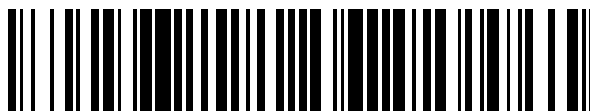


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 732 525**

51 Int. Cl.:

F16F 15/26 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.02.2017** E 17158179 (6)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.06.2019** EP 3225878

54 Título: **Motor de cuatro cilindros en línea**

30 Prioridad:

23.03.2016 JP 2016057893

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

22.11.2019

73 Titular/es:

**YAMAHA HATSUDOKI KABUSHIKI KAISHA
(100.0%)
2500 Shingai
Iwata-shi, Shizuoka 438-8501, JP**

72 Inventor/es:

SANO, TAKETOSHI

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 732 525 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

Motor de cuatro cilindros en línea

5 La presente invención se refiere a un motor de cuatro cilindros en línea, y más en concreto a un motor de cuatro cilindros en línea incluyendo un mecanismo para reducir la vibración producida por una componente secundaria de un par de inercia en base a presiones laterales de los pistones.

10 Los motores incluyen motores alternativos, por ejemplo. Un motor alternativo incluye un mecanismo de conversión de movimiento para convertir los movimientos alternativos del pistón a movimientos rotacionales del cigüeñal (denominado a continuación mecanismo pistón-cigüeñal).

15 Los motores alternativos incluyen motores de cuatro cilindros en línea. Un motor de cuatro cilindros en línea incluye cuatro cilindros dispuestos en la dirección axial del cigüeñal, donde los ejes de cilindro de los cuatro cilindros son paralelos uno a otro.

20 En un motor de cuatro cilindros en línea, cuando los pistones en los dos cilindros situados en los extremos de la serie de cilindros dispuestos en la dirección axial del cigüeñal están en el punto muerto superior, los pistones en los otros dos cilindros están en el punto muerto inferior. Esto reduce la vibración producida por la componente primaria de la fuerza de inercia generada cuando el mecanismo pistón-cigüeñal opera. Más específicamente, reduce la vibración producida por la componente primaria de la fuerza de inercia debido a la masa de movimiento alternativo del mecanismo pistón-cigüeñal que actúa como una fuerza traslacional, así como la vibración producida por la componente primaria de la misma fuerza de inercia que actúa como par.

25 Sin embargo, un motor de cuatro cilindros en línea con la disposición antes descrita no puede reducir la vibración producida por una componente secundaria de la fuerza de inercia generada cuando el mecanismo pistón-cigüeñal opera. En vista de esto, un motor de cuatro cilindros en línea incluye un mecanismo equilibrador para reducir la vibración producida por la componente secundaria de la fuerza de inercia generada cuando el mecanismo pistón-cigüeñal opera. Tal mecanismo equilibrador se describe en JPS567536 A, por ejemplo. EP 1 811 199 A1 describe que la vibración secundaria generada que acompaña al movimiento alternativo de un pistón de un motor de relación de compresión variable de enlaces múltiples puede ser eliminada efectivamente, incluso cuando la dirección de la vibración secundaria está inclinada con relación a un eje de cilindro, inclinando la dirección de una fuerza de excitación generada por un sistema equilibrador secundario de modo que coincida con la dirección de la vibración secundaria. El sistema equilibrador secundario se forma soportando lastres equilibradores en un par de ejes equilibradores que giran en direcciones opuestas una a otra, y, desplazando las fases de estos lastres equilibradores, la dirección de la fuerza de excitación generada puede inclinarse de modo que coincida con la dirección de vibración secundaria del motor.

40 JPS567536 A describe un motor de cuatro cilindros en línea incluyendo un dispositivo equilibrador secundario. Según esta publicación, el dispositivo equilibrador secundario incluye dos ejes equilibradores. Los dos ejes equilibradores están colocados paralelos al cigüeñal. Los dos ejes equilibradores giran a una velocidad rotacional el doble de la del cigüeñal. Los dos ejes equilibradores giran en direcciones opuestas. Los dos ejes equilibradores están situados en posiciones diferentes medidas en la dirección en la que se extienden los ejes de cilindro de los cuatro cilindros. Uno de los dos ejes equilibradores está situado más próximo a los pistones que el otro eje equilibrador. El otro eje equilibrador gira en la dirección opuesta a la dirección en la que gira el cigüeñal.

50 El dispositivo equilibrador secundario de la publicación anterior reduce no solamente la vibración producida por la componente secundaria de la fuerza de inercia generada cuando opera el mecanismo pistón-cigüeñal que actúa como una fuerza traslacional, sino también la vibración producida por una componente secundaria del par de inercia en base a las presiones laterales de los pistones (es decir, par de inercia secundario).

[Documento de Patente 1] JPS567536 A

55 Además, EP 0 284 430 A2 describe un motor de cuatro cilindros en línea incluyendo todas las características del preámbulo de la reivindicación 1.

60 En los últimos años se han propuesto motores que incluyen un cigüeñal que tiene un centro de eje desviado del eje de cilindro (tal motor se denominará a continuación motor desviado). En un motor desviado, según se ve en la dirección axial del cigüeñal, el centro de eje del cigüeñal no está situado en el eje de cilindro, y el ángulo de rotación del cigüeñal cuando el pistón se mueve desde su punto muerto superior a su punto muerto inferior es mayor que el ángulo de rotación del cigüeñal cuando el pistón se mueve desde su punto muerto inferior a su punto muerto superior. Así, el tiempo de expansión en un motor desviado es más largo que en un motor incluyendo un cigüeñal con un centro de eje situado en el eje de cilindro (denominado a continuación motor no desviado). Además, la reducción de la velocidad de pistón durante la expansión significa una mejora de la eficiencia térmica. Además, la inclinación de la biela cuando la presión de combustión es alta es menor, reduciendo la presión lateral del cilindro del

pistón, reduciendo por ello la pérdida. Como resultado, un motor desviado mejora la eficiencia del combustible en comparación con un motor no desviado.

5 Como es el caso de los motores convencionales, es preferible proporcionar un mecanismo equilibrador en tal motor desviado. Sin embargo, después de estudio e investigación, el autor de la presente invención halló que es difícil reducir la vibración producida por el par de inercia secundario en base a la presión lateral del pistón usando un mecanismo equilibrador convencional.

10 Un objeto de la presente invención es reducir la vibración generada por un par de inercia secundario producido por las presiones laterales de los pistones de un motor desviado de cuatro cilindros en línea. Según la presente invención dicho objeto se logra con un motor de cuatro cilindros en línea que tiene características de la reivindicación independiente 1. Se exponen realizaciones preferidas en las reivindicaciones dependientes.

15 Un motor de cuatro cilindros en línea según una realización incluye un mecanismo de conversión de movimiento y un mecanismo equilibrador. El mecanismo equilibrador reduce la vibración generada cuando el mecanismo de conversión de movimiento opera. El mecanismo de conversión de movimiento incluye un cigüeñal, cuatro pistones y cuatro bielas. Cada uno de los cuatro pistones está situado dentro de un cilindro asociado de los cuatro cilindros dispuestos en una dirección axial del cigüeñal. Cada una de las cuatro bielas está conectada basculantemente a un pistón asociado de los cuatro pistones. Las cuatro bielas están conectadas basculantemente al cigüeñal. El cigüeñal incluye cuatro muñequillas. Cada una de las cuatro muñequillas está montada en una biela asociada de las cuatro bielas. En el mecanismo de conversión de movimiento, los cuatro cilindros tienen ejes de cilindro que son paralelos uno a otro. En el mecanismo de conversión de movimiento, cuando dos muñequillas de las cuatro muñequillas situadas en los extremos de una serie de muñequillas dispuestas en la dirección axial del cigüeñal están en posiciones de referencia predeterminadas, las otras dos muñequillas están situadas en el lado de un centro de eje del cigüeñal que está enfrente de un lado con las posiciones de referencia. En el mecanismo de conversión de movimiento, según se ve en la dirección axial del cigüeñal, el centro de eje del cigüeñal no está situado en los ejes de cilindro de los cuatro cilindros. En el mecanismo de conversión de movimiento, por cada uno de los cuatro pistones, un ángulo de rotación del cigüeñal cuando el pistón se mueve desde un punto muerto superior a un punto muerto inferior es mayor que un ángulo de rotación del cigüeñal cuando el pistón se mueve desde el punto muerto inferior al punto muerto superior. El mecanismo equilibrador incluye un primer eje equilibrador y un segundo eje equilibrador. El primer eje equilibrador se coloca paralelo al cigüeñal y gira a una velocidad el doble de la velocidad a la que gira el cigüeñal. El segundo eje equilibrador se coloca paralelo al cigüeñal y gira a una velocidad el doble de la velocidad a la que gira el cigüeñal. El segundo eje equilibrador gira en una dirección opuesta a la dirección en la que gira el primer eje equilibrador. Se establece una línea de referencia que pasa a través del centro de eje del cigüeñal y es paralela a los ejes de cilindro de los cuatro cilindros según se ve en la dirección axial del cigüeñal. Según se ve en la dirección axial del cigüeñal, el primer eje equilibrador está situado en un lado de la línea de referencia que está enfrente de un lado con el segundo eje equilibrador. Según se ve en la dirección axial del cigüeñal, el primer eje equilibrador está situado en una posición diferente de la del segundo eje equilibrador medida en una dirección en la que se extiende la línea de referencia. El primer eje equilibrador incluye una primera parte desequilibradora. La primera parte desequilibradora genera una fuerza de inercia cuando el primer eje equilibrador gira. El segundo eje equilibrador incluye una segunda parte desequilibradora. La segunda parte desequilibradora genera una fuerza de inercia cuando el segundo eje equilibrador gira. Cada una de las muñequillas está insertada en un agujero formado en la biela asociada.

45 En el motor de cuatro cilindros en línea antes descrito (1) la distancia entre el centro de eje del primer eje equilibrador y la línea de referencia puede ser diferente de la distancia entre el centro de eje del segundo eje equilibrador y la línea de referencia medida en una dirección (es decir, la segunda dirección) perpendicular a la dirección (es decir, la primera dirección) en la que se extiende la línea de referencia según se ve en la dirección axial del cigüeñal con el fin de reducir la vibración generada por una componente secundaria de un par de inercia en base a presiones laterales de los cuatro pistones, o (2) la magnitud de la primera parte desequilibradora puede ser diferente de la magnitud de la segunda parte desequilibradora con el fin de reducir la vibración generada por una componente secundaria de un par de inercia en base a presiones laterales de los cuatro pistones. O se pueden aplicar (1) y (2).

55 La figura 1 es una vista lateral izquierda de una motocicleta según una realización.

La figura 2 es una vista esquemática del mecanismo pistón-cigüeñal.

60 La figura 3 es una vista esquemática de la estructura interna del motor.

La figura 4 es un gráfico que ilustra los pares de inercia en un motor no desviado.

La figura 5 es un gráfico que ilustra los pares de inercia en un motor desviado.

65 La figura 6 es un diagrama conceptual de un motor desviado.

La figura 7 es un diagrama conceptual que ilustra el par de inercia en un motor desviado.

La figura 8 es un diagrama conceptual que ilustra la relación entre las fuerzas de inercia generadas cuando los ejes equilibradores giran cuando el cigüeñal ha girado 45° desde la posición de referencia ($\theta=0^\circ$).

5 La figura 9 es un diagrama conceptual que ilustra la relación entre las fuerzas de inercia generadas cuando los ejes equilibradores giran cuando el cigüeñal ha girado 45° de la posición de referencia ($\theta=0^\circ$), donde los ejes equilibradores están dispuestos de forma diferente de los de la figura 8.

10 En los últimos años, se han propuesto motores desviados para mejorar la eficiencia del combustible. De forma similar a los motores convencionales, es preferible proporcionar un mecanismo equilibrador en un motor desviado. Más específicamente, en un motor desviado de cuatro cilindros en línea, es preferible proporcionar un mecanismo equilibrador para reducir la vibración producida por la componente secundaria de la fuerza de inercia generada cuando el mecanismo pistón-cigüeñal opera. Sin embargo, después de estudio e investigación, el autor de la
15 presente invención halló que, en un mecanismo equilibrador convencional, es difícil reducir parte de la vibración producida por la componente secundaria de la fuerza de inercia generada cuando el mecanismo pistón-cigüeñal opera, es decir, la vibración producida por el par de inercia secundario en base a las presiones laterales de los pistones.

20 Teniendo esto en mente, el autor de la presente invención investigó el par de inercia secundario producido por las presiones laterales de los pistones. El autor de la presente invención halló que, en un motor desviado, la fase del par de inercia secundario producido por las presiones laterales de los pistones está desplazada de la de un motor no desviado. La presente invención se realizó en base a este hallazgo.

25 Un vehículo de montar a horcajadas según una realización se describirá ahora con referencia a los dibujos. En la presente realización, una motocicleta se describirá como un ejemplo del vehículo de montar a horcajadas. Las partes idénticas o correspondientes en todos los dibujos llevan los mismos caracteres, y no se repetirá su descripción.

30 1. Construcción general del vehículo

La figura 1 es una vista lateral izquierda de una motocicleta 10 según una realización. Con referencia a la figura 1, la motocicleta 10 incluye un bastidor de vehículo 12 y un motor 14.

35 Una horquilla delantera 16 está montada en la porción delantera del bastidor de vehículo 12. La horquilla delantera 16 soporta rotativamente una rueda delantera 18F.

Un brazo trasero 20 está montado en el bastidor de vehículo 12. El brazo trasero 20 soporta rotativamente una
40 rueda trasera 18R.

El bastidor de vehículo 12 soporta un motor 14. Cuando se transmite potencia del motor 14 a la rueda trasera 18R, la rueda trasera 18R gira.

45 2. Motor

El motor 14 es un motor de cuatro cilindros en línea. El motor 14 incluye cuatro cilindros dispuestos en la dirección izquierda-derecha con respecto al vehículo (es decir, la dirección perpendicular a la superficie del papel de la figura 1). El motor 14 incluye un mecanismo pistón-cigüeñal 14A (véase la figura 2).

50 2-1 Mecanismo pistón-cigüeñal

El mecanismo pistón-cigüeñal 14A se describirá con referencia a la figura 2. El mecanismo pistón-cigüeñal 14A incluye un cigüeñal 30, cuatro pistones 32 y cuatro bielas 34.

55 Cada uno de los cuatro pistones 32 está situado dentro del cilindro asociado de los cuatro cilindros 36 dispuestos en la dirección axial del cigüeñal 30. Cada pistón 32 alterna en el eje central del cilindro asociado 36 (denominado a continuación eje de cilindro 36L). Los ejes de cilindro 36L de los cuatro cilindros 36 son paralelos uno a otro. Cada una de las cuatro bielas 34 está conectada basculantemente al pistón asociado de los cuatro pistones 32. Las cuatro bielas 34 están conectadas basculantemente al cigüeñal 30. El cigüeñal 30 incluye cuatro muñequillas 38. Cada una
60 de las cuatro muñequillas 38 está montada en la biela asociada de las cuatro bielas 34. Más específicamente, una muñequilla 38 está insertada en un agujero formado en la biela asociada 34. Así, cada muñequilla 38 soporta basculantemente la biela asociada 34.

65 En el mecanismo pistón-cigüeñal 14A, cuando las dos muñequillas 38 situadas en los extremos de la serie de muñequillas dispuestas en la dirección axial del cigüeñal 30 (denominadas a continuación muñequillas 38A y 38D) están situadas en posiciones de referencia, las otras dos muñequillas 38 (denominadas a continuación muñequillas

38B y 38C) están situadas en el lado del centro de eje 30C del cigüeñal 30 (véase la figura 3) que está enfrente del lado con las posiciones de referencia.

Las posiciones de referencia se describirán con referencia a la figura 3. Una posición de referencia es uno de los dos puntos de intersección del lugar de la muñequilla 38 formado cuando el cigüeñal 30 gira y una línea de referencia L1, estando el punto de intersección más próximo al pistón 32. La línea de referencia L1 es una línea recta que pasa a través del centro de eje 30C del cigüeñal 30 y es paralela al eje de cilindro 36L del cilindro asociado de los cuatro cilindros 36 según se ve en la dirección axial del cigüeñal 30. La posición en el lado del centro de eje 30C del cigüeñal 30 que está enfrente de la posición de referencia es uno de los puntos de intersección que está más lejos del pistón 32 que la posición de referencia.

En el mecanismo pistón-cigüeñal 14A, los movimientos alternativos del pistón 32 son convertidos a movimientos de rotación del cigüeñal 30. Es decir, el mecanismo pistón-cigüeñal 14A opera como un mecanismo de conversión de movimiento.

En el mecanismo pistón-cigüeñal 14A, como se representa en la figura 3, el centro de eje 30C del cigüeñal 30 no está situado en el eje de cilindro 36L según se ve en la dirección axial del cigüeñal 30. Así, el ángulo de rotación del cigüeñal 30 cuando el pistón 32 se mueve desde su punto muerto superior a su punto muerto inferior es mayor que el ángulo de rotación del cigüeñal 30 cuando el pistón 32 se mueve desde el punto muerto inferior al punto muerto superior. Es decir, el motor 14 es un motor desviado.

Aunque la figura 3 solamente representa la relación posicional entre el eje de cilindro 36L de un cilindro 36 y el centro de eje 30C del cigüeñal 30, en la presente realización, el cigüeñal 30C está en la relación posicional representada en la figura 3 con respecto a cualquiera de los ejes de cilindro 36L. Es decir, el centro de eje 30C del cigüeñal 30 está distante de cada eje de cilindro 36L la distancia D1 medida en la dirección perpendicular al eje de cilindro 36L (denominada a continuación dirección x).

2-2 Mecanismo equilibrador

Como se representa en la figura 3, el motor 14 incluye, además del mecanismo pistón-cigüeñal 14A, un mecanismo equilibrador 14B. El mecanismo equilibrador 14B es un mecanismo equilibrador de doble eje. El mecanismo equilibrador 14B incluye un eje equilibrador 40 y un eje equilibrador 42.

El eje equilibrador 40 está colocado paralelo al cigüeñal 30. El eje equilibrador 40 tiene un centro de eje 40C. El eje equilibrador 40 es rotativo alrededor del centro de eje 40C. El eje equilibrador 40 puede girar en la misma dirección que el cigüeñal 30, o girar en la dirección opuesta a la del cigüeñal 30. En la implementación representada en la figura 3, el eje equilibrador 40 gira en la misma dirección que el cigüeñal 30. El eje equilibrador 40 gira a una velocidad el doble de la del cigüeñal 30. Por ejemplo, el eje equilibrador 40 puede girar conjuntamente con el cigüeñal 30 cuando un engranaje dispuesto en el eje equilibrador 40 engancha con un engranaje dispuesto en el cigüeñal 30 mediante un engranaje dispuesto en un eje intermedio dispuesto entremedio, no representado. Alternativamente, el eje equilibrador 40 puede girar conjuntamente con el cigüeñal 30 usando una cadena enrollada alrededor de un piñón dispuesto en el eje equilibrador 40 y un piñón dispuesto en el cigüeñal 30, por ejemplo.

El eje equilibrador 40 incluye una parte desequilibradora 40A. La parte desequilibradora 40A genera una fuerza de inercia cuando el eje equilibrador 40 gira.

El eje equilibrador 42 está colocado paralelo al cigüeñal 30. El eje equilibrador 42 tiene un centro de eje 42C. El eje equilibrador 42 es rotativo alrededor del centro de eje 42C. El eje equilibrador 42 gira en la dirección opuesta a la del eje equilibrador 40. En la implementación representada en la figura 3, el eje equilibrador 42 gira en la dirección opuesta a la del cigüeñal 30. El eje equilibrador 42 gira a una velocidad el doble de la del cigüeñal 30. El eje equilibrador 42 puede girar conjuntamente con el cigüeñal 30 cuando un engranaje dispuesto en el eje equilibrador 42 engancha con un engranaje dispuesto en el cigüeñal 30, por ejemplo.

El eje equilibrador 42 incluye una parte desequilibradora 42A. La parte desequilibradora 42A genera una fuerza de inercia cuando el eje equilibrador 42 gira.

El eje equilibrador 42 está situado en el lado de la línea de referencia L1 que está enfrente del lado con el eje equilibrador 40. El eje equilibrador 42 está situado en una posición diferente de la del eje equilibrador 40 medida en la dirección en la que la línea de referencia L1 se extiende, es decir, la dirección en la que el eje de cilindro 36L se extiende (denominada a continuación dirección y). Es decir, el centro de eje 42C del eje equilibrador 42 y el centro de eje 40C del eje equilibrador 40 están situados en posiciones diferentes medidas en la dirección y.

2-3 Vibración producida por fuerza de inercia primaria

El motor 14 incluye el mecanismo pistón-cigüeñal 14A. En el mecanismo pistón-cigüeñal 14A, cuando las dos muñequillas 38A y 38D situadas en los extremos de la serie de muñequillas dispuestas en la dirección axial del

cigüeñal 30 están en sus posiciones de referencia, las otras dos muñequillas 38B y 38C están situadas en el lado del centro de eje 30C del cigüeñal 30 que está enfrente del lado con las posiciones de referencia. Esto reduce la vibración producida por la componente primaria de la fuerza de inercia debido a la masa de movimiento alternativo del mecanismo pistón-cigüeñal 14A (es decir, fuerza de inercia primaria).

5 2-4 Vibración producida por par de inercia secundario basado en las presiones laterales de los pistones

La figura 4 ilustra los pares de inercia debidos a la presión lateral de un pistón en un motor no desviado. La figura 5 ilustra los pares de inercia debidos a la presión lateral de un pistón en un motor desviado, donde la cantidad de desviación es aproximadamente 1/6 del radio de manivela. Como se representa en las figuras 4 y 5, en el motor manivela desviado, la fase del par de inercia secundario debido a la presión lateral del pistón está desplazada de con respecto a la del motor no desviado. Las razones de ello son las siguientes.

15 El par de inercia secundario debido a la presión lateral de los pistones es producido por la fuerza de inercia primaria debida a la masa de movimiento alternativo (es decir, una fuerza traslacional) y la inclinación de la biela. En el motor desviado, la fase de la fuerza de inercia primaria y la fase del ángulo de inclinación de la biela están desplazados. Como tal, la fase del par de inercia secundario también está desplazada.

20 Como se ha explicado anteriormente, el motor 14 es un motor desviado. Así, en el motor 14, la fase del par de inercia secundario producido por las presiones laterales de los pistones está desplazada.

El motor 14 incluye el mecanismo equilibrador 14B. Como tal, como se ha explicado anteriormente, la vibración producida por el par de inercia secundario en base a las presiones laterales de los pistones se reduce incluso aunque la fase del par de inercia secundario producido por las presiones laterales de los pistones esté desplazada.

25 Se describirán los parámetros del mecanismo equilibrador 14B para reducir la vibración producida por el par de inercia secundario en base a las presiones laterales de los pistones. El mecanismo equilibrador 14B se pone mediante los pasos 1 y 2 siguientes.

30 Paso 1: equilibrar la fuerza de inercia generada cuando el mecanismo equilibrador 14B opera con la componente secundaria de la fuerza de inercia debido a la masa de movimiento alternativo del mecanismo pistón-cigüeñal 14A (es decir, una fuerza traslacional); y

35 Paso 2: equilibrar la fuerza de inercia generada cuando el mecanismo equilibrador 14B opera con el par de inercia secundario producido por las presiones laterales de los pistones.

Paso 1

40 La componente secundaria de la fuerza de inercia debido a la masa de movimiento alternativo en un motor desviado se describirá en primer lugar con referencia a la figura 6. Con referencia a la figura 6, se establece la relación ilustrada por la ecuación siguiente de la fórmula 1 para la cantidad de desviación e, la longitud de la biela l, el radio de manivela r, el ángulo de rotación de calado θ , y el ángulo de basculamiento de la biela ϕ .

[Fórmula 1]

45
$$e + l \cdot \sin \phi = r \cdot \sin \theta \quad (1)$$

La cantidad de desviación e es la suma de: (A) la cantidad de desviación del centro de eje del cigüeñal con relación a una línea recta que pasa a través del centro de un cilindro medida en la dirección radial y que se extiende en la dirección axial del cilindro (es decir, eje de cilindro); y (B) la cantidad de desviación del centro de eje del pasador de pistón con relación a esta línea recta. En la descripción siguiente, la cantidad de desviación e es la cantidad de desviación de (A) solamente. Consiguientemente, la figura 6 a la que se hará referencia ilustra la cantidad de desviación e que es la cantidad de desviación de (A) solamente. En un motor en el que el centro de eje del cigüeñal está situado en el eje de cilindro, la cantidad de desviación adecuada es e=0. El ángulo de rotación de calado θ se mide con relación al valor obtenido cuando la muñequilla está en la posición de referencia.

La redistribución de la ecuación anterior de la fórmula 1 da la ecuación siguiente de la fórmula 2.

[Fórmula 2]

60
$$\sin \phi = \frac{r}{l} \cdot \sin \theta - \frac{e}{l} \quad (2)$$

Debido a la proposición de Pitágoras, se establece la ecuación siguiente de la fórmula 3.

[Fórmula 3]

5

$$\sin^2 \phi + \cos^2 \phi = 1 \quad (3)$$

A partir de las ecuaciones anteriores de las fórmulas 2 y 3 se deriva la ecuación siguiente de la fórmula 4.

[Fórmula 4]

10

$$\cos \phi = \sqrt{1 - \left(\frac{r}{l} \cdot \sin \theta - \frac{e}{l}\right)^2} \quad (4)$$

La ecuación anterior de la fórmula 4 se desarrolla usando el teorema del binomio en las condiciones siguientes de las fórmulas 5 a 8.

15

[Fórmula 5]

$$(a + b)^n = \sum_{k=0}^n \frac{n!}{k!(n-k)!} \cdot a^{n-k} \cdot b^k = a^n + n \cdot a^{n-1} \cdot b + \frac{n(n-1)}{2 \cdot 1} \cdot a^{n-2} \cdot b^2 + \dots \quad (5)$$

20

[Fórmula 6]

$$a = 1 \quad (6)$$

[Fórmula 7]

25

$$b = - \left(\frac{r}{l} \cdot \sin \theta - \frac{e}{l}\right)^2 \quad (7)$$

[Fórmula 8]

30

$$n = \frac{1}{2} \quad (8)$$

Como resultado, la ecuación anterior de la fórmula 4 es como sigue.

[Fórmula 9]

35

$$\cos \phi = 1 - \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{r}{l} \cdot \sin \theta - \frac{e}{l}\right)^2 - \frac{1}{8} \cdot \left(\frac{r}{l} \cdot \sin \theta - \frac{e}{l}\right)^4 + \dots \quad (9)$$

Los términos primero a tercero son extraídos de la ecuación anterior de la fórmula 9 y los términos segundo y tercero son desarrollados y ordenados, lo que da la ecuación siguiente de la fórmula 10.

40

[Fórmula 10]

$$\cos \phi \approx 1 - \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{e}{l}\right)^2 - \frac{1}{8} \cdot \left(\frac{e}{l}\right)^4 + \frac{r \cdot e}{l^2} \cdot \sin \theta + \frac{r \cdot e^3}{2l^4} \cdot \sin \theta - \frac{r^2}{2l^2} \cdot \sin^2 \theta - \frac{3r^2 \cdot e^2}{4l^4} \cdot \sin^2 \theta + \frac{r^3 \cdot e}{2l^4} \cdot \sin^3 \theta - \frac{r^4}{8l^4} \cdot \sin^4 \theta \quad (10)$$

Con referencia a la figura 6, el desplazamiento x_p del pistón 32 se expresa por la ecuación siguiente de la fórmula 11.

5

[Fórmula 11]

$$x_p = r \cdot \cos \theta + l \cdot \cos \phi \quad (11)$$

El cálculo del desplazamiento x_p del pistón 32 usando las ecuaciones anteriores de las fórmulas 10 y 11 da la ecuación siguiente de la fórmula 12.

[Fórmula 12]

$$x_p \approx r \cdot \left\{ \frac{l}{r} - \frac{e^2}{2l \cdot r} - \frac{e^4}{8l^3 \cdot r} + \cos \theta + \left(\frac{e}{l} + \frac{e^3}{2l^3} \right) \cdot \sin \theta - \frac{r}{2l} \cdot \left(1 + \frac{3e^2}{2l^2} \right) \cdot \sin^2 \theta + \frac{r^2 \cdot e}{2l^3} \cdot \sin^3 \theta - \frac{r^3}{8l^3} \cdot \sin^4 \theta \right\} \quad (12)$$

15

Ordenando la ecuación anterior de la fórmula 12 usando la fórmula de producto-suma de funciones trigonométricas se obtiene la ecuación siguiente de la fórmula 13.

[Fórmula 13]

$$x_p \approx r \cdot \left(\frac{l}{r} - \frac{e^2}{2l \cdot r} - \frac{e^4}{8l^3 \cdot r} - \frac{r}{4l} - \frac{3r \cdot e^2}{8l^3} - \frac{3r^3}{64l^3} \right) + r \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{e}{l} + \frac{3r^2 \cdot e}{8l^3} + \frac{e^3}{2l^3} \right)^2} \cdot \cos \left(\theta - \tan^{-1} \left(\frac{8l^2 \cdot e + 3r^2 \cdot e + 4e^3}{8l^3} \right) \right) + r \cdot \left(\frac{r}{4l} + \frac{r^3}{16l^3} + \frac{3r \cdot e^2}{8l^3} \right) \cdot \cos 2\theta - r \cdot \frac{r^2 \cdot e}{8l^3} \cdot \sin 3\theta - r \cdot \frac{r^3}{64l^3} \cdot \cos 4\theta \quad (13)$$

La velocidad del pistón 32, v_p , puede determinarse diferenciando el desplazamiento x_p con respecto al tiempo. Si $\theta = \omega t$ en la ecuación anterior de la fórmula 13, la velocidad v_p se representa por la ecuación siguiente de la fórmula 14.

25

[Fórmula 14]

$$\begin{aligned}
 v_p &\approx -r\omega \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{e}{l} + \frac{3r^2 \cdot e}{8l^3} + \frac{e^3}{2l^3}\right)^2} \cdot \sin\left(\omega t - \tan^{-1}\left(\frac{8l^2 \cdot e + 3r^2 \cdot e + 4e^3}{8l^3}\right)\right) \\
 &- r\omega \cdot \left(\frac{r}{2l} + \frac{r^3}{8l^3} + \frac{3r \cdot e^2}{4l^3}\right) \cdot \sin 2\omega t \\
 &- r\omega \cdot \frac{3r^2 \cdot e}{8l^3} \cdot \cos 3\omega t + r\omega \cdot \frac{r^3}{16l^3} \cdot \sin 4\omega t \quad (14)
 \end{aligned}$$

La aceleración del pistón 32, a_p , puede determinarse diferenciando la velocidad v_p con respecto al tiempo. Diferenciando la ecuación anterior de la fórmula 14 con respecto al tiempo se obtiene la ecuación siguiente de la fórmula 15.

5

[Fórmula 15]

$$\begin{aligned}
 a_p &\approx -r\omega^2 \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{e}{l} + \frac{3r^2 \cdot e}{8l^3} + \frac{e^3}{2l^3}\right)^2} \cdot \cos\left(\omega t - \tan^{-1}\left(\frac{8l^2 \cdot e + 3r^2 \cdot e + 4e^3}{8l^3}\right)\right) \\
 &- r\omega^2 \cdot \left(\frac{r}{l} + \frac{r^3}{4l^3} + \frac{3r \cdot e^2}{2l^3}\right) \cdot \cos 2\omega t \\
 &+ r\omega^2 \cdot \frac{9r^2 \cdot e}{8l^3} \cdot \sin 3\omega t + r\omega^2 \cdot \frac{r^3}{4l^3} \cdot \cos 4\omega t \quad (15)
 \end{aligned}$$

10

La fuerza de inercia se obtiene multiplicando masa por aceleración. En base a la ecuación anterior de la fórmula 15, la fuerza de inercia debido a la masa de movimiento alternativo se representa por la ecuación siguiente de la fórmula 16.

15 [Fórmula 16]

$$\begin{aligned}
 \frac{F}{mr\omega^2} = \frac{-a_p}{r\omega^2} &\approx \sqrt{1 + \left(\frac{e}{l} + \frac{3r^2 \cdot e}{8l^3} + \frac{e^3}{2l^3}\right)^2} \cdot \cos\left(\omega t - \tan^{-1}\left(\frac{8l^2 \cdot e + 3r^2 \cdot e + 4e^3}{8l^3}\right)\right) \\
 &+ \left(\frac{r}{l} + \frac{r^3}{4l^3} + \frac{3r \cdot e^2}{2l^3}\right) \cdot \cos 2\omega t \\
 &- \frac{9r^2 \cdot e}{8l^3} \cdot \sin 3\omega t - \frac{r^3}{4l^3} \cdot \cos 4\omega t \quad (16)
 \end{aligned}$$

En base a la ecuación anterior de la fórmula 16, la componente secundaria de la fuerza de inercia debida a la masa de movimiento alternativo (es decir, fuerza de inercia secundaria) puede ser expresada por la ecuación siguiente de la fórmula 17.

20

[Fórmula 17]

$$F_2 = \left(\frac{r}{l} + \frac{r^3}{4l^3} + \frac{3r \cdot e^2}{2l^3} \right) \cdot m r \omega^2 \cdot \cos 2\omega t \quad (17)$$

La ecuación anterior de la fórmula 17 se ordena usando las ecuaciones de las fórmulas 18 y 19. R en la ecuación de la fórmula 18 siguiente denota la velocidad rotacional del cigüeñal 30 (es decir, el número de rotaciones por minuto).

5 [Fórmula 18]

$$\omega = 2\pi \cdot \frac{R}{60} \quad (18)$$

10 [Fórmula 19]

$$\theta = \omega t \quad (19)$$

Como resultado, la ecuación anterior de la fórmula 17 se expresa por la ecuación siguiente de la fórmula 20.

15 [Fórmula 20]

$$F_2 = \left(\frac{r}{l} + \frac{r^3}{4l^3} + \frac{3r \cdot e^2}{2l^3} \right) \cdot m r \left(2\pi \cdot \frac{R}{60} \right)^2 \cdot \cos 2\theta \quad (20)$$

20 En el motor 14, cuando las dos muñequillas 38A y 38D situadas en los extremos de la serie de muñequillas dispuestas en la dirección axial del cigüeñal 30 están en sus posiciones de referencia, las otras dos muñequillas 38B y 38C están situadas en el lado del centro de eje 30C del cigüeñal 30 que está enfrente del lado con las posiciones de referencia. Como tal, la fuerza de inercia secundaria debida a una masa de movimiento alternativo incluyendo el pistón 32A, la fuerza de inercia secundaria debida a una masa de movimiento alternativo incluyendo el pistón 32B, la fuerza de inercia secundaria debida a una masa de movimiento alternativo incluyendo el pistón 32C y la fuerza de inercia secundaria debida a una masa de movimiento alternativo incluyendo el pistón 32D tienen la misma fase. Así, la fuerza de inercia secundaria generada en el motor 14 (es decir, la fuerza de inercia secundaria debido a la masa de movimiento alternativo) puede expresarse por la ecuación siguiente de la fórmula 21.

30 [Fórmula 21]

$$F = 4 \left(\frac{r}{l} + \frac{r^3}{4l^3} + \frac{3r \cdot e^2}{2l^3} \right) \cdot m r \left(2\pi \cdot \frac{R}{60} \right)^2 \cdot \cos 2\theta \quad (21)$$

35 La fuerza de inercia generada cuando el eje equilibrador 40 gira se designará con U_a , y la fuerza de inercia generada cuando el eje equilibrador 42 gira se designará con U_b . Las ecuaciones siguientes de las fórmulas 22 y 23 se cumplen adecuadamente para que dichas fuerzas de inercia U_a y U_b estén en equilibrio con la fuerza de inercia secundaria F generada en el motor 14, donde $\theta=0$.

40 [Fórmula 22]

$$U_a + U_b = F \quad (22)$$

[Fórmula 23]

$$U_a = U_b \quad (23)$$

45

Los ejes equilibradores 40 y 42 giran a una velocidad el doble de la del cigüeñal 30. U_a y U_b pueden ser expresados por la ecuación siguiente de la fórmula 24, donde k_b es la cantidad de desequilibrio (es decir, el coeficiente que indica la magnitud de una parte desequilibradora) para cada uno de los ejes equilibradores 40 y 42.

5 [Fórmula 24]

$$U_a = U_b = k_b \cdot m_r \left(2\pi \cdot \frac{2R}{60} \right)^2 \quad (24)$$

La ecuación siguiente de la fórmula 25 puede derivarse de las ecuaciones anteriores de las fórmulas 22 y 23.

10 [Fórmula 25]

$$U_a = U_b = \frac{F}{2} \quad (25)$$

15 Ordenando la ecuación anterior de la fórmula 25 usando las ecuaciones anteriores de las fórmulas 21 y 24 se obtiene la ecuación siguiente de la fórmula 26.

[Fórmula 26]

$$k_b \cdot m_r \left(2\pi \cdot \frac{2R}{60} \right)^2 = 2 \left(\frac{r}{1} + \frac{r^3}{4l^3} + \frac{3r \cdot e^2}{2l^3} \right) \cdot m_r \left(2\pi \cdot \frac{R}{60} \right)^2 \quad (26)$$

20 Ordenando la ecuación anterior de la fórmula 26 se obtiene la ecuación siguiente de la fórmula 27.

[Fórmula 27]

$$k_b = \frac{1}{2} \left(\frac{r}{1} + \frac{r^3}{4l^3} + \frac{3r \cdot e^2}{2l^3} \right) \quad (27)$$

El paso 1 puede realizarse estableciendo los varios parámetros con el fin de satisfacer la ecuación anterior de la fórmula 27.

30 Paso 2

En primer lugar, el par de inercia se describirá con referencia a la figura 7. En la figura 7, la dirección y en la figura 3 se representa como la dirección x y la dirección x en la figura 3 se representa como la dirección y .

35 Con referencia a la figura 7, la fuerza de inercia F que actúa en la posición de un pistón 32 (más específicamente, la posición de su pasador de pistón) puede resolverse en la fuerza F_c que actúa en la biela 34 y la fuerza F_s que actúa en la pared lateral del cilindro 36. Las relaciones ilustradas por las ecuaciones siguientes de las fórmulas 28 y 29 existen entre las fuerzas F_c y F y entre las fuerzas F_s y F .

40 [Fórmula 28]

$$F_c = \frac{F}{\cos \phi} \quad (28)$$

45 [Fórmula 29]

$$F_s = F_c \cdot \sin \phi = F \cdot \tan \phi \quad (29)$$

La fuerza que actúa en el cigüeñal 30 puede resolverse a una componente en la dirección x, F_{bx} , y una componente en la dirección y, F_{by} , como se representa en la figura 7. F_{bx} y F_{by} son determinados por las ecuaciones siguientes.

[Fórmula 30]

5

$$F_{bx} = F_{cx} = F_c \cdot \cos \phi = F \quad (30)$$

[Fórmula 31]

10

$$F_{by} = F_{cy} = -F_c \cdot \sin \phi = -F \cdot \tan \phi = -F_s \quad (31)$$

Con referencia a la figura 7, las fuerzas F_s y F_{by} forman un par. Como será evidente por las ecuaciones anteriores de las fórmulas 30 y 31, el par anterior es producido por la fuerza de inercia que actúa en el pistón 32. Tal fuerza de inercia se denominará a continuación par de inercia. El par de inercia M_{rz} puede determinarse por la ecuación siguiente.

15

[Fórmula 32]

$$M_{rz} = F \cdot \tan \phi (r \cdot \cos \theta + l \cdot \cos \phi) \quad (32)$$

20

Ordenando el lado derecho de la ecuación anterior de la fórmula 32 se obtiene la ecuación siguiente.

[Fórmula 33]

25

$$M_{rz} = F \cdot (r \cdot \cos \theta \cdot \sin \phi + l \cdot \sin \phi \cdot \cos \phi) \cdot \frac{1}{\cos \phi} \quad (33)$$

Con referencia a la figura 7, se deriva la ecuación siguiente.

[Fórmula 34]

30

$$l \cdot \sin \phi = r \cdot \sin \theta - e \quad (34)$$

Ordenando la ecuación anterior de la fórmula 33 usando la ecuación anterior de la fórmula 34 se obtiene la ecuación siguiente.

35

[Fórmula 35]

$$M_{rz} = F \cdot r \cdot \frac{\sin(\theta + \phi)}{\cos \phi} - F \cdot e \quad (35)$$

40

Con referencia a la figura 7, la posición x_p del pistón 32 se representa por la ecuación anterior de la fórmula 11.

Diferenciando la posición anterior x_p con respecto al tiempo t donde $\theta = \omega t$ y ϕ es una función de tiempo t (es decir, $\phi = \phi(t)$) se obtiene la ecuación siguiente.

45

[Fórmula 36]

$$v_p = \frac{dx_p}{dt} = - (r \cdot \omega \cdot \sin \theta + l \cdot \dot{\phi} \cdot \sin \phi) \quad (36)$$

50

Diferenciando ambos lados de la ecuación anterior de la fórmula 34 con respecto al tiempo t se obtiene la ecuación siguiente.

[Fórmula 37]

$$l \cdot \dot{\phi} \cdot \cos \phi = r \cdot \omega \cdot \cos \theta \quad (37)$$

Ordenando la ecuación anterior de la fórmula 37 se obtiene la ecuación siguiente.

5

[Fórmula 38]

$$l \cdot \dot{\phi} = \frac{r \cdot \omega \cdot \cos \theta}{\cos \phi} \quad (38)$$

10 Ordenando la ecuación anterior de la fórmula 36 usando la ecuación anterior de la fórmula 38 se obtiene la ecuación siguiente.

[Fórmula 39]

$$v_p = -r \cdot \omega \cdot \frac{\sin(\theta + \phi)}{\cos \phi} \quad (39)$$

15

Ordenando la ecuación anterior de la fórmula 39 se obtiene la ecuación siguiente.

[Fórmula 40]

20

$$r \cdot \frac{\sin(\theta + \phi)}{\cos \phi} = -\frac{v_p}{\omega} \quad (40)$$

Ordenando la ecuación anterior de la fórmula 35 usando la ecuación anterior de la fórmula 40 se obtiene la ecuación siguiente.

25

[Fórmula 41]

$$M_{r z} = -F \cdot \left(\frac{v_p}{\omega} + e \right) \quad (41)$$

30 Usando la ecuación anterior de la fórmula 15 para expresar la fuerza de inercia F_p debido a la masa de movimiento alternativo se obtiene la ecuación siguiente.

[Fórmula 42]

$$\begin{aligned} F_p &= -m \cdot a_p \\ &\approx m \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{e}{l} + \frac{3r^2 \cdot e}{8l^3} + \frac{e^3}{2l^3} \right)^2} \cdot \cos \left(\omega t - \tan^{-1} \left(\frac{8l^2 \cdot e + 3r^2 \cdot e + 4e^3}{8l^3} \right) \right) \\ &\quad + m \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \left(\frac{r}{l} + \frac{r^3}{4l^3} + \frac{3r \cdot e^2}{2l^3} \right) \cdot \cos 2\omega t \\ &\quad - m \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \frac{9r^2 \cdot e}{8l^3} \cdot \sin 3\omega t - m \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \frac{r^3}{4l^3} \cdot \cos 4\omega t \quad (42) \end{aligned}$$

35

La velocidad v_p del pistón 32 se expresa por la ecuación anterior de la fórmula 14.

Los símbolos se definen como sigue.

[Fórmula 43]

$$\lambda = \frac{l}{r} \quad (43)$$

5

[Fórmula 44]

$$\xi = \frac{e}{r} \quad (44)$$

10

[Fórmula 45]

$$\varepsilon = \sqrt{1 + \left(\frac{e}{l} + \frac{3r^2 \cdot e}{8l^3} + \frac{e^3}{2l^3} \right)^2} \quad (45)$$

15

[Fórmula 46]

$$\tau = \tan^{-1} \left(\frac{8l^2 \cdot e + 3r^2 \cdot e + 4e^3}{8l^3} \right) \quad (46)$$

[Fórmula 47]

$$\mu = \frac{r}{l} + \frac{r^3}{4l^3} + \frac{3r \cdot e^2}{2l^3} \quad (47)$$

20

[Fórmula 48]

$$\eta = \frac{9r^2 \cdot e}{8l^3} \quad (48)$$

25

Se establece la relación siguiente entre ε y τ definidos por las ecuaciones anteriores de las fórmulas 45 y 46.

[Fórmula 49]

$$\varepsilon \cdot \cos \tau = 1 \quad (49)$$

30

[Fórmula 50]

$$\varepsilon \cdot \sin \tau = \tan \tau = \sqrt{\varepsilon^2 - 1} = \frac{e}{l} + \frac{3r^2 \cdot e}{8l^3} + \frac{e^3}{2l^3} \quad (50)$$

35

Ordenando la ecuación para el par de inercia M_{rz} usando las ecuaciones anteriores de las fórmulas 43 a 50 se obtiene la ecuación siguiente.

[Fórmula 51]

40

$$\frac{Mrz}{m \cdot r^2 \cdot \omega^2} = -\frac{F}{m \cdot r^2 \cdot \omega^2} \left(\frac{v}{\omega} + e \right) = \frac{F}{m \cdot r \cdot \omega^2} \left(-\frac{e}{r} - \frac{v}{r \cdot \omega} \right)$$

$$\approx \{ \epsilon \cdot \cos(\omega t - \tau) + \mu \cdot \cos 2\omega t - \eta \cdot \sin 3\omega t - \frac{1}{4\lambda^3} \cdot \cos 4\omega t \}$$

$$\cdot \{ -\xi + \epsilon \cdot \sin(\omega t - \tau) + \frac{\mu}{2} \cdot \sin 2\omega t + \frac{\eta}{3} \cdot \cos 3\omega t - \frac{1}{16\lambda^3} \cdot \sin 4\omega t \} \quad (51)$$

Desarrollando la ecuación anterior de la fórmula 51 y ordenar usando la fórmula de producto-suma de funciones trigonométricas se obtiene la ecuación siguiente.

5

[Fórmula 52]

$$\frac{Mrz}{m \cdot r^2 \cdot \omega^2} \approx -\frac{\epsilon \cdot \mu}{4} \cdot \sin(\omega t + \tau) - \left(\frac{\mu \cdot \eta}{12} + \frac{\eta}{96\lambda^3} \right) \cdot \cos \omega t - \epsilon \cdot \xi \cdot \cos(\omega t - \tau)$$

$$+ \frac{\epsilon^2}{2} \cdot \sin(2\omega t - 2\tau) + \frac{\mu}{32\lambda^3} \cdot \sin 2\omega t - \frac{\epsilon \cdot \eta}{3} \cdot \cos(2\omega t + \tau) - \xi \cdot \mu \cdot \cos 2\omega t$$

$$+ \frac{3\epsilon \cdot \mu}{4} \cdot \sin(3\omega t - \tau) + \frac{3\epsilon}{32\lambda^3} \cdot \sin(3\omega t + \tau) + \xi \cdot \eta \cdot \sin 3\omega t$$

$$+ \frac{\mu^2}{4} \cdot \sin 4\omega t + \frac{2\epsilon \cdot \eta}{3} \cdot \cos(4\omega t - \tau) + \frac{\xi}{4\lambda^3} \cdot \cos 4\omega t$$

$$- \frac{5\epsilon}{32\lambda^3} \cdot \sin(5\omega t - \tau) + \frac{5\mu \cdot \eta}{12} \cdot \cos 5\omega t - \left(\frac{\eta^2}{6} + \frac{3\mu}{32\lambda^3} \right) \cdot \sin 6\omega t$$

$$- \frac{7\eta}{96\lambda^3} \cdot \cos 7\omega t + \frac{1}{128\lambda^6} \cdot \sin 8\omega t \quad (52)$$

10 Expresando μ usando λ y ξ se obtiene la ecuación siguiente.

[Fórmula 53]

$$\mu = \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{4\lambda^3} + \frac{3\xi^2}{2\lambda^3} \quad (53)$$

15

Expresando η usando λ y ξ se obtiene la ecuación siguiente.

[Fórmula 54]

$$\eta = \frac{9\xi}{8\lambda^3} \quad (54)$$

20

La ecuación anterior de la fórmula 52 se ordena usando las ecuaciones anteriores de las fórmulas 53 y 54. Como resultado, la componente secundaria se expresa por la ecuación siguiente.

25

[Fórmula 55]

$$\frac{Mrz2}{m \cdot r^2 \cdot \omega^2} = \frac{\epsilon^2}{2} \cdot \sin(2\omega t - 2\tau) - \left(\frac{\xi}{\lambda} + \frac{\xi}{4\lambda^3} + \frac{3\xi^3}{2\lambda^3}\right) \cdot \cos 2\omega t - \frac{3\epsilon \cdot \xi}{8\lambda^3} \cdot \cos(2\omega t + \tau) + \left(\frac{1}{32\lambda^4} + \frac{1}{128\lambda^6} + \frac{3\xi^2}{64\lambda^6}\right) \cdot \sin 2\omega t \quad (55)$$

La ecuación anterior de la fórmula 55 se ordena usando la fórmula de función trigonométrica obteniendo la ecuación siguiente.

5

[Fórmula 56]

$$\frac{Mrz2}{m \cdot r^2 \cdot \omega^2} = \left[\frac{\epsilon^2}{2} \cdot \cos 2\tau + \frac{3\epsilon \cdot \xi}{8\lambda^3} \cdot \sin \tau + \frac{1}{32\lambda^3} \left(\frac{1}{\lambda} + \frac{1}{4\lambda^3} + \frac{3\xi^2}{2\lambda^3}\right)\right] \cdot \sin 2\omega t - \left[\frac{\epsilon^2}{2} \cdot \sin 2\tau + \frac{3\epsilon \cdot \xi}{8\lambda^3} \cdot \cos \tau + \xi \cdot \left(\frac{1}{\lambda} + \frac{1}{4\lambda^3} + \frac{3\xi^2}{2\lambda^3}\right)\right] \cdot \cos 2\omega t \quad (56)$$

10 Ordenando más la ecuación anterior de la fórmula 56 se obtiene la ecuación siguiente.

[Fórmula 57]

$$\frac{Mrz2}{m \cdot r^2 \cdot \omega^2} = \sqrt{\left(\frac{\epsilon^2}{2} \cdot \cos 2\tau + \frac{3\epsilon \cdot \xi}{8\lambda^3} \cdot \sin \tau + \left(\frac{1}{32\lambda^4} + \frac{1}{128\lambda^6} + \frac{3\xi^2}{64\lambda^6}\right)\right)^2 + \left(\frac{\epsilon^2}{2} \cdot \sin 2\tau + \frac{3\epsilon \cdot \xi}{8\lambda^3} \cdot \cos \tau + \left(\frac{\xi}{\lambda} + \frac{\xi}{4\lambda^3} + \frac{3\xi^3}{2\lambda^3}\right)\right)^2} \cdot \sin\left(2\omega t - \tan^{-1}\left(\frac{\frac{\epsilon^2}{2} \cdot \sin 2\tau + \frac{3\epsilon \cdot \xi}{8\lambda^3} \cdot \cos \tau + \left(\frac{\xi}{\lambda} + \frac{\xi}{4\lambda^3} + \frac{3\xi^3}{2\lambda^3}\right)}{\frac{\epsilon^2}{2} \cdot \cos 2\tau + \frac{3\epsilon \cdot \xi}{8\lambda^3} \cdot \sin \tau + \left(\frac{1}{32\lambda^4} + \frac{1}{128\lambda^6} + \frac{3\xi^2}{64\lambda^6}\right)}\right)\right) \quad (57)$$

15

Los símbolos se definen como sigue.

[Fórmula 58]

$$kM = \sqrt{\left(\frac{\epsilon^2}{2} \cdot \cos 2\tau + \frac{3\epsilon \cdot \xi}{8\lambda^3} \cdot \sin \tau + \left(\frac{1}{32\lambda^4} + \frac{1}{128\lambda^6} + \frac{3\xi^2}{64\lambda^6}\right)\right)^2 + \left(\frac{\epsilon^2}{2} \cdot \sin 2\tau + \frac{3\epsilon \cdot \xi}{8\lambda^3} \cdot \cos \tau + \left(\frac{\xi}{\lambda} + \frac{\xi}{4\lambda^3} + \frac{3\xi^3}{2\lambda^3}\right)\right)^2} \quad (58)$$

20

[Fórmula 59]

$$\phi = -\tan^{-1}\left(\frac{\frac{\epsilon^2}{2} \cdot \sin 2\tau + \frac{3\epsilon \cdot \xi}{8\lambda^3} \cdot \cos \tau + \left(\frac{\xi}{\lambda} + \frac{\xi}{4\lambda^3} + \frac{3\xi^3}{2\lambda^3}\right)}{\frac{\epsilon^2}{2} \cdot \cos 2\tau + \frac{3\epsilon \cdot \xi}{8\lambda^3} \cdot \sin \tau + \left(\frac{1}{32\lambda^4} + \frac{1}{128\lambda^6} + \frac{3\xi^2}{64\lambda^6}\right)}\right) \quad (59)$$

25

Ordenando la ecuación anterior de la fórmula 57 usando las ecuaciones anteriores de las fórmulas 58 y 59 se obtiene lo siguiente.

[Fórmula 60]

$$M r z = k M \cdot m r^2 \omega^2 \cdot \sin (2 \omega t + \phi) \quad (60)$$

5 La ecuación anterior de la fórmula 60 expresa el par de inercia secundario debido a la presión lateral de un solo pistón generada cuando este único pistón opera. En el motor 14, cuando los cuatro pistones 32 operan, se genera el par de inercia secundario debido a las presiones laterales de los pistones. Es decir, el par de inercia secundario generado en el motor 14 puede expresarse por la ecuación siguiente de la fórmula 61.

10 [Fórmula 61]

$$M r z = 4 k M \cdot m r^2 \omega^2 \cdot \sin (2 \omega t + \phi) \quad (61)$$

15 A continuación se describirán las fuerzas de inercia generadas cuando los ejes equilibradores 40 y 42 giran. En la descripción siguiente, las direcciones x e y significan las direcciones x e y de la figura 3.

20 La fuerza de inercia generada cuando el eje equilibrador 40 gira se designará con U_a , y la fuerza de inercia generada cuando el eje equilibrador 42 gira se designará con U_b . Las componentes de estas fuerzas de inercia U_a y U_b en la dirección y satisfacen adecuadamente la relación ilustrada por la ecuación de la fórmula 62 siguiente. La magnitud de la parte desequilibradora 40A del eje equilibrador 40 se designará con k_{bA} y la magnitud de la parte desequilibradora 42A del eje equilibrador 42 se designará con k_{bB} .

[Fórmula 62]

$$U_{ay} + U_{by} = 4 (k_{bA} + k_{bB}) \cdot m r \omega^2 \cdot \cos 2 \omega t = -4 \cdot m r \omega^2 \cdot \left(\frac{r}{1} + \frac{r^3}{41^3} + \frac{3r \cdot e^2}{21^3} \right) \cdot \cos 2 \omega t \quad (62)$$

25 La posición del centro de eje del eje equilibrador 40 se designará con (x_A, y_A) y la posición del centro de eje del eje equilibrador 42 se designará con (x_B, y_B) . La posición del centro de eje del cigüeñal 30 forma el origen $(0,0)$.

30 Cuando los momentos en la dirección y están en equilibrio, se establece la ecuación siguiente de la fórmula 63.

[Fórmula 63]

$$x_A \cdot 4 k_{bA} \cdot m r \omega^2 + x_B \cdot 4 k_{bB} \cdot m r \omega^2 = 4 k M \cdot m r^2 \omega^2 \cdot \sin \phi \quad (63)$$

35 Ordenando la ecuación anterior de la fórmula 63 se obtiene la ecuación siguiente de la fórmula 64.

[Fórmula 64]

$$x_A \cdot k_{bA} + x_B \cdot k_{bB} = k M \cdot r \cdot \sin \phi \quad (64)$$

40 Cuando el cigüeñal 30 ha girado 45° desde la posición de referencia $(\theta=0^\circ)$, si la fuerza de inercia U_a generada cuando el eje equilibrador 40 gira y la fuerza de inercia U_b generada cuando el eje equilibrador 42 gira están en la relación ilustrada en la figura 8, las componentes de estas fuerzas de inercia U_a y U_b en la dirección x satisfacen adecuadamente la relación ilustrada mediante la ecuación de la fórmula 65 siguiente. Para facilitar la explicación, la ecuación de la fórmula 65 siguiente usa k_b en lugar de k_{bA} y k_{bB} .

45

[Fórmula 65]

$$U_{ax} = -U_{bx} = 4 k_b \cdot m r \omega^2 \cdot \sin 2 \omega t \quad (65)$$

50 Si los momentos en la dirección x están en equilibrio, se establece la ecuación siguiente de la fórmula 66.

[Fórmula 66]

$$y_A \cdot 4 k b_A \cdot m r \omega^2 - y_B \cdot 4 k b_B \cdot m r \omega^2 = 4 k M \cdot m r^2 \omega^2 \cdot \cos \phi \quad (66)$$

5 Ordenando la ecuación anterior de la fórmula 66 se obtiene la ecuación siguiente de la fórmula 67.

[Fórmula 67]

$$y_A \cdot k b_A - y_B \cdot k b_B = k M \cdot r \cdot \cos \phi \quad (67)$$

10 Cuando el cigüeñal 30 ha girado 45° desde la posición de referencia ($\theta=0^\circ$), si la fuerza de inercia U_a generada cuando el eje equilibrador 40 gira y la fuerza de inercia U_b generada cuando el eje equilibrador 42 gira están en la relación ilustrada en la figura 9, las componentes de estas fuerzas de inercia U_a y U_b en la dirección x satisfacen adecuadamente la relación ilustrada mediante la ecuación de la fórmula 68 siguiente. Para facilitar la explicación, la
15 ecuación de la fórmula 68 siguiente usa kb en lugar de kbA y kbB.

[Fórmula 68]

$$U_{ax} = -U_{bx} = -4 k b \cdot m r \omega^2 \cdot \sin 2 \omega t \quad (68)$$

20 Si los momentos en la dirección x están en equilibrio, se establece la ecuación siguiente de la fórmula 69.

[Fórmula 69]

$$y_B \cdot 4 k b_B \cdot m r \omega^2 - y_A \cdot 4 k b_A \cdot m r \omega^2 = 4 k M \cdot m r^2 \omega^2 \cdot \cos \phi \quad (69)$$

25 Ordenando la ecuación anterior de la fórmula 69 se obtiene la ecuación siguiente de la fórmula 70.

[Fórmula 70]

$$y_B \cdot k b_B - y_A \cdot k b_A = k M \cdot r \cdot \cos \phi \quad (70)$$

35 Como será evidente por la descripción anterior, si el eje equilibrador 40 gira en la misma dirección que el cigüeñal 30 y el eje equilibrador 42 gira en la dirección opuesta a la del cigüeñal 30, puede realizarse el paso 2 estableciendo los parámetros con el fin de satisfacer las ecuaciones anteriores de las fórmulas 64 y 67. Si el eje equilibrador 40 gira en la dirección opuesta a la del cigüeñal 30 y el eje equilibrador 42 gira en la misma dirección que el cigüeñal 30, puede realizarse el paso 2 estableciendo los parámetros con el fin de satisfacer las ecuaciones de las fórmulas 64 y 70.

40 A continuación, los parámetros para los ejes equilibradores 40 y 42 (Paso 2) en la implementación representada en la figura 8, es decir, si el eje equilibrador 40 gira en la misma dirección que el cigüeñal 30 y el eje equilibrador 42 gira en la dirección opuesta a la del cigüeñal 30, se describirán en detalle con referencias a las ecuaciones anteriores de las fórmulas 64 y 67.

45 En primer lugar, se describirá una implementación donde la magnitud kbA de la parte desequilibradora 40A del eje equilibrador 40 y la magnitud kbB de la parte desequilibradora 42A del eje equilibrador 42 son las mismas. En esta implementación, tanto la magnitud de la parte desequilibradora 40A como la magnitud de la parte desequilibradora 42A se designarán con kb. Entonces, la ecuación siguiente de la fórmula 71 puede derivarse de la ecuación anterior de la fórmula 64.

50 [Fórmula 71]

$$x_A + x_B = \frac{k M \cdot r \cdot \sin \phi}{k b} \quad (71)$$

En un motor desviado, el pistón llega al punto muerto superior después de que la muñequilla ha alcanzado su posición de referencia. Como tal, ϕ tiene un valor negativo, como se representa en la ecuación anterior de la fórmula 59. En esta implementación, $\sin\phi < 0$, y así el lado derecho de la ecuación anterior de la fórmula 71 tiene un valor negativo. Esto quiere decir que la distancia entre el centro de eje 40C del eje equilibrador 40 y la línea de referencia L1 medida en la dirección x (es decir, el valor absoluto de xA) es mayor que la distancia entre el centro de eje 42C del eje equilibrador 42 y la línea de referencia L1 medida en la dirección x (es decir, el valor absoluto de xB).

Si el eje equilibrador 40 gira en la misma dirección que el cigüeñal 30 y el eje equilibrador 42 gira en la dirección opuesta a la del cigüeñal 30, cuando el cigüeñal 30 ha girado 45° desde su posición de referencia ($\theta=0^\circ$), la fuerza de inercia U_a generada cuando el eje equilibrador 40 gira y la fuerza de inercia U_b generada cuando el eje equilibrador 42 gira están en direcciones opuestas una hacia otra, como se representa en la figura 8. Es decir, la fuerza de inercia U_a actúa en la dirección x lejos del eje equilibrador 40 hacia el eje equilibrador 42, mientras que la fuerza de inercia U_b actúa en la dirección x lejos del eje equilibrador 42 hacia el eje equilibrador 40. En esta implementación, como se representa en la figura 8, el eje equilibrador 40 está situado más alto que el cigüeñal 30, mientras que el eje equilibrador 42 está situado más bajo que el cigüeñal 30. Es decir, el eje equilibrador 40 que gira en la misma dirección que el cigüeñal 30 está situado más alto que el cigüeñal 30.

Además, si tanto la magnitud de la parte desequilibradora 40A como la magnitud de la parte desequilibradora 42A se designan con k_b , entonces, la ecuación siguiente de la fórmula 72 puede ser derivada de la ecuación anterior de la fórmula 67.

[Fórmula 72]

$$y_A - y_B = \frac{k_M \cdot r \cdot \cos \phi}{k_b} \quad (72)$$

Como se ha explicado anteriormente, en un motor desviado, ϕ tiene un valor negativo. Dado que ϕ es del rango de -90° a 90° , $\cos\phi > 0$. El lado derecho de la ecuación anterior de la fórmula 72 tiene un valor positivo. La ecuación anterior de la fórmula 72 indica la distancia entre el centro de eje 40C del eje equilibrador 40 y el centro de eje 42C del eje equilibrador 42 medida en la dirección y.

Si el eje equilibrador 40 gira en la misma dirección que el cigüeñal 30 y el eje equilibrador 42 gira en la dirección opuesta a la del cigüeñal 30 y si la magnitud k_{bA} de la parte desequilibradora 40A del eje equilibrador 40 y la magnitud k_{bB} de la parte desequilibradora 42A del eje equilibrador 42 son las mismas, entonces, el paso 2 puede realizarse poniendo los ejes equilibradores 40 y 42 con el fin de satisfacer las ecuaciones anteriores de las fórmulas 71 y 72. Entonces, el mecanismo equilibrador 14B reducirá la vibración producida por el par de inercia secundario debido a las presiones laterales de los pistones incluso aunque la fase del par de inercia secundario producida por las presiones laterales de los pistones esté desplazada.

A continuación, se describirá una implementación donde la distancia entre el centro de eje 40C del eje equilibrador 40 y el centro de eje 30C del cigüeñal 30 es igual a la distancia entre el centro de eje 42C del eje equilibrador 42 y el centro de eje 30C del cigüeñal 30. En esta implementación, se establecen las condiciones ilustradas por las ecuaciones de las fórmulas 73 y 74 siguiente.

[Fórmula 73]

$$x_A = -x_B \quad (73)$$

[Fórmula 74]

$$y_B = -y_A \quad (74)$$

Ordenando la ecuación de la fórmula 64 usando la ecuación de la fórmula 73 se obtiene la ecuación siguiente de la fórmula 75.

[Fórmula 75]

$$k_{bB} - k_{bA} = \frac{k_M \cdot r \cdot \sin \phi}{x_B} \quad (75)$$

Como se ha explicado anteriormente, en un motor desviado, ϕ tiene un valor negativo. En este caso, $\sin\phi < 0$. Además, $x_B > 0$. Como tal, el lado derecho de la ecuación anterior de la fórmula 75 tiene un valor negativo. Es decir, k_{bA} es mayor que k_{bB} .

5 Ordenando la ecuación de la fórmula 67 usando la ecuación de la fórmula 74 se obtiene la ecuación siguiente de la fórmula 76.

[Fórmula 76]

$$k_{bA} + k_{bB} = \frac{kM \cdot r \cdot \cos \phi}{y_A} \quad (76)$$

Como se ha explicado anteriormente, en un motor desviado, ϕ tiene un valor negativo. Dado que ϕ es del rango de -90° a 90° , $\cos\phi > 0$. Además, $y_A > 0$. En este caso, el lado derecho de la ecuación anterior de la fórmula 76 tiene un valor positivo.

Si el eje equilibrador 40 gira en la misma dirección que el cigüeñal 30 y el eje equilibrador 42 gira en la dirección opuesta a la del cigüeñal 30 y si la distancia entre el centro de eje 40C del eje equilibrador 40 y el centro de eje 30C del cigüeñal 30 es igual a la distancia entre el centro de eje 42C del eje equilibrador 42 y el centro de eje 30C del cigüeñal 30, entonces, el Paso 2 puede ser realizado poniendo los ejes equilibradores 40 y 42 con el fin de satisfacer las ecuaciones anteriores de las fórmulas 73 y 76. Entonces, el mecanismo equilibrador 14B reducirá la vibración producida por el par de inercia secundario debido a las presiones laterales de los pistones incluso aunque la fase del par de inercia secundario producido por las presiones laterales de los pistones esté desplazada.

Si los ejes equilibradores 40 y 42 están colocados con el fin de satisfacer las ecuaciones anteriores de las fórmulas 73 a 76, la fuerza de inercia generada cuando el eje equilibrador 40 gira y la fuerza de inercia generada cuando el eje equilibrador 42 gira no están en equilibrio en la dirección x. Consiguientemente, por ejemplo, si la motocicleta incluye un dispositivo auxiliar tal como una bomba de aceite o bomba de agua que gira a una velocidad el doble de la del cigüeñal 30, se puede disponer una parte desequilibradora adicional en su eje para equilibrar las fuerzas de inercia en la dirección x.

A continuación, los parámetros para los ejes equilibradores 40 y 42 (Paso 2) en la implementación representada en la figura 9, es decir, si el eje equilibrador 40 gira en la dirección opuesta a la del cigüeñal 30 y el eje equilibrador 42 gira en la misma dirección que el cigüeñal 30 se describirán en detalle con referencia a las ecuaciones anteriores de las fórmulas 64 y 70.

Si la magnitud k_{bA} de la parte desequilibradora 40A del eje equilibrador 40 y la magnitud k_{bB} de la parte desequilibradora 42A del eje equilibrador 42 son las mismas, entonces, la relación entre x_A y x_B satisface la ecuación anterior de la fórmula 71, como en implementaciones donde el eje equilibrador 40 gira en la misma dirección que el cigüeñal 30 y el eje equilibrador 42 gira en la dirección opuesta a la del cigüeñal 30. Consiguientemente, la descripción para derivar la ecuación de la fórmula 71 no se repetirán.

Si el eje equilibrador 40 gira en la dirección opuesta a la del cigüeñal 30 y el eje equilibrador 42 gira en la misma dirección que el cigüeñal 30, cuando el cigüeñal 30 ha girado 45° desde su posición de referencia ($\theta=0^\circ$), la fuerza de inercia U_a generada cuando el eje equilibrador 40 gira y la fuerza de inercia U_b generada cuando el equilibrador primero 42 gira son en direcciones opuestas lejos una de otra, como se representa en la figura 9. Es decir, la fuerza de inercia U_a actúa en la dirección x lejos del eje equilibrador 42 hacia el eje equilibrador 40, mientras que la fuerza de inercia U_b actúa en la dirección x lejos del eje equilibrador 40 hacia el eje equilibrador 42. En esta implementación, como se representa en la figura 9, el eje equilibrador 40 está situado más bajo que el cigüeñal 30, mientras que el eje equilibrador 42 está situado más alto que el cigüeñal 30. Es decir, el eje equilibrador 42 que gira en la misma dirección que el cigüeñal 30 está situado más alto que el cigüeñal 30.

Si tanto la magnitud de la parte desequilibradora 40A como la magnitud de la parte desequilibradora 42A se designan con k_b , la ecuación siguiente de la fórmula 77 puede ser derivada de la ecuación anterior de la fórmula 70.

[Fórmula 77]

$$y_B - y_A = \frac{kM \cdot r \cdot \cos \phi}{k_b} \quad (77)$$

Como se ha explicado anteriormente, en un motor desviado, ϕ tiene un valor negativo. Dado que ϕ es del rango de -90° a 90° , $\cos\phi > 0$. En este caso, el lado derecho de la ecuación anterior de la fórmula 77 tiene un valor positivo. La

ecuación anterior de la fórmula 77 indica la distancia entre el centro de eje 40C del eje equilibrador 40 y el centro de eje 42C del eje equilibrador 42 medida en la dirección y.

5 Si el eje equilibrador 40 gira en la dirección opuesta a la del cigüeñal 30 y el eje equilibrador 42 gira en la misma dirección que el cigüeñal 30 y si la magnitud kbA de la parte desequilibradora 40A del eje equilibrador 40 y la magnitud kbB de la parte desequilibradora 42A del eje equilibrador 42 son las mismas, entonces, el Paso 2 puede realizarse poniendo los ejes equilibradores 40 y 42 con el fin de satisfacer las ecuaciones anteriores de las fórmulas 71 y 72. Entonces, el mecanismo equilibrador 14B reducirá la vibración producida por el par de inercia secundario debido a las presiones laterales de los pistones incluso aunque la fase del par de inercia secundario producido por las presiones laterales de los pistones esté desplazada.

15 A continuación, se describirá una implementación donde la distancia entre el centro de eje 40C del eje equilibrador 40 y el centro de eje 30C del cigüeñal 30 es igual a la distancia entre el centro de eje 42C del eje equilibrador 42 y el centro de eje 30C del cigüeñal 30. En esta implementación se establecen las condiciones indicadas por las ecuaciones anteriores de las fórmulas 73 y 74.

20 Ordenando la ecuación de la fórmula 64 usando la ecuación de la fórmula 73 se obtiene la ecuación anterior de la fórmula 75. Es decir, kbA es mayor que kbB, como en implementaciones donde el eje equilibrador 40 gira en la misma dirección que el cigüeñal 30 y el eje equilibrador 42 gira en la dirección opuesta al cigüeñal 30 y si la distancia entre el centro de eje 40C del eje equilibrador 40 y el centro de eje 30C del cigüeñal 30 es igual a la distancia entre el centro de eje 42C del eje equilibrador 42 y el centro de eje 30C del cigüeñal 30.

25 Ordenando la ecuación de la fórmula 70 usando la ecuación de la fórmula 74 se obtiene la ecuación siguiente de la fórmula 78.

[Fórmula 78]

$$k_b B + k_b A = - \frac{k M \cdot r \cdot \cos \phi}{y A} \quad (78)$$

30 Como se ha explicado anteriormente, en un motor desviado, φ tiene un valor negativo. Dado que φ es del rango de -90° a 90°, cosφ>0. Además, yA<0. En este caso, el lado derecho de la ecuación anterior de la fórmula 78 tiene un valor positivo.

35 Si el eje equilibrador 40 gira en la dirección opuesta a la del cigüeñal 30 y el eje equilibrador 42 gira en la misma dirección que el cigüeñal 30 y si la distancia entre el centro de eje 40C del eje equilibrador 40 y el centro de eje 30C del cigüeñal 30 es igual a la distancia entre el centro de eje 42C del eje equilibrador 42 y el centro de eje 30C del cigüeñal 30, entonces, el Paso 2 puede realizarse poniendo los ejes equilibradores 40 y 42 con el fin de satisfacer las ecuaciones anteriores de las fórmulas 73 a 75 y 78. Entonces, el mecanismo equilibrador 14B reducirá la vibración producida por el par de inercia secundario debido a las presiones laterales de los pistones incluso aunque la fase del par de inercia secundario producido por las presiones laterales de los pistones esté desplazada.

40 Si los ejes equilibradores 40 y 42 se colocan con el fin de satisfacer las ecuaciones anteriores de las fórmulas 73 a 75 y 78, la fuerza de inercia generada cuando el eje equilibrador 40 gira y la fuerza de inercia generada cuando el eje equilibrador 42 gira no están en equilibrio en la dirección x. Consiguientemente, por ejemplo, si la motocicleta incluye un dispositivo auxiliar tal como una bomba de aceite o bomba de agua que gira a una velocidad el doble de la del cigüeñal 30, se puede disponer una parte desequilibradora adicional en su eje para equilibrar las fuerzas de inercia en la dirección x.

50 Por ejemplo, los pistones 32 pueden tener diferentes cantidades de desviación.

55 La realización anterior describe implementaciones donde la distancia entre el centro de eje 40C del eje equilibrador 40 y el centro de eje 30C del cigüeñal 30 medida en la dirección x es igual a la distancia entre el centro de eje 42C del eje equilibrador 42 y el centro de eje 30C del cigüeñal 30 medida en la dirección x describiendo implementaciones ejemplares donde la distancia entre el centro de eje 40C del eje equilibrador 40 y el centro de eje 30C del cigüeñal 30 medida en la dirección y es igual a la distancia entre el centro de eje 42C del eje equilibrador 42 y el centro de eje 30C del cigüeñal 30 medida en la dirección y; alternativamente, la distancia entre el centro de eje 40C del eje equilibrador 40 y el centro de eje 30C del cigüeñal 30 medida en la dirección y puede ser diferente de la distancia entre el centro de eje 42C del eje equilibrador 42 y el centro de eje 30C del cigüeñal 30 medida en la dirección y.

60

REIVINDICACIONES

1. Un motor de cuatro cilindros en línea (14), incluyendo:

5 un mecanismo de conversión de movimiento (14A); y

un mecanismo equilibrador (14B) para reducir la vibración generada cuando el mecanismo de conversión de movimiento (14A) opera,

10 donde el mecanismo de conversión de movimiento (14A) incluye:

un cigüeñal (30);

15 cuatro pistones (32) cada uno situado dentro de un cilindro asociado de cuatro cilindros (36) dispuestos en una dirección axial del cigüeñal (30); y

cuatro bielas (34) cada una conectada basculantemente a un pistón asociado de los cuatro pistones (32) y conectada basculantemente al cigüeñal (30),

20 el cigüeñal (30) incluye cuatro muñequillas (38) cada una montada en una biela asociada de las cuatro bielas (34),

en el mecanismo de conversión de movimiento (14A),

25 los cuatro cilindros (36) tienen ejes de cilindro (36L) que son paralelos uno a otro,

cuando dos muñequillas (38A y 38D) de las cuatro muñequillas (38) situadas en los extremos de una serie de muñequillas dispuestas en la dirección axial del cigüeñal (30) están en posiciones de referencia predeterminadas, las otras dos muñequillas (38B y 38C) están situadas en el lado de un centro de eje (30C) del cigüeñal (30) que está enfrente de un lado con las posiciones de referencia,

30 según se ve en la dirección axial del cigüeñal (30), el centro de eje (30C) del cigüeñal (30) no está situado en los ejes de cilindro (36L) de los cuatro cilindros (36),

35 para cada uno de los cuatro pistones (32), el ángulo de rotación del cigüeñal (30) cuando el pistón (32) se mueve desde un punto muerto superior a un punto muerto inferior es mayor que el ángulo de rotación del cigüeñal (30) cuando el pistón (32) se mueve desde el punto muerto inferior al punto muerto superior,

donde cada una de las muñequillas (38) está insertada en un agujero formado en la biela asociada (34), y **caracterizado porque** incluye además un mecanismo equilibrador (14B) incluyendo:

40 un primer eje equilibrador (40) colocado paralelo al cigüeñal (30) y capaz de girar a una velocidad el doble de la velocidad a la que gira el cigüeñal (30); y

45 un segundo eje equilibrador (42) colocado paralelo al cigüeñal (30) y capaz de girar a una velocidad el doble de la velocidad a la que gira el cigüeñal (30) en una dirección opuesta a la dirección en la que gira el primer eje equilibrador (40),

50 se ha establecido una línea de referencia (L1) que pasa a través del centro de eje (30C) del cigüeñal (30) y es paralela a los ejes de cilindro (36L) de los cuatro cilindros (36) según se ve en la dirección axial del cigüeñal (30),

según se ve en la dirección axial del cigüeñal (30), el primer eje equilibrador (40) está situado en un lado de la línea de referencia (L1) que está enfrente de un lado con el segundo eje equilibrador (42) en una posición diferente de la del segundo eje equilibrador (42) medida en una dirección en la que se extiende la línea de referencia (L1),

55 el primer eje equilibrador (40) incluye una primera parte desequilibradora (40A) para generar una fuerza de inercia cuando el primer eje equilibrador (40) gira,

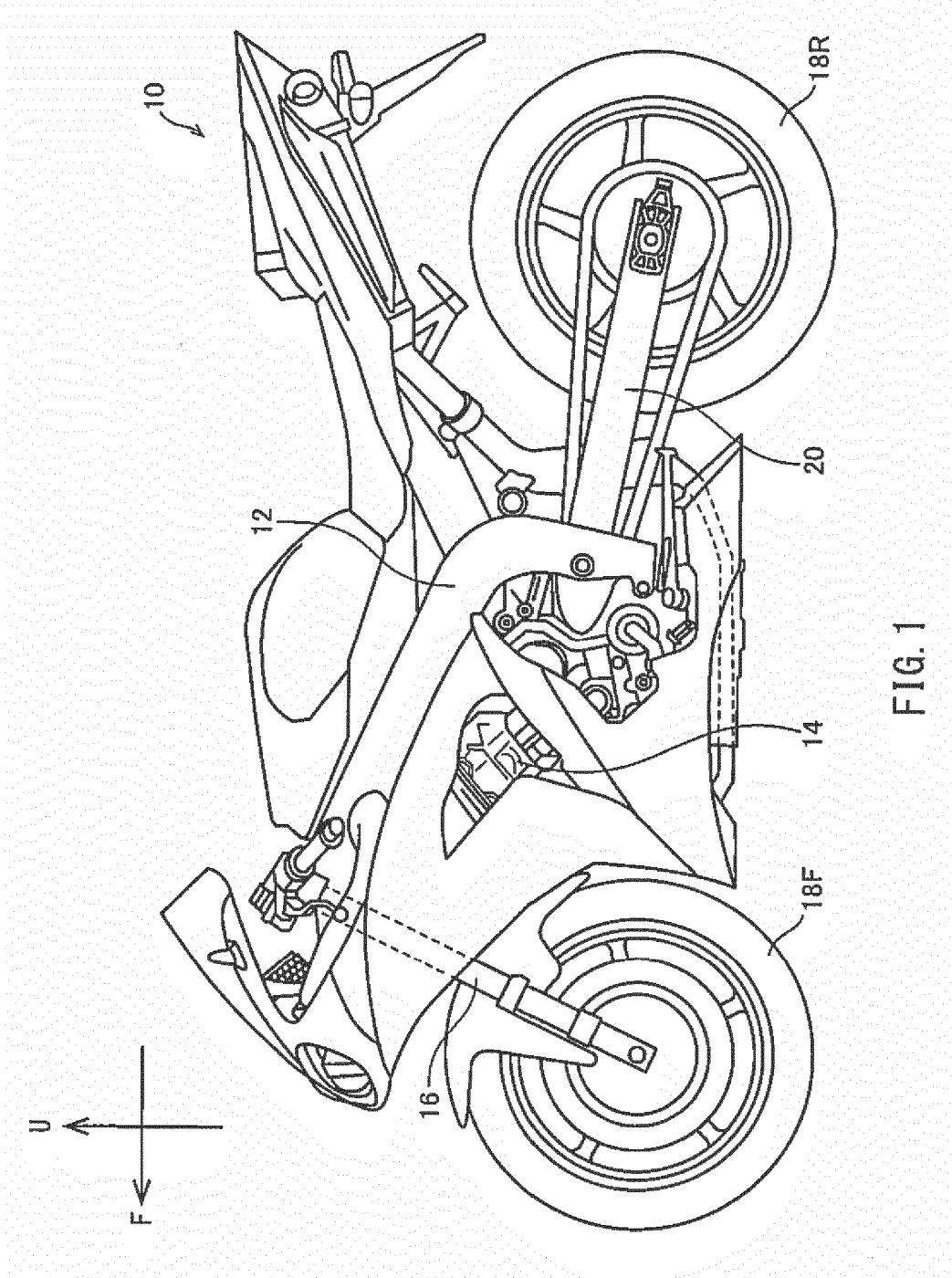
el segundo eje equilibrador (42) incluye una segunda parte desequilibradora (42A) para generar una fuerza de inercia cuando el segundo eje equilibrador (42) gira,

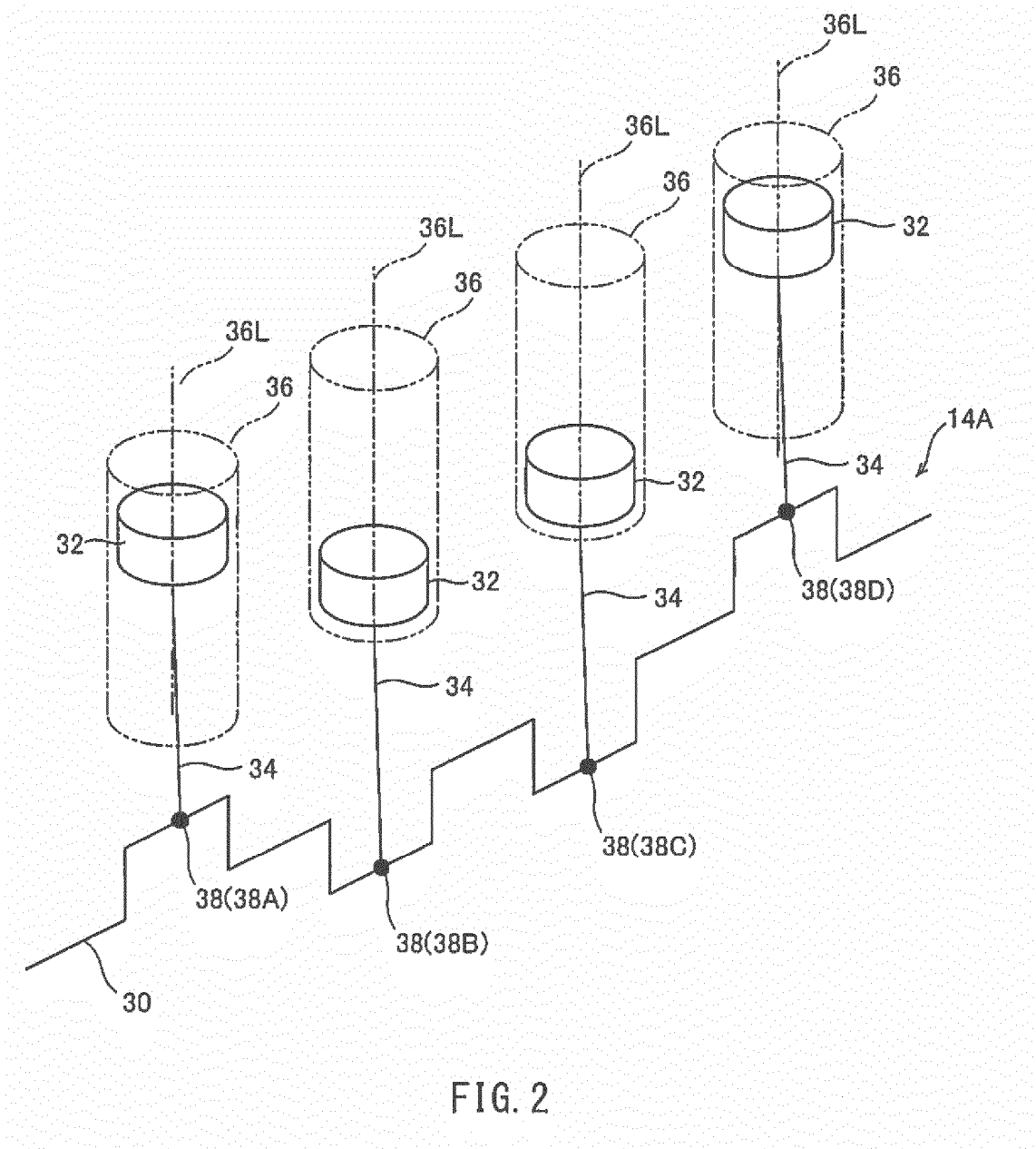
60 y donde se aplica al menos uno de los puntos (1) y (2) siguientes:

(1) la distancia entre un centro de eje (40C) del primer eje equilibrador (40) y la línea de referencia (L1) medida en una segunda dirección es diferente de la distancia entre el centro de eje (42C) del segundo eje equilibrador (42) y la línea de referencia (L1) medida en la segunda dirección con el fin de reducir la vibración generada por una componente secundaria de un par de inercia en base a presiones laterales de los cuatro pistones (32), y

65

- 5 (2) la magnitud de la primera parte desequilibradora (40A) es diferente de la magnitud de la segunda parte desequilibradora (42A) con el fin de reducir la vibración generada por una componente secundaria de un par de inercia en base a presiones laterales de los cuatro pistones (32),
- donde una primera dirección es la dirección en la que la línea de referencia (L1) se extiende según se ve en la dirección axial del cigüeñal (30), y la segunda dirección es una dirección perpendicular a la primera dirección.
- 10 2. Un motor de cuatro cilindros en línea (14) según la reivindicación 1, donde la distancia entre el centro de eje (40C) del primer eje equilibrador (40) y la línea de referencia (L1) medida en la segunda dirección es diferente de la distancia entre el centro de eje (42C) del segundo eje equilibrador (42) y la línea de referencia (L1) medida en la segunda dirección.
- 15 3. Un motor de cuatro cilindros en línea (14) según la reivindicación 2, donde:
- la magnitud de la primera parte desequilibradora (40A) es la misma que la magnitud de la segunda parte desequilibradora (42A),
- 20 uno de los ejes equilibradores primero y segundo (40, 42) está situado en el lado de la línea de referencia (L1) que está enfrente del lado con ejes de cilindro (36L) de los cuatro cilindros (36), y el otro eje equilibrador (40, 42) está situado en el mismo lado de la línea de referencia (L1) en el que están situados los ejes de cilindro (36L) de los cuatro cilindros (36), y,
- 25 según se ve en la dirección axial del cigüeñal (30), la distancia entre el centro de eje (40C, 42C) del otro eje equilibrador (40, 42) y la línea de referencia (L1) medida en la segunda dirección es mayor que la distancia entre el centro de eje (40C, 42C) del eje equilibrador (40, 42) y la línea de referencia (L1) medida en la segunda dirección.
- 30 4. Un motor de cuatro cilindros en línea (14) según la reivindicación 1, donde la magnitud de la primera parte desequilibradora (40A) es diferente de la magnitud de la segunda parte desequilibradora (42A).
- 35 5. Un motor de cuatro cilindros en línea (14) según alguna de las reivindicaciones 1 a 4, donde:
- uno de los ejes equilibradores primero y segundo (40, 42) gira en la misma dirección en la que gira el cigüeñal (30), mientras que el otro eje equilibrador (40, 42) gira en una dirección opuesta a la dirección en la que gira el cigüeñal (30), y,
- según se ve en la dirección axial del cigüeñal (30), el eje equilibrador (40, 42) está situado más próximo a los cuatro pistones (32) que el otro eje equilibrador (40, 42) medido en la primera dirección.
- 40 6. Un motor de cuatro cilindros en línea (14) según alguna de las reivindicaciones 1 a 5, donde, según se ve en la dirección axial del cigüeñal (30), las distancias (D1) entre el centro de eje (30C) del cigüeñal (30) y los ejes de cilindro (36L) de los cuatro cilindros (36) medidas en la segunda dirección son iguales entre sí.
- 45 7. Un vehículo de montar a horcajadas incluyendo el motor de cuatro cilindros en línea (14) según alguna de las reivindicaciones 1 a 6.





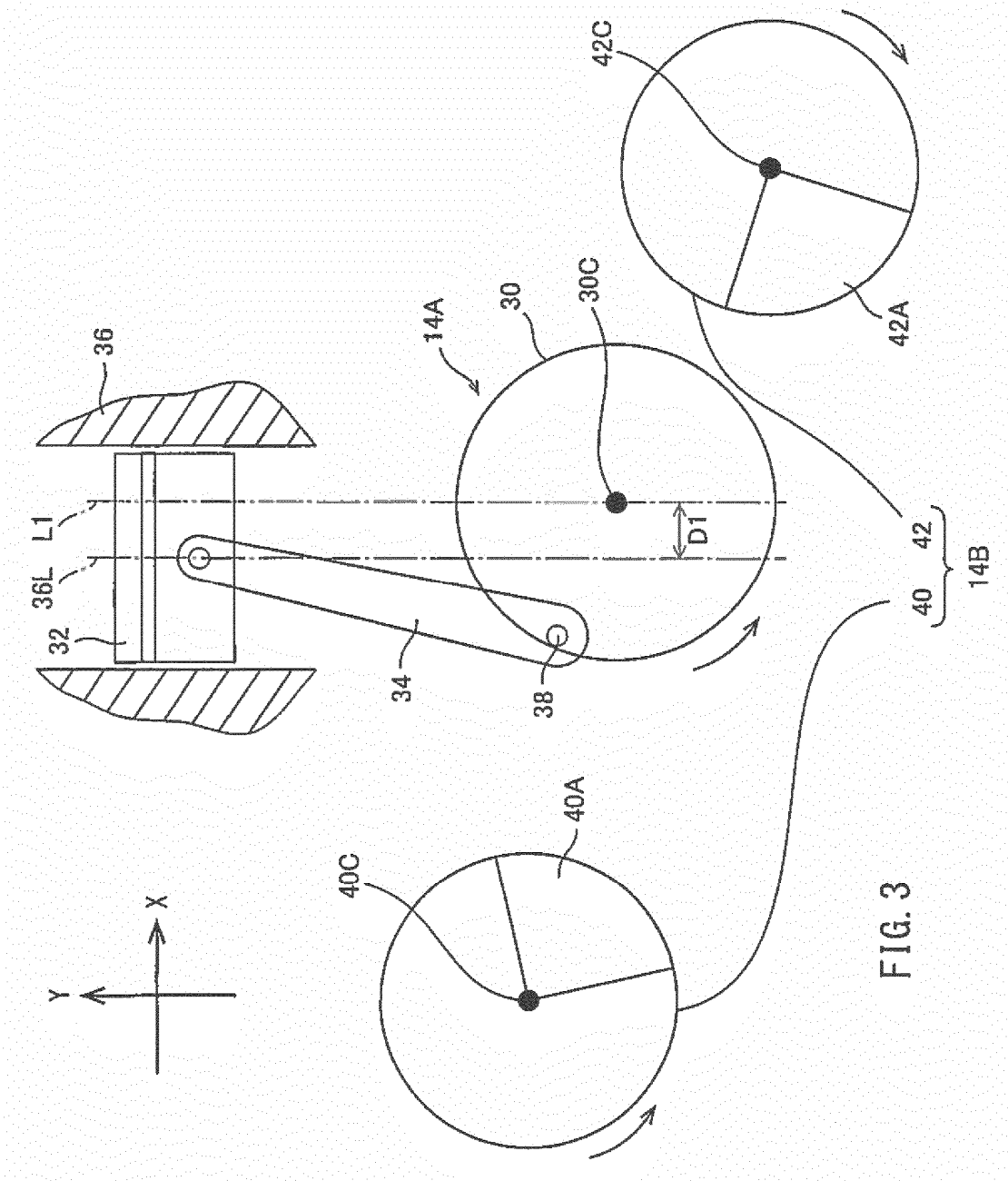


FIG. 3

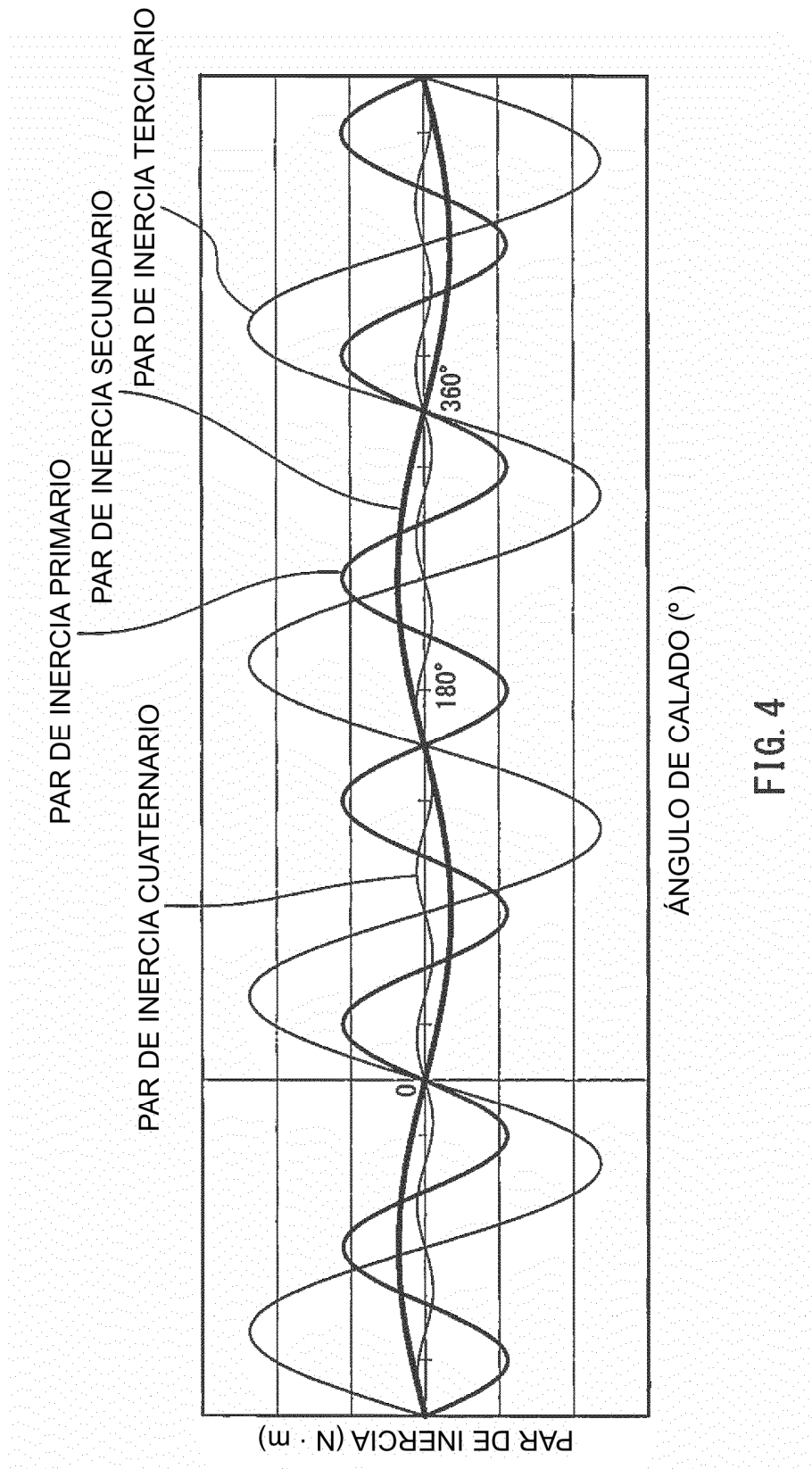


FIG. 4

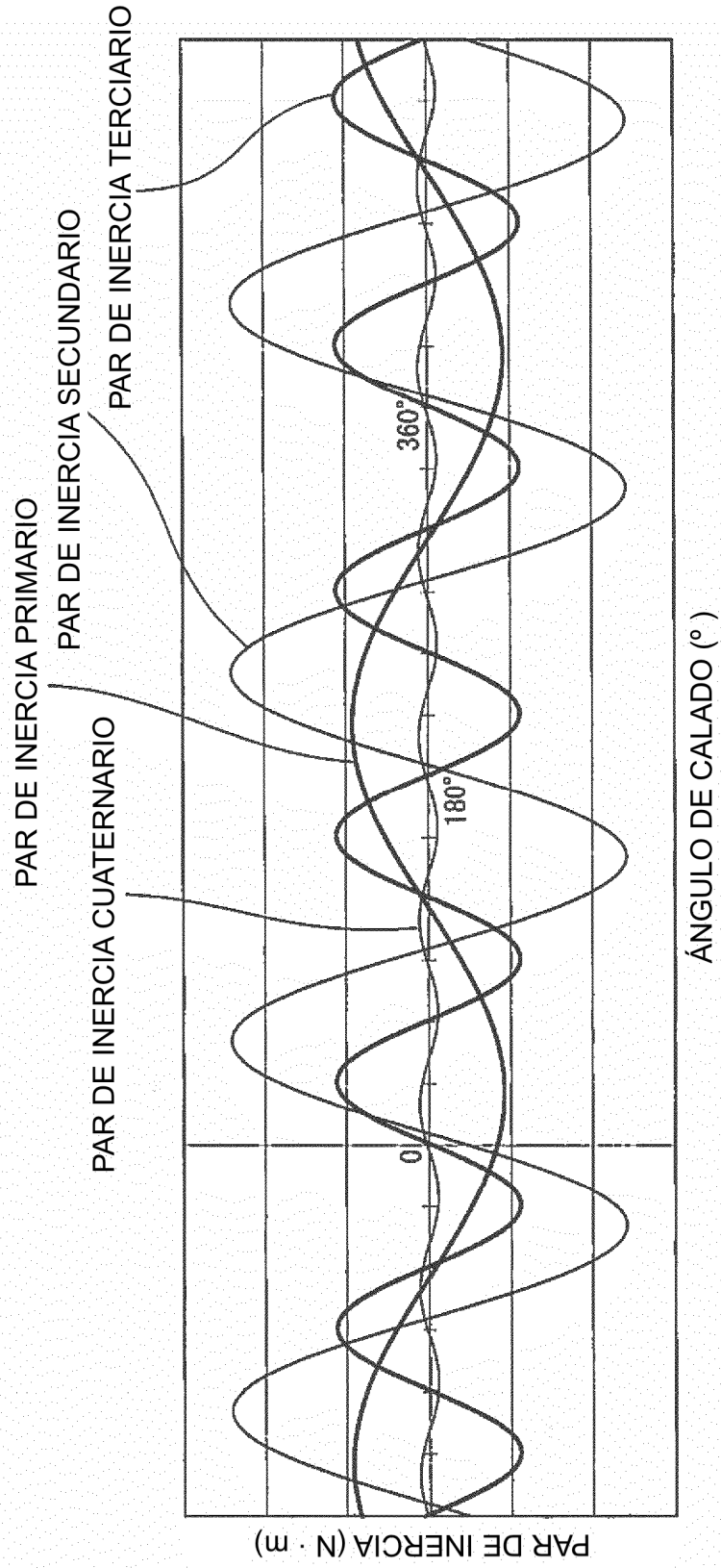


FIG. 5

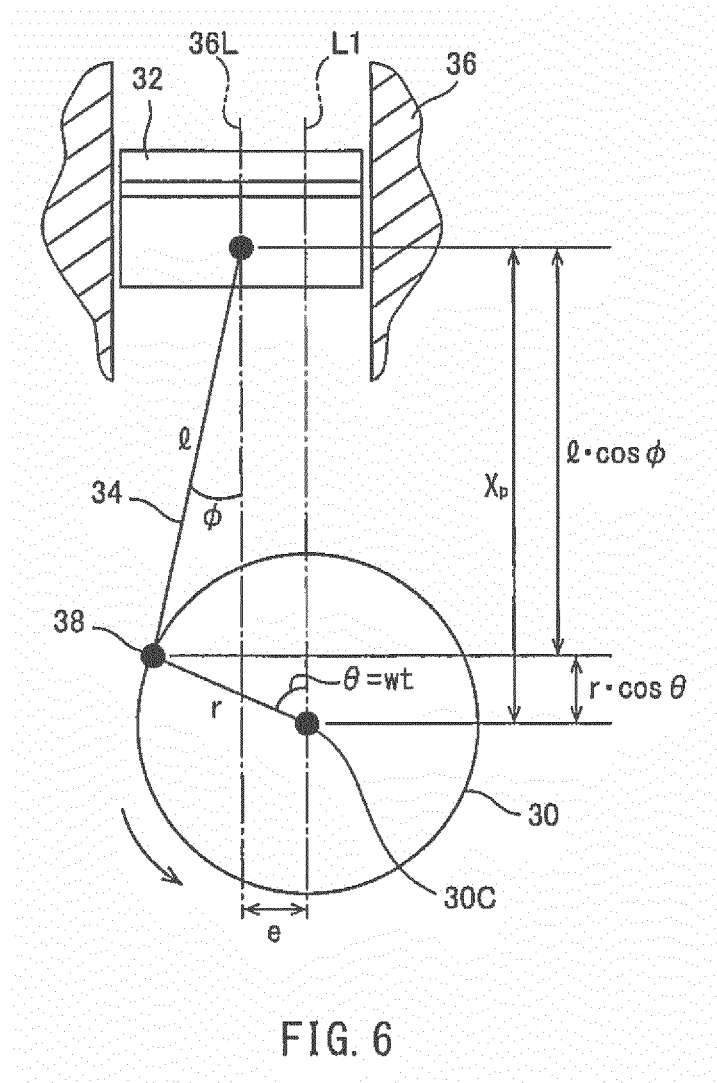


FIG. 6

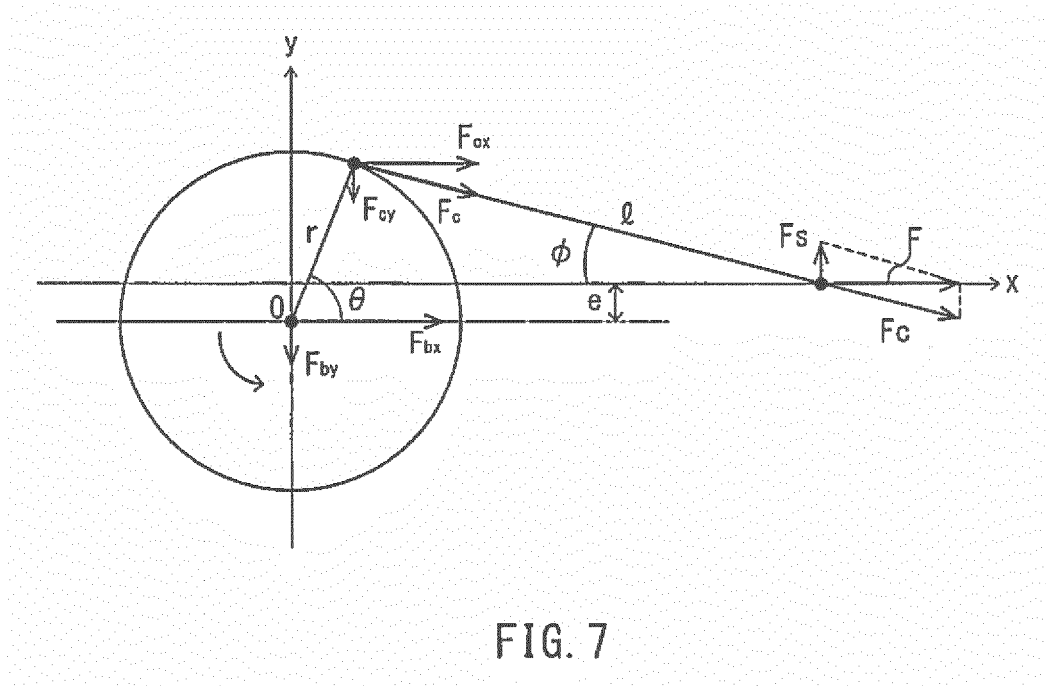


FIG. 7

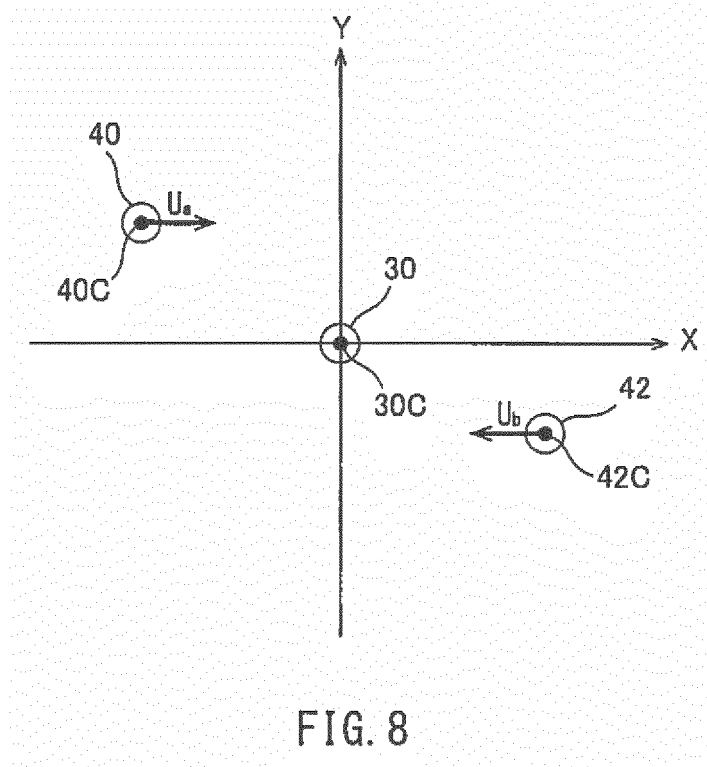


FIG. 8

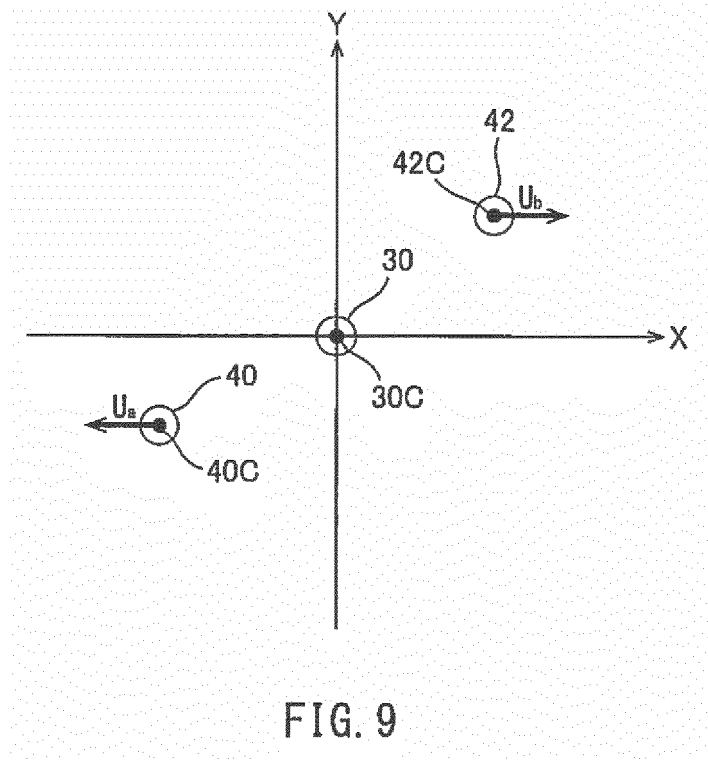


FIG. 9