

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 974 008**

51 Int. Cl.:

**F02D 41/14** (2006.01)

**G01L 3/10** (2006.01)

**F02D 35/02** (2006.01)

**F02D 41/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.06.2019 PCT/EP2019/066316**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.12.2019 WO19243483**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.06.2019 E 19732977 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.12.2023 EP 3810917**

54 Título: **Procedimiento para operar un motor de pistón y motor de pistón**

30 Prioridad:

**22.06.2018 DE 102018115082**

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

**25.06.2024**

73 Titular/es:

**ROLLS-ROYCE SOLUTIONS GMBH (100.0%)  
Maybachplatz 1  
88045 Friedrichshafen, DE**

72 Inventor/es:

**KNABE, HELMUT;  
WEIDEL, HORST y  
TOTH, ARON**

74 Agente/Representante:

**ROEB DÍAZ-ÁLVAREZ, María**

ES 2 974 008 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 operar un motor de pistón y motor de pistón

5 La invención se refiere a un procedimiento para operar un motor de pistón, en particular un motor de combustión interna, preferentemente a un procedimiento para operar un motor de pistón con una máquina eléctrica, en particular un generador o un motor, preferentemente como accionamiento híbrido. El motor de pistón tiene un número de cilindros, así como un cigüeñal montado sobre cojinetes principales con un número de muñequillas y muñones de eje, que convierte un movimiento de un pistón en uno de los cilindros del número de cilindros mediante una biela unida a una muñequilla del cigüeñal, bajo aplicación de par al cigüeñal, en un movimiento giratorio, con deformación del cigüeñal con par aplicado debido a la torsión. El motor de pistón tiene, además, asociado al cigüeñal, un sistema sensor de par con al menos un primer y un segundo sensor de ángulo de rotación. La invención se refiere además a un motor de pistón correspondiente.

15 En un motor de combustión interna, el par se puede calcular regularmente a partir de los valores teóricos de los llenados de los cilindros, que a su vez se determinan a partir de los valores teóricos de las cantidades de inyección de los inyectores de combustible almacenados en la unidad de control del motor (ECU). Sin embargo, debido a su diseño, los inyectores de combustible presentan por un lado una cierta dispersión y, por otro lado, una deriva debido al envejecimiento. Por lo tanto, el control del motor, que se basa en el par calculado, se realiza basándose en un par teórico como magnitud de entrada. Este puede diferir del par real, lo que puede ensuciar el control del motor.

Si el control del motor de combustión interna se basa en un par determinado mediante cálculo, una mejora en el control del motor está estrechamente ligada al procedimiento de determinación mediante cálculo del par.

25 En el caso de máquinas eléctricas el par se puede calcular, por ejemplo, directamente a partir de los datos de potencia eléctrica. Por otro lado, estos no son adecuados para el monitoreo del estado o el mantenimiento preventivo o la detección temprana de daños, ya que las variables de entrada adecuadas no pueden determinarse con suficiente precisión; como, por ejemplo, la variable de entrada de energía primaria para la energía eólica o hidroeléctrica.

30 En los motores de combustión interna la determinación del par mediante medición es aún más complicada, de modo que en el estado de la técnica predominan una gran variedad de procedimientos para determinar el par del cigüeñal. Se proponen diversas implementaciones para la determinación del par, que sirven principalmente para determinar el par útil del cigüeñal y que, entre otras cosas, se basan en sensores extensométricos o galgas extensométricas (Dehnmessstrifen, DMS).

35 Sin embargo, resulta especialmente interesante determinar mediante mediciones un par correspondiente a un cilindro individual como contribución al par total, ya que éste puede variar de un cilindro a otro.

40 Además, un defecto en un cilindro, a diferencia de un cilindro adyacente, no sólo puede dar lugar a una diferencia significativa en la contribución del par específico del cilindro al par útil, sino que también puede haber pares internos importantes en forma de cargas de par o giro en el cigüeñal.

45 El documento WO 2007/01255 A1 describe un procedimiento para operar un motor de combustión interna, donde mediante modelado, es decir, solo de forma puramente teórica, se pueden calcular los pares específicos de cada cilindro. Aquí, los parámetros de rotación se calculan en un primer y un segundo extremo a lo largo de un cigüeñal. Por parámetro de rotación se entiende una posición angular, una velocidad angular o un valor de par en una sección del árbol. La primera ubicación es preferentemente un primer extremo del árbol. A partir de la aceleración angular, un momento de inercia de las masas giratorias, un par de las masas oscilantes y un par de fricción se determina un par efectivo, que se aplica a un lado de salida del eje, mediante un campo característico almacenado en la unidad de control, que fue creado previamente mediante pruebas de carga a diferentes velocidades y trabajos de carga. Con ayuda del par efectivo se modela una curva de par de gas y a partir de la curva de par de gas se determinan los parámetros de rotación específicos del cilindro.

55 El procedimiento mediante modelado, es decir, solo de forma puramente teórica, descrito en el documento WO 2007/01255 A, para determinar los pares de giro específicos de los cilindros tiene además el inconveniente de que, teniendo en cuenta el primer parámetro de giro y el segundo parámetro de giro, se determina un tercer parámetro de giro, característico de todo el motor de combustión interna, y el valor específico del cilindro, se determina a partir de un modelo que representa el motor de combustión interna. Las variables de entrada del modelo se basan en el primer parámetro de rotación, el segundo parámetro de rotación y el tercer parámetro de rotación. Por lo tanto, el control del motor sigue basándose en variables de entrada de par modeladas y no permite realizar declaraciones fiables sobre los pares específicos de los cilindros, en particular sobre el estado de cada cilindro, por ejemplo, un defecto en el cilindro. Para utilizar los pares determinados como variables de entrada para el control del motor, por ejemplo, para

controlar la inyección de combustible, se requiere un procedimiento mucho más preciso que se base en variables realmente medidas.

También en el artículo "Massenträgheitsloses Messsystem für Winkel- und Drehzahlmessung in hochdynamischen Antrieben" (Sistema de medición sin inercia para la medición de ángulos y velocidades en accionamientos altamente dinámicos) del Dr. Rolf Sattler, Sensitec GmbH, publicado en Konstruktion S2-2016, de la editorial Springer, el procedimiento descrito inicialmente sólo se refiere a la posición angular y la velocidad de rotación de componentes giratorios altamente dinámicos. Sin embargo, se describe, algo muy interesante, que el propio eje del motor se utiliza como patrón de medición para un sensor de posición del rotor. Sin embargo, esto debe ser posible gracias a un sensor de diente que se basa en el efecto GMR (magnetorresistivo gigante) y escanea un perfil en forma de diente que está incorporado directamente en el árbol del motor. Aquí, se conecta un chip de sensor GMR a un imán de soporte y se coloca sobre la estructura de diente. Esta disposición permite registrar cambios en el campo magnético con alta precisión y en un alto rango dinámico.

El documento WO 99/54697 describe un dispositivo para detectar el par que actúa sobre un árbol giratorio, en el que con ayuda de un único sensor se muestrean dos partes unidas con el árbol, que tienen una estructura seleccionable y que se mueven de manera relativa entre sí bajo la influencia de una torsión causada por el par en el movimiento del árbol. A partir de la señal de salida suministrada por el sensor se forma una señal de onda cuadrada o una señal digital, cuya relación entre la longitud del pulso y la longitud total del pulso se compara con el ciclo de trabajo para un árbol sin carga. El cambio del ciclo de trabajo en comparación con el árbol sin carga es proporcional al par y se evalúa para determinar el par.

El documento EP 2 673 594 B1 describe un procedimiento y un dispositivo para llevar a cabo el procedimiento para detectar el ángulo de rotación de un árbol y/o un par que se produce en el árbol. En el procedimiento descrito se utilizan dos sensores inductivos, cada uno de los cuales determina un ángulo de rotación comparándolo con un patrón de referencia. El ángulo de rotación del árbol se determina a partir de la diferencia entre los dos ángulos de rotación.

El documento US 2017/241357 A1 da a conocer dos sensores magnetosensibles que miden la torsión del cigüeñal y, junto con los valores medidos de una sonda lambda, así como de un sensor de presión de los gases de escape, permiten determinar las irregularidades específicas del cilindro asignando un nivel de confianza respectivo a los valores medidos.

Los procedimientos y dispositivos mencionados implican la eliminación de una determinación estándar del número de revoluciones en la rueda de giro, ya que el número de revoluciones del cigüeñal se puede determinar mediante cálculo. Sin embargo, es deseable prever un procedimiento que permita, sobre todo, determinar cargas de par o torsión en el cigüeñal y en particular sea útil para controlar o detectar daños de forma temprana y que también mejora el control del motor basándose en pares útiles determinados de forma fiable. Preferiblemente debe estar previsto un procedimiento que también simplifique el sistema de sensores y que, sin embargo, sea fiable.

Aquí entra en juego la invención, cuyo objetivo es proporcionar un procedimiento y un dispositivo con el que se pueda operar de forma mejorada una máquina de pistón basándose en pares determinados de forma fiable. Esto se refiere particularmente a una carga de par o "giro" (twist) en un cigüeñal. Ventajosamente debería ser posible una detección temprana de daños mediante cargas de par determinadas de forma fiable, en particular pares internos de un cigüeñal. Un motor de pistón también debería poder funcionar de forma mejorada basándose en pares determinados de forma fiable, en particular de forma sinérgica también en función de los pares útiles, en particular pares externos de un cigüeñal. Ventajosamente debería mejorarse el control del motor. En particular, preferentemente debería ser posible una monitorización continua del estado durante el funcionamiento de un motor de pistón.

En lo que respecta al procedimiento, este objetivo se soluciona mediante un procedimiento según la reivindicación 1.

La invención se refiere a un procedimiento para operar un motor de pistón, en particular un motor de combustión interna, preferiblemente un procedimiento para operar un motor de pistón con una máquina eléctrica, en particular un generador y/o motor, preferiblemente como accionamiento híbrido, en el que el motor de pistón tiene

- un número de cilindros, así como
- un cigüeñal montado utilizando muñones de cojinete en cojinetes principales, que además tiene un número de muñequillas y muñones de eje en secuencia alterna entre los muñones de cojinete, donde
  - el cigüeñal convierte un movimiento de al menos un pistón en un cilindro del número de cilindros bajo absorción de carga por al menos una biela (40) unida a una de las muñequillas del cigüeñal en un movimiento de rotación, y
  - el cigüeñal experimenta, debido a la absorción de carga, una deformación y/o tensión mecánica que provoca una torsión, y
  - el motor de pistón tiene además un sistema sensor de par asociado al cigüeñal, que tiene al menos un primer y un segundo sensor de ángulo de rotación.

La deformación y/o la tensión mecánica que provoca la torsión pueden, en particular, cargar el cigüeñal de forma dinámica y/u oscilante, de modo que se tuerza. Además, el cigüeñal puede doblarse, estirarse o comprimirse o deformarse y/o tensarse de manera similar, lo que también puede provocar una torsión.

- 5 Según la invención está previsto que en el procedimiento
- el primer y el segundo sensor de ángulo de rotación sean sensores magnetosensibles, en particular magneto-resistivos y/o magneto-elásticos, y formen parte de un número de sensores de ángulo de rotación espaciados entre sí, y midan un primer y un segundo ángulo de rotación de la torsión directamente del cigüeñal de tal manera que:
  - 10 - el primer y el segundo sensor de ángulo de rotación estén separados entre sí en un rango de distancia del cigüeñal, donde el primer y segundo ángulo de rotación se miden en el rango de distancia, y
  - se determine un desplazamiento angular entre el primer y segundo ángulo de rotación, que resulta de la torsión del cigüeñal sometido a carga, y
  - 15 - el rango de distancia entre el primer y el segundo sensor de ángulo de rotación a lo largo del cigüeñal está restringido a un rango parcial de la distancia entre los muñones de cojinete, y
  - el rango parcial comprende un subgrupo del número de muñequillas y/o muñones de eje, de modo que el desplazamiento angular debe asignarse al subgrupo del número de muñequillas y muñones de eje, donde
  - 20 - el rango de distancia entre el primer y el segundo sensor de ángulo de rotación a lo largo del cigüeñal está limitado a un rango parcial de la distancia entre los muñones de cojinete, y
  - el rango parcial comprende un subgrupo del número de muñequillas y/o muñones de eje, de modo que el desplazamiento angular debe asignarse al subgrupo del número de muñequillas y muñones de eje, donde
  - el rango de distancia está limitado a
  - 25 - al menos un rango de muñones de eje, que comprende al menos un muñón de eje (95) entre una primera y una segunda muñequilla, y/o
  - al menos un rango de muñequillas, que comprende al menos una muñequilla (90), de manera que
  - el desplazamiento angular se puede asignar al al menos un muñón de eje y/o a la al menos una muñequilla.

La invención conduce además a un motor de pistón correspondiente según la reivindicación 15.

30 La invención se basa en la consideración de que el cigüeñal, durante el funcionamiento de un motor de pistón, está sujeto a torsión como resultado de la deformación y/o tensión debido a su elasticidad. Esto se puede registrar mejor, y de forma especialmente fiable en un amplio rango dinámico, mediante sensores. A partir del desplazamiento angular determinado por los sensores se puede determinar - entonces preferiblemente mediante cálculos - un par interno que

35 caracteriza la torsión, en particular el par útil del cigüeñal. Es de esperar que el par interno a lo largo del cigüeñal sea diferente debido a los ciclos de trabajo escalonados de los cilindros. También daños, por ejemplo, en cilindros individuales del cigüeñal cargado de par, pueden producir pares diferentes a lo largo del cigüeñal. Por lo tanto, es de gran interés conocer con precisión la distribución de la torsión a lo largo del cigüeñal, ya que a partir de ello se puede determinar un par útil y, con ello, se puede mejorar el control del motor en un motor de pistón. De mayor interés aquí

40 es la mejora específica del cilindro y el control de la inyección de combustible.

En un procedimiento de la técnica anterior, el par se determina regularmente directamente en el cigüeñal, pero este par corresponde a la suma de los pares individuales asignados a cilindros; En última instancia, sólo se trata de un par útil estimado. No se detecta giro o torsión interna del cigüeñal. Sin embargo, las soluciones actuales no prevén la

45 determinación de pares múltiples (en este sentido internos) a lo largo del cigüeñal basándose en variables realmente medidas ni el uso de los pares determinados para la monitorización continua del estado durante el funcionamiento del motor de pistón o usarlas para mejorar las tareas de control o para la detección temprana de daños.

Los intentos de hacer que los pares asociados a los cilindros estén disponibles para mejorar el control del motor se han limitado hasta ahora a modelar los pares asociados a los cilindros. El modelado se basa en unos pocos pares determinados por mediciones del ángulo de rotación. Hasta el momento no se conoce un procedimiento para el control del motor basado en pares asignados a los cilindros, que se determinan a partir de variables realmente medidas. Además, todavía no se ha previsto una monitorización continua del motor de pistón basándose en pares determinados continuamente y asignados a los cilindros. Sin embargo, la monitorización del estado es de gran interés porque, entre

50 otras cosas, puede utilizarse para mejorar tareas de control, como por ejemplo la regulación de la cantidad de inyección.

La invención se basa en el conocimiento de que es posible mejorar el control del motor mediante una determinación mejorada del par mediante sensores específicos del cilindro. El objetivo es determinar los pares asignados a los

60 cilindros, de modo que el motor se controle en función de los pares reales y no de los pares teóricos o basados en modelos como en las soluciones actuales.

Los sensores del ángulo de rotación primero y segundo están separados entre sí en un rango de distancia del cigüeñal y están asignados a este rango de distancia del cigüeñal. El rango de distancia a lo largo del cigüeñal está limitado a un rango parcial de la distancia entre los cojinetes principales. Por consiguiente, el rango de distancia tiene una longitud más corta que la longitud total del cigüeñal. El rango de distancia, que está limitado a un rango parcial de la distancia entre los cojinetes principales, incluye por consiguiente un subgrupo del número de muñequillas y muñones de eje. Por lo tanto, un subgrupo correspondiente incluye un número menor de muñequillas y muñones de eje que la longitud total del cigüeñal que se extiende entre los cojinetes principales. De este modo, los sensores de ángulo de rotación primero y segundo asignados al rango de distancia están asignados a un número menor de muñequillas y muñones de eje que el número de muñequillas y muñones de eje de todo el cigüeñal.

Preferiblemente, durante el funcionamiento del motor de pistón se debería determinar continuamente un par del cilindro mediante varios sensores para cada cilindro, de modo que el control del motor de un motor de pistón se realice en base a variables de entrada medidas. En comparación con el estado de la técnica, el control del motor ya no se basa en pares determinados teóricamente, sino en pares reales asignados a los cilindros, determinados mediante sensores.

Según la invención, al menos dos sensores son asignados a al menos un cilindro, donde entre los dos sensores se encuentra al menos una muñequilla del cigüeñal cargado de par. Una muñequilla es una pieza del cigüeñal en la que se encuentra el cojinete de biela; En otras palabras, una muñequilla del cigüeñal es una pieza del cigüeñal que se encuentra entre dos muñones de eje. Una muñequilla incluye dos almas de muñequilla y un pasador de muñequilla. Preferentemente, al menos a un cilindro están asignados al menos dos sensores, estando preferentemente entre ambos sensores una muñequilla del cigüeñal cargado de par; es decir, los sensores están dispuestos respectivamente sobre o encima de los dos muñones de eje adyacentes a la muñequilla.

Según el concepto de la invención, los sensores de ángulo de rotación primero y segundo son sensores magnetosensibles, en particular magneto-resistivos y/o magneto-elásticos, que permiten detectar con precisión un desplazamiento angular del primer y del segundo sensor de ángulo de rotación mediante un cambio en un campo magnético como resultado de la tensión y/o torsión del cigüeñal sometido a par. Por sensor magnetosensible se entiende generalmente un sensor que detecta un cambio en el campo magnético o reacciona a un cambio en el campo magnético. En este caso se ha demostrado que es especialmente ventajoso un sensor magneto-resistivo. Sin embargo, también es adecuado un sensor magneto-elástico, que detecta una modificación del campo magnético basándose en el efecto magnetoelástico, es decir, en particular el efecto magnetoestrictivo o el efecto magnetoestrictivo inverso.

Al subgrupo del número de muñequillas y muñones de eje se le puede asignar un desplazamiento angular determinado. El subgrupo del número de muñequillas y muñones de eje incluye el número de muñequillas y muñones de eje que se encuentran en el rango de distancia entre el primer y el segundo sensor de ángulo de rotación. Por lo tanto, el desplazamiento angular determinado se puede asignar a un rango parcial de la distancia entre los cojinetes principales, que está definido por el rango de distancia entre el primer y el segundo sensor de ángulo de rotación.

La disposición propuesta de dos sensores de ángulo de rotación magnetosensibles, en particular magneto-resistivos y/o magneto-elásticos por muñequilla, permite determinar durante el funcionamiento del motor de pistón una distribución de la carga relacionada con la torsión sobre el cigüeñal en función del cilindro. Lo que es particularmente interesante aquí es que el conocimiento de los pares específicos de los cilindros puede usarse para mejorar el control del motor durante el funcionamiento en curso del motor de pistón. Un interés particular reside en la optimización de la inyección de combustible. El procedimiento según la invención también es adecuado para controlar el estado del motor de pistón durante el funcionamiento del motor de pistón.

La invención tiene la ventaja de que, especialmente a altas velocidades, se produce una deformación elástica debida a la torsión, lo que, de una manera óptima, e incluso en estos casos especialmente fiable en un amplio rango dinámico, se pueden detectar mediante sensores.

Además, la invención se basa en el conocimiento de que los pares determinados mediante los sensores asignados al cilindro se pueden utilizar para tareas de control del control del motor del motor de pistón. Esto puede utilizarse ventajosamente para reducir las emisiones contaminantes regulando la cantidad de inyección. Además, la determinación repetida de los pares permite una monitorización continua del estado del motor de pistón, que, por ejemplo, se puede utilizar para mantenimiento predictivo y detección temprana de daños.

En las reivindicaciones subordinadas se detallan perfeccionamientos ventajosos de la invención y se detallan posibilidades ventajosas para implementar el concepto explicado anteriormente en el marco del cometido y con respecto a otras ventajas.

En una configuración preferida, mediante el calculador de compensación se determina un par asignado al rango de distancia y resultante del primer y segundo ángulo de rotación medido, determinándose el par asignado al rango de

distancia, en particular repetidamente, durante el funcionamiento en curso del motor de pistón. Cada uno de los sensores mide un ángulo de rotación a partir del cual luego se calcula un desplazamiento angular utilizando un calculador de desplazamiento. A partir del desplazamiento angular, el calculador de desplazamiento calcula un par que se asigna a la pieza del cigüeñal, es decir, al rango de distancia, entre los dos sensores.

5 Dependiendo del diseño del motor, mediante el calculador de desplazamiento se puede registrar el par asignado a un cilindro individual: en un motor en línea actúa exactamente un cilindro por cada muñequilla, mientras que en un motor en V actúan dos cilindros por cada muñequilla. En este último caso, el desplazamiento temporal permite asignar el desplazamiento angular específico al cilindro, determinado mediante el calculador de desplazamiento. También con otro tipo de motor, como, por ejemplo, un motor de doble V o un motor W, se puede registrar un par asignado a un cilindro individual usando el calculador de compensación

10 También es posible determinar un desplazamiento angular asignado a más de un cilindro. Esto es posible calculando el desplazamiento angular entre los ángulos de rotación medidos por sensores de ángulo de rotación, entre los cuales hay varias muñequillas.

15 En una configuración preferida está previsto que para determinar repetidamente el par asignado al rango de distancia del cigüeñal se registre continuamente al menos una vez por ciclo de trabajo de un cilindro una carga relacionada con la torsión en el cigüeñal.

20 Determinando repetidamente el número de pares asignados a cilindros, es posible obtener una distribución de torsión resuelta en el tiempo a lo largo del cigüeñal cargado de par durante el funcionamiento en curso del motor de pistón. La medición repetida de los ángulos de giro asignados al cilindro permite determinar ventajosamente una evolución temporal de la carga sobre el cigüeñal asignada al cilindro. El calculador de desplazamiento calcula continuamente los pares asignados a los cilindros a partir de los ángulos de rotación medidos. Esto permite registrar datos de potencia que corresponden a la potencia en tiempo real del motor de pistón. El conocimiento de la potencia en tiempo real es de gran interés, ya que permite mejorar el control del motor durante el funcionamiento del motor de pistón y responder oportunamente a influencias negativas. En particular, se prefiere la monitorización en tiempo real de las detonaciones, es decir, del autoencendido incontrolado durante la combustión del gas. También es posible que entre la determinación repetida del número de pares asignados al cilindro transcurran varios ciclos de trabajo del cilindro.

25 Según la invención, el rango de distancia está limitado a un rango de muñón de eje que comprende al menos un muñón de eje entre una primera y una segunda muñequilla y/o un rango de muñequilla que comprende al menos una muñequilla, de modo que el desplazamiento angular está asignado al al menos un muñón de eje y/o a la al menos una muñequilla. En particular, el rango de distancia se encuentra entre dos muñequillas adyacentes, de modo que entre el primer sensor de ángulo de rotación y el segundo sensor de ángulo de rotación existe una longitud libre del cigüeñal, en particular una pieza libre de un muñón de eje del cigüeñal.

35 En un desarrollo adicional, el rango de distancia se limita a un rango único de muñón de eje que comprende un único muñón de eje entre una primera y una segunda muñequilla y/o un rango único de muñequilla que comprende una única muñequilla, de modo que el desplazamiento angular se puede asignar al único muñón de eje y/o a la única muñequilla. En particular, en el rango de distancia se encuentra una única muñequilla del cigüeñal, de modo que el primer sensor del ángulo de rotación está dispuesto a lo largo del cigüeñal delante de la muñequilla correspondiente y el segundo sensor del ángulo de rotación está dispuesto a lo largo del cigüeñal detrás de la muñequilla correspondiente.

40 Un perfeccionamiento prevé un número de sensores del ángulo de rotación, entre los que se incluyen el primer y el segundo sensores del ángulo de rotación espaciados en el rango de distancia del cigüeñal, donde el número de sensores del ángulo de rotación sensores son magnetosensibles, en particular magneto-resistivos y/o magneto-elásticos.

45 En un perfeccionamiento, el número de sensores de ángulo de rotación separados entre sí comprende varios pares de primeros y segundos sensores de ángulo de rotación entre los cojinetes principales, que están separados entre sí mediante un rango único del cigüeñal, en particular un rango único de muñón de eje y/o un rango único de muñequilla. En particular, a otros rangos de distancia correspondientes del cigüeñal están asignados otros sensores del número de sensores del ángulo de rotación separados entre sí, en particular dos sensores del número de sensores del ángulo de rotación separados entre sí están asignados respectivamente a otro rango de distancia del cigüeñal.

50 En una configuración preferida está previsto que la determinación repetida de un par asignado al rango de distancia por medio de una unidad de control del motor (ECU) permita una regulación y/o supervisión constante de la inyección de combustible, en particular una regulación y/o supervisión de la inyección de combustible en el cilindro, que está unido por medio de una biela a una muñequilla que está incluida en el rango de distancia o que limita con el rango de

distancia, en particular para una reducción de las emisiones contaminantes del motor de pistón y/o un cumplimiento permanente con los valores límite de emisión.

5 Además de otras tareas de control, es de gran interés regular la cantidad inyectada en un amplio rango dinámico, ya que esto reduce las emisiones contaminantes y permite mantener los límites de emisión a largo plazo. Esto permite ventajosamente el cumplimiento a largo plazo de las normas medioambientales.

10 Este procedimiento permite ventajosamente un control de la combustión en tiempo real, lo que resulta especialmente ventajoso en lo que respecta a la aparición de detonaciones en los motores de gas.

15 En una configuración preferida está previsto que un par asignado al rango de distancia sea detectado por un primer y un segundo sensor de ángulo de rotación del número de sensores de ángulo de rotación incluso a velocidades superiores a 2.000 rpm, en particular por encima de 6.000 rpm, mediante mediciones repetidas del par durante el funcionamiento en curso del motor de pistón.

Por lo general, con las soluciones actuales no es posible registrar la potencia en tiempo real a altas velocidades y especialmente en un amplio rango de medición. En particular, resulta especialmente ventajoso el procedimiento según la invención con dos sensores GMR por muñequilla.

20 En una configuración preferida está previsto que dos de los sensores del ángulo de rotación estén asignados a más de una muñequilla, en particular que dos de los sensores del ángulo de rotación estén asignados a cada muñequilla. Debido a que a varias muñequillas del cigüeñal están asignados dos sensores de ángulo de rotación, se puede determinar a lo largo del cigüeñal un par asignado al cilindro para cada una de las muñequillas y con ello se puede determinar una distribución de la torsión a lo largo del cigüeñal. Ventajosamente, la inyección de combustible en los  
25 distintos cilindros se puede regular y ajustar individualmente.

En un perfeccionamiento está previsto que el cigüeñal no esté codificado.

30 La estructura superficial inherente al cigüeñal crea en cada punto un campo magnético característico que es detectado por sensores altamente sensibles como, por ejemplo, sensores GMR. Al mismo tiempo se pueden detectar incluso los cambios más pequeños en la distribución del campo magnético, que, por ejemplo, surgen de la deformación elástica del cigüeñal. Por tanto, no es necesaria la codificación del cigüeñal. Sin embargo, la codificación del cigüeñal se puede utilizar para amplificar los cambios en el campo magnético bajo carga en el cigüeñal cargado de par.

35 En otro perfeccionamiento preferido está previsto que más de dos sensores del ángulo de rotación estén asignados respectivamente a una muñequilla.

40 La disposición de dos sensores de ángulo de rotación asignados a muñequillas de tal manera que entre los dos sensores esté dispuesta una muñequilla del cigüeñal cargado de par, permite mediciones de ángulo fiables y de alta precisión. La deformación elástica debida a la torsión se detecta mediante un desplazamiento angular entre ambos sensores. A partir de este desplazamiento angular se puede calcular de forma resuelta en el tiempo un par generado en cada cilindro. Debido a la alta precisión de las mediciones de ángulos, es posible registrar de manera ventajosa pares en un rango dinámico muy amplio.

45 El número de sensores por muñequilla se puede aumentar según se desee. Sin embargo, para medir un desplazamiento angular asignado a un cilindro se necesitan al menos dos sensores de ángulo de rotación por muñequilla. Si a una muñequilla sólo está asignado un sensor de ángulo de rotación, se puede determinar un desplazamiento angular con respecto a otro sensor de ángulo de rotación. Esto corresponde entonces a un promedio de varias muñequillas.  
50

En otro perfeccionamiento está previsto que al menos los sensores de ángulo de rotación (S1, S2) asignados al rango de distancia no estén en contacto con el cigüeñal, lo que permite determinar sin contacto los ángulos de rotación asignados al rango de distancia.

55 Este procedimiento se puede implementar de manera especialmente ventajosa con ayuda de sensores de ángulo de rotación magnetosensibles, en concreto, de forma muy especialmente ventajosa, con sensores de ángulo de rotación magneto-resistivos, como, por ejemplo, sensores GMR y ofrece grandes ventajas respecto a las versiones en las que los sensores están en contacto con el cigüeñal. Al utilizar el cigüeñal como patrón de medición para el sistema de medición, el cigüeñal es escaneado por los sensores. Esto elimina un momento de inercia de masa adicional debido  
60 a un sistema de medición que está montado directamente en el cigüeñal y siempre debe acelerarse o frenarse junto con el cigüeñal. De este modo se reduce el consumo de energía y se ahorra combustible. Ventajosamente, el sistema de medición funciona de forma más fiable que las soluciones conocidas, incluso a altas velocidades. En general, la

electrónica de potencia se puede hacer más pequeña y el sistema global se vuelve más robusto mediante la eliminación de componentes adicionales, especialmente directamente en la muñequilla.

5 Los sensores, en particular los sensores GMR, se pueden fijar a imanes de soporte que mantienen los sensores GMR a una distancia por encima del cigüeñal. Los sensores GMR también se pueden conectar directamente a la carcasa del motor o a otro componente del motor.

10 En un perfeccionamiento está previsto que al menos los sensores del ángulo de rotación asignados al rango de distancia estén dispuestos directamente en el cigüeñal en contacto con éste.

Para determinadas tareas, dependiendo de la disponibilidad de sensores de medición o del espacio disponible, puede resultar ventajoso montar los sensores del ángulo de rotación directamente en el cigüeñal. Con esta variante también es posible determinar los ángulos de rotación y los pares asignados a los cilindros.

15 En una configuración especialmente preferida está previsto que los sensores magneto-resistivos sean, en particular, sensores AMR y/o sensores Hall y/o sensores GMR.

20 Los sensores GMR tienen ventajas especiales en comparación con sensores alternativos. Un sistema de medición basado en sensores GMR permite determinar con alta precisión el ángulo de rotación incluso a velocidades muy altas. Esta propiedad es de inmensa importancia ya que las mayores densidades de potencia deseadas, especialmente en máquinas eléctricas, están asociadas con mayores velocidades de funcionamiento.

25 En un perfeccionamiento, el sistema sensor de par presenta un sensor magneto-elástico, en particular sensores magnetostrictivos y/o magnetostrictivos inversos, que utilizan, por ejemplo, magnetoestricción o magnetoestricción inversa, es decir, una variación de la magnetización debido a tensiones mecánicas y torsión.

30 En un perfeccionamiento está previsto que el sistema sensor de par presente otros sensores del grupo compuesto por: bridas de par, extensiómetros o galgas extensométricas (DMS), sensores de placa de campo y sensores con capa magnetoóptica.

35 Los DMS se utilizan regularmente para determinar el par. Sin embargo, estos no son estables a largo plazo y requieren una telemetría compleja con una fuente de alimentación para la transmisión de datos. Las galgas extensométricas no soportan a menudo condiciones exigentes, por ejemplo, altas temperaturas. Las tensiones mecánicas, térmicas y químicas llevan rápidamente las soluciones convencionales al límite, las galgas extensométricas fallan o proporcionan datos insuficientes. Además, la transmisión de señales mediante telemetría es compleja, muy costosa y propensa a fallar.

40 Debido al principio de medición, los sensores de par magnetostrictivos generalmente sólo son adecuados para pares elevados: no es posible registrar regularmente pares en vacío y con carga parcial de hasta aproximadamente el 60 % de los pares máximos. Las bridas dinamométricas o bridas de par acoplables sólo pueden determinar los pares en la salida respectiva y, por lo tanto, no son adecuadas para el control de motores.

45 Sin embargo, es perfectamente posible una combinación de los sensores antes mencionados con sensores magnetosensibles, en particular magneto-resistivos y/o magneto-elásticos. Sin embargo, es especialmente ventajoso que la determinación del par asociada al cilindro se realice mediante sensores magnetosensibles. Sin embargo, al principio y/o al final del cigüeñal, se pueden conectar, por ejemplo, galgas extensométricas o bridas de par.

50 En un perfeccionamiento adicional está previsto que el par del cigüeñal se determine basándose en el desplazamiento angular (también llamado ángulo de giro), que se determina formando una diferencia entre el primer ángulo de rotación medido por el primer sensor de ángulo de rotación y el segundo ángulo de rotación medido por el segundo sensor de ángulo de rotación, dependiendo de la posición del primer y segundo sensores de ángulo de rotación, en particular de los sensores de ángulo de rotación individuales. Preferiblemente, una primera parte del par está asignada a un par interno del cigüeñal basándose en las fuerzas de encendido de cilindros individuales, y/o una segunda parte del par está asignada a un par útil, donde la primera y/o segunda parte del par se obtiene aguas abajo de un filtro o similar procesamiento de señal.

60 Dependiendo de la posición de cada sensor de ángulo de rotación, el par interno debido a las fuerzas de encendido de cada cilindro y/o el par útil se puede filtrar diferenciando adecuadamente el ángulo de rotación (ángulo de giro) mediante un procesamiento de señales posterior.

A través del conocimiento continuo del par interno y del par útil, se puede mejorar el control del motor, particularmente con respecto a una aceleración o frenado del motor de pistón durante el funcionamiento en curso del motor de pistón.

En un perfeccionamiento está previsto que las mediciones de oscilación de torsión se realicen en el motor de pistón mediante el sistema sensor de par.

5 Las mediciones de oscilación de torsión son posibles en todas las máquinas de pistón que están equipadas con el sistema sensor de par según la invención, sin necesidad de utilizar tecnología de medición adicional. Esto es especialmente relevante para pruebas en banco de pruebas o para mediciones en el campo en caso de problemas en el sistema, lo que generalmente conlleva altos costos individuales.

10 En una configuración especialmente preferida está previsto que mediante los pares de los cilindros determinados repetidamente se controle el estado del motor de pistón, en particular de tal manera que se pueda realizar un mantenimiento predictivo y/o una detección temprana de daños.

15 De este modo se garantiza un mantenimiento de la máquina de pistón adaptado a las necesidades, por ejemplo, en relación a un posible desgaste de la máquina. También se puede mejorar la resolución de problemas en caso de fallo en el motor de pistón y se pueden sustituir componentes de forma selectiva. En particular, el registro continuo de datos de potencia o rendimiento permite la detección temprana de daños para que se pueda responder con prontitud a una falla inminente de una pieza o componente.

20 En otro perfeccionamiento especialmente preferido está previsto que los datos de potencia se transmitan a una interfaz para una monitorización continua.

25 La interfaz puede ser una interfaz de usuario y puede estar situada en el motor de pistón, de modo que sea posible una monitorización interna de los datos de potencia por parte de un usuario. La interfaz de usuario también puede estar situada fuera del motor de pistón, de modo que se pueda realizar una monitorización externa de los datos de potencia de uno o más motores de pistón. También es posible una monitorización de los datos de potencia controlada por software.

30 La invención se refiere además a un motor de pistón, en particular a un motor de combustión interna, preferentemente a un motor de pistón con una máquina eléctrica, en particular un generador o un motor, preferentemente como accionamiento híbrido. El motor de pistón tiene un número de cilindros, así como un cigüeñal montado sobre sobre cojinetes principales, con un número de muñequillas y muñones de eje, que convierten un movimiento de un pistón en uno de los cilindros del número de cilindros a través de una biela unida a un muñequilla del cigüeñal, con aplicación de par al cigüeñal, en movimiento de rotación, con deformación del cigüeñal cargada por par debido a la torsión, y un sistema sensor de par asignado al cigüeñal con al menos un primer y un segundo sensor de ángulo de rotación. Los sensores de ángulo de rotación primero y segundo forman parte de una serie de sensores de ángulo de rotación separados entre sí y miden un ángulo de rotación primero y segundo en el cigüeñal. Los sensores de ángulo de rotación primero y segundo están separados entre sí en un rango de distancia del cigüeñal, estando asignados el primer y segundo ángulo de rotación al rango de distancia del cigüeñal. Con ayuda de un calculador de desplazamiento se determina un desplazamiento angular entre el primer y el segundo ángulo de rotación, que resulta de la deformación por torsión del cigüeñal cargado con par. El motor de pistón se caracteriza porque el rango de distancia a lo largo del cigüeñal está limitado o restringido a un rango parcial de la distancia entre los cojinetes principales, y el rango parcial incluye un subgrupo del número de muñequillas y muñones del eje. El motor de pistón se caracteriza además porque el primer y el segundo sensor del ángulo de rotación son sensores magnetosensibles, en particular magneto-resistivos y/o magneto-elásticos, de modo que el desplazamiento angular del subgrupo puede asignarse al número de  
 45 - muñequillas y muñones de eje, donde  
 - el rango de distancia está restringido a  
 - al menos un rango de muñón de eje, que comprende al menos un muñón de eje entre una primera y una segunda muñequilla, y/o  
 - al menos un rango de muñequilla, que comprende al menos una muñequilla, de manera que  
 50 - el desplazamiento angular puede asignarse al al menos un muñón de eje y/o a la al menos una muñequilla.

A continuación, se describirán ejemplos de realización de la invención haciendo referencia al dibujo en relación con un motor de pistón con cigüeñal. No se pretende necesariamente representar los ejemplos de realización a escala, sino que, si resulta útil para la explicación, el dibujo está realizado de forma esquemática y/o ligeramente distorsionada.  
 55 En lo que respecta a ampliaciones a las enseñanzas que se pueden reconocer inmediatamente en el dibujo, se hace referencia al estado de la técnica correspondiente. Cabe señalar que se pueden realizar diversas modificaciones y cambios en la forma y los detalles de una realización sin apartarse del espíritu general de la invención tal como se define en las reivindicaciones adjuntas. Las características de la invención divulgadas en la descripción, en los dibujos y en las reivindicaciones pueden ser esenciales para el desarrollo de la invención tanto individualmente como en cualquier combinación, tal como se define en las reivindicaciones adjuntas. Además, todas las combinaciones de al  
 60 menos dos de las características descritas en la descripción, los dibujos y/o las reivindicaciones, tal como se definen en las reivindicaciones adjuntas, entran dentro del alcance de la invención.

La idea general de la invención no se limita a la forma o detalle exacto de la realización preferida que se muestra y describe a continuación ni se limita a un tema que estaría limitado en comparación con el tema reivindicado en las reivindicaciones. Para rangos de diseño específicos, los valores dentro de los límites especificados también deben divulgarse como valores límite y pueden usarse y reclamarse según se desee. Otras ventajas, características y detalles de la invención se desprenden de la siguiente descripción de los ejemplos de realización preferidos y de los dibujos esquemáticos; esto se muestra en:

- 5 Fig. 1 una definición de términos del cigüeñal tomando como ejemplo un motor en línea;
- 10 Fig. 2 una definición de términos del cigüeñal tomando como ejemplo un motor en V;
- Fig. 3 una representación esquemática de un cigüeñal con sensores de ángulo de rotación asignados a cilindros en el ejemplo de un motor en línea;
- 15 Fig. 4 una representación esquemática de un cigüeñal con sensores de ángulo de rotación asignados a cilindros en el ejemplo de un motor en V;
- Figs. 5a, 5b una representación esquemática de un cigüeñal con dos sensores del ángulo de rotación, cada uno de los cuales está dispuesto sobre a) o encima de b) un muñón de eje;
- 20 Figs. 6a, 6b una representación esquemática de un cigüeñal con dos sensores del ángulo de rotación, entre los cuales se encuentra una muñequilla del cigüeñal;
- Figs. 7a, 7b una representación esquemática de un cigüeñal con tres sensores de ángulo de rotación asignados a una muñequilla;
- 25 Fig. 8 una representación esquemática de un cigüeñal con variables mostradas para calcular el par  $M_t$  del cigüeñal;
- 30 Fig. 9 una representación modelo de un cigüeñal con posiciones indicadas de los sensores de ángulo de rotación,
- Fig. 10 una representación esquemática del flujo del proceso.

35 Fig. 1 muestra un cigüeñal 10 de un motor en línea. El cigüeñal 10 está montado en el lado de fuerza KS y en el lado opuesto de fuerza KGS con cojinetes principales (no representados). Por lo tanto, la longitud total del cigüeñal equivale a la distancia entre los cojinetes principales (no mostrados). El cigüeñal 10 tiene varias muñequillas 90 y muñones de eje 95. Una muñequilla 90 incluye almas de muñequilla 70 y un pasador de muñequilla 80. Además, están previstos contrapesos 72 para desplazar preferentemente el centro de masa del cigüeñal 10 al eje de rotación del cigüeñal 10.

40 En un motor en línea, un cilindro está unido a cada muñequilla 90 por medio de una biela (no mostrada). Además, a modo de ejemplo se muestra un rango de distancia AB, que está definido por la distancia de un primer sensor de ángulo de rotación S1 y un segundo sensor de ángulo de rotación S2 y está asignado a ellos. Según el concepto de la invención, el primer sensor de ángulo de rotación S1 y el segundo sensor de ángulo de rotación S2, así como cualquier otro sensor de ángulo de rotación son magnetosensibles, es decir, en el presente caso, sensores de ángulo de rotación magneto-resistivos. En principio, también podrían tratarse de sensores de ángulo de rotación magneto-elásticos. El rango de distancia AB se extiende a lo largo del cigüeñal 10 y está limitada a un rango parcial de la distancia entre los cojinetes principales. El rango parcial incluye un subgrupo del número de muñequillas 90 y muñones de eje 95.

50 Fig. 2 muestra un cigüeñal 10 de un motor en V. El cigüeñal 10 está montado en el lado de fuerza KS y en el lado opuesto de fuerza KGS con cojinetes principales (no representados). Como también se describe con referencia a la Fig. 1, la longitud total del cigüeñal equivale a la distancia entre los cojinetes principales (no mostrados). El cigüeñal 10 tiene varias muñequillas 90 y muñones de eje 95. Una muñequilla 90 incluye almas de muñequilla 70 y un pasador de muñequilla 80. Además, están previstos contrapesos 72 para desplazar preferentemente el centro de masa del cigüeñal 10 al eje de rotación del cigüeñal 10. En un motor en V, dos cilindros están unidos a cada muñequilla 90 por medio de una biela (no mostrada). Además, a modo de ejemplo se muestra un rango de distancia AB, que está definido por la distancia de un primer sensor de ángulo de rotación S1 y un segundo sensor de ángulo de rotación S2 y está asignado a ellos. Según el concepto de la invención, el primer sensor de ángulo de rotación S1 y el segundo sensor de ángulo de rotación S2 y cualquier otro sensor de ángulo de rotación son magnetosensibles, es decir, sensores de ángulo de rotación magneto-resistivos. En principio, también podrían tratarse de sensores de ángulo de rotación magneto-elásticos. El rango de distancia AB se extiende a lo largo del cigüeñal 10 y está limitado a un rango parcial de la distancia entre los cojinetes principales. El rango parcial incluye un subgrupo del número de muñequillas 90 y muñones de eje 95.

Fig. 3 muestra una representación esquemática de un motor de pistón 1000 en disposición en serie con un cigüeñal 10. El lado de fuerza se denomina KS y KGS corresponde al lado opuesto de fuerza del motor. En un lado del motor hay un número de cilindros (1-n). Un pistón 20 se mueve en cada cilindro individual 30 y hace que el cigüeñal 10 gire por medio de una biela 40. El motor de pistón también tiene un sistema sensor de par 50 con varios sensores de ángulo de rotación, S1, S2,..., Sn, asignados al cilindro. En particular, a un cilindro están asignados respectivamente dos sensores de ángulo de rotación. Estos miden la carga relacionada con la torsión en el cigüeñal 10 cargado de par durante el funcionamiento del motor de pistón 1000 y transmiten los ángulos de rotación asignados a los cilindros a un calculador de desplazamiento 60, que calcula los pares asignados a los cilindros a partir de un desplazamiento angular entre los dos ángulos de rotación. Según el concepto de la invención, el primer sensor de ángulo de rotación S1 y el segundo sensor de ángulo de rotación S2 y los otros sensores de ángulo de rotación son magnetosensibles, es decir, sensores de ángulo de rotación magneto-resistivos. En principio, también podrían tratarse de sensores de ángulo de rotación magneto-elásticos. Según los pares calculados, la unidad de control del motor (ECU) controla y regula el motor de pistón 1000. La transmisión de los ángulos de rotación específicos del cilindro al calculador de desplazamiento 60 se muestra con una línea discontinua. Ventajosamente también está prevista una transmisión de los pares específicos de los cilindros a la unidad de control del motor (ECU) representada simbólicamente, de modo que el motor 100 se pueda regular en función de los pares específicos de los cilindros.

Fig. 4 muestra una representación esquemática de un motor de pistón 1000 en disposición en V con un cigüeñal 10. El lado de fuerza se denomina KS y KGS corresponde al lado opuesto de fuerza del motor. En el lado izquierdo del motor hay un número de cilindros A1- An y B1- Bn denota un número de cilindros en el lado derecho del motor. Un pistón 20 se mueve en cada cilindro individual 30 y hace que el cigüeñal 10 gire por medio de una biela 40. El motor de combustión interna también tiene un sistema sensor de par 50 con varios sensores de ángulo de rotación, S1, S2,..., Sn, asignados a una muñequilla. En particular, dos sensores del ángulo de rotación están asignados respectivamente a una muñequilla. Según el concepto de la invención, el primer sensor de ángulo de rotación S1 y el segundo sensor de ángulo de rotación S2 y los otros sensores de ángulo de rotación son magnetosensibles, es decir, sensores de ángulo de rotación magneto-resistivos. En principio, también podrían tratarse de sensores de ángulo de rotación magneto-elásticos. Dado que dos pistones están unidos a una muñequilla mediante bielas, los sensores de ángulo de rotación asignados a una muñequilla están asignados a dos cilindros. Los sensores de ángulo de rotación miden la carga relacionada con la torsión en el cigüeñal 10 cargado con par durante el funcionamiento del motor de pistón 1000 y transmiten ángulos de rotación asignados a una muñequilla respectiva a un calculador de desplazamiento 60, que calcula un par asignado a una muñequilla respectiva, a partir de un desplazamiento angular entre los dos ángulos de rotación. Según los pares calculados, la unidad de control del motor (ECU) controla y regula el motor de pistón 1000. La transmisión del ángulo de rotación específico de la muñequilla al calculador de desplazamiento 60 se muestra mediante una línea discontinua. Por consiguiente, se proporciona la transmisión de los pares específicos de la muñequilla a la unidad de control del motor (ECU) representada simbólicamente, de modo que el motor 100 pueda regularse basándose en los pares específicos de la muñequilla.

En las Figs. 5a y 5b se muestran representaciones esquemáticas de un cigüeñal 10. Un muñón de eje 95 del cigüeñal 10 se encuentra entre las muñequillas formadas por dos almas de muñequilla 70 y un pasador de muñequilla 80. En la figura 5a, dos sensores de ángulo de rotación S1 y S2 están dispuestos en el muñón de eje en contacto con el cigüeñal 10 en un rango de distancia AB para medir un desplazamiento angular de una deformación del cigüeñal 10 relacionada con la torsión. En la figura 5b se indica que también se proporciona una exploración sin contacto del cigüeñal 10 porque los sensores del ángulo de rotación, S1, S2, están montados separados entre sí a una distancia por encima del cigüeñal en un rango de distancia AB. Según el concepto de la invención, el primer sensor de ángulo de rotación S1 y el segundo sensor de ángulo de rotación S2 y cualquier otro sensor de ángulo de rotación son magnetosensibles, es decir, sensores de ángulo de rotación magneto-resistivos. En principio, también podrían tratarse de sensores de ángulo de rotación magneto elásticos.

En las Figs. 6a y 6b se muestran representaciones esquemáticas de un cigüeñal 10. Los sensores de ángulo de rotación S1 y S2 están colocados uno delante y otro detrás de una muñequilla formada por dos almas de muñequilla 70 y un pasador de muñequilla. En la figura 6a, los sensores de ángulo de rotación S1 y S2 están dispuestos en contacto con el cigüeñal 10 a una distancia entre sí de un rango de distancia AB para medir un desplazamiento angular de una deformación del cigüeñal 10 relacionada con la torsión. En la figura 6b se indica que también se proporciona una exploración sin contacto del cigüeñal 10 porque los sensores del ángulo de rotación, S1, S2, están montados separados entre sí a una distancia por encima del cigüeñal en un rango de distancia AB. Uno de los correspondientes sensores del ángulo de rotación S1, S2 está dispuesto a distancia por encima del cigüeñal, delante de una muñequilla y el otro detrás de esta. Según el concepto de la invención, el primer sensor de ángulo de rotación S1 y el segundo sensor de ángulo de rotación S2 y cualquier otro sensor de ángulo de rotación son magnetosensibles, es decir, sensores de ángulo de rotación magneto-resistivos. En principio, también podrían tratarse de sensores de ángulo de rotación magneto-elásticos.

En las Figs. 7a y 7b se muestran representaciones esquemáticas de un cigüeñal 10. En la figura 7a se indica que a una muñequilla se pueden asignar varios sensores de ángulo de rotación S1, S2 y S3. Cada uno de los sensores de ángulo de rotación S1, S2 y S3 mide un ángulo de rotación. Los ángulos de rotación de los sensores S1 y S2 están asignados al rango de distancia AB1 y los ángulos de rotación de los sensores S2 y S3 están asignados al rango de distancia AB2. Los rangos de distancia AB1 y AB2 se pueden asignar a la misma muñequilla para determinar un par específico para la muñequilla. Por tanto, el ángulo de rotación del sensor S2 está asignado a dos rangos de distancia. La determinación del par de giro puede basarse, por ejemplo, en un valor medio que se obtiene a partir de los respectivos desplazamientos angulares de los rangos de distancia AB1 y AB2. La figura 7b muestra que la misma disposición de ángulo de rotación también puede estar dispuesta a distancia del cigüeñal 10 para determinar un ángulo de rotación del cigüeñal 10 sin contacto. Según el concepto de la invención, el primer sensor de ángulo de rotación S1 y el segundo sensor de ángulo de rotación S2 y cualquier otro sensor de ángulo de rotación son magnetosensibles, es decir, sensores de ángulo de rotación magneto-resistivos. En principio, también podrían tratarse de sensores de ángulo de rotación magneto-elásticos.

Fig. 8 muestra una representación esquemática de un cigüeñal 10 con variables mostradas para calcular el par  $M_t$  del cigüeñal. Esto resulta de

$$M_t = (\varphi_1 - \varphi_0) \times (G \times I_{t1}) / L_1 = (\varphi_2 - \varphi_0) \times G \times ((I_{t1} / L_{21}) + (I_{t2} / L_{22})) ,$$

donde G es el módulo de corte del material del eje y la diferencia entre los ángulos de rotación  $(\varphi_1 - \varphi_0)$  y  $(\varphi_2 - \varphi_0)$ , dependiendo de la posición de los sensores, permite calcular el par interno o el par útil mediante un procesamiento de señales posterior. Las longitudes características del cigüeñal y la disposición se indican como  $L_1$ ,  $L_{21}$  y  $L_{22}$ . El momento de inercia torsional de la sección transversal del eje,  $I_t$ , se obtiene para los diferentes espesores  $d_1$  y  $d_2$  del cigüeñal utilizando  $I_{t1} = \pi d_1^4 / 32$  e  $I_{t2} = \pi d_2^4 / 32$ .

La Fig. 9 muestra un modelo de un cigüeñal. Las flechas verticales apuntan a los muñones de eje 95 del cigüeñal entre las muñequillas, que constan de las dos almas de muñequilla 70 y el pasador de muñequilla 80. Ventajosamente, en estos puntos en contacto con el cigüeñal o sin contacto, a distancia del cigüeñal, se pueden utilizar dos sensores GMR S1 y S2 de entre el número de sensores de ángulo de rotación, S1, S2, ..., Sn, cada uno adjunto delante y detrás de una muñequilla asignada a ella. Según el concepto de la invención, el primer sensor de ángulo de rotación S1 y el segundo sensor de ángulo de rotación S2 y otros sensores de ángulo de rotación son magnetosensibles, es decir, sensores de ángulo de rotación magneto-resistivos. En principio, también podrían tratarse de sensores de ángulo de rotación magneto-elásticos.

Por ejemplo, los sensores de ángulo de rotación S1 y S2 están asignados a una muñequilla, los sensores de ángulo de rotación S3 y S4 están asignados a una muñequilla, etc. A continuación, estos pueden determinar un desplazamiento angular para el rango de distancia asignado, a partir del cual el calculador de desplazamiento puede calcular los pares específicos de la muñequilla. Al inicio y/o al final del cigüeñal, se pueden conectar sensores alternativos, como, por ejemplo, bridas de par o de torsión, sensores magnetoestrictivos o galgas extensométricas.

En Fig. 10 se muestra una representación esquemática del desarrollo del proceso. La deformación del cigüeñal debida a la torsión durante el funcionamiento del motor de pistón se registra primero mediante sensores de ángulo de rotación midiendo un desplazamiento angular, VS1. Los sensores de ángulo de rotación están dispuestos en contacto con el cigüeñal o sin contacto, encima del mismo, y están espaciados de tal manera que entre ellos se encuentra un rango de distancia del cigüeñal sometido a carga. En particular, a una muñequilla del cigüeñal están asignados al menos un primer y un segundo sensor de ángulo de rotación del número de sensores de ángulo de rotación del sistema sensor de par, para medir un desplazamiento angular asignado a la muñequilla. Esto permite detectar una distribución de torsión a lo largo del cigüeñal. A continuación, el desplazamiento angular se transmite al calculador de desplazamiento VS2. La etapa de medir un desplazamiento angular asignado a la muñequilla y transmitirlo al calculador de desplazamiento se repite continuamente VS3 y en particular debería realizarse al menos una vez por ciclo de trabajo del cilindro. A partir del desplazamiento del ángulo asignado a la muñequilla, el calculador de desplazamiento calcula ahora un par asignado a la muñequilla VS4.

Por lo tanto, el par del cigüeñal se determina basándose en el desplazamiento angular medido, que se determina formando la diferencia entre el primer ángulo de rotación medido por el primer sensor de ángulo de rotación y el segundo ángulo de rotación medido por el segundo ángulo de sensor de rotación. Según el concepto de la invención, el primer sensor de ángulo de rotación S1 y el segundo sensor de ángulo de rotación S2 y cualquier otro sensor de ángulo de rotación son magnetosensibles, es decir, sensores de ángulo de rotación magneto-resistivos. En principio, también podrían tratarse de sensores de ángulo de rotación magneto-elásticos.

Dependiendo de la posición del primer y segundo sensor de ángulo de rotación, en particular de cada uno de los sensores de ángulo de rotación, se puede filtrar un par interno y/o un par útil.

En particular, en VS4.1 una primera parte del par está asignada a un par interno del cigüeñal debido a las fuerzas de encendido de cilindros individuales o pares de cilindros, y/o en VS4.2 una segunda parte del par está asignada a un par útil, en el que la primera y/o segunda parte del par se obtiene después de un filtro F o procesamiento de señal aguas abajo similar.

5 El par y/o el par interno y/o el par útil se transfieren luego a la unidad de control del motor (ECU) en VS5 como variables de entrada para el control del motor.

10 Esto permite el registro continuo de los datos de potencia o de rendimiento VS6 y puede usarse, por ejemplo, para el monitoreo continuo del estado del motor de pistón VS7. Esto permite la detección temprana de daños y el mantenimiento predictivo del motor de pistón. Además, la recopilación continua de datos de rendimiento o de potencia se puede utilizar para tareas de control, VS8. En particular, esto permite un mejor control de la cantidad inyectada, lo que reduce ventajosamente las emisiones contaminantes del motor de pistón y permite así mantener a largo plazo los valores límite de emisiones.

15

Lista de símbolos de referencia

	1000	Motor de pistón
5	10	Cigüeñal
	20	Pistón
	30	Cilindro
10	40	Biela
	50	Sistema sensor de par
15	60	Calculador de desplazamiento
	70	Alma de muñequilla
	75	Contrapeso
20	80	Pasador de muñequilla
	90	Muñequilla
25	95	Muñón de eje
	100	Motor
	AB	Rango de distancia
30	ECU	Unidad de control del motor
	A1 - An	Cilindro en el lado izquierdo del motor.
35	B1 - Bn	Cilindro en el lado izquierdo del motor.
	AS	Lado de entrada/salida
	F	Filtrar
40	KS	Lado de fuerza
	KGS	Lado opuesto de fuerza
45	VS1	Paso del proceso 1
	VS2	Paso 2 del proceso
	VS3	Paso del proceso 3
50	VS4	Paso del proceso 4
	VS4.1	Paso del proceso 4.1
55	VS4.2	Paso del proceso 4.2
	VS5	Paso del proceso 5
	VS6	Paso del proceso 6
60	VS7	Paso del proceso 7
	VS8	Paso del proceso 8

## ES 2 974 008 T3

	$M_t$	Par
5	$\varphi_{0,1,2}$	Ángulo de rotación
	$L_{1,21,22}$	Longitudes a lo largo del cigüeñal
	$d_{1,2}$	Espesores del cigüeñal
10	G	Módulo de corte del material.
	$I_{t1,t2}$	Momento de inercia de torsión de la sección transversal del eje.
15	S1, S2, S3... Sn	Sensores de ángulo de rotación magnetosensibles, en particular magneto-resistivos y/o magneto-elásticos

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para operar un motor de pistón (1000), en particular un motor de combustión interna, donde  
 - el motor de pistón (1000) tiene  
 5 - un número de cilindros (A1 - An, B1 - Bn), así como  
 - un cigüeñal (10) montado en cojinetes principales con muñones de cojinete, que además tiene un número de muñequillas y muñones de eje en secuencia alterna entre los muñones de cojinete, donde  
 - el cigüeñal (10) convierte un movimiento de al menos un pistón (20) en un cilindro (30) del número de cilindros (A1 - An, B1 - Bn) bajo absorción de carga por al menos una biela (40) unida a una de las muñequillas del  
 10 cigüeñal (10) en un movimiento de rotación, y  
 - el cigüeñal experimenta, debido a la absorción de carga, una deformación y/o tensión mecánica que provoca una torsión, y  
 - el motor de pistón (1000) tiene además un sistema sensor de par (50), asociado al cigüeñal (10), que tiene al menos un primer y un segundo sensor de ángulo de rotación (S1, S2), donde  
 15 en el procedimiento  
 - el primer y el segundo sensor de ángulo de rotación (S1, S2) son sensores magnetosensibles y forman parte de un número de sensores de ángulo de rotación (S1, S2,..., Sn) espaciados entre sí, y miden un primer y un segundo ángulo de rotación de la torsión directamente del cigüeñal (10) de tal manera que el primer (S1) y el segundo (S2) sensor de ángulo de rotación estén separados entre sí por un rango de distancia (AB) del cigüeñal (10), donde  
 20 el primer y segundo ángulo de rotación se miden en el rango de distancia (AB), y  
 - se determina un desplazamiento angular entre el primer y segundo ángulo de rotación (S1, S2), que resulta de la torsión del cigüeñal (10) sometido a carga,  
 caracterizado por que  
 - el rango de distancia (AB) entre el primer (S1) y el segundo (S2) sensor de ángulo de rotación a lo largo del cigüeñal  
 25 (10) está restringido a un rango parcial de la distancia entre los muñones de cojinete, y  
 - el rango parcial comprende un subgrupo del número de muñequillas y/o muñones de eje, de modo que el desplazamiento angular debe asignarse al subgrupo del número de muñequillas y muñones de eje, donde  
 - el rango de distancia (AB) está limitado a  
 - al menos un rango de muñones de eje, que comprende al menos un muñón de eje (95) entre una primera y  
 30 una segunda muñequilla, y/o  
 - al menos un rango de muñequillas, que comprende al menos una muñequilla (90), de manera que  
 - el desplazamiento angular se puede asignar al al menos un muñón de eje y/o a la al menos una muñequilla (90).
- 35 2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que el desplazamiento angular entre el primer y el segundo ángulo de rotación (S1, S2) se determina, en particular mediante un calculador de desplazamiento (60), de modo que se puede determinar un par asignado al rango de distancia (AB) y resultante de los ángulos de rotación primero y segundo medidos, donde el par asignado al rango de distancia (AB) se determina durante el funcionamiento en curso del motor de pistón (1000), en particular el par asignado al rango de distancia se determina repetidamente durante el funcionamiento en curso.
- 40 3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que el rango de distancia (AB) está limitado a  
 - un rango único de muñón de eje que comprende un único muñón de eje (95) entre una primera y una segunda muñequilla y/o  
 45 - un rango único de muñequilla que comprende una única muñequilla, de manera que  
 - el desplazamiento del ángulo se puede asignar al único muñón de eje (95) y/o a la única muñequilla.
4. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el número de sensores de ángulo de rotación (S1, S2,..., Sn) separados entre sí comprende varios pares de primeros (S1) y segundos (S2) sensores de ángulo de rotación entre los cojinetes principales, estando los sensores de ángulo de rotación de los pares separados entre sí a través de un rango único del cigüeñal (10), en particular del rango único de muñón de eje y/o del rango único de muñequilla.
- 50 5. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el par asignado al rango de distancia (AB) se determina repetidamente durante el funcionamiento en curso y para la determinación repetida del par asignado al rango de distancia (AB) del cigüeñal (10) se detecta continuamente una carga de torsión del cigüeñal (10) al menos una vez por ciclo de trabajo de un cilindro (30).
- 55 6. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que mediante una determinación repetida de un par asignado al rango de distancia (AB) mediante un dispositivo de control del motor (ECU) se realiza una regulación y/o monitorización de forma continua de la inyección de combustible, en particular de manera que se determina un par útil.
- 60

- 5 7. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la inyección de combustible se realiza mediante regulación y/o monitorización del cilindro, que está unido mediante una biela (40) a una muñequilla, que está comprendido en el rango de distancia (AB) o adyacente al rango de distancia (AB), en particular para reducir las emisiones contaminantes del motor de pistón (1000) y/o para observar permanentemente los valores límite de emisión.
- 10 8. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que mediante mediciones repetidas del par durante el funcionamiento en curso del motor de pistón (1000) se detecta un par asignado al rango de distancia a velocidades superiores a 2000 rpm, en particular superiores a 6000 rpm.
- 15 9. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que al menos los sensores de ángulo de rotación (S1, S2) asignados al rango de distancia (AB) no están en contacto con el cigüeñal (10), de modo que se puede realizar una determinación sin contacto del par asignado al rango de distancia.
- 20 10. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que  
 - el al menos un sensor magnetosensible es un sensor magneto-resistivo seleccionado del grupo de sensores que comprende: un sensor AMR, un sensor Hall, un sensor GMR y/o  
 - es un sensor magneto-elástico seleccionado del grupo de sensores que comprende: un sensor magnetoestrictivo y un sensor magnetoestrictivo inverso, y/o  
 - el sistema sensor de par (50) tiene uno o más sensores del grupo que comprende: una brida de par, un extensiómetro, un sensor de placa de campo, un sensor que tiene una capa magnetoóptica.
- 25 11. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el par del cigüeñal (10) se determina basándose en el desplazamiento angular que se determina formando una diferencia del primer ángulo de rotación medido por el primer sensor de ángulo de rotación (S1) y el segundo ángulo de rotación medido por el segundo sensor de ángulo de rotación (S2), en particular dependiendo de la ubicación del primer y segundo sensor de ángulo de rotación, en particular de los sensores de ángulo de rotación adicionales individuales.
- 30 12. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que  
 - se asigna una primera parte del par a un par interno del cigüeñal (10), y/o  
 - se asigna una segunda parte del par a un par útil.
- 35 13. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el par se asigna a una primera y/o segunda parte del par mediante un filtro (F) o un procesamiento de señales posterior similar, donde  
 - la primera parte del par, en particular el par interno, es utilizada para una monitorización o una detección temprana de daños, y/o donde  
 - la segunda parte del par, en particular el par útil, se utiliza para una regulación del motor.
- 40 14. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que  
 - se realizan mediciones de oscilación de torsión en el motor de pistón (1000) por medio del sistema sensor de par (50), y/o  
 - se transmiten los datos de potencia a una interfaz para la monitorización continua del motor de pistón (1000).
- 45 15. Un motor de pistón (1000), en particular un motor de combustión interna, preferiblemente un motor de pistón con una máquina eléctrica, en particular un generador y/o motor (100), preferiblemente como accionamiento híbrido, donde el motor de pistón (1000) tiene  
 - un número de cilindros (A1 - An, B1 - Bn), así como  
 - un cigüeñal (10) montado utilizando muñones de cojinete en cojinetes principales, que además tiene una serie de  
 50 muñequillas y muñones de eje en secuencia alterna entre los muñones de cojinete, donde  
 - el cigüeñal (10) convierte un movimiento de al menos un pistón (20) en un cilindro (30) del número de cilindros (A1 - An, B1 - Bn) con absorción de carga por al menos una biela (40) unida a una de las muñequillas del cigüeñal (10) en un movimiento de rotación, y  
 - el cigüeñal experimenta, debido a la absorción de carga, una deformación y/o tensión mecánica que provoca  
 55 una torsión, y  
 - el motor de pistón (1000) tiene además un sistema sensor de par (50), asociado al cigüeñal (10), que tiene al menos un primer y un segundo sensor de ángulo de rotación (S1, S2), donde  
 - el primer y el segundo sensor de ángulo de rotación (S1, S2) son sensores magnetosensibles y forman parte de un número de sensores de ángulo de rotación (S1, S2, ..., Sn) espaciados entre sí, con ellos se puede medir un primer y  
 60 un segundo ángulo de rotación de la torsión directamente del cigüeñal (10) de tal manera que el primer (S1) y el segundo (S2) sensor de ángulo de rotación estén separados entre sí en un rango de distancia (AB) del cigüeñal (10), donde el primer y segundo ángulo de rotación se pueden medir en el rango de distancia (AB), y

- se puede determinar un desplazamiento angular entre el primer y segundo ángulo de rotación (S1, S2), que resulta de la torsión del cigüeñal (10) sometido a carga,  
caracterizado por que

5 - el rango de distancia (AB) entre el primer (S1) y el segundo (S2) sensor de ángulo de rotación a lo largo del cigüeñal (10) está restringido a un rango parcial de la distancia entre los muñones de cojinete, y

- el rango parcial comprende un subgrupo del número de muñequillas y/o muñones de eje, de modo que el desplazamiento angular debe asignarse al subgrupo del número de muñequillas y muñones de eje, donde

- el rango de distancia (AB) está limitado a

10 - al menos un rango de muñones de eje, que comprende al menos un muñón de eje (95) entre una primera y una segunda muñequilla, y/o

- al menos un rango de muñequillas, que comprende al menos una muñequilla (90), de manera que

- el desplazamiento angular se puede asignar al al menos un muñón de eje y/o a la al menos una muñequilla (90).

15

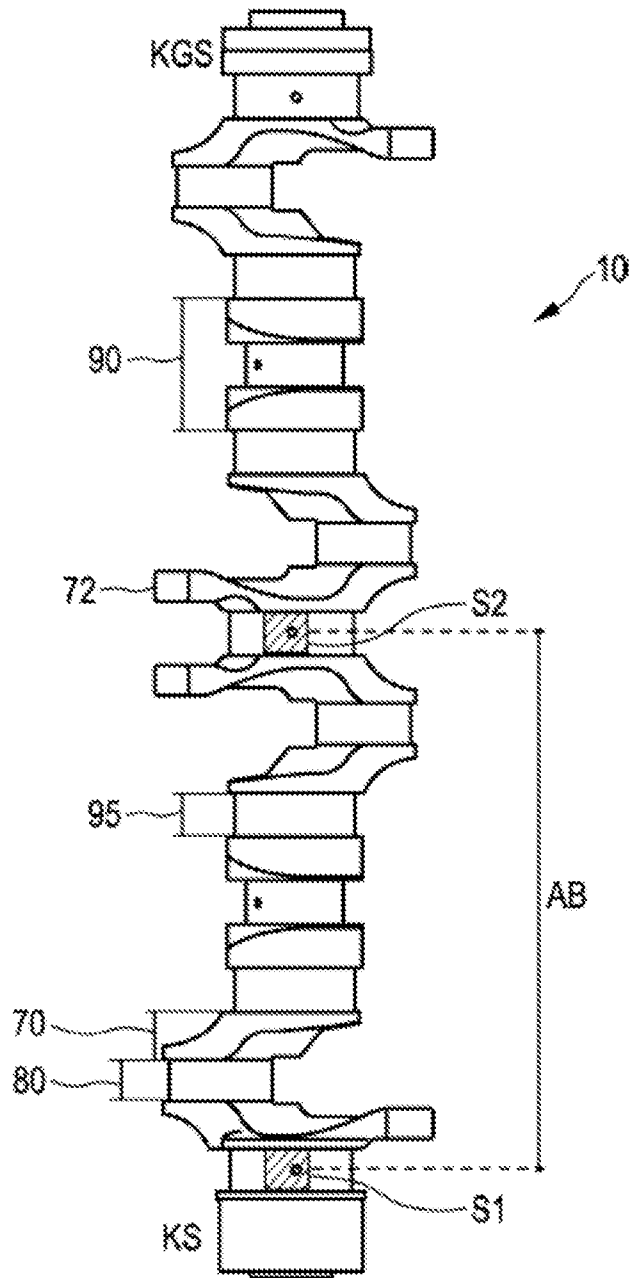


FIG. 1

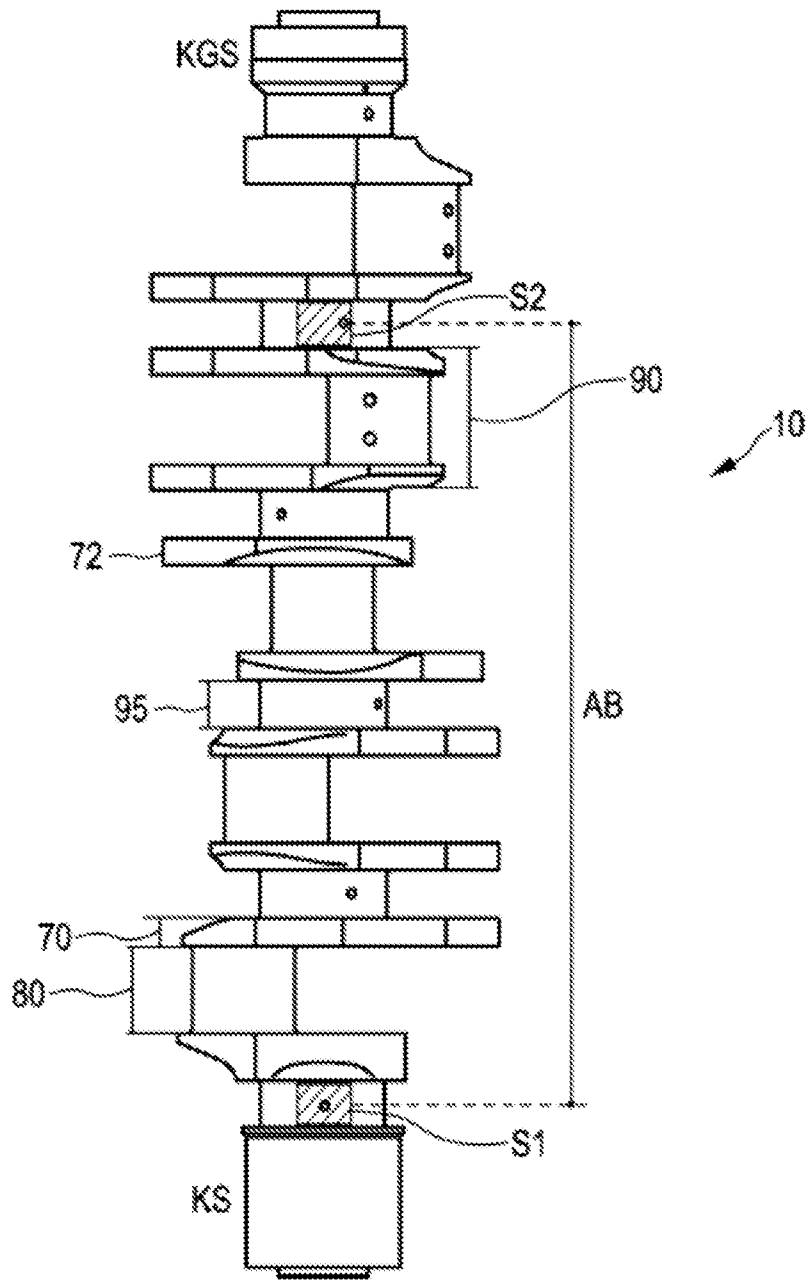


FIG. 2

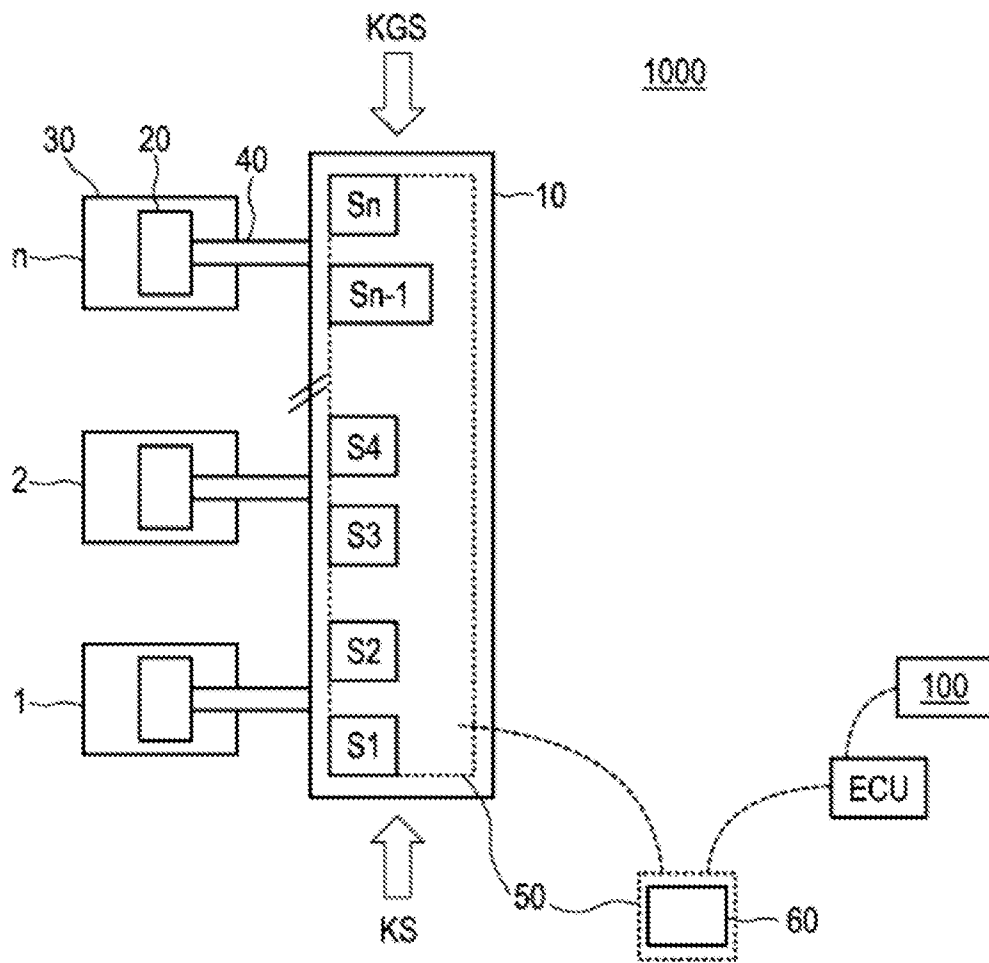


FIG. 3

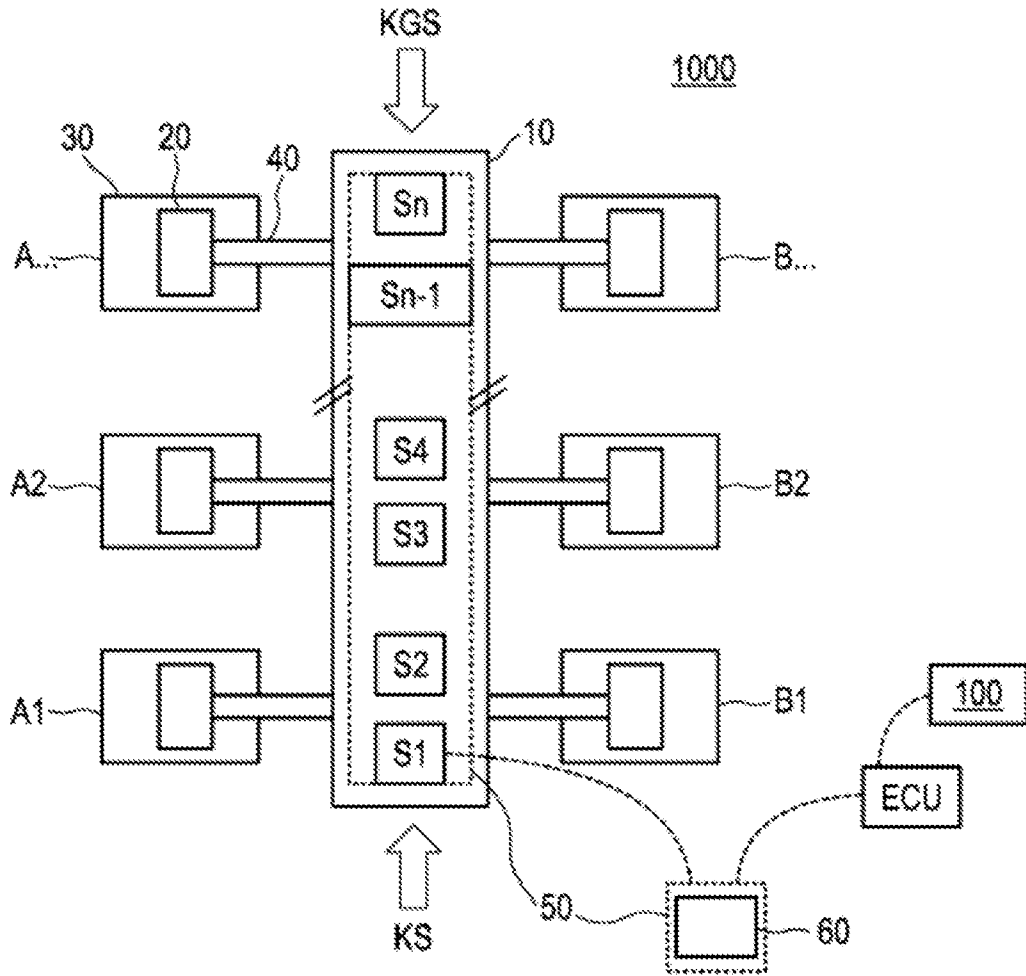


FIG. 4

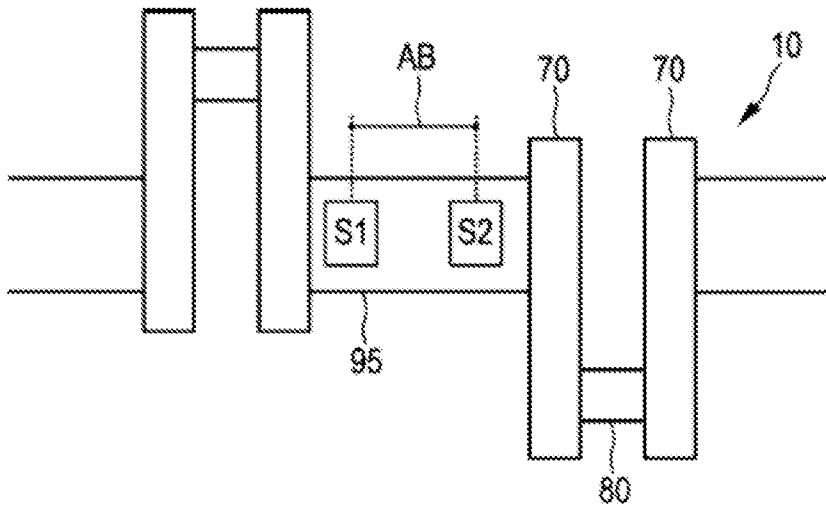


FIG. 5a

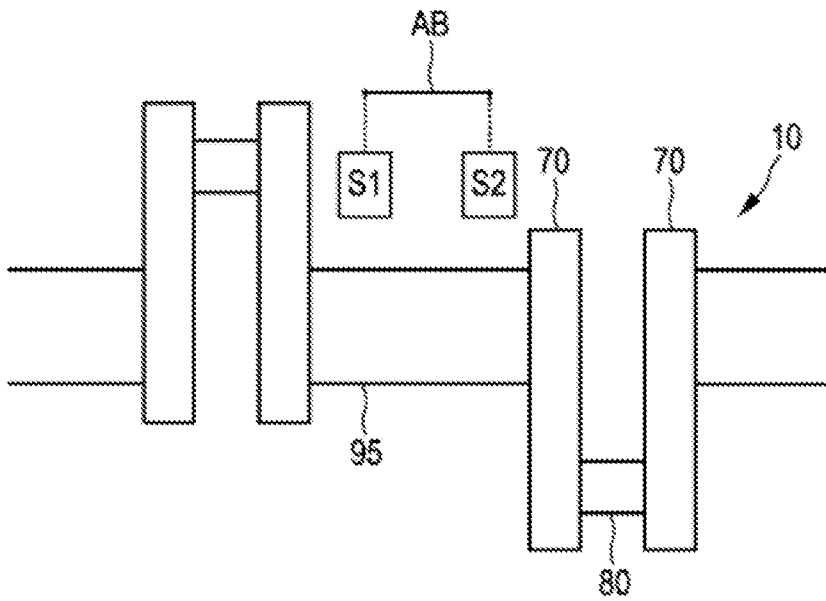


FIG. 5b

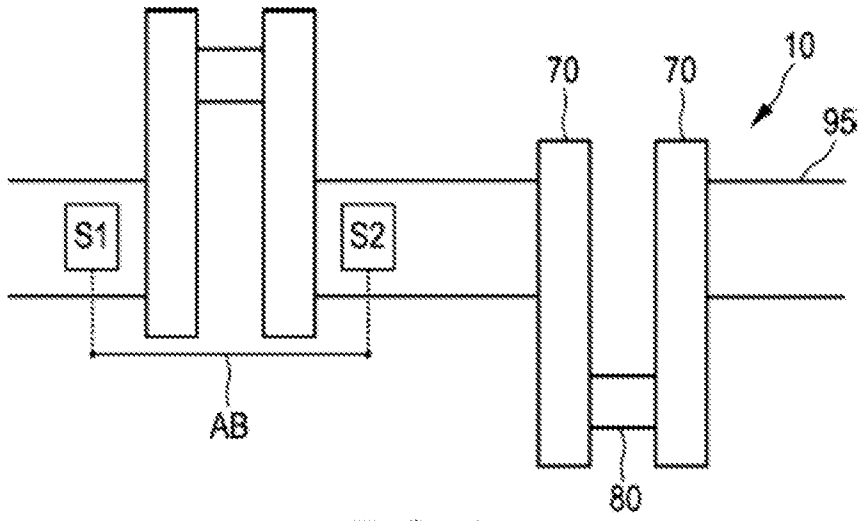


FIG. 6a

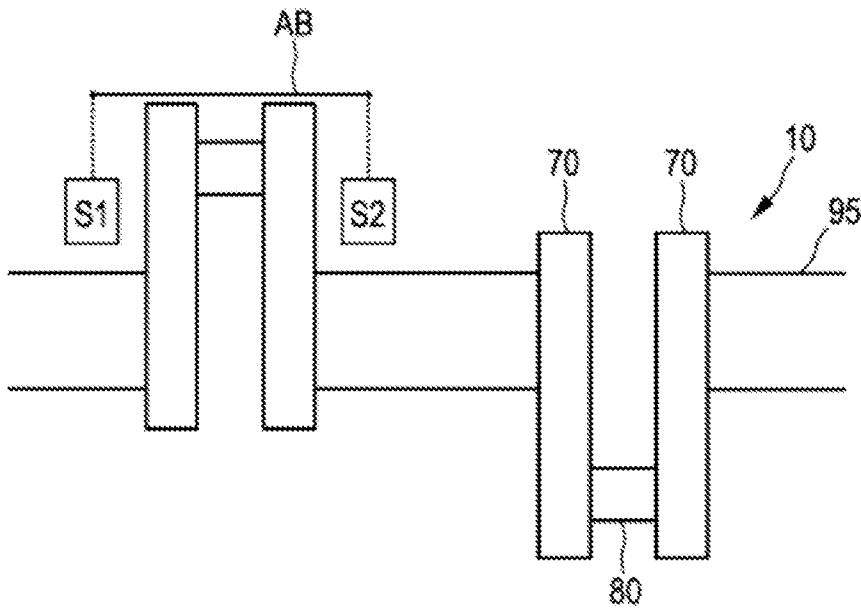


FIG. 6b

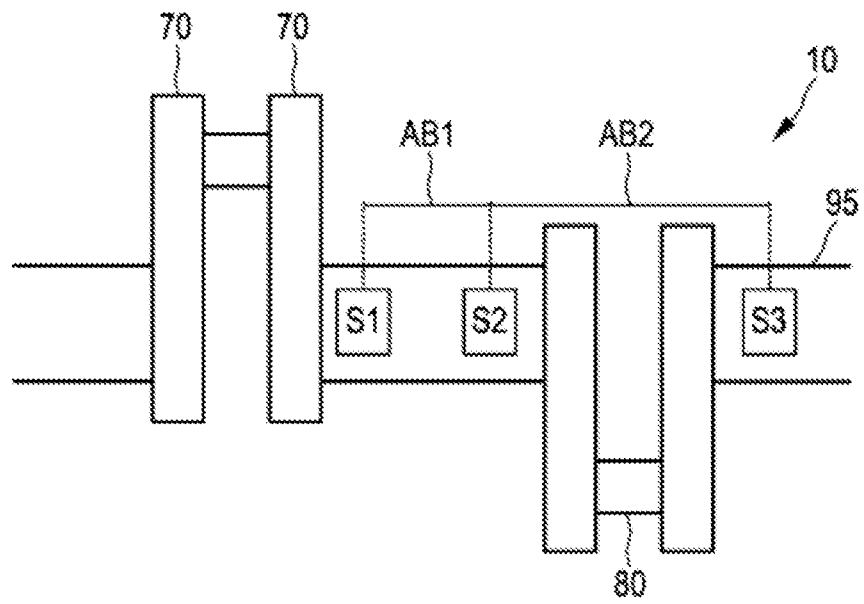


FIG. 7a

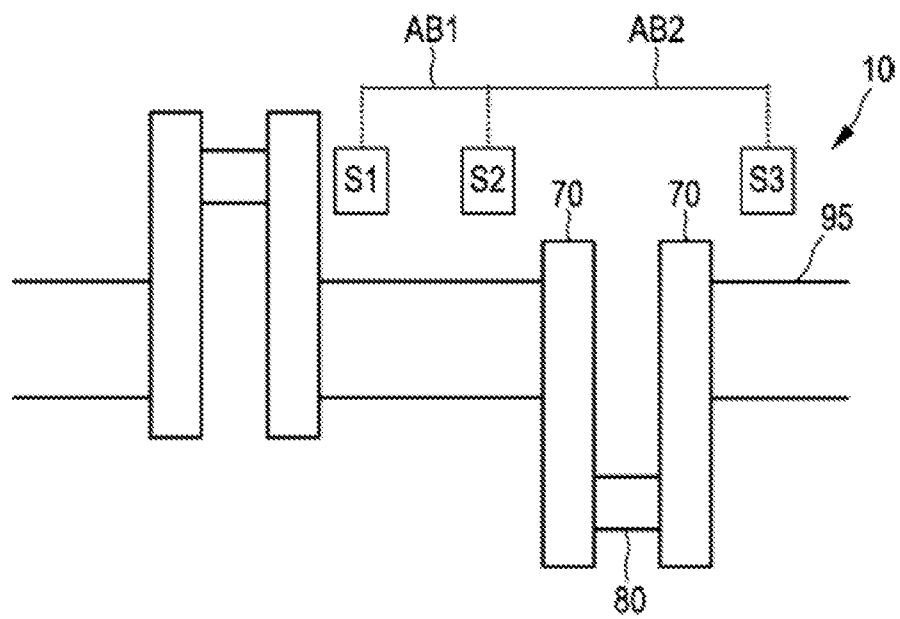


FIG. 7b

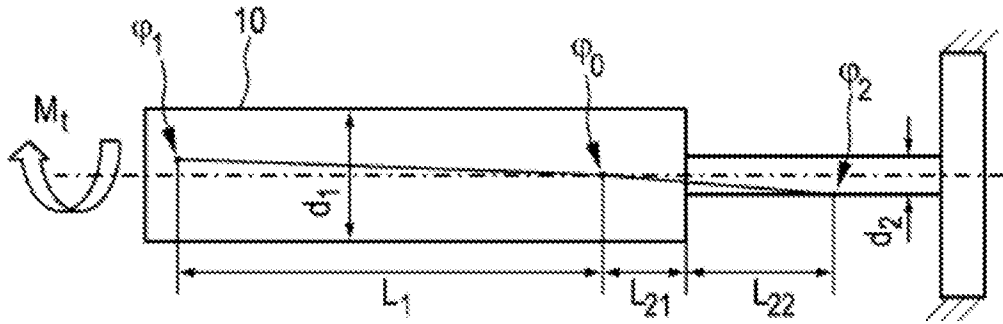


FIG. 8

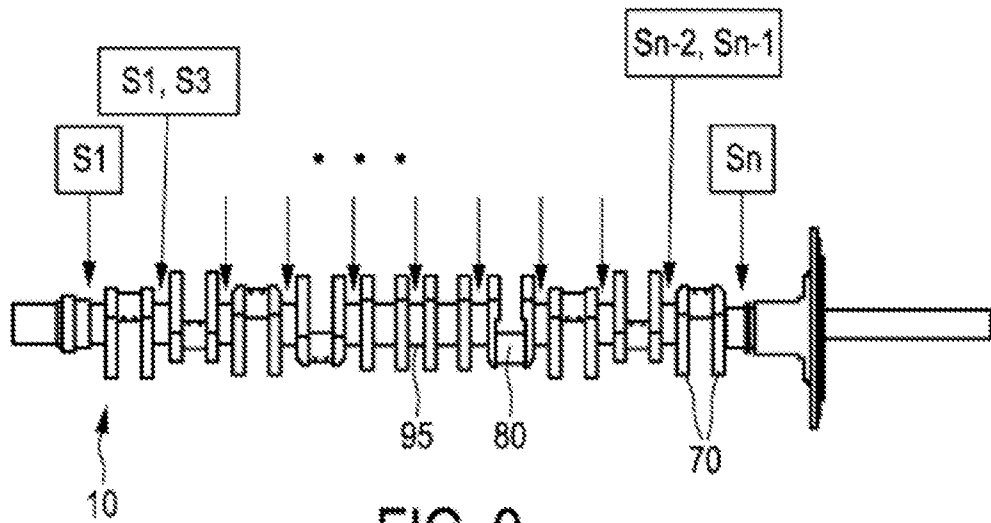


FIG. 9

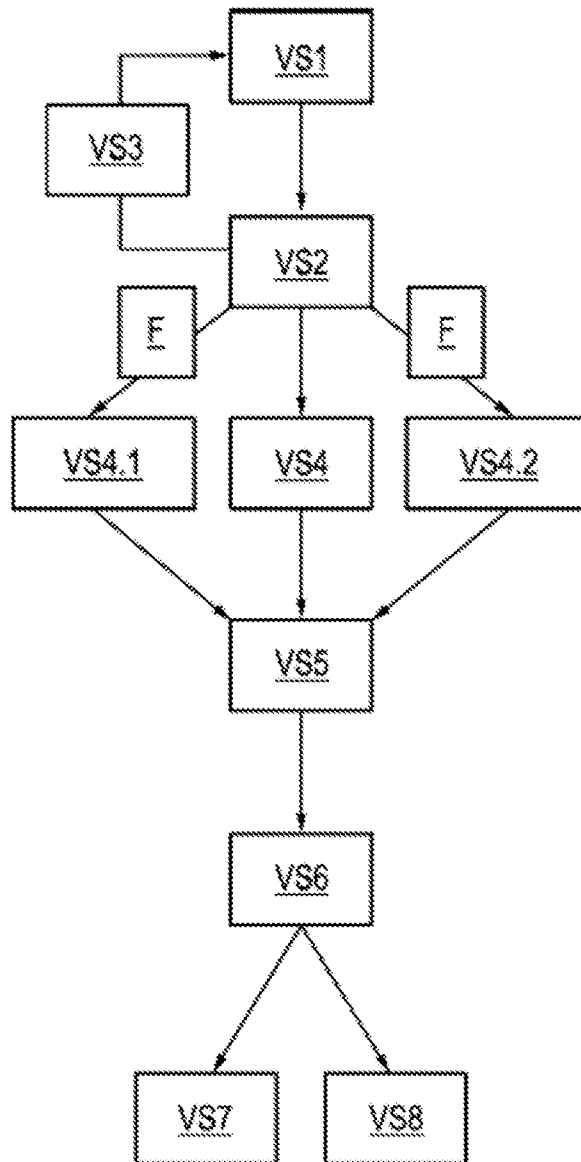


FIG. 10