

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 564 582**

51 Int. Cl.:

G01C 1/00 (2006.01)

G01C 3/08 (2006.01)

F42B 15/01 (2006.01)

F41G 7/30 (2006.01)

G05D 1/10 (2006.01)

F42B 10/26 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.10.2005 E 05796389 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.12.2015 EP 2135028**

54 Título: **Método y dispositivo para la determinación de un ángulo de balanceo**

30 Prioridad:

28.10.2004 SE 0402611

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

23.03.2016

73 Titular/es:

**BAE SYSTEMS BOFORS AB (100.0%)
691 80 Karlskoga, SE**

72 Inventor/es:

LÖNN, OLOF

ES 2 564 582 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

Método y dispositivo para la determinación de un ángulo de balanceo

5 La presente invención se refiere a un método para la determinación del ángulo de balanceo de un cuerpo giratorio a modo de proyectil utilizando sensores para la detección de señales de rotación en un sistema de coordenadas fijado al cuerpo, estando los sensores situados a lo largo de los ejes de referencia del sistema de coordenadas fijado al cuerpo a lo largo del eje de balanceo y unos ejes perpendiculares primero y segundo que son perpendiculares al eje de balanceo, emitiendo los sensores situados a lo largo de los ejes de referencia que son perpendiculares al eje de balanceo señales rotativas que son periódicas, filtrándose las señales de rotación fijadas al cuerpo emitidas por los sensores situados a lo largo del eje de referencia que son perpendiculares al eje de balanceo.

15 Un proyectil que se mueve en una trayectoria balística, véase la figura 2, rotará el vector de velocidad alrededor de un eje que está situado en un plano horizontal. La rotación del vector de velocidad tendrá lugar alrededor de un eje y y_{PF} fijado al plano. El sistema de coordenadas fijado al plano se define de tal manera que su origen sigue al centro de gravedad del proyectil. El eje x fijado al plano apunta hacia delante en el proyectil a lo largo del eje de simetría. El eje y fijado al plano apunta a la derecha, visto desde atrás, y está situado en un plano que tiene el vector g (g=gravitación) como perpendicular. Finalmente, el eje z fijado al plano apunta de tal manera que el sistema de coordenadas tiene una rotación hacia la derecha.

20 Cuando se montan sensores de rotación en el proyectil, es conveniente definir un sistema de coordenadas fijado al cuerpo por la designación BF (fijado al cuerpo), véase la figura 1. Cuando el proyectil rota alrededor del eje de simetría, surge un ángulo entre el eje y y el eje z del sistema de coordenadas fijado al plano y los respectivos eje y y eje z del sistema de coordenadas fijado al cuerpo. Este ángulo se designa como “φ” en la figura 1 y en lo sucesivo se denomina ángulo de balanceo.

25 Si se montan tres sensores de medición de rotación en el proyectil de tal manera que miden la rotación alrededor de respectivos ejes de coordenadas fijados al cuerpo directamente o por medio de una combinación lineal, el vector de rotación inercial puede expresarse en las direcciones ω_{xBF}, ω_{yBF}, ω_{zBF} rotativas del sistema de coordenadas fijado al cuerpo.

30 La rotación alrededor del eje y fijado al plano puede expresarse entonces como señales de medición a partir de las señales de sensor de rotación fijado al cuerpo y a continuación puede calcularse el ángulo de balanceo.

35
$$\omega_{yBF} = \omega_{yPF} \cdot \cos(\phi)$$

$$\omega_{zBF} = -\omega_{yPF} \cdot \sin(\phi)$$

40
$$\phi = a \tan\left(\frac{-\omega_{zBF}}{\omega_{yBF}}\right)$$

45 Sin embargo, sobre el proyectil actúan no solo el vector g, sino también la atmósfera y, en particular, la turbulencia del viento en la atmósfera. Esto da lugar a interferencias momentáneas alrededor de los ejes y_{BF} y z_{BF} de coordenadas. Esto, a su vez, da lugar a rotaciones en ω_{yBF} y ω_{zBF}. Estas rotaciones pueden ser mayores por una potencia de 10 que la rotación ω_{yPF} causada por el efecto del vector g en la trayectoria. Por tanto, en la práctica, no puede usarse la sencilla fórmula anterior para calcular el ángulo de balanceo directamente. Por tanto, para manejar las señales de sensor de rotación fijado al cuerpo, las señales se filtran. No obstante, se ha comprobado que es difícil filtrar de manera eficaz señales de medición que sean no lineales. Por ejemplo, se ha comprobado que los filtros lineales del tipo Kalman son difíciles de usar.

50 Por el documento US 5 886 257 A se conoce un ejemplo de una disposición que da a conocer un girómetro proporcional de balanceo, cabeceo y guiñada que implica el filtrado de tipo Kalman según el párrafo anterior.

55 Por el documento US 4 542 870 A se conoce un misil en el que el ángulo de balanceo se obtiene integrando el girómetro proporcional de balanceo.

Por los documentos US 6 136 021 A y US 6 208 936 B1 se conocen sistemas de navegación que usan sensores magnéticos e implican una etapa de combinación con reducción de señales de medición periódicas a una frecuencia de cero.

60 El documento US 4 790 493 A da a conocer otro ejemplo de medición de balanceo en relación con un misil y en este caso se dispone un único girómetro proporcional actuando conjuntamente con una disposición de sensor.

El objeto de la presente invención es lograr un método para la determinación de un ángulo de balanceo que elimine las interferencias de señal de rotación causadas por interferencias momentáneas que surgen alrededor de los ejes ω_{yBF} y ω_{zBF} de coordenadas fijados al cuerpo del cuerpo de una manera más eficaz y sencilla. El objeto de la invención se logra mediante un método caracterizado porque las señales de rotación fijadas al cuerpo emitidas por los sensores situados a lo largo de los ejes (y_{BF} , z_{BF}) de referencia que son perpendiculares al eje de balanceo se mezclan con un ángulo (ϕ) de balanceo estimado determinado a partir de la señal de rotación procedente del sensor situado a lo largo del eje de balanceo y se compensan mediante un término ($\Delta\phi$) correctivo, porque a continuación se aplica un filtro paso bajo a las señales de rotación emitidas por los sensores situados a lo largo de los ejes (y_{BF} , z_{BF}) de referencia que son perpendiculares al eje de balanceo, y porque el ángulo (ϕ) de balanceo se determina a partir de la señal de rotación procedente del sensor situado a lo largo del eje (x_{BF}) de balanceo y se compensa por el término ($\Delta\phi$) correctivo calculando los siguientes parámetros:

$$LP_{en_inferior} = -\omega_{yBF} \cdot \cos(\phi + \Delta\phi) + \omega_{zBF} \cdot \sin(\phi + \Delta\phi)$$

$$LP_{en_superior} = -\omega_{yBF} \cdot \sin(\phi + \Delta\phi) - \omega_{zBF} \cdot \cos(\phi + \Delta\phi)$$

donde:

ω_{yBF} y ω_{zBF} son las señales de rotación emitidas desde los sensores situados a lo largo de los ejes de referencia que son perpendiculares al eje de balanceo,

ϕ es el ángulo de balanceo y $\Delta\phi$ es un parámetro de compensación de balanceo,

LP indica que a los parámetros calculados se les aplica filtro paso bajo, y

determinando además el término correctivo aplicado al ángulo (ϕ) de balanceo determinado a partir de la señal de rotación procedente del sensor situado a lo largo del eje de balanceo según el siguiente cálculo:

$$\Delta\phi = K \cdot \arctan\left[\frac{LP_{en_inferior}}{LP_{en_superior}}\right]$$

en el que K es un factor de amplificación.

Por medio de la invención, se consiguen métodos para la determinación de un ángulo de balanceo que estiman el ángulo de balanceo de una manera eficaz utilizando un filtrado no lineal inteligente en un intervalo de frecuencia baja controlable.

La invención se describirá a continuación en mayor detalle con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1 muestra definiciones de ejes de coordenadas y rotaciones.

La figura 2 muestra un ejemplo de una trayectoria de proyectil balística.

La figura 3 muestra el contenido de frecuencia de las señales ω_{yBF} , ω_{zBF} de medición en una posición inicial.

La figura 4 muestra el contenido de frecuencia de las señales ω_{yBF} , ω_{zBF} de medición tras combinación con reducción a frecuencia de cero.

La figura 5 muestra un dispositivo de filtro que se encuentra en el dispositivo según la invención.

La figura 6 muestra un ejemplo de un eliminador de $\Delta\phi$ que puede encontrarse en el dispositivo de filtro según la figura 5.

La figura 7 muestra un filtro de bloqueo de fase que se encuentra en el dispositivo de filtro según la figura 5.

Las figuras 1 y 2 ya se han comentado en la introducción a la descripción y por tanto solo van a comentarse aquí algunos detalles complementarios. Al proyectil mostrado en las figuras 1 y 2 se le ha proporcionado el número de referencia 1 y sigue una trayectoria 2 balística.

La función del dispositivo de filtro se ilustra en las figuras 3 y 4. La señal útil $\left. \frac{\partial \theta_g}{\partial t} \right|$ está originalmente a la

frecuencia ω_{xBF} y está rodeada por las interferencias 3, 4 en cada lado de esta frecuencia, véase la figura 3.

Tras la combinación con reducción, la señal útil $\left| \frac{\partial \theta_g}{\partial t} \right|$ está a la frecuencia de cero y las interferencias designadas ahora con 5 están ahora superpuestas a frecuencias algo mayores que cero. Las interferencias 5 se han llevado a un nivel tal, en lo que respecta a la frecuencia, que pueden filtrarse por medio de un filtro paso bajo.

La combinación con reducción de la señal útil puede describirse por medio de las siguientes dos ecuaciones que son señales de entrada al filtro paso bajo inferior y superior respectivamente, véase la figura 7.

$$LP_{en_inferior} = \frac{\partial \theta_g}{\partial t} \cdot \cos(\phi) \cdot \cos(\phi + \Delta\phi) + \frac{\partial \theta_g}{\partial t} \cdot \text{sen}(\phi) \cdot \text{sen}(\phi + \Delta\phi) = \frac{\partial \theta_g}{\partial t} \cdot \cos(\Delta\phi)$$

$$LP_{en_superior} = \frac{\partial \theta_g}{\partial t} \cdot \cos(\phi) \cdot \text{sen}(\phi + \Delta\phi) - \frac{\partial \theta_g}{\partial t} \cdot \text{sen}(\phi) \cdot \cos(\phi + \Delta\phi) = \frac{\partial \theta_g}{\partial t} \cdot \text{sen}(\Delta\phi)$$

El ángulo de balanceo se designa como ϕ y $\Delta\phi$ es el error constante en el ángulo de balanceo.

El error $\Delta\phi$ de posición de fase se obtiene dividiendo estas dos señales anteriores y aplicando a continuación la función tangente inversa. Este error se amplifica por un factor K y el resultado es un término de compensación para ω_{xBF} , lo que significa que el filtro tiene como origen cero en error de fase independientemente de que el error sea positivo o negativo al inicio del proceso de filtrado. Cuando hay un error de medición constante en la señal de ω_{xBF} , da como resultado un error de fase constante directamente fuera de la parte de bloqueo de fase del filtro. Este error de fase constante puede eliminarse en un proceso matemático posterior de la señal de salida por medio de un eliminador de $\Delta\phi$.

Para describir la función del dispositivo de filtro con referencia a las figuras 5-7 se han usado diagramas de bloques.

Así, puede observarse que $\frac{\partial \theta_g}{\partial t}$ está negativamente relacionado con el eje ω_{yBF} eje ω_{zBF} , lo que significa que a la señal de medición para ω_{yBF} se le va a proporcionar un signo menos y que el signo es positivo para ω_{zBF} .

El dispositivo 6 de filtro según la figura 5 comprende un filtro 7 de bloqueo de fase y un eliminador 8 de $\Delta\phi$. En la entrada del dispositivo de filtro, hay tres señales de medición emitidas por sensores (no mostrados) que miden la rotación alrededor de los tres ejes ω_{xBF} , ω_{yBF} , ω_{zBF} de coordenadas fijados al cuerpo. El dispositivo de filtro tiene también dos señales de salida, de las cuales la señal $(\phi+W_1)$ superior no tiene ningún término de error constante, pero por otra parte el nivel W_1 de ruido es mayor que para la señal de salida inferior. La señal de salida inferior contiene un error $\Delta\phi$ constante. Este error surge cuando el sensor para ω_{xBF} tiene un error constante. No obstante, el ruido W_2 de la señal de salida inferior es menor que la señal de salida superior. Qué señal de salida se selecciona depende de los requisitos con respecto al ruido y error constante que se adoptan para el ángulo de balanceo estimado.

La figura 6 muestra la construcción del eliminador 8 de $\Delta\phi$. En el eliminador de $\Delta\phi$ hay una unidad de cálculo que calcula:

$$y = LP_cos(\Delta\phi) * \text{sen}(\phi+\Delta\phi) - LP_sen(\Delta\phi) * \cos(\phi+\Delta\phi)$$

$$x = LP_sen(\Delta\phi) * \text{sen}(\phi+\Delta\phi) + LP_cos(\Delta\phi) * \cos(\phi+\Delta\phi)_y$$

$$\text{atan}(y/x) \text{ para obtener } \phi + W_1,$$

La unidad de cálculo puede consistir en un microprocesador que lleva a cabo operaciones matemáticas mostradas en los bloques 9, 10 y 11. Las señales de entrada para el eliminador de $\Delta\phi$ se obtienen del filtro 7 de bloqueo de fase mostrado en la figura 7, donde (1), (2), (3) y (4) muestran dónde están disponibles las señales.

El filtro 7 de bloqueo de fase en la figura 7 comprende los siguientes bloques, en concreto un bloque 12 de cambio de signo, dos filtros 13, 14 paso bajo, operadores 15-18 de seno y coseno, multiplicadores 19-22, sumadores 23-25,

función 26 tangente inversa, amplificador 27 con factor K de amplificación y un bloque 28 de integración.

5 Los filtros 13 y 14 paso bajo que se muestran en la figura 7 se adaptan a la aplicación en cuestión. Si se requiere que el dispositivo de filtro vuelva al origen rápidamente, los filtros 13 y 14 paso bajo se configuran con una frecuencia lo más alta posible, pero con la condición de que el filtro de bloqueo de fase total sea estable. Por otro lado, si se requieren pequeños errores y poco ruido, los filtros 13 y 14 paso bajo se diseñan con ancho de banda estrecho y de gran magnitud, pero con la condición de que el filtro de bloqueo de fase sea estable. La amplificación del filtro de bloqueo de fase (velocidad) puede configurarse variando el factor K de amplificación. Normalmente, el factor K de amplificación debe ajustarse cuando los filtros 13 y 14 paso bajo se adaptan a la aplicación en cuestión.

10

REIVINDICACIONES

1. Método para la determinación del ángulo de balanceo de un cuerpo (1) giratorio a modo de proyectil utilizando sensores para la detección de señales de rotación en un sistema (xBF, yBF, zBF) de coordenadas fijado al cuerpo, estando los sensores situados a lo largo de los ejes de referencia del sistema de coordenadas fijado al cuerpo a lo largo del eje (xBF) de balanceo y unos ejes (yBF, zBF) perpendiculares primero y segundo que son perpendiculares al eje de balanceo, emitiendo los sensores situados a lo largo de los ejes (yBF, zBF) de referencia que son perpendiculares al eje de balanceo señales rotativas que son periódicas, filtrándose (7) las señales de rotación fijadas al cuerpo emitidas por los sensores situados a lo largo de los ejes (yBF, zBF) de referencia que son perpendiculares al eje de balanceo,

estando el método caracterizado porque las señales de rotación fijadas al cuerpo emitidas por los sensores situados a lo largo de los ejes (yBF, zBF) de referencia que son perpendiculares al eje de balanceo se mezclan con un ángulo (ϕ) de balanceo estimado determinado a partir de la señal de rotación procedente del sensor situado a lo largo del eje de balanceo y se compensan por un término ($\Delta\phi$) correctivo, y a continuación se aplica un filtro paso bajo, calculando los siguientes parámetros:

$$LP_{en_inferior} = -\omega_{yBF} \cdot \cos(\phi + \Delta\phi) + \omega_{zBF} \cdot \sin(\phi + \Delta\phi)$$

$$LP_{en_superior} = -\omega_{yBF} \cdot \sin(\phi + \Delta\phi) - \omega_{zBF} \cdot \cos(\phi + \Delta\phi)$$

donde:

ω_{yBF} y ω_{zBF} son las señales de rotación emitidas desde los sensores situados a lo largo de los ejes de referencia que son perpendiculares al eje de balanceo,

ϕ es el ángulo de balanceo determinado a partir de la señal de rotación procedente del sensor situado a lo largo del eje (xBF) de balanceo, y $\Delta\phi$ es el término correctivo, y

LP indica que a los parámetros calculados se les aplica filtro paso bajo, estando el método además caracterizado porque el término ($\Delta\phi$) correctivo se determina según el siguiente cálculo:

$$\Delta\phi = K \cdot \arctan [(LP_{en_inferior}) / (LP_{en_superior})]$$

donde K es un factor de amplificación

y porque el ángulo de balanceo se determina a partir de la señal de rotación procedente del sensor situado a lo largo del eje (xBF) de balanceo y se compensa por el término ($\Delta\phi$) correctivo.

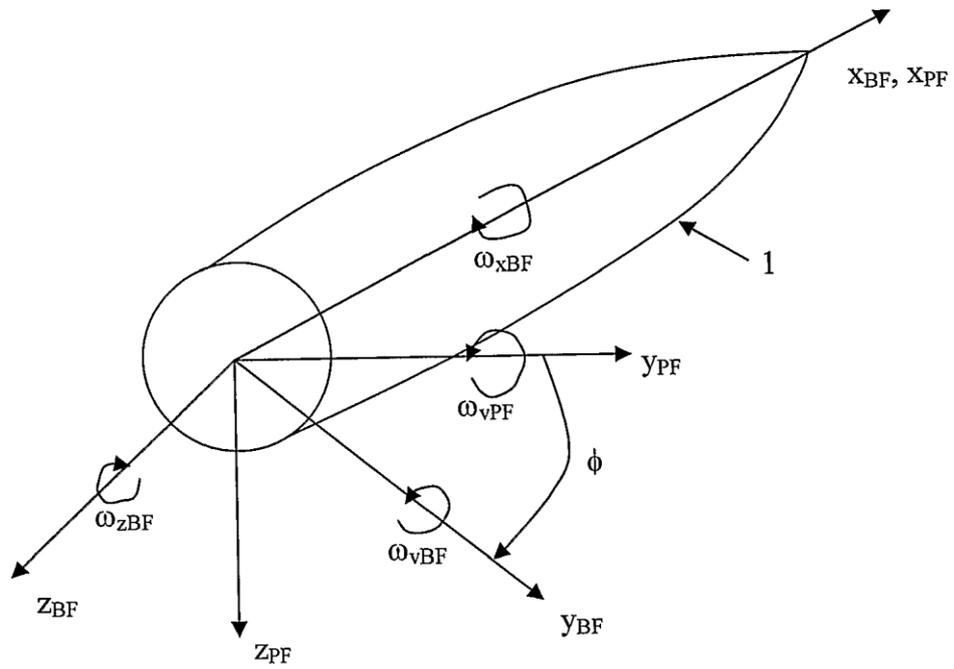


Figura 1

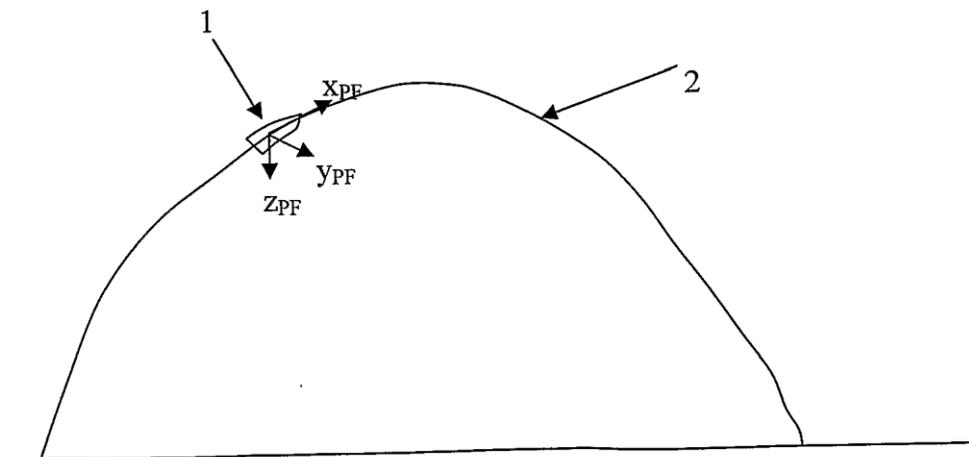


Figura 2

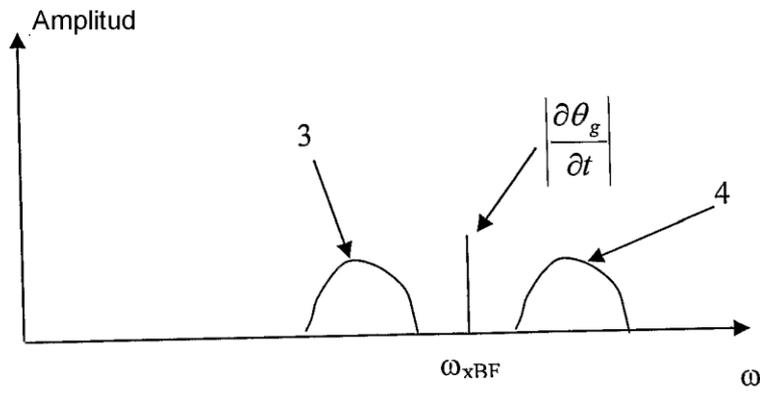


Figura 3

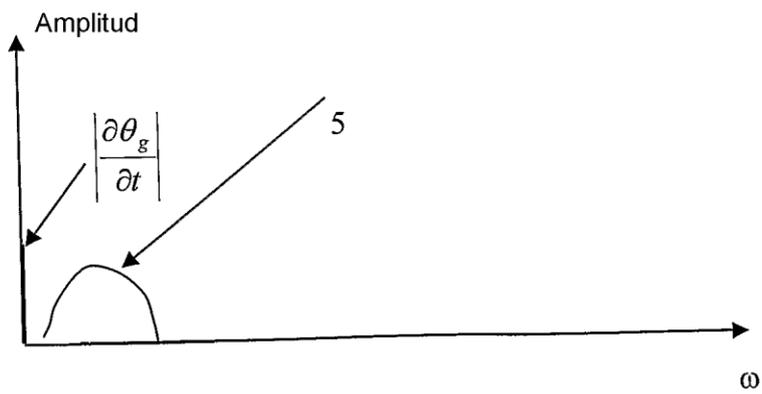


Figura 4

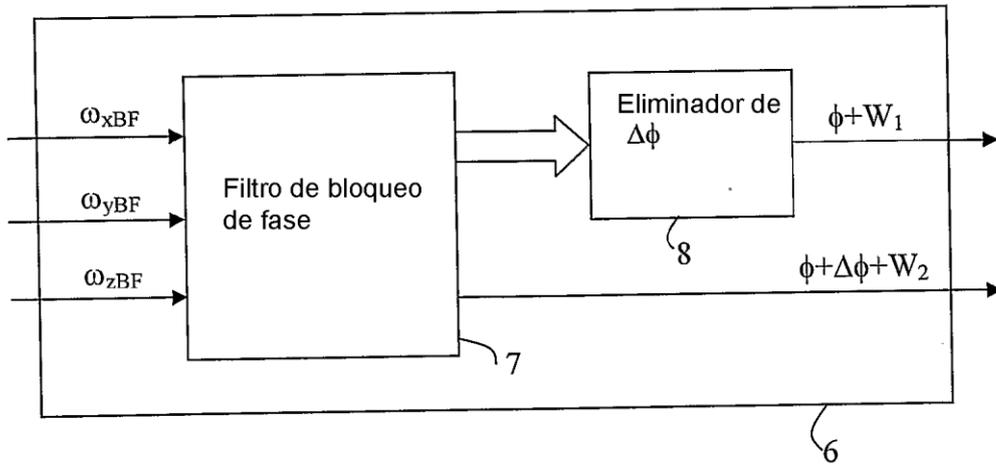


Figura 5

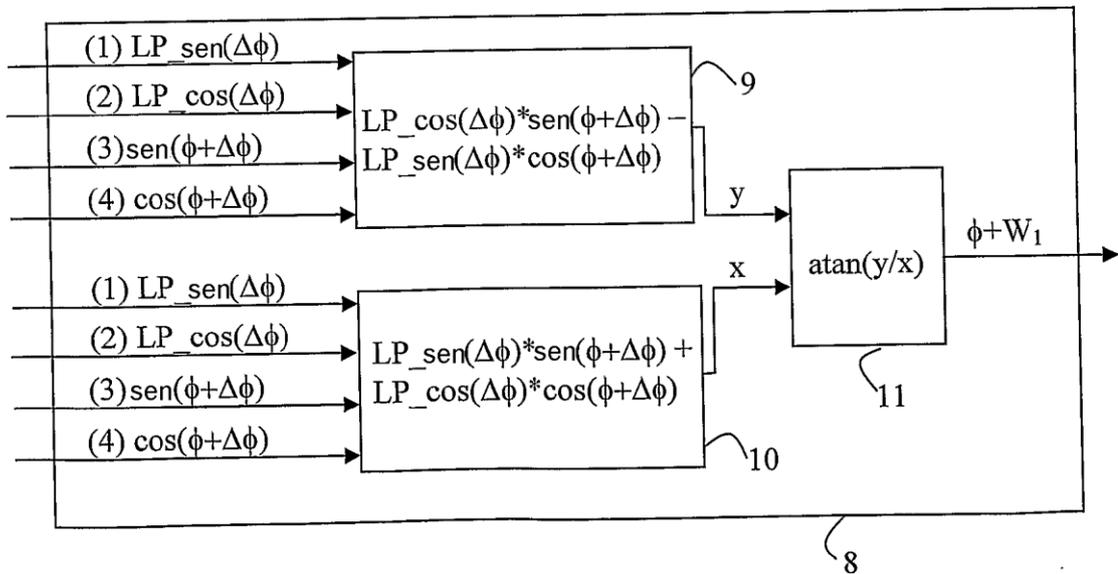


Figura 6

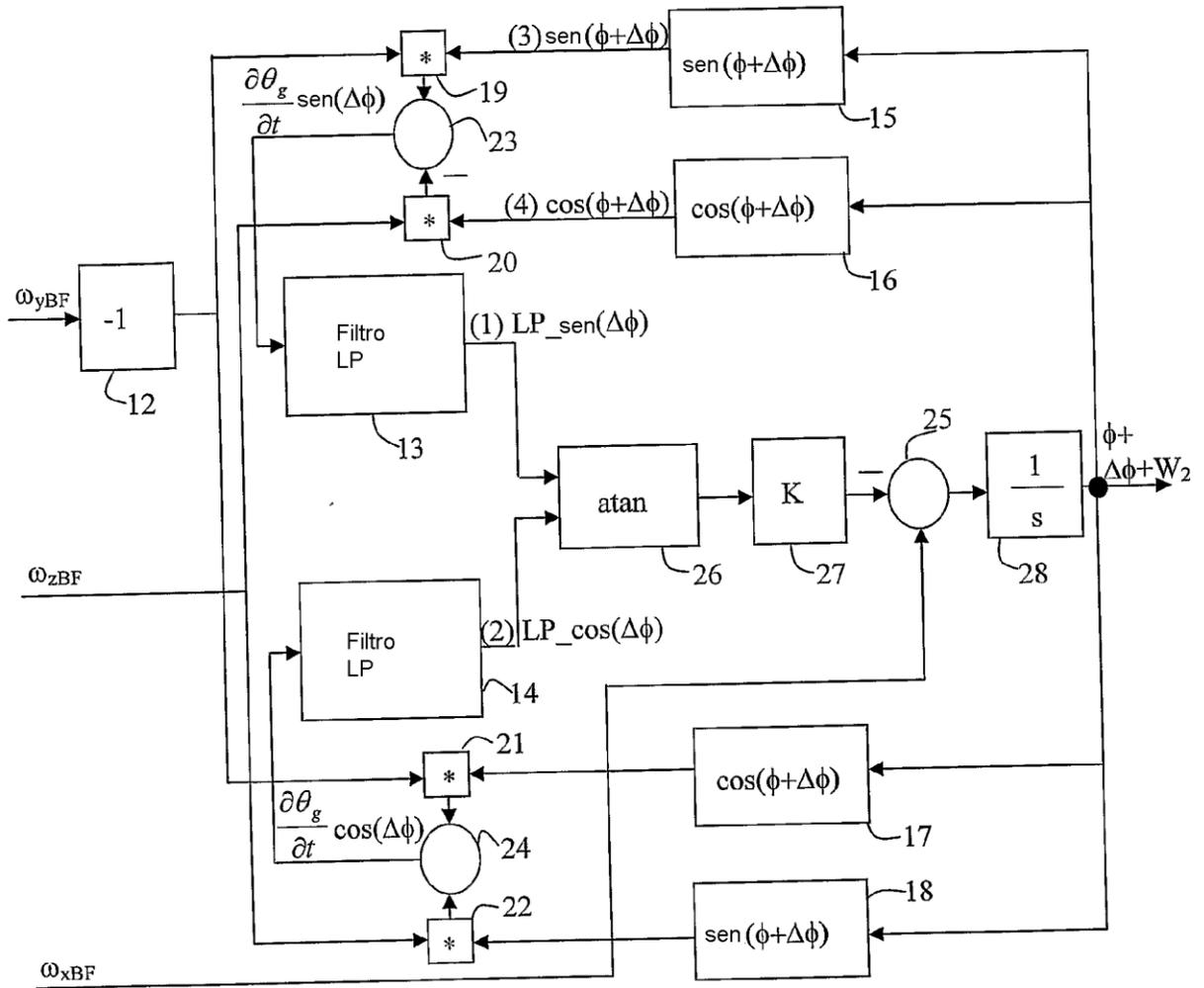


Figura 7