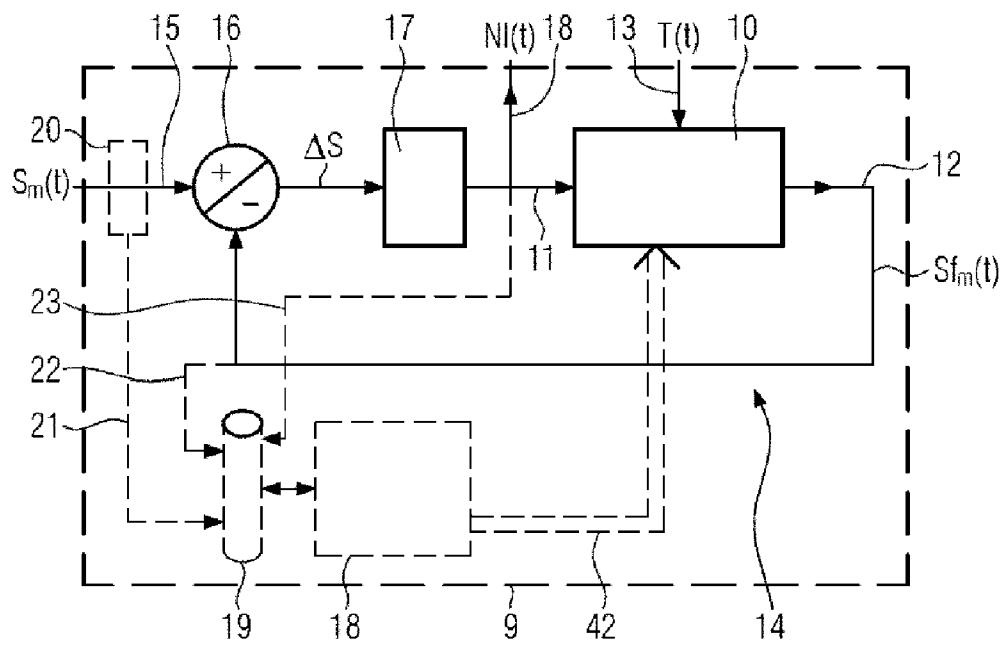


FIG. 3

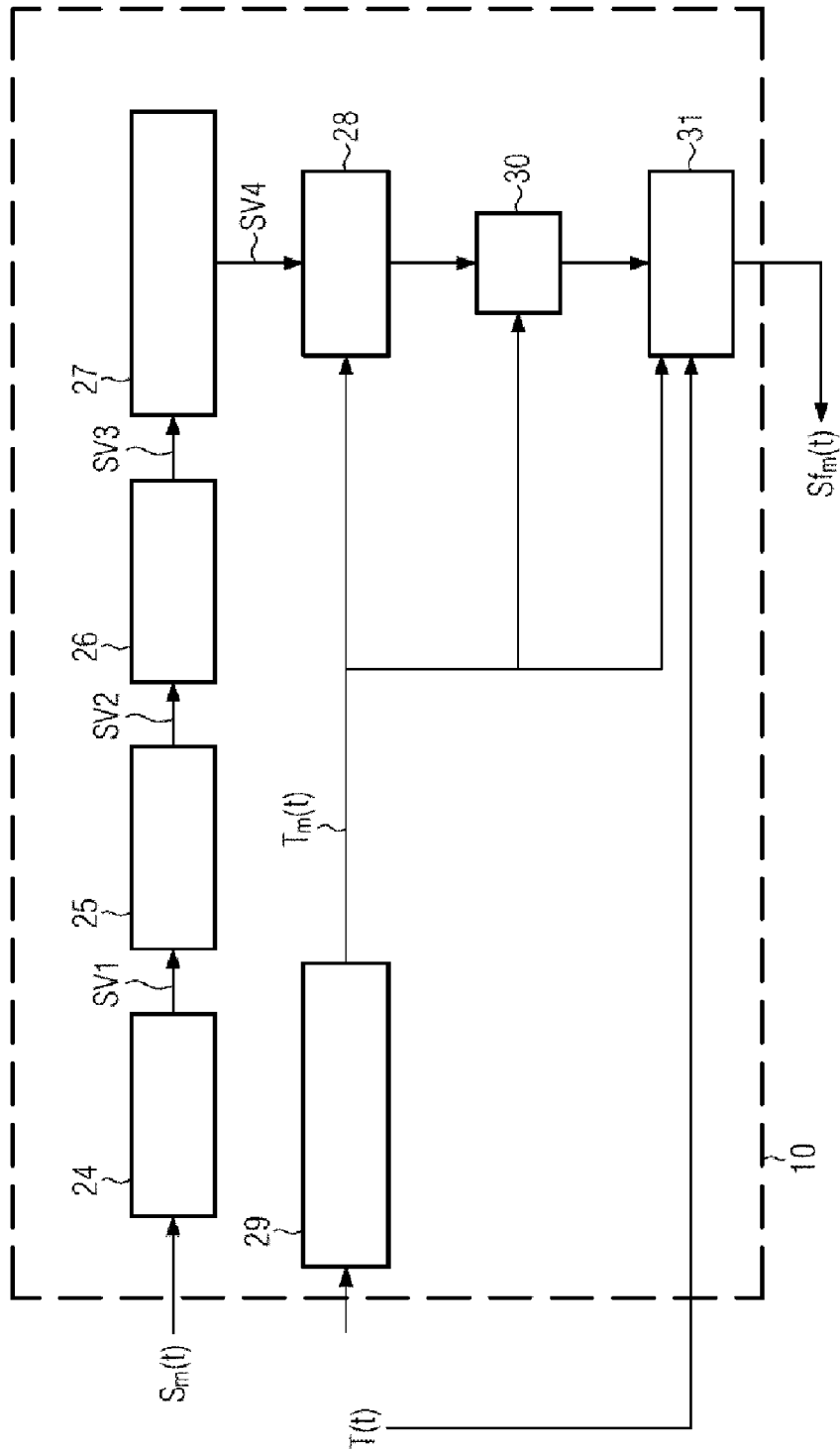


FIG. 4

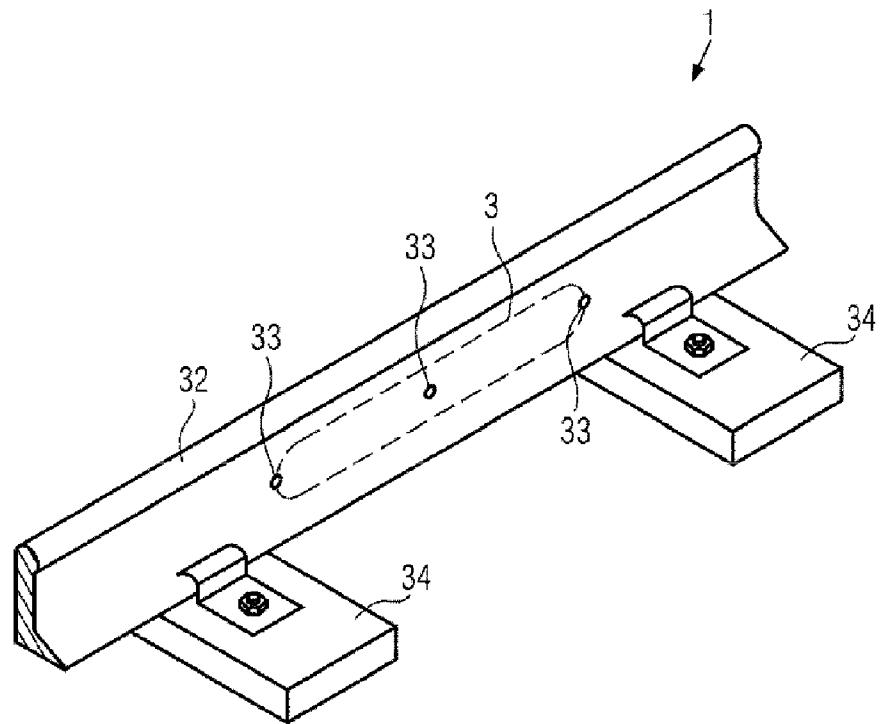


FIG. 5

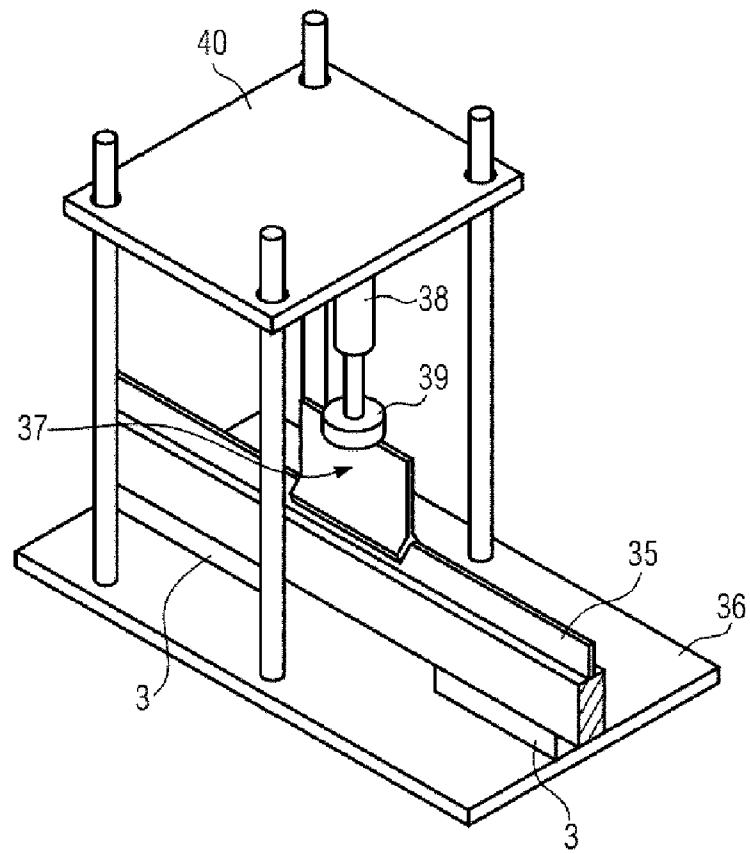


FIG. 6