

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 987 971**

51 Int. Cl.:

G01L 25/00 (2006.01)

G01M 13/027 (2009.01)

G01M 15/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.03.2021** **PCT/AT2021/060091**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.09.2021** **WO21184054**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.03.2021** **E 21720165 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.06.2024** **EP 4121731**

54 Título: **Procedimiento para el ajuste de un sensor de par de rotación piezoeléctrico**

30 Prioridad:

18.03.2020 AT 502332020

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

18.11.2024

73 Titular/es:

AVL LIST GMBH (50.0%)

Hans-List-Platz 1

8020 Graz, AT y

PIEZOCRYST ADVANCED SENSORICS GMBH

(50.0%)

72 Inventor/es:

KOKAL, HELMUT;

SCHRICKER, ALEXANDER y

GRIESSER, GREGOR

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 987 971 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 para el ajuste de un sensor de par de rotación piezoeléctrico

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para ajustar un sensor de par de rotación piezoeléctrico de un dispositivo de medición, preferiblemente de un banco de prueba, para determinar un par de rotación que se aplica a un objeto de prueba, donde el dispositivo de medición presenta un sensor de par de rotación piezoeléctrico.

En el desarrollo y la regulación de motores, en particular motores de combustión interna o motores eléctricos, es importante un conocimiento lo más preciso posible del par de rotación en el árbol del motor, en particular en el funcionamiento del banco de prueba.

Por el estado de la técnica se conoce el hecho de emplear para ello sistemas de medición con galgas extensiométricas o también piezosensores.

15 Las galgas extensiométricas y otros elementos de medición similares se utilizan generalmente para medir fuerzas estáticas. Sin embargo, en general, los sistemas de medición con este tipo de elementos de medición, debido a su estructura, tienen un tiempo de reacción demasiado largo para medir las curvas de fuerza dinámicas.

20 Los sensores de par de rotación piezoeléctricos presentan piezoelementos que generan una tensión en base al efecto piezoeléctrico cuando se ejerce una fuerza sobre los mismos.

Esto se basa en el principio de que se producen tensiones eléctricas en el piezoelemento cuando este se deforma elásticamente. Debido a la deformación de un elemento piezoeléctrico, se forman dipolos microscópicos dentro de las células elementales del piezoelemento. La suma a través del campo eléctrico asociado en todas las células elementales del piezoelemento conduce a una tensión eléctrica macroscópicamente medible durante una deformación o cuando actúa una fuerza. Normalmente, el desplazamiento de la carga se mide mediante transformadores de tensión de carga, también llamados amplificadores de carga.

30 Mediante el principio de medición de elementos de medición piezoeléctricos o piezoelementos, se pueden medir bien las fuerzas que se producen a corto plazo o bien fuerzas que se producen con una cierta frecuencia. Sin embargo, para las mediciones de una fuerza durante un período de tiempo más prolongado, por ejemplo, una fuerza estacionaria, el principio de medición de un elemento piezoeléctrico es menos adecuado, ya que la señal de medición está sujeta a una deriva temporal. Por lo tanto, los elementos piezoeléctricos son adecuados para medir fuerzas dinámicas de tracción, de compresión y de cizallamiento. Estos tienen un amplio rango dinámico, son rígidos y también pueden medir fuerzas altamente dinámicas con alta resolución al mismo tiempo. Los sensores piezoeléctricos tienen una frecuencia propia muy alta debido a su estructura y, por lo tanto, apenas influyen en el sistema a medir.

Por el documento WO 2019/144172 A1 se conoce un dispositivo de medición para la determinación de una fuerza y/o de un par de rotación en un árbol que transmite el par de rotación, que está montado mediante un dispositivo soporte, en particular una máquina, cuyo árbol de salida y/o de entrada está formado por la transmisión del par de rotación en el árbol, donde el dispositivo de medición presenta al menos dos, preferiblemente tres o cuatro, piezoelementos y un dispositivo de fijación, donde el dispositivo de fijación soporta los piezoelementos y está diseñado de tal manera que mediante los piezoelementos se puede medir una fuerza, en particular una fuerza de cizallamiento, entre el dispositivo soporte y un dispositivo de apoyo para el apoyo del dispositivo soporte. En el documento de OHZEKI H ET AL: "DEVELOPMENT OF A MAGNETOSTRICTIVE TORQUE SENSOR FOR MILL- ING PROCESS MONITORING", TRANSACTIONS OF THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS, SERIES B: JOURNAL OF ENGINEERING FOR INDUSTRY, ASME, NUEVA YORK, US, tomo 121, N.º 4, 1 de noviembre de 1999 (1999-11-01), páginas 615-622, ISSN: 0022-0817 se describe un sensor de par de rotación magnetostrictivo para monitorizar el par de corte de un proceso. De este modo, la precisión del sistema se evalúa mediante pruebas estáticas y dinámicas con un dinamómetro piezoeléctrico.

La invención tiene el objetivo de ampliar un espectro de medición de un dispositivo de medición para medir un par de rotación con un sensor de par de rotación piezoeléctrico. En particular, un objetivo de la invención consiste en proporcionar un procedimiento para ajustar un sensor de par de rotación piezoeléctrico de un dispositivo de medición para un rango de frecuencia bajo de una oscilación de par de rotación y un banco de prueba, por medio del cual se pueda realizar un ajuste de este tipo.

Este objetivo se consigue mediante la exposición según las reivindicaciones independientes. En las reivindicaciones dependientes se reivindican configuraciones ventajosas.

Un primer aspecto de la invención se refiere a un procedimiento para ajustar un sensor de par de rotación piezoeléctrico de un dispositivo de medición, que preferiblemente forma parte de un banco de prueba, para determinar

- un par de rotación que se aplica a un objeto de prueba debido a un flujo de fuerza, donde el dispositivo de medición presenta un sensor de par de rotación piezoeléctrico y un segundo sensor de par de rotación que se basa en otro principio de medición, que está diseñado de manera que detecta continuamente pares de rotación estáticos, donde el dispositivo de medición está configurado de tal manera que ambos sensores de par de rotación miden pares de rotación en el flujo de fuerza, donde una señal de medición nominal del sensor de par de rotación piezoeléctrico se determina en base a una medición de par de rotación mediante el segundo sensor de par de rotación, y donde la señal de medición detectada del sensor de par de rotación piezoeléctrico se ajusta y se emite en base a la señal de medición nominal determinada.
- 10 Un segundo aspecto de la invención se refiere a un banco de prueba para máquinas, preferiblemente máquinas eléctricas, para medir pares de rotación dinámicos, donde el banco de prueba presenta un sensor de par de rotación piezoeléctrico y un segundo sensor de par de rotación que se basa en otro principio de medición, que está diseñado de tal manera que detecta continuamente una parte estática de los pares de rotación, donde ambos sensores de par de rotación están configurados de tal manera y dispuestos en el banco de prueba para medir pares de rotación en un flujo de fuerza en el banco de prueba.
- Un tercer aspecto de la invención se refiere a un dispositivo de medición para máquinas, preferiblemente máquinas eléctricas, para medir pares de rotación dinámicos, donde el dispositivo de medición presenta un sensor de par de rotación piezoeléctrico y un segundo sensor de par de rotación que se basa en otro principio de medición, que está diseñado de tal manera que detecta continuamente una parte estática de los pares de rotación, donde ambos sensores de par de rotación están configurados de tal manera y dispuestos para medir pares de rotación en un único flujo de fuerza.
- Preferiblemente, el dispositivo de medición y/o el banco de prueba están diseñados para probar objetos de prueba a altas velocidades de más de aproximadamente 10.000 rpm, preferiblemente más de aproximadamente 35.000 rpm y, del modo más preferible, de más de aproximadamente 100.000 rpm.
- Un espectro de medición en el sentido de la invención es preferiblemente aquel rango de frecuencia donde se pueden realizar mediciones convenientes con un dispositivo de medición.
- Un objeto de prueba en el sentido de la invención es preferiblemente una máquina que debe probarse o un conjunto de una máquina que debe probarse y un árbol y/o una línea de árboles. Preferiblemente, los elementos individuales de un objeto de prueba están conectados entre sí de forma resistente a la torsión.
- Un ajuste en el sentido de la invención es preferiblemente un ajuste o corrección de un valor de medición indicado por un dispositivo de medición a una desviación mínima posible con respecto a un valor de referencia de un dispositivo de referencia, que forma un valor nominal. En general, un dispositivo de medición se ajusta si, durante una calibración, una desviación de medición entre el valor indicado de una medición del dispositivo de medición y el del dispositivo de referencia es inadmisiblemente alta. En el ajuste según la invención, en particular, se corrige una deriva de la señal de un sensor de par de rotación piezoeléctrico con la ayuda de la señal de un sensor que está configurado para detectar continuamente pares de rotación estáticos. Otras desviaciones, que son causadas, por ejemplo, por otros efectos en un rango de frecuencia de una frecuencia de oscilación diferente al que se considera durante el ajuste, preferiblemente no se detectan mediante el ajuste según la invención.
- Un flujo de fuerza en el sentido de la invención es un recorrido de una fuerza y/o de un par de rotación en un sistema mecánico desde un punto de acción, en particular un punto de introducción, hasta un punto o varios puntos donde la fuerza y/o el par de rotación son absorbidos por una fuerza de reacción y/o un par de reacción. Preferiblemente, el flujo de fuerza se compone de una fuerza, en particular de una fuerza transversal con respecto a la dirección de rotación del árbol, y de un par de rotación, en particular alrededor del eje de rotación.
- Un flujo de potencia en el sentido de la invención es una ruta de una transmisión de potencia en un sistema mecánico desde un punto de introducción hasta un punto o varios puntos donde se toma la potencia.
- Un rango de frecuencia cuasi estacionario en el sentido de la invención presenta preferiblemente una frecuencia de oscilación, donde se pueden realizar mediciones a través de ambos sensores de par de rotación, en cada caso en estado de equilibrio de los sensores de par de rotación. En particular, no existen diferencias de medición esenciales debido a oscilaciones en el banco de prueba en tal estado de equilibrio en las posiciones de medición individuales y un tiempo de reacción del segundo sensor de par de rotación es comparativamente reducido con respecto a una velocidad de cambio del par de rotación. En tal estado, a diferencia de las mediciones a frecuencias más altas, también se produce una deriva de la medición del sensor de par de rotación piezoeléctrico.
- Un medio, en el sentido de la invención, puede estar configurado desde el punto de vista de la técnica de hardware y/o software y presentar en particular una unidad de procesamiento, en particular digital, conectada a datos o señales,

preferiblemente con un sistema de memoria o de bus, en particular una unidad de microprocesador (CPU) y/o uno o varios programas o módulos de programa. La CPU puede estar configurada para ejecutar comandos que están implementados como un programa almacenado en un sistema de almacenamiento, para detectar señales de entrada desde un bus de datos y/o para emitir señales de salida a un bus de datos. Un sistema de almacenamiento puede

- 5 presentar uno o varios medios de almacenamiento, en particular diferentes, en particular distintos medios de almacenamiento, en particular ópticos, magnéticos, sólidos y/u otros medios no volátiles. El programa puede estar constituido de tal manera que represente o sea capaz de ejecutar los procedimientos aquí descritos y que la CPU realice las etapas de dichos procedimientos.
- 10 Una brida de medición, en el sentido de la invención, es preferiblemente un sensor de par de rotación, que presenta dos bridas, entre las que se puede medir un par de rotación aplicado.

La invención se basa en el conocimiento de que, si se mantiene una distancia suficiente con respecto a posibles modos de oscilación propia o resonancia de una disposición de banco de prueba, es posible efectuar un ajuste de un

- 15 sensor de par de rotación piezoeléctrico por medio de un segundo sensor de par de rotación, que está dispuesto en el mismo flujo de fuerza que el sensor de par de rotación piezoeléctrico.

Mediante el segundo sensor de par de rotación, en el flujo de fuerza, donde también el sensor de par de rotación piezoeléctrico mide el par de rotación, se mide en este caso una señal de referencia. En base a esta señal de

- 20 referencia, se calcula la señal de medición nominal del sensor de par de rotación piezoeléctrico. Mediante esta señal de medición nominal se puede efectuar un ajuste de la señal de medición del sensor de par de rotación piezoeléctrico. Esta señal de medición corregida mediante el ajuste se puede enviar a un usuario o a través de una interfaz de datos para un procesamiento de datos posterior.
- 25 Con el sensor de par de rotación piezoeléctrico se puede medir la parte dinámica de los pares de rotación con alta precisión. En el caso de la parte de baja frecuencia de los pares de rotación, por el contrario, se produce una deriva de señal comparativamente grande de los piezoelementos, de modo que el sensor de par de rotación piezoeléctrico solo puede detectar esta parte de forma defectuosa. El segundo sensor de par de rotación, en cambio, mide una parte
- 30 estática de los pares de rotación en los pares de rotación de baja frecuencia, pero no puede representar la parte de señal de alta frecuencia. Se dan condiciones de funcionamiento de baja frecuencia, en particular, si el objeto de prueba presenta una frecuencia de oscilación de menos de 10 Hz. En general, los bancos de prueba tienen una oscilación propia en el rango de 50 Hz a 80 Hz. Por lo tanto, un ajuste debe realizarse a una frecuencia de oscilación de no más de 10 Hz para poder excluir una influencia de las oscilaciones propias.
- 35 Por medio del dispositivo de medición según la invención, dicho ajuste o reajuste para el sensor de par de rotación piezoeléctrico se puede realizar de forma regular o continua para poder medir con precisión también pares de rotación a frecuencias inferiores a 1 Hz. Por lo tanto, mediante la invención también se pueden medir fuerzas estacionarias o pares de rotación.

- 40 Por lo tanto, el espectro de medición del sensor de par de rotación piezoeléctrico se puede ampliar mediante la invención en el rango de oscilación de baja frecuencia, en particular hasta el rango estático.

En una configuración ventajosa del procedimiento, la señal de medición nominal del sensor de par de rotación piezoeléctrico se determina además en base a una medición de la velocidad del árbol. Al tener en cuenta la velocidad

- 45 del árbol, se pueden tener en cuenta diferentes pares de inercia en diferentes partes de un tren de accionamiento o de un objeto de prueba durante el ajuste.

En otra configuración ventajosa del procedimiento, la señal de medición nominal del sensor de par de rotación piezoeléctrico se determina mediante la siguiente ecuación:

50

$$M_{Piezo_cal} = M_W - (J_W + J_{UUT}) \dot{\omega}_W - M_R$$

donde

M_{Piezo_cal} es la señal de medición nominal,

55

M_W es el par de rotación medido por medio del segundo sensor de par de rotación en un árbol o en una línea de árboles, que están conectados al objeto de prueba de forma resistente a la torsión o forman parte del objeto de prueba,

- 60 J_W es un par de inercia de un árbol o de una línea de árboles, que están conectados al objeto de prueba (5) de forma resistente a la torsión o forman parte del objeto de prueba (5),

J_{UUT} es un par de inercia del objeto de prueba, $\dot{\omega}_W$ es una derivada temporal de una velocidad medida de un árbol

(10a, 10b, 10c) o de una línea de árboles, que están conectados al objeto de prueba de forma resistente a la torsión o forman parte del objeto de prueba, y

M_R es un par de fricción, que es causado en particular por cojinetes y/o un mecanismo de transmisión.

- 5 Los inventores han reconocido que, mediante esta ecuación comparativamente sencilla, que constituye en particular la base de un modelo, se puede determinar un valor fiable de la señal de medición nominal del sensor de par de rotación piezoeléctrico, que presenta una gran correspondencia con el valor real del par de rotación en el punto de medición.

En otra configuración ventajosa del procedimiento, en base a las señales de medición detectadas y las señales de

- 10 medición nominales determinadas al mismo tiempo, se genera un modelo de una sección de control señal de medición - señal de medición nominal, donde la señal de medición detectada, después de generar el modelo, se ajusta por medio del modelo. La generación de un modelo permite ajustar según la velocidad, sin más mediciones.

En otra configuración ventajosa del procedimiento, el modelo se basa en una función de transmisión, cuyos

- 15 parámetros se determinan mediante ensayos de bancos de prueba en el objeto de prueba comparando una señal de medición detectada por medio del sensor de par de rotación piezoeléctrico con una señal de medición nominal, que se determina en base a una medición de par de rotación por medio del segundo sensor de par de rotación. De este modo se consigue un ajuste sencillo.

- 20 En otra configuración ventajosa del procedimiento, el sensor de par de rotación piezoeléctrico mide un par de reacción en al menos un punto de apoyo del objeto de prueba para determinar el par de rotación correspondiente aplicado. De modo correspondiente, en una configuración ventajosa del banco de prueba, el sensor de par de rotación piezoeléctrico está diseñado y dispuesto de tal manera que se puede medir el flujo de fuerza entre un objeto de prueba y un dispositivo de apoyo para apoyar el objeto de prueba. También aquí se determina finalmente el par de reacción
- 25 mediante el cual se apoya el objeto de prueba. Al promediar un par de rotación en un objeto de prueba en base a un par de reacción, no se requiere ninguna medición en los elementos rotativos de un objeto de prueba para determinar un par de rotación. Esto puede evitar que, mediante cualquier dispositivo de medición en los elementos giratorios, por ejemplo, de una brida de medición, se modifique el par de inercia de una disposición de medición o que también se introduzcan elasticidades en una disposición de medición.

- 30 Las ventajas y características descritas anteriormente en relación con el primer aspecto de la invención se aplican correspondientemente al segundo aspecto de la invención y de forma inversa.

- En una configuración ventajosa, el banco de prueba presenta un dispositivo de carga, en particular un dinamómetro o
- 35 un freno, para la aplicación sobre una carga en un objeto de prueba. Mediante el uso de un dinamómetro se pueden realizar mediciones dinámicas en el banco de prueba.

En otra configuración ventajosa, el banco de prueba presenta un mecanismo de transmisión, en particular un mecanismo de transmisión de alto impulso, que está dispuesto en el flujo de fuerza entre el dispositivo de carga y el

40 objeto de prueba, donde el sensor de par de rotación piezoeléctrico está dispuesto de tal manera que detecta los pares de rotación en aquel lado del flujo de fuerza con respecto al mecanismo de transmisión, donde puede disponerse el objeto de prueba, y el segundo sensor de par de rotación está dispuesto de tal manera que detecta los pares de rotación en aquel lado del flujo de fuerza con respecto al mecanismo de transmisión, donde está dispuesto el dispositivo de carga.

- 45 En particular, en el caso de una disposición de banco de prueba con un mecanismo de transmisión, la invención es especialmente ventajosa, ya que, en ese lado del flujo de fuerza, que, rota a la velocidad elevada, está dispuesto preferiblemente el sensor de par de rotación piezoeléctrico. Aquí, las oscilaciones de alta frecuencia generadas por el mecanismo de transmisión se pueden determinar por medio del sensor de par de rotación piezoeléctrico. El segundo
- 50 sensor de par de rotación de otro tipo, en particular en base a una disposición de galgas extensométricas, en cambio, mide los pares de rotación en aquel lado del mecanismo de transmisión que rota a una velocidad más baja. Debido a esto, se pueden realizar mediciones a una frecuencia de oscilación baja del par de rotación, las llamadas mediciones cuasi estacionarias, o también mediciones estacionarias. En particular, el flujo de fuerza se transforma de un flujo de fuerza de baja dinámica a un flujo de fuerza de alta dinámica. La parte de baja frecuencia de las oscilaciones de par de
- 55 rotación se transforma a través de esta conversión. En particular, una disposición del segundo sensor de par de rotación en el lado del mecanismo de transmisión, que rota a una velocidad más alta, es desventajosa, ya que los pares de rotación con altas frecuencias de oscilación no se pueden determinar por medio de un segundo sensor de par de rotación de este tipo, que no se basa en el principio de medición piezoeléctrico. En particular, sin embargo, también para las relaciones entre un par de rotación medido por el segundo sensor de par de rotación y la señal de medición
- 60 nominal del sensor de par de rotación piezoeléctrico, se aplica la ecuación tal como se muestra más arriba.

En otra configuración ventajosa del procedimiento, la línea de árboles presenta un mecanismo de transmisión, donde el segundo sensor de par de rotación está dispuesto en la sección que, rota a una velocidad más baja con respecto al

mecanismo de transmisión, y el sensor de par de rotación piezoeléctrico está dispuesto en la sección que rota a una velocidad más alta con respecto al mecanismo de transmisión. La invención es especialmente ventajosa con respecto a esta configuración, ya que, en la sección con mayor velocidad de la línea de árboles, las oscilaciones del par de rotación, que se producen allí con una frecuencia de oscilación muy alta, pueden determinarse fácilmente mediante el sensor de par de rotación piezoeléctrico.

En otra configuración ventajosa, el banco de prueba presenta un sensor de velocidad, configurado y dispuesto para medir una velocidad con respecto a un objeto de prueba.

En otra configuración ventajosa del banco de prueba, el mecanismo de transmisión forma una línea de árboles con al menos un árbol, y el sensor de velocidad está dispuesto de tal manera que detecta la velocidad en ese lado de la línea de árboles con respecto al mecanismo de transmisión sobre el que está dispuesto el dispositivo de carga.

En otra configuración ventajosa del banco de prueba, el principio de medición del segundo sensor de par de rotación se basa en galgas extensométricas, y el segundo sensor de par de rotación es preferiblemente una brida de medición. Los sensores de par de rotación en base de galgas extensométricas son especialmente adecuados para la medición estacionaria y cuasi-estacionaria o de baja frecuencia de pares de rotación o fuerzas que se basan en los mismos.

En otra configuración ventajosa, el objeto de prueba y el dispositivo de carga y, si se encuentra presente, el mecanismo de transmisión, se apoyan sobre la misma base.

En otra configuración ventajosa, el banco de prueba presenta medios de ajuste para el ajuste continuo del sensor de par de rotación piezoeléctrico, donde los pares de rotación detectados por el sensor de par de rotación piezoeléctrico son ajustados por el medio de ajuste mediante un modelo.

Otras características y ventajas se deducen de la siguiente descripción de los ejemplos de realización en relación con las figuras. Muestran, al menos en parte, esquemáticamente:

Fig. 1 un ejemplo de realización de un banco de prueba con un sensor de par de rotación piezoeléctrico y un segundo sensor de par de rotación;

Fig. 2 un diagrama de bloques de un procedimiento para el ajuste de un par de rotación piezoeléctrico; y

Fig. 3 un ejemplo de realización de una sección de control para ajustar una señal de medición de un sensor de par de rotación piezoeléctrico.

La **fig. 1** muestra un ejemplo de realización de un banco de prueba 1 para probar máquinas.

A continuación, la invención se explica mediante un banco de prueba 1 para probar una máquina eléctrica 5. Sin embargo, es evidente para el experto en la materia que los ejemplos de realización descritos también son aplicables a otros tipos de máquinas, en particular convertidores de energía electromecánicos o convertidores de energía químico-mecánicos.

El banco de prueba 1 presenta preferiblemente un dinamómetro 7, con el que se puede proporcionar una carga, con la que se puede cargar la máquina eléctrica que debe probarse, en particular un par de accionamiento o un par de frenado.

El banco de prueba 1 mostrado se utiliza preferiblemente para probar tales máquinas eléctricas, que en el funcionamiento normal funcionan con velocidades relativamente altas de más de 10.000 min^{-1} , preferiblemente más de 35.000 min^{-1} , y lo más preferiblemente de más de 100.000 min^{-1} . Estos son, por ejemplo, accionamientos eléctricos de compresores, tales como, por ejemplo, turbocompresores, o también motores de accionamiento eléctricos para vehículos eléctricos. Tales velocidades altas no pueden ser proporcionadas por un dinamómetro 7 o no pueden ser absorbidas por el mismo. Por lo tanto, el banco de prueba 1 presenta preferiblemente un mecanismo de transmisión 8, en particular en el denominado mecanismo de transmisión de alto impulso, que convierte una velocidad, que en las secciones de árbol 10b, 10c, que conectan el dinamómetro 7 con el mecanismo de transmisión de alto impulso 8 de forma resistente a la torsión, en una velocidad más alta. Esta mayor velocidad convertida se transmite a través de la sección de árbol 10A, que conecta el mecanismo de transmisión de alto impulso 8 y la máquina eléctrica 5 que debe probarse de forma resistente a la torsión, a la máquina eléctrica 5 que debe probarse. De forma inversa, una velocidad proporcionada por la máquina eléctrica 5 que debe probarse se convierte a través del mecanismo de transmisión de alto impulso 8 en un rango de velocidad y de par de rotación, donde se puede operar el dinamómetro 7.

El mecanismo de transmisión 8, junto con diferentes árboles o secciones de un árbol 10a, 10b, 10c, forma una línea de árboles. Un objeto de prueba está formado por la máquina eléctrica 5 sola o por la máquina eléctrica 5 y, al menos en parte, por la línea de árboles, dependiendo de qué componentes se deban probar.

Como está representado en la fig. 1, el dinamómetro 7, el mecanismo de transmisión de alto impulso 8, así como la

máquina eléctrica 5 que debe probarse, están montados sobre la misma base 11. La máquina eléctrica 5 que debe probarse se apoya en este caso mediante un dispositivo de apoyo 6 contra la base 11. El dispositivo de apoyo 6 proporciona en este caso aquellas fuerzas de reacción para la máquina eléctrica 5 que debe probarse, por medio de las cuales se soporta un flujo de fuerza y un flujo de potencia entre la máquina eléctrica 5 que debe probarse y el dinamómetro 7.

En este caso, el dispositivo de soporte 6 está diseñado preferiblemente de la manera mostrada en la fig. 1, de modo que la máquina eléctrica 5 que debe probarse se puede montar en aquel lado, en particular en el lado frontal, donde está dispuesto un árbol de la máquina eléctrica 5 o donde la sección del árbol 10a se puede acoplar con el árbol de la máquina eléctrica. Esta disposición ofrece la ventaja de que, como se muestra en la fig. 1, el sensor de par de rotación 3 se puede disponer entre el dispositivo de apoyo 6 y la máquina eléctrica 5 que debe probarse de tal manera que una gran parte del par de rotación que actúa sobre la máquina eléctrica 5 que debe probarse se aplica al sensor de par de rotación 3 piezoeléctrico. En particular, mediante esta disposición se puede minimizar o incluso eliminar una derivación de fuerza que no pasa por el sensor de par de rotación piezoeléctrico 3. Preferiblemente, para este tipo de apoyo de la máquina eléctrica 5 que debe probarse mediante el sensor de par de rotación piezoeléctrico 3 y el dispositivo de apoyo 6, tanto el sensor de par de rotación piezoeléctrico 3, como también el dispositivo de apoyo 6, presentan un conducto para el árbol de la máquina eléctrica 5 que debe probarse o para el árbol o la sección de árbol 10a. Este conducto está configurado preferiblemente como un orificio.

Sin embargo, la máquina eléctrica 5 que debe probarse también se puede montar de otra manera, por ejemplo, en aquel lado orientado hacia la base 11, o también en aquel lado que está apartado de la base, en una especie de soporte colgante, o también en las otras superficies laterales de la máquina eléctrica 5 que debe probarse. Los detalles sobre el apoyo de la máquina eléctrica 5 que debe probarse, mostrado en la fig. 1, y otras posibilidades de apoyo, así como sobre la determinación de las fuerzas de reacción por medio del sensor de par de rotación piezoeléctrico 3, se pueden consultar en el documento WO 2019/144172 A1 mencionado en la introducción.

Mediante el mecanismo de transmisión de alto impulso 8, la disposición del banco de prueba 1 se divide en dos lados I, II. En un primer lado I, donde está dispuesta la máquina eléctrica 5 que debe probarse, la línea de árboles rota a una velocidad más alta, donde se aplica un par de rotación más bajo en la línea de árboles. Por lo tanto, esta sección de la línea de árboles también se denomina en la presente descripción como primera sección I de la línea de árboles.

En el lado de la otra salida del mecanismo de transmisión de alto impulso 8, denominado segundo lado II, las secciones de árbol 10b, 10c rotan con una velocidad más baja y un par de rotación aplicado más elevado. Por lo general, la relación de transmisión del mecanismo de transmisión de alto impulso 8 es de aproximadamente 3:1 a 10:1. Por lo tanto, esta sección de la línea de árboles también se denomina en la presente descripción como primera sección II de la línea de árboles.

La línea de árboles o línea de accionamiento, que consiste preferiblemente en el motor eléctrico 5, las secciones de árbol 10a, 10b, 10c, el mecanismo de transmisión de alto impulso 8 y el dinamómetro 7, es un sistema que puede oscilar. La resonancia o los modos propios para las oscilaciones, dependiendo de la configuración del banco de prueba 1 y de la máquina eléctrica 5 que debe probarse, se encuentran típicamente en más de 50 Hz.

Para determinar el par de rotación que actúa sobre la máquina eléctrica que debe probarse debido a un flujo de fuerza desde o hacia el dinamómetro 7, el banco de prueba 1 presenta el sensor de par de rotación piezoeléctrico 3. Este sensor de par de rotación 3 no determina preferiblemente directamente el par de rotación que se aplica a través de la sección de árbol 10a a la máquina eléctrica 5 que debe probarse, sino indirectamente el par de reacción con el que se apoya la máquina eléctrica 5 que debe probarse en el dispositivo de apoyo 6. Además, el banco de prueba 1 presenta un segundo sensor de par de rotación 4 que no se basa en el principio de medición piezoeléctrico, sino que mide el par de rotación por medio de otro principio de medición. Preferiblemente se emplean en este caso las así llamadas galgas extensométricas, tal como se conocen generalmente por el estado de la técnica. Preferiblemente, el segundo sensor de par de rotación 4 está configurado como brida de medición, que mide el par de rotación entre las dos secciones de árbol 10b y 10c.

La disposición mostrada en la fig. 1 de los dos sensores de par de rotación es especialmente ventajosa para el ajuste del sensor de par de rotación piezoeléctrico 3, ya que en la segunda sección II de la línea de árboles, que, rota a una velocidad más baja, se producen en general oscilaciones más bajas y, por lo tanto, es precisa una medición por medio del segundo sensor de par de rotación 4, que utiliza galgas extensométricas. Los sensores basados en galgas extensométricas solo son adecuados para mediciones dinámicas de forma limitada.

El sensor de par de rotación piezoeléctrico 3, en cambio, está dispuesto en la primera sección I de la línea de árboles, directamente en la máquina eléctrica 5 que debe probarse, donde también se debe determinar el par de rotación aplicado. Mediante la disposición directa del sensor de par de rotación piezoeléctrico en el objeto de prueba se puede lograr una alta precisión de la medición del par de rotación que se aplica.

Para determinar la velocidad de la línea de árboles, en particular en el área de la segunda sección de la línea de árboles II, se dispone un sensor de velocidad 9, que puede determinar la velocidad. En la fig. 1, el sensor de velocidad 9 determina la velocidad del árbol del dinamómetro 7 y, con ello, la velocidad de las secciones de árbol 10b y 10c. Por lo tanto, a través de la relación seleccionada del mecanismo de transmisión de alto impulso 8, también se puede deducir una velocidad en la primera sección I de la línea de árboles.

En base al par de rotación M_w medido por medio del segundo sensor de par de rotación 4 y a la velocidad ω_w medida por medio del sensor de velocidad 9, teniendo en cuenta el par de fricción M_R , que es causado en particular por el cojinete y/o el mecanismo de transmisión de alto impulso 8, el par de inercia J_w de la línea de árboles y el par de inercia J_{JUT} de la máquina eléctrica 5 que debe probarse, se puede determinar una señal de medición nominal M_{Piezo_cal} . Esto se explica con más detalle más adelante en relación con el procedimiento 100 según la invención para el ajuste de un sensor de par de rotación piezoeléctrico.

Al mismo tiempo, por medio del sensor de par de rotación piezoeléctrico 3, se puede medir una señal de medición real M_{Piezo} del par de rotación aplicado al sensor de par de rotación piezoeléctrico 3.

Para efectuar una calibración de la señal de medición real del sensor de par de rotación piezoeléctrico 3, el banco de prueba 1 presenta además preferiblemente medios de ajuste 12. Preferiblemente, estos forman parte de una instalación de procesamiento de datos del banco de prueba 1, pero también pueden formar parte de una instalación de procesamiento de datos externa. Después de que la señal de par de rotación real M_{Piezo} fue calibrada, el sensor de par de rotación piezoeléctrico 3 se puede ajustar mediante los medios de ajuste 12. Para la calibración o el ajuste, se utiliza preferiblemente un modelo que está almacenado en los medios de ajuste 12. Este modelo también se explica con más detalle más adelante en relación con el procedimiento 100.

La **fig. 2** muestra un diagrama de bloques de un ejemplo de realización de un procedimiento 100 para el ajuste de un sensor de par de rotación piezoeléctrico de un dispositivo de medición 2. Preferiblemente, un dispositivo de medición 2 de este tipo forma parte de un banco de prueba 1, como se ha descrito anteriormente con respecto a la fig. 1.

El ajuste del sensor de par de rotación piezoeléctrico 3 se realiza durante el funcionamiento en curso del banco de prueba. Para ello, por medio de la máquina eléctrica 5 que debe probarse, se aplica al dinamómetro 7 un par de rotación a través de la línea de árboles o, de forma inversa, se aplica un par de rotación desde el dinamómetro 7 a la máquina eléctrica 5 que debe probarse.

Preferiblemente, el banco de prueba 1, durante el ajuste, se opera a velocidades comparativamente bajas de la línea de árboles, donde la velocidad en la segunda sección II de la línea de árboles preferiblemente es de menos de 50 min^{-1} . Para velocidades en este rango de magnitudes, dependiendo del diseño del banco de prueba 1 y del objeto de prueba, se puede contar con frecuencias de oscilación reducidas del par de rotación de menos de aproximadamente 10 Hz, preferiblemente menos de aproximadamente 5 Hz, aún más preferiblemente menos de aproximadamente 1 Hz.

Estos rangos de frecuencia, de las frecuencias de oscilación, están seleccionadas de tal manera que existe una distancia con respecto a frecuencias de resonancia o modos propios del sistema completo formado por el banco de prueba 1 y el objeto de prueba. Las frecuencias de resonancia o los modos propios se ubican en general en unos 50 Hz.

Además, preferiblemente, estos rangos de frecuencia adecuados para el ajuste de las frecuencias de oscilación se aíslan por medio de un filtro de frecuencia, en particular por medio de un análisis de Fourier. En este caso, la velocidad durante el funcionamiento del banco de prueba no es relevante para el ajuste.

Durante el funcionamiento, el sensor de par de rotación piezoeléctrico 3 mide un par de rotación que se aplica a la máquina eléctrica 5 que debe probarse 101a. Como ya se ha explicado en relación con la fig. 1, mediante el sensor de par de rotación piezoeléctrico 3 se detectan aquí preferiblemente las fuerzas de reacción con las que se apoya la máquina eléctrica 5 que debe probarse en el dispositivo de apoyo 6. El segundo sensor de par de rotación 4, en cambio, detecta un par de rotación en la línea de árboles 101b y, por lo tanto, a una distancia comparativamente mayor de la máquina eléctrica 5 que debe probarse. En el caso de un banco de prueba 1 o de un objeto de prueba, que presenta un mecanismo de transmisión 8, como se muestra en la fig. 1, el segundo sensor de par de rotación 4 se dispone preferiblemente en aquella área II de la línea de árboles, donde predomina la menor velocidad.

En base a las mediciones de par M_w a través del segundo sensor de par de rotación 4 y a la medición de la velocidad ω_w a través del sensor de velocidad 9, se calcula una señal de medición nominal M_{Piezo_cal} 102. Preferiblemente, la señal de medición nominal se determina en base a la siguiente ecuación:

$$M_{Piezo_cal} = M_w - (J_w + J_{JUT}) \dot{\omega}_w - M_R$$

En principio, sin embargo, de manera aproximada solo se puede emplear el par de rotación M_w medido por medio del segundo sensor de par de rotación 3, dado el caso teniendo en cuenta un par de fricción M_R , para la determinación de la señal de medición nominal M_{Piezo_cal} .

- 5 En base a la señal de medición nominal M_{Piezo_cal} determinada se corrige la señal de medición M_{Piezo} 103 detectada. Además, preferiblemente, se emite la señal de medición corregida 104.

La corrección de la señal de medición M_{Piezo} detectada por el sensor de par de rotación piezoeléctrico 3 se realiza preferiblemente en la señal de medición/señal de medición nominal por medio de una sección de control.

10

Un ejemplo de realización de una sección de control de este tipo está representado en la **fig. 3**.

Preferiblemente, la señal de medición M_{Piezo} se corrige comparándola con la señal de medición nominal M_{Piezo_cal} . Los valores de corrección determinados de esta manera, que se determinan preferiblemente a frecuencias comparativamente bajas de oscilaciones de par de rotación, son válidos para todo el rango de medición, en particular también para frecuencias de oscilación más altas del par de rotación.

15

En una realización preferida, además, se puede generar un modelo por medio del cual la señal de medición nominal M_{Piezo_cal} se puede determinar según la frecuencia de oscilación del par de rotación en base a las mediciones del segundo sensor de par de rotación 4.

20

Esencialmente, la sección de control mostrada en la **fig. 3** reproduce la ecuación indicada anteriormente para el cálculo de la señal de medición nominal M_{Piezo_cal} .

- 25 La velocidad de rotación del árbol ω_w se deriva según el tiempo y se multiplica por la suma de los pares de inercia de la línea de árboles y de la máquina eléctrica 5 que debe probarse. El par de fricción M_R , que está presente en particular como una función de la velocidad n y una relación de transmisión T , y el producto calculado previamente se restan del par de rotación M_w medido por medio del segundo sensor de par de rotación 4. La señal calculada se somete a un filtro de paso bajo LP, de lo que resulta la señal de medición nominal M_{Piezo_cal} . Esta señal de medición nominal M_{Piezo_cal} se resta de una señal de medición M_{Piezo} corregida en base a un ajuste anterior, que también ha pasado por un filtro de paso bajo LP. Preferiblemente, los filtros de paso bajo LP mostrados tienen las mismas características, en particular las mismas dinámicas, frecuencias límite, orden y tipo. Al proporcionar los filtros de paso bajo se pueden aislar aquellas frecuencias de oscilación que son adecuadas para ajustar la señal de medición del sensor de par de rotación piezoeléctrico.

30

La diferencia se conduce a un integrador 1/s. Si la aceleración calculada de la rotación del árbol es inferior a un valor límite Limit, se sustituye un ajuste previo por un nuevo valor en un integrador 1 por S y se utiliza para corregir la señal de medición M_{Piezo} medida por el sensor de par de rotación piezoeléctrico 3. Al tener en cuenta un valor límite Limit para la aceleración de la rotación, se garantiza que un cambio del ajuste se realice solo hasta una cierta frecuencia de oscilación.

40

Los ejemplos de realización descritos anteriormente consisten únicamente en ejemplos que no deben limitar de ninguna manera el ámbito de protección, la aplicación y la estructura. Más bien, la descripción anterior proporciona al experto en la materia una guía para la implementación de al menos un ejemplo de realización, donde se pueden realizar diversas modificaciones, en particular con respecto a la función y la disposición de los componentes descritos, sin abandonar el ámbito de protección, tal como se desprende según las reivindicaciones.

45

Lista de referencias

- | | | |
|----|---------------|--|
| 50 | 1 | Banco de prueba |
| | 2 | Dispositivo de medición |
| | 3 | Sensor de par de rotación piezoeléctrico |
| | 4 | Segundo sensor de par de rotación |
| | 5 | Máquina eléctrica |
| 55 | 6 | Dispositivo de apoyo |
| | 7 | Dinamómetro |
| | 8 | Mecanismo de transmisión |
| | 9 | Sensor de velocidad |
| | 10a, 10b, 10c | Árbol |
| 60 | 11 | Base |
| | 12 | Medios de ajuste |

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento (100) para ajustar un sensor de par de rotación piezoeléctrico (3) de un dispositivo de medición (2), que preferiblemente forma parte de un banco de prueba (1), en particular según una de las reivindicaciones 11 a 15, para determinar un par de rotación que se aplica a un objeto de prueba (5) debido a un flujo de fuerza, donde el dispositivo de medición (2) presenta un sensor de par de rotación piezoeléctrico (3) y un segundo sensor de par de rotación (4) que se basa en otro principio de medición, que está diseñado de manera que detecta continuamente pares de rotación estáticos, donde el dispositivo de medición (2) está configurado de tal manera que ambos sensores de par de rotación miden pares de rotación en el flujo de fuerza (101a, 101b), donde una señal de medición nominal del sensor de par de rotación piezoeléctrico (3) se determina en base a una medición de par de rotación mediante el segundo sensor de par de rotación (4) (102), y donde la señal de medición detectada del sensor de par de rotación piezoeléctrico se ajusta (103) y se emite (104) en base a la señal de medición nominal determinada.
2. Procedimiento (100) según la reivindicación 1, donde la determinación de la señal de medición nominal del sensor de par de rotación piezoeléctrico (3) se efectúa en un rango de frecuencia cuasi estacionario de una frecuencia de oscilación del par de rotación en el dispositivo de medición, en particular en un rango de frecuencia por debajo de 50 Hz, preferiblemente entre aproximadamente 5 Hz y aproximadamente 50 Hz.
3. Procedimiento (100) según la reivindicación 1 o 2, donde la determinación de la señal de medición nominal del sensor de par de rotación piezoeléctrico (3) se efectúa en un rango de frecuencia de una frecuencia de oscilación del par de rotación donde no se producen modos de oscilación propia o resonancia en un entorno de medición, en particular en el banco de prueba (1), preferiblemente a una frecuencia de oscilación del par de rotación menor que aproximadamente 20 Hz, preferiblemente menor que aproximadamente 10 Hz.
4. Procedimiento (100) según la reivindicación 2 o 3, donde el ajuste se efectúa durante el funcionamiento en curso del objeto de prueba (5), donde un par de rotación en el rango de frecuencia deseado se aísla por medio de un filtro de frecuencia, en particular por medio de un análisis de Fourier.
5. Procedimiento (100) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 a 4, donde la señal de medición nominal del sensor de par de rotación piezoeléctrico (3) se determina además en base a una medición de la velocidad con respecto al objeto de prueba.
6. Procedimiento (100) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 anteriores, donde la señal de medición nominal del sensor de par de rotación piezoeléctrico (3) se determina mediante la siguiente ecuación:

$$M_{Piezo_cal} = M_W - (J_W + J_{UUT}) \dot{\omega}_W - M_R$$
 donde
 - 40 M_{Piezo_cal} es la señal de medición nominal,
 - M_W es el par de rotación medido por medio del segundo sensor de par de rotación (3) en un árbol (10a, 10b, 10c) o en una línea de árboles, que están conectados al objeto de prueba (5) de forma resistente a la torsión o forman parte del objeto de prueba (5), J_W es un par de inercia de un árbol (10a, 10b, 10c) o una cadena de árboles, que están conectados al objeto de prueba (5) de forma resistente a la torsión o forman parte del objeto de prueba (5),
 - 45 J_{UUT} es un par de inercia del objeto de prueba (5), $\dot{\omega}_W$ es una derivada temporal de una velocidad medida de un árbol (10a, 10b, 10c) o de una línea de árboles, que están conectados al objeto de prueba (5) de forma resistente a la torsión o forman parte del objeto de prueba (5),
 - M_R es un par de fricción, que es causado en particular por cojinetes y/o un mecanismo de transmisión (8).
7. Procedimiento (100) según la reivindicación 6, donde la línea de árboles presenta un mecanismo de transmisión (8) y donde el segundo sensor de par de rotación (4) está dispuesto en la sección (II) que rota a una velocidad más baja con respecto al mecanismo de transmisión (8) y el sensor de par de rotación piezoeléctrico (3) está dispuesto en la sección (I) que rota a una velocidad más alta con respecto al mecanismo de transmisión (8).
8. Procedimiento (100) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 a 7, donde el sensor de par de rotación piezoeléctrico (3) mide un par de reacción en al menos un punto de apoyo del objeto de prueba (5) para determinar un par de rotación que se aplica al objeto de prueba (5).
9. Programa informático que comprende instrucciones que, cuando son ejecutadas por un ordenador, disponen al mismo a realizar las etapas de un procedimiento (100) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 a 8.

10. Medio legible por ordenador donde está almacenado un programa informático según la reivindicación 9.

11. Banco de prueba (1) para máquinas, preferiblemente máquinas eléctricas, para medir pares de rotación
5 dinámicos, en particular configurado para realizar un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, donde el banco de prueba (1) presenta un sensor de par de rotación piezoeléctrico (3), un medio de ajuste (12), que está configurado para ajustar el sensor de par de rotación piezoeléctrico (3) y un segundo sensor de par de rotación (4) que se basa en otro principio de medición, que está diseñado de tal manera que detecta continuamente una parte
10 estática de los pares de rotación, donde ambos sensores de par de rotación (3, 4) están configurados y dispuestos en el banco de prueba (1) de tal manera que miden pares de rotación en un flujo de fuerza en el banco de prueba (1).

12. Banco de prueba (1) según la reivindicación 11, donde el sensor de par de rotación piezoeléctrico (3) está configurado y dispuesto de tal manera que se puede medir una fuerza en el flujo de fuerza entre un objeto de
15 prueba (5) y un dispositivo de apoyo (6) para apoyar el objeto de prueba (5).

13. Banco de prueba (1) según la reivindicación 11 o 12 con un dispositivo de carga (7), en particular un
dinamómetro o un freno, para aplicar una carga a un objeto de prueba (5).

14. Banco de prueba (1) según la reivindicación 13 con un mecanismo de transmisión (8), en particular un
20 mecanismo de transmisión de alto impulso, que está dispuesto en el flujo de fuerza entre el dispositivo de carga (7) y el objeto de prueba (5), donde el sensor de par de rotación piezoeléctrico (3) está dispuesto de tal manera que detecta los pares de rotación en aquel lado (I) del flujo de fuerza con respecto al mecanismo de transmisión (8), donde puede disponerse el objeto de prueba (5), y el segundo sensor de par de rotación (4) está dispuesto de tal manera que
25 detecta los pares de rotación en aquel lado (II) del flujo de fuerza con respecto al mecanismo de transmisión (8), donde está dispuesto el dispositivo de carga (7).

15. Banco de prueba (1) según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 14, donde el principio de medición del
segundo sensor de par de rotación (4) se basa en galgas extensométricas y el segundo sensor de par de rotación (4) preferiblemente es una brida de medición.

30

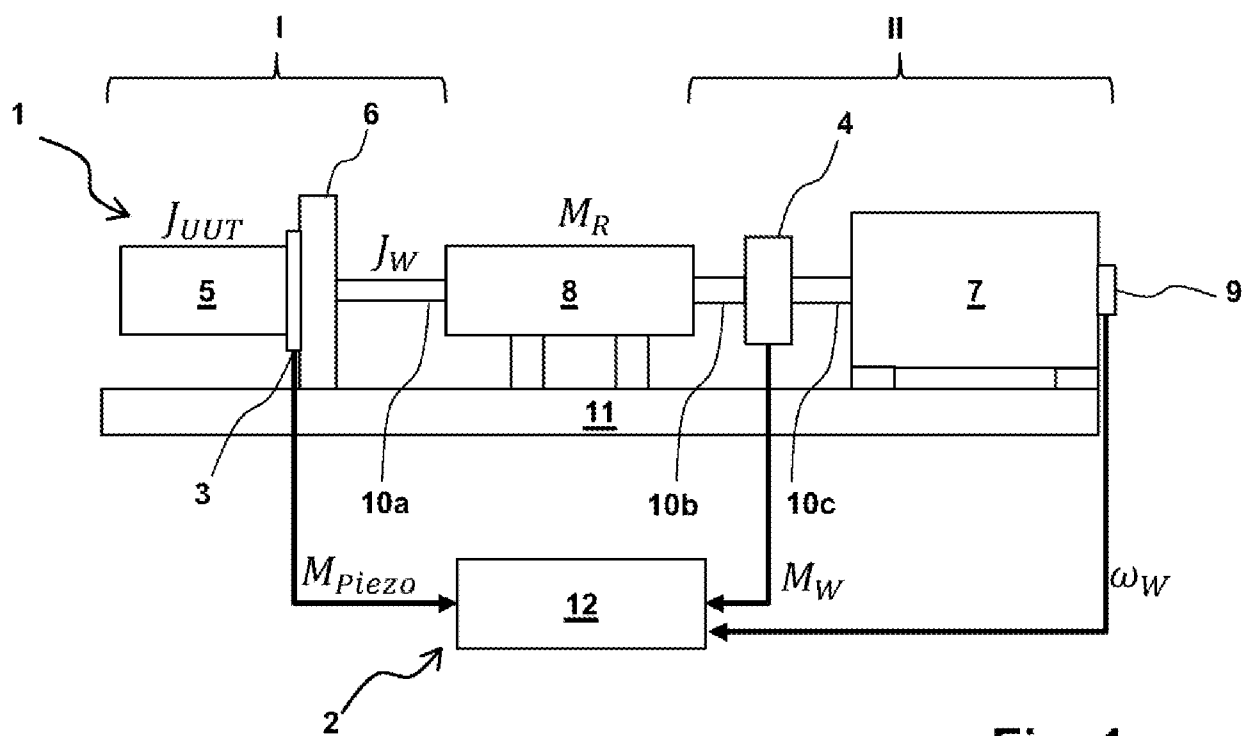


Fig. 1

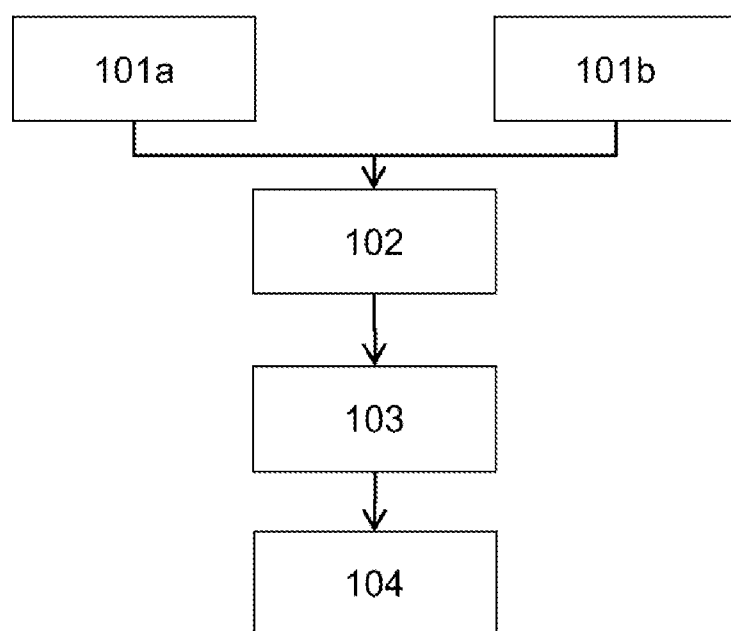


Fig. 2

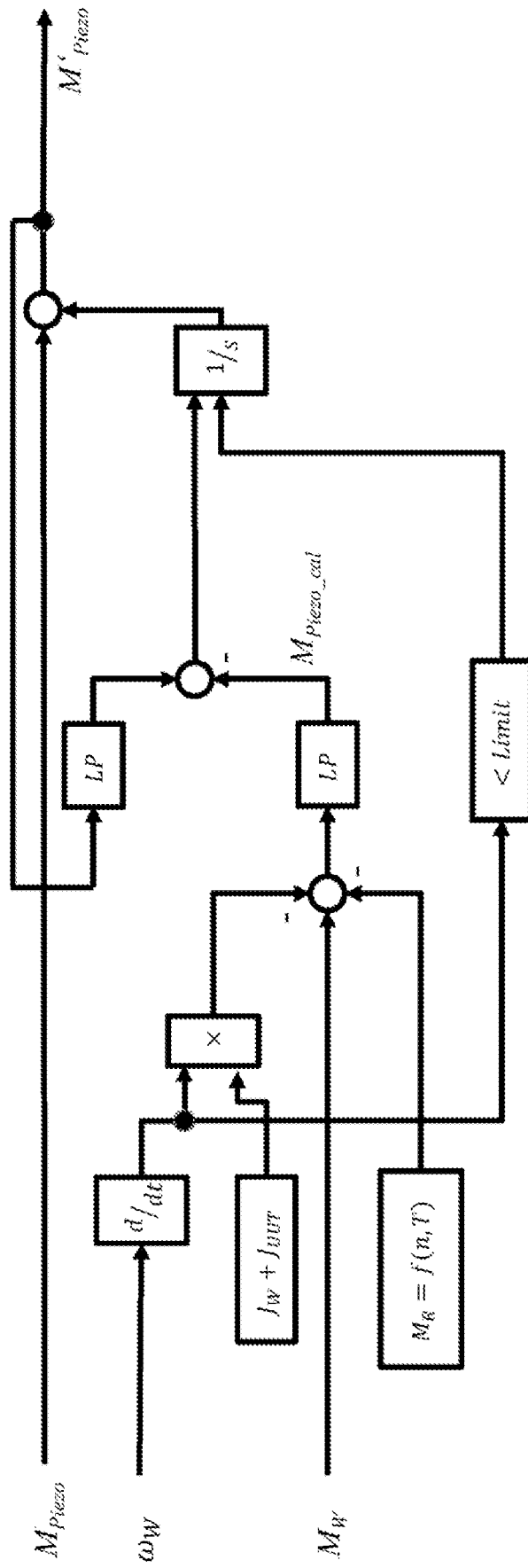


Fig. 3