



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 342 454**

51 Int. Cl.:
G01D 5/14 (2006.01)
G01B 7/30 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **01956312 .1**
96 Fecha de presentación : **11.07.2001**
97 Número de publicación de la solicitud: **1315946**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **04.06.2003**

54 Título: **Procedimiento para ampliar el intervalo de medición del ángulo absoluto en sensores de campo magnético.**

30 Prioridad: **30.08.2000 DE 100 42 602**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
07.07.2010

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
07.07.2010

73 Titular/es: **ROBERT BOSCH GmbH**
Postfach 30 02 20
70442 Stuttgart, DE

72 Inventor/es: **Meyer, Marcus;**
Kliffken, Markus, G. y
Thoelke, Holger

74 Agente: **Carvajal y Urquijo, Isabel**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para ampliar el intervalo de medición del ángulo absoluto en sensores de campo magnético.

5 **Campo industrial**

En los procedimientos actuales para la medición angular se hacen trabajar sensores de campo magnético en una disposición en forma de puente de medición. En el caso de los sensores de magnetorresistencia anisótropa AMR no es posible una medición del ángulo absoluto sobre un intervalo angular 360° sin un coste elevado. En el caso de los
10 sensores de tipo Hall y respectivamente de magnetorresistencia gigante GMR es posible la ampliación del intervalo a 360° en el caso de los sensores de tipo AMR es posible en un intervalo de medición de 180°.

Estado de la técnica

15 En los sensores de campo magnético actuales, que contienen una conexión en puente (por ejemplo puente de Wheatstone), únicamente puede llevarse a cabo con dificultad, en todo caso, una medición del ángulo absoluto de 360°. Un elemento sensor proporciona una tensión, que corresponde a la relación (1):

$$20 \quad U_{\theta} = U_0 + \Delta U \cos^2(\theta) \quad (1)$$

25 Por consiguiente, en el caso de los sensores de tipo AMR es posible una medición del ángulo absoluto de hasta 180° inclusive sin conexión eléctrica adicional. Para llevar a cabo la medición del ángulo absoluto se requieren dos puentes completos que están dispuestos respectivamente a 45° entre sí. Uno de estos puentes completos proporciona una señal senoidal, el otro puente completo proporciona una señal cosenoidal de la trayectoria a ser medida de la tensión, cuya señal está desplazada 90° en fase.

30 Cuando se relacionan recíprocamente las tensiones de salida, puede ser determinada la función de Arctan del ángulo absoluto del desplazamiento en fase. Con esta finalidad sirve la relación siguiente:

$$35 \quad \theta' = \frac{1}{2} \arctan \left(\frac{U_{\text{sen}}(\theta)}{U \cos(\theta)} \right) \quad (2)$$

40 La relación de segundo grado, de conformidad con la ecuación (1), permite únicamente una función en forma de dientes de sierra con una cobertura de 180°.

Una resolución angular periódica de 180° proporciona valores ambiguos en el caso de una rotación completa (ángulo de 360 grados). Sin embargo, con frecuencia se requiere o se desea un intervalo de valores unívoco debido a consideraciones funcionales. Esto puede ser realizado, por ejemplo, por medio de bobinas magnéticas adicionales dentro o fuera del elemento sensor. Sin embargo, tales soluciones requieren sensores costosos y circuitos de evaluación complicados. Este gasto adicional de circuitería debe ser evitado y, por consiguiente, los costes relacionados con el mismo. Por otra parte, los sensores con bobinas magnéticas sólo pueden ser modificados con dificultad en los circuitos ya existentes.

50 Los documentos de las patentes DE 197,22,016, DE 195,39,134, DE 198,17,356, DE 198,18,799 y DE 44,40,214 describen ya un procedimiento de medición del ángulo, según el cual se determina un ángulo de fino mediante la evaluación de dos señales de sensores de campo magnético. La señal es ambigua en el intervalo del ángulo completo, sin embargo la ambigüedad puede ser compensada si se asigna a la señal fina un intervalo angular aproximado tal como, por ejemplo, un segmento circular, por medio de una determinación complementaria.

Exposición de la invención

60 Con la solución propuesta, de conformidad con la invención, puede conseguirse un cálculo del ángulo absoluto, que no representa elevadas exigencias con respecto al equipamiento físico. En los circuitos de evaluación, ya existentes, que están equipados con un transductor analógico/digital A/D, pueden llevarse a cabo modificaciones en el circuito para llevar a cabo el procedimiento de conformidad con la invención, simplemente con un bajo gasto para el reequipamiento. El procedimiento de evaluación puede ser adaptado, sin problemas y de manera sencilla, a otros sensores por medio de los grados de libertad en el momento de llevar a cabo el proyecto de los factores normalizados A_{sen} , A_{cos} . Los valores de desplazamiento K_{sen} y K_{cos} pueden ser aportados, por ejemplo, a la hora de la construcción del sistema de evaluación en el ámbito de la programación al final de la cadena de montaje.

Con la solución propuesta, de conformidad con la invención, puede llevarse a cabo el cálculo de los valores de desplazamiento K_{sen} y respectivamente K_{cos} tanto en la parte analógica así como, también, en la parte digital de un circuito de evaluación.

- 5 Con el procedimiento propuesto, de conformidad con la invención, es posible una elongación de la función de Arc-tan desde 180° hasta 360° y, por consiguiente, es posible una ampliación del intervalo de valores. Cuando se detectan las transiciones de los flancos de 360° , es posible con el procedimiento de conformidad con la invención también una medición incremental o una detección del ángulo absoluto de aquellos ángulos absolutos que sean mayores que 360° . Así mismo en el caso de esta variante de realización de la solución, propuesta de conformidad con la invención, pueden
10 suprimirse bobinas magnéticas adicionales, que están integradas en el elemento sensor. De este modo, puede implementarse la variante de realización incluso en los circuitos de evaluación ya suministrados o bien que se encuentren ya en funcionamiento sin un gran gasto de reequipamiento. Con el procedimiento propuesto, de conformidad con la invención, para aumentar el intervalo de medición del ángulo absoluto pueden medirse de manera muy exacta ángulos absolutos dentro de una rotación completa de 360° , siendo posible sin problemas con el procedimiento propuesto, de
15 conformidad con la invención, un aumento del intervalo de medición en un múltiplo de una rotación de 360° .

Dibujo

- 20 La invención se explica a continuación con mayor detalle por medio del dibujo.

Se muestra:

- en la figura 1 la trayectoria de las señales de entrada desplazadas en fase en forma de una parte senoidal y de una
25 parte cosenoidal de una tensión de entrada, que están recíprocamente desplazadas en fase a 90° y la trayectoria en forma de dientes de sierra del ángulo absoluto dividida en dos segmentos en forma de diente de sierra de 180° cada uno,

- en la figura 2 las trayectorias de la tensión de la parte de la tensión senoidal y respectivamente de la parte de la
30 tensión cosenoidal y su representación en una rotación completa de 360° del ángulo absoluto,

en la figura 3 un circuito de evaluación, en el que se lleva a cabo la normalización de las amplitudes de las señales de entrada en la parte analógica y

- 35 en la figura 4 un circuito de evaluación de conformidad con la figura 3, con factores de normalización así como los valores de desplazamiento en la parte digital del circuito de evaluación.

Variantes de realización

- 40 Como consecuencia de la relación de segundo orden de conformidad con la ecuación 1 se ajusta en las trayectorias de la tensión de conformidad con la figura 1, que han sido designadas con el número de referencia 1, la trayectoria de la tensión que ha sido representada en la misma. La trayectoria de la tensión debe ser subdividida en una parte senoidal 2 así como en una parte cosenoidal 3, que están recíprocamente desplazadas en fase a 90° , como se ha indicado
45 ya precedentemente. Con el número de referencia 6 se ha designado el desplazamiento del circuito en puente de $U_{puente} = U_{alimentación}/2$. Si se relacionan recíprocamente la parte senoidal 2 así como la parte cosenoidal 3 de la tensión, podrá determinarse el ángulo absoluto a través de la función arctan de conformidad con la otra ecuación 2 que ha sido representada más arriba. La función en forma de dientes de sierra de conformidad con la figura 1 se ha caracterizado con mayor detalle por medio de un primer diente de sierra a 180° por medio del número de referencia 7 así como por
50 medio de un segundo diente de sierra a 180° caracterizado con el número de referencia 8. Los dientes de sierra, que son conocidos en esta solución por el estado de la técnica, se extienden únicamente a través de un intervalo de medición comprendido entre 0 y 180° o bien desde 180° hasta 360° . Cuando se lleva a cabo una elaboración ulterior de las señales del ángulo absoluto, obtenidas de este modo, se presentan asignaciones ambiguas para diversos ángulos absolutos θ' por cada diente de sierra 7 y respectivamente 8. Con frecuencia no es deseable la ambigüedad de las informaciones
55 sobre los ángulos absolutos 7 y 8, considerado a través de una rotación completa de 360° . Por consiguiente, es deseable una solución sencilla para llevar a cabo la medición del ángulo unívoca para realizar la formación de valores definidos de manera unívoca.

- El procedimiento propuesto de conformidad con la invención para llevar a cabo la ampliación de la detección
60 del intervalo del ángulo absoluto comprende un sensor de campo magnético de tipo sensor AMR/GMR o incluso un elemento Hall así como un circuito de evaluación 12, por ejemplo un dispositivo de control. Las tensiones de salida 2 y respectivamente 3 son digitalizadas en un transductor A/D 15 y, a continuación, son enviadas al algoritmo de Arctan 27. Este algoritmo proporciona la información sobre el ángulo absoluto para otras finalidades de evaluación en un tratamiento ulterior de las señales. La medición ampliada del ángulo absoluto está basada en la determinación del
65 ángulo a partir de la relación de las magnitudes de entrada, por ejemplo de la parte senoidal 2 y de la parte cosenoidal 3 de la tensión.

Se cumple que:

$$\tan \theta = \frac{A \sin \theta}{B \cos \theta} = \frac{x}{y} \quad (3)$$

cuando se suma al denominador de la ecuación (3) un desplazamiento C, y se modifica dar y'.

El desplazamiento C se considera a continuación bien como un aumento o bien como una disminución.

$$y' = B \cos \theta + C \quad (4)$$

Si se aplica a la ecuación (3), se obtiene:

$$\tan \theta' = \frac{x}{y'} = \frac{A \sin \theta}{B \cos \theta + C} \quad (5)$$

Cuando el sensor está compensado, se cumple que A=B. Bajo esta condición previa se obtiene:

$$\tan \theta' = \frac{\sin \theta}{\cos \theta + \frac{C}{A}} \quad (6)$$

$$0 \leq C \leq A.$$

En el caso especial en que C=A=B=1 se obtiene el caso especial de la función trigonométrica del semiángulo.

$$\tan \frac{\theta}{2} = \frac{\sin \theta}{\cos \theta + 1} \quad (7)$$

De aquí se deduce que:

$$\tan \theta' = \tan \frac{\theta}{2} = \frac{\sin \theta}{\cos \theta + \frac{C}{A}} \quad (8)$$

Esta relación describe ahora dos trayectorias elongadas en forma de diente de sierra del ángulo absoluto que pueden ser influenciadas por medio del desplazamiento C con respecto a la anchura de su período. Si el desplazamiento C es menor que las constantes A y respectivamente B de conformidad con las ecuaciones 5 y respectivamente 8 se obtienen dos trayectorias parecidas a dientes de sierra dentro de 360°, como se ha representado, por ejemplo, en relación con la trayectoria del ángulo absoluto en la figura 1. Las dos trayectorias parecidas a dientes de sierra, que están caracterizadas por los números de referencia 7 y 8, pueden presentar distintas amplitudes del período (por ejemplo P1 = 180° + α y P2 = 180° - α para 0 < α < 180°). Sin embargo, estas trayectorias también podrían ser evaluadas con el procedimiento propuesto de conformidad con la invención, pero, sin embargo, presuponen un circuito de evaluación esencialmente más complejo, en comparación con los circuitos de evaluación 12 que están representados en las figuras 3 y 4 siguientes.

La figura 3 muestra un circuito de evaluación 12 que se hace trabajar con el procedimiento propuesto de conformidad con la invención, que comprende una parte analógica 13 así como una parte digital 14.

En el lado de entrada 25 del circuito de evaluación 12 se encuentra la parte senoidal y respectivamente la parte cosenoidal 2, 3 de la tensión. Estas partes se someten en primer lugar a una normalización de las amplitudes 16. En el ámbito de la normalización de las amplitudes se lleva a cabo la determinación de los factores de normalización 22, 23 en la configuración de conformidad con la figura 3 antes de llevarse a cabo la transformación de la señal de las señales analógicas en señales digitales en el transductor A/D.

Después de la transformación de las señales analógicas en señales digitales, son retransmitidas las señales de salida del transductor analógico/digital 15 hasta el módulo sumador 20. En las entradas de las funciones de adición 20 se encuentran en la parte digital 14 del circuito de evaluación 12 las señales de salida de las funciones de desplazamiento senoidales y respectivamente de las funciones de desplazamiento cosenoidales 18 y respectivamente 19. Ahora se adicionan a las partes de la tensión tratadas de manera digital para el seno y para el coseno 2 y respectivamente 3, los correspondientes desplazamientos senoidales 18 y respectivamente los correspondientes desplazamientos cosenoidales 19, como paso previo de relacionar entre sí en un bloque funcional las señales obtenidas después de la suma en los módulos sumadores 20. Los bloques funcionales pueden estar realizados en forma de códigos de programas de ordenador, por ejemplo dentro de un dispositivo microcontrolador o pueden estar configurados también por elementos componentes individuales montados de manera discreta. La relación de las tensiones $21 U_{sen}/U_{cos}$ se presenta como señal de salida en la función trigonométrica 27. En la salida del módulo que determina la función trigonométrica se encuentra una señal de salida estable, que es adecuada para llevar a cabo el tratamiento ulterior.

Por la representación de conformidad con la figura 4 se pone de manifiesto el circuito de evaluación de conformidad con la figura 3, sin embargo con la diferencia de que la normalización de las amplitudes se lleva a cabo completamente en la parte digital 14 del circuito de evaluación 12 así como la determinación de los desplazamientos para la parte senoidal y para la parte cosenoidal.

Las partes senoidales y respectivamente las partes cosenoidales 2 y respectivamente 3 de las magnitudes de entrada - en este caso de la señal de la tensión - se encuentran en el lado de entrada 25 del circuito de evaluación 12 de conformidad con la figura 4. Estas partes son enviadas directamente al transductor A/D, que son introducidas en las funciones de adición 20 de manera análoga a la de la configuración de conformidad con la figura 3 con los desplazamientos senoidales y respectivamente con los desplazamientos cosenoidales determinadas en las funciones independientes 18 y respectivamente 19. La señal de salida de los módulos sumadores 20 es normalizada en el tratamiento ulterior de las señales en el ámbito de una normalización de la amplitud 16 por medio de los factores de normalización A_{seno} 22 y respectivamente A_{coseno} 23, como paso previo a que se forme una relación de tensión entre U_{seno}/U_{coseno} a partir de las señales de salida de la normalización de la amplitud 16 de manera análoga a la de la representación de conformidad con la figura 3. La señal de salida, es decir la relación entre las tensiones modificadas se envía a un módulo de función trigonométrica 27, en el que se implementa la función arctan en variantes preferentes de realización del procedimiento propuesto de conformidad con la invención.

El factor C, que se toma en consideración para llevar a cabo la compensación de la diferencia de las fases entre las señales de entrada, se determina a partir de los valores de medición mínimos y máximos de las señales de entrada 2, 3:

$$C = K_{cos} = \frac{U_{\max cos} - U_{\min cos}}{2} \quad (9)$$

En el lado de salida 26 del circuito de evaluación 12, de conformidad con el procedimiento presente (representación comparativa de la figura 3 y respectivamente de la figura 4) se obtiene una señal estable, cuando se cumpla la condición de que $K_{cos} = C$ y $K_{sen} = 0$, estos valores son sumados al valor de la tensión de tal manera, que se evalúa en los módulos de la función trigonométrica 27 conectados aguas abajo un ángulo corregido en la magnitud C de la diferencia de fases, cuyo ángulo es convertido en el ángulo absoluto realmente reinante.

Con el procedimiento propuesto, de conformidad con la invención, puede llevarse a cabo una determinación de los ángulos, que sean mayores que 360° , por medio de la suma de los flancos de las transiciones a 360° cuando estos flancos sean registrados de conformidad con las disposiciones elongadas en forma de diente de sierra 9 en la figura 3. El procedimiento propuesto de conformidad con la invención es adecuado, por consiguiente, también para sistemas para la medición de ángulos con un intervalo de medición con una magnitud arbitraria, debiendo estar previstos simplemente un registro de los flancos en forma de diente de sierra y una marca de referencia.

Tal como se desprende de las representaciones de conformidad con las figuras 3 y 4, el circuito de evaluación 12 puede configurarse de manera variable. De este modo, puede llevarse a cabo, por ejemplo, la normalización por medio de los factores de normalización A_{seno} 22 y respectivamente A_{coseno} 23 tanto en la parte analógica 13 del circuito de evaluación 12 así como, también, en la parte digital 14 del circuito de evaluación 12, de conformidad con la figura 4.

Esto ofrece la ventaja de que en el procedimiento propuesto de conformidad con la invención no se plantean mayores requisitos a los componentes del equipo físico para llevar a cabo la ampliación del intervalo de medición del ángulo absoluto. De este modo es posible eliminar los sistemas de sensores caros de tipo AMR a 360° , que presentan bobinas integradas en el sistema de detección y que, por lo tanto, representan componentes caros; por otra parte puede

ES 2 342 454 T3

adaptarse el sistema conectado aguas arriba perfectamente a los sistemas sensores ya configurados o a los sistemas sensores que se encuentran ya en aplicación. Para las adaptaciones tienen que determinarse de nuevo únicamente los factores de normalización 22 y respectivamente 23 así como los valores de desplazamiento para la parte senoidal y para la parte cosenoidal 18 y respectivamente 19. La determinación de estos factores nuevos puede llevarse a cabo, por ejemplo, con ocasión de la obtención o con ocasión de la adaptación del sistema de evaluación en el ámbito de una programación al final de la cadena de montaje.

Lista de números de referencia

10	1	Trayectorias de la tensión
	2	Señal senoidal
	3	Señal cosenoidal
15	4	Ángulo magnético
	5	Ángulo absoluto (determinado)
20	6	Valor medio de la tensión
	7	Primer diente de sierra a 180°
25	8	Segundo diente de sierra a 180°
	9	Elongación angular
	10	Representación a 360°
30	11	Rotación completa
	12	Circuito de evaluación
35	13	Parte analógica
	14	Parte digital
	15	Transductor analógico/digital A/D
40	16	Normalización de las amplitudes
	17	Determinación del valor de corrección
45	18	Desplazamiento senoidal
	19	Desplazamiento cosenoidal
	20	Función de adición
50	21	Relación entre las tensiones
	22	Factor de normalización A_{seno}
55	23	Factor de normalización A_{coseno}
	24	Función trigonométrica
	25	Lado de entrada
60	26	Lado de salida

65

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para ampliar el intervalo de medición del ángulo absoluto en sensores de campo magnético, con
5 empleo de un circuito de evaluación (12) con las siguientes etapas del procedimiento:
 - la adición de un desplazamiento C que puede ser determinado de antemano a una de las dos magnitudes
de entrada (2, 3) que son generadas por los sensores de campo magnético, que dependen angularmente del
período, que se presentan con desplazamiento de fases, y
10
 - la formación de la relación en forma de un cociente de una de las dos magnitudes de entrada (2, 3) entre la
suma formada por la otra magnitud de entrada (2, 3), desplazada en fase, y el desplazamiento C,
con lo cual se posibilita una elongación (9) del intervalo de medición del ángulo absoluto de los sensores de campo
15 magnético hasta una rotación completa, es decir hasta 360 grados.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** porque el circuito de evaluación (12) contiene una parte
analógica (13) y una parte digital (14).
- 20 3. Procedimiento según la reivindicación 2, **caracterizado** porque puede llevarse a cabo una normalización de la
amplitud (16) de las magnitudes (2, 3) desplazadas en fase tanto en la parte analógica (13) así como, también, en la
parte digital (14) del circuito de evaluación.
4. Procedimiento según la reivindicación 2, **caracterizado** porque los factores de normalización (22, 23) A_{sen} , A_{cos}
25 son determinados bien en la parte analógica (13) o bien en la parte digital (14) del circuito de evaluación (12).
5. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** porque se determinan valores de desplazamiento (18,
19) para las respectivas magnitudes de entrada, que se presentan respectivamente como señal senoidal o como señal
cosenoidal (2, 3), a partir de los valores máximos y de los valores mínimos de las magnitudes de entrada (2, 3)
30 desplazadas en fase.
6. Procedimiento según la reivindicación 5, **caracterizado** porque el desplazamiento C se determina a partir de las
magnitudes de entrada (2, 3).
- 35 7. Procedimiento según la reivindicación 6, **caracterizado** porque pueden ser determinados tanto un desplazamien-
to K_{sen} (22) y un desplazamiento K_{cos} (23) a partir de los valores máximos y respectivamente de los valores mínimos
de las magnitudes de entrada (2, 3).
8. Procedimiento según la reivindicación 7, **caracterizado** porque los valores de desplazamiento obtenidos K_{sen}
40 (22) o K_{cos} (23) deben ser adicionados a las magnitudes de entrada (2) o (3) como paso previo al determinación del
ángulo absoluto.
9. Procedimiento según la reivindicación 8, **caracterizado** porque se obtiene en el lado de salida (26) del circuito
de evaluación (12) una señal de salida estable cuando el desplazamiento K_{cos} (19) corresponda al desplazamiento C y
45 cuando el K_{sen} (18) sea igual a 0.
10. Procedimiento según la reivindicación 8, **caracterizado** porque se obtiene en el lado de salida (26) del circuito
de evaluación (12) una señal de salida estable cuando el desplazamiento K_{sen} corresponda al desplazamiento C y
cuando el desplazamiento K_{cos} (19) = 0.

Fig.1

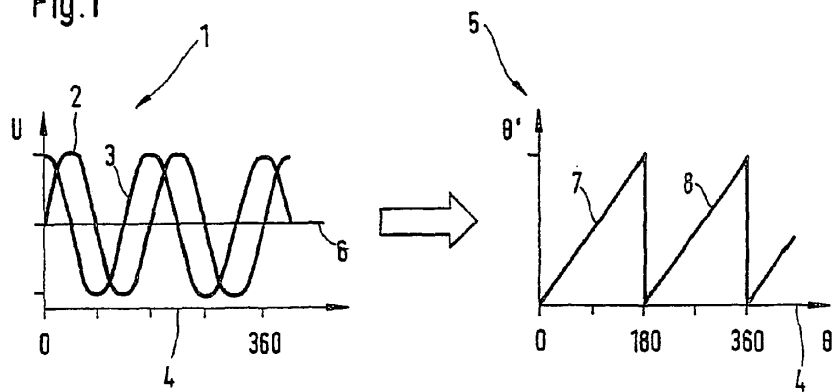


Fig.2

