

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 700 948**

51 Int. Cl.:

**G01D 5/347** (2006.01)

**G01D 18/00** (2006.01)

**G01D 5/244** (2006.01)

**G01P 21/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.11.2012 PCT/EP2012/004713**

87 Fecha y número de publicación internacional: **22.05.2014 WO14075698**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.11.2012 E 12799509 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.11.2018 EP 2920554**

54 Título: **Procedimiento para calibrar un codificador rotatorio**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**20.02.2019**

73 Titular/es:

**BAUMÜLLER NÜRNBERG GMBH (100.0%)**  
**Ostendstrasse 80-90**  
**90482 Nürnberg, DE**

72 Inventor/es:

**SCHINDLER, ACHIM**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

ES 2 700 948 T3

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

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento para calibrar un codificador rotatorio

La invención hace referencia a un procedimiento para calibrar un codificador rotatorio que emite una pista sinusoidal y una pista cosinusoide, en particular a un transmisor incremental de una máquina eléctrica. La invención se refiere además a una evaluación del codificador para llevar a cabo el procedimiento y a una máquina eléctrica.

5 En las máquinas accionadas por un motor eléctrico, como por ejemplo las máquinas herramienta, es necesario un conocimiento sobre la situación física actual del motor eléctrico para el funcionamiento preciso de la máquina. Así por ejemplo únicamente es posible la dosificación exacta de plástico en una máquina de fundición inyectada o bien la presión correcta por medio de una máquina o prensa offset alimentada por rollos de papel, si se conoce el ángulo actual del rotor o bien del estator y/o la velocidad actual de rotación del motor eléctrico. Por eso normalmente a un eje del rotor se sujeta o embrida un codificador rotatorio diseñado como transmisor incremental, que presenta un número de líneas determinado, por ejemplo 256. Por consiguiente, por medio del transmisor incremental se detectarán 256 pulsos con un giro del rotor de 360°. Incluso para obtener una resolución de ángulos inferior a 1,4° (360°/256) se emitirán por medio del codificador rotatorio una pista sinusoidal y una cosinusoide cuyo periodo respectivo equivalga a una rotación del rotor de 1,4°. La pista sinusoidal o cosinusoide será identificada habitualmente por dos sensores fotoeléctricos o magnéticos que están desplazados uno de otro unos 90° o bien su periodo, es decir en este caso 0,35° del eje del rotor.

10 Las pistas preparadas por ambos sensores no corresponden sin embargo a una función sinusoidal o cosinusoide óptima debido a las tolerancias del acabado del codificador rotatorio. Por lo tanto, es necesario calibrar el codificador rotatorio antes del funcionamiento de la máquina eléctrica. Es decir, se diferenciarán errores o fallos entre amplitudes, fases y offset. Al aplicar los puntos de medición averiguados por el codificador rotatorio de cada una de las pistas en un diagrama, donde la coordenada x de cada punto aplicado equivale al valor de medición de la pista cosinusoide y la coordenada y al valor de medición de la pista sinusoidal, los puntos de medición de un codificador rotatorio óptimo aparecerían formando un círculo alrededor del origen. En una deformación del círculo en una elipse se encuentra pues un error de amplitud, en una inclinación de la elipse se halla un error de fase y en una desviación del círculo o del origen se presenta un error de offset del codificador rotatorio.

15 De la DE 10163504 B4 se conoce un procedimiento para calibrar el codificador rotatorio. Aquí a partir de ambas pistas se fabrica un valor de medición en el cual de la suma de los cuadrados de ambas pistas se extrae la raíz cuadrada, es decir se averigua el radio del círculo, siempre que los puntos de medición se hayan aplicado en el diagrama antes mencionado. En otra etapa posterior se analiza de forma iterativa la evolución temporal del radio averiguado por medio de la transformada de Fourier y se averiguan los factores de corrección para la eliminación o supresión de los errores correspondientes. El círculo obtenido con las pistas corregidas en el diagrama presenta pues un punto medio o central en un origen y un radio constante. En otras palabras, la amplitud de las pistas corregidas es la misma, el offset de cada una de las pistas es igual a 0, y la fase entre ambas pistas equivale a 90°. Es decir, la pista cosinusoide equivale a la pista sinusoidal desplazada 90°.

20 De la US 2010/0321006 A1 se conoce un procedimiento para calibrar un dispositivo medidor de ángulos de giro con una magneto. La magneto presenta por ejemplo un número de polos. El rotor gira a una velocidad constante y se anota el ángulo durante un giro. Durante un giro se anotarán por ejemplo cientos de puntos de datos. Los puntos de datos recogidos se alejarán de una evolución angular de trazo teórico.

25 De la EP 2058628 A2 se conoce un procedimiento para el calibrado de un codificador rotatorio o algo similar. En una primera etapa el sistema de medición gira a una velocidad prácticamente constante, donde cada giro se divide en un número determinado de subsecciones o tramos, y para tramo la velocidad se averigua por separado. Se consigue una velocidad casi constante cuando la media de cada una de las velocidades varía comparativamente poco.

30 De la 6.598.196 B1 se conoce un procedimiento para la corrección de errores de un servosistema. Lo principal aquí es que la velocidad de exploración o barrido sea mayor del doble de la frecuencia de control. En un recorrido de prueba con una velocidad básicamente constante se averiguan los errores dependientes de la frecuencia y se reflejan en una lista.

35 De la DE 10335862 A1 se conoce un procedimiento para calibrar un transductor angular incremental. Para ello se realiza una medición de calibrado y se deducen las desviaciones de un comportamiento equidistante (hipotético) para crear los valores de corrección.

La invención tiene el cometido de mejorar la resolución angular de una máquina eléctrica.

40 De acuerdo con la invención el cometido se resuelve en lo que se refiere a un procedimiento según las especificaciones de la reivindicación 1. Las configuraciones preferidas son el objeto de las subreivindicaciones.

5 El procedimiento prevé que una máquina eléctrica que tiene un codificador rotatorio inicialmente se regula a una velocidad determinada. La regulación se lleva a cabo por ejemplo por medio de un regulador P-y/o I. A partir de una pista senoide o cosenoide, preferiblemente a partir de ambas, del codificador rotatorio configurado como transmisor incremental, se averigua un ángulo y asimismo la evolución temporal del ángulo de un rotor o de un estator de la máquina eléctrica. En particular el arco tangente de la fracción de la pista senoide y cosenoide. Por giro de volumen del rotor se transfiere por medio del codificador rotatorio un número de oscilaciones sinusoidales o cosinusoidales, que equivalen a un número de líneas, donde el periodo de oscilaciones sinusoidal y cosinusoidal es preferiblemente el mismo. El número de líneas es por ejemplo igual a 1, de manera que por giro del rotor únicamente se dispone de un único periodo del seno y un único periodo del coseno en la pista senoide y cosenoide. Para obtener una resolución angular lo más exacta posible el número de líneas es mayor y en particular igual a 256, 512 o 1024.

15 En la evolución temporal del ángulo se determina una vibración cuyo periodo equivale a una fracción racional del periodo de pista senoide o cosenoide. Es decir, la frecuencia de la vibración es un producto múltiple entero de la velocidad determinada con el número de líneas, donde dicha velocidad viene dada especialmente en U/s. Si se elige una unidad de velocidad determinada como U/min entonces la frecuencia corresponde a una sexagésima del múltiplo del producto.

20 En otra etapa se determina un factor de corrección, más apropiadamente un número de ellos, de la pista senoide y/o cosenoide, del cual se adapta la amplitud, la fase y/o el offset de la pista senoide o cosenoide. El factor de corrección se elige de manera que al cambiar la pista correspondiente según el factor de corrección y con una nueva determinación de la evolución temporal angular por medio de la pista modificada por el factor de corrección, la amplitud de la desviación de la evolución temporal angular sea igual o inferior al valor límite. Como valor límite se recurre por ejemplo al 0 (cero). En otras palabras, la evolución angular temporal elaborada por medio de la pista senoide o cosenoide adaptada no presenta ninguna vibración con la frecuencia considerada. Se prefiere como valor límite aquel valor de amplitud en el cual a pesar de un cambio del factor de corrección no se produce ninguna disminución de la amplitud. Se recurre por tanto a al menos un mínimo local de la amplitud que dependa del factor de corrección como valor límite.

30 A consecuencia de éste la aplicación de la pista senoide y cosenoide adaptada en un diagrama no da lugar a ningún círculo de unidades donde la coordenada x de cada punto aplicado equivalga a un punto de la pista cosenoide adaptada y la coordenada y equivalga a un punto de la pista senoide adaptada. Además, el círculo o bien el punto central está desplazado y/o adquiere forma de una elipse inclinada.

35 Por medio de una actuación de este tipo mejora la resolución angular del codificador rotatorio. Ciertamente se distinguen las pistas adaptadas y/o las pistas adaptadas de una función senoide o cosenoide óptima, pero a la situación se aplica el cálculo de que los sensores del codificador rotatorio no disponen de pistas óptimas, por ejemplo, debido a los efectos de histéresis. Además, se tiene en cuenta que durante un movimiento de rotación de la máquina eléctrica, en el cual la velocidad se regula a la velocidad determinada, no aparecen vibraciones en la trayectoria angular temporal. Al menos es comparativamente poco probable que aparezca una vibración con una frecuencia del múltiplo entero del producto de la velocidad definida y del número de líneas, es decir que se produzca un trastorno periódico de la máquina eléctrica. Este tipo de vibraciones se producen por tanto como consecuencia de las tolerancias del acabado del codificador rotatorio. Se trata de artefactos que se eliminan por medio de la calibración propuesta. En comparación al estado de la técnica se tiene en cuenta meramente la evolución angular temporal y a consecuencia de ella de ambas pistas, se separan los artefactos. Las pistas cargadas con los artefactos no forman una función senoide o cosenoide óptima, por medio de la cual únicamente se puede calcular una resolución angular falsa par un codificador rotatorio defectuoso. En otras palabras, se realizará una calibración de ambas pistas, en la cual las pistas no correspondan a la función óptima respectiva.

50 El procedimiento se realiza de forma automatizada por ejemplo mediante una evaluación del codificador o bien de un aparato regulador, en especial después de una primera instalación del motor eléctrico, donde el factor de corrección averiguado se emplea durante el intervalo completo del motor eléctrico. Alternativamente o en combinación a ello se averigua de nuevo el factor de corrección en determinados intervalos periódicos o bien el procedimiento se continúa manualmente.

55 De un modo apropiado se lleva a cabo la determinación reiterada del o de los factores de corrección. Por ejemplo, tras determinar la vibración y constatar que su amplitud es mayor que el valor límite, se emplea el factor de corrección correspondiente de un valor constante predeterminado y por medio de éste se prepara de nuevo la correspondiente pista adaptada, y se averigua de forma conveniente la evolución angular temporal adaptada. En el caso de que la evolución angular temporal adaptada todavía presente la vibración, su amplitud seguirá siendo mayor que el valor teórico, se añadirá al factor de corrección el valor definido y se adaptará de nuevo la pista respectiva. Estas etapas se realizan en particular hasta que la amplitud es menor o igual al valor límite.

65 Siempre que como valor límite se emplee un mínimo local de amplitud que dependa del factor de corrección, la adaptación se realiza, es decir la adición del valor definido al valor de corrección, de forma conveniente hasta que la

amplitud aumente. En dicho caso el factor de corrección disminuye una vez al valor determinado y el procedimiento finaliza. Por medio de una forma de actuar reiterada se realiza de forma eficiente un cambio del método, puesto que apenas son necesarios cálculos complicados para determinar el factor de corrección. Ciertamente aumenta el número de operaciones de cálculo, pero éstas se llevan a cabo de forma bastante simple. Además, se consigue un factor de corrección estable tras un número comparativamente pequeño de pasos repetidos.

En una configuración oportuna de la invención se recurre a la velocidad del ángulo como evolución angular temporal. En otras palabras, se identifica la vibración dentro de la velocidad angular, lo que es posible de un modo comparativamente simple, puesto que para ello únicamente se debe restar la velocidad angular de la velocidad determinada, a la que se regula la máquina eléctrica.

Es preferible considerar únicamente la vibración cuya frecuencia sea la misma a la del producto del número de líneas y la velocidad determinada. Por tanto, únicamente se tiene en cuenta la vibración cuyo periodo equivale a la distancia entre dos números de líneas del codificador rotatorio. Como consecuencia de ello se tienen en cuenta artefactos que periódicamente aparecen en la pista senoide o cosenoide entre respectivamente dos líneas del codificador rotatorio, como es el caso por ejemplo en los efectos de histéresis. Es decir, si eligiendo la frecuencia se cada zona entre dos líneas ocurre básicamente lo mismo, por lo que para averiguar la vibración únicamente se dispone de un número comparativamente pequeño de valores de medición no se debe temer una pérdida de información. Además de este modo la frecuencia más baja posible se aleja de la evolución angular temporal, lo que por un lado es sorprendente para el oído humano y por otro lado podría conducir a un riesgo de la máquina eléctrica debido a una excitación.

Convenientemente el factor de corrección corresponde al Offset del tramo senoide y/o cosenoide. En otras palabras, por medio del procedimiento únicamente se modifica el offset de la pista senoide y/o cosenoide, para disminuir la amplitud de la vibración dentro de la evolución angular temporal. Por un lado, una forma de actuar de este tipo es comparativamente sencilla, puesto que a la pista correspondiente únicamente se añade o se resta un valor constante. Por otro lado, por medio del desplazamiento offset de la pista correspondiente se refuerza o disminuye una vibración con una frecuencia que es igual al producto de la velocidad determinada y el número de líneas, todo ello dentro de la evolución angular temporal.

De un modo adecuado se define una fase de la vibración tanto de la pista senoide como de la cosenoide. Es decir, se establece si la vibración considerada de la pista correspondiente se retrasa o adelanta. Por ejemplo, la determinación de la fase se realiza por medio de un análisis Fourier, en particular una transformación de Fourier rápida (fast FFT), que se aplica a la vibración y/o a la pista correspondiente. De esta forma se consigue que en una fase de trabajo se tengan en cuenta una serie de vibraciones dentro de la evolución angular temporal.

La determinación de la fase se realiza preferiblemente por medio del algoritmo Goertzel y la frecuencia de la vibración se determina antes del uso del algoritmo. Debido al uso del algoritmo de Goertzel se reduce el número de operaciones de cálculo, es decir básicamente 8 veces los valores de medición empleados, por lo que se analiza preferiblemente una única frecuencia durante el procedimiento. Oportunamente se averigua en la misma etapa de trabajo la amplitud de la vibración. En otras palabras, se aplica únicamente una vez el algoritmo de Goertzel a la evolución angular temporal, para obtener tanto la amplitud como también la fase de la vibración. Sin embargo, también es posible emplear el algoritmo de Goertzel únicamente para averiguar la amplitud de la vibración independientemente de la determinación de la fase.

En el caso de que la diferencia fásica de la vibración y de la pista senoide sea inferior a  $\pm 90^\circ$ , se incrementa de forma adecuada el offset de la pista senoide. En otras palabras, se recurre al offset de la pista senoide como factor de corrección y éste aumenta cuando la vibración en una evolución angular temporal de la pista senoide se adelanta menos de  $90^\circ$  o bien retrocede menos de  $90^\circ$ . Del mismo modo se procede por ejemplo con la pista cosenoide para calibrarla. En particular en el caso de que la adaptación de pistas se realice de forma reiterada, se modificará el offset correspondiente alrededor de un valor determinado previamente establecido, es decir se incrementará o reducirá. De este modo se facilita una determinación bastante simple del factor de corrección, sin que ello requiera unos cálculos costosos.

Alternativamente o en combinación se reducirá el offset de la pista senoide y/o cosenoide, en el caso de que la vibración en una evolución angular temporal de la pista correspondiente se adelanta más de  $90^\circ$ , y de forma conveniente menos de  $270^\circ$ . Aquí también se simplifica el modo de averiguar el factor de corrección debido al rígido modo de proceder. De forma conveniente disminuirá o aumentará el offset en la pista senoide, así como en la pista cosenoide según la posición de fase definida. Es decir, ambas pistas se modificarán dependiendo de la posición de fase de la vibración sin que entremedio deba realizarse un nuevo cálculo de la evolución angular temporal. Por tanto en una adaptación de ambas pistas la amplitud de la vibración se reduce de forma amplia. Siempre que el procedimiento se realice de forma reiterada, se necesitan comparativamente menos etapas de repetición hasta el final del procedimiento.

Por ejemplo, en otra etapa del procedimiento las amplitudes de ambas pistas se adaptan una a la otra. Es decir, las amplitudes de la pista senoide y cosenoide son del mismo tamaño. La adaptación se realiza preferiblemente por medio de una comparación de máximos-mínimos de ambas pistas. A consecuencia de ello se averigua en cada pista tanto el máximo como también el mínimo, y se extrae la diferencia entre ellas como la amplitud duplicada. Por medio de la multiplicación de cada uno de los valores de medición de las pistas por un factor adecuado se adapta la pista senoide o la cosenoide de manera que la diferencia entre el ahora nuevo máximo respecto al nuevo mínimo corresponde a la diferencia respectiva de la otra pista. Alternativamente las amplitudes de ambas pistas se adaptarán a una dimensión auxiliar. De un modo conveniente se realiza la adaptación de las amplitudes antes del primer cálculo del ángulo del motor eléctrico con ayuda de la pista senoide o cosenoide. Además, se emplearán las pistas cosenoide y/o senoide de amplitudes equilibradas para averiguar el factor de corrección. Es decir, cada uno de los puntos aplicados en el sistema cartesiano de coordenadas mencionado de ambas pistas da lugar a un círculo y preferiblemente al círculo de radio 1.

Mediante la adaptación de amplitudes y en particular de una amplitud anteriormente establecida se evitan otras vibraciones en una la evolución angular temporal, o al menos se reducen, cuya frecuencia equivale al doble del producto de la velocidad determinada y del número de líneas. Por ejemplo, no se modifican más las amplitudes una vez realizada la adaptación. Alternativamente a ello también es posible emplear las amplitudes como factor de corrección adicional y mediante una adaptación de la amplitud evitar una vibración en una evolución angular temporal con una frecuencia del doble del producto de la velocidad estimada y el número de líneas, o bien al menos reducir la amplitud de esta vibración.

Resulta oportuno que antes de la primera estimación del ángulo se modifique el offset de la pista senoide y/o cosenoide con ayuda de al menos una de las dos pistas y que la integral sobre la respectiva pista a lo largo de un periodo sea cero. En otras palabras, el offset de la pista senoide o cosenoide se coloca en el valor en el cual la pista correspondiente vibra alrededor de la línea cero respectiva. A consecuencia de ello el punto central del círculo formado a partir de los valores de la pista senoide y cosenoide en el sistema de coordenadas cartesiano mencionado se encuentra en su origen. La determinación de este offset por medio del cual se determinan la primera vez el ángulo y la primera evolución angular, se realiza por ejemplo mediante una integración o comparación de mínimo-máximo. En ésta la pista correspondiente se desplaza de manera que la cantidad del mínimo equivale a la cantidad del máximo de la pista correspondiente. Esta primera colocación del offset en un paso se realiza de forma adecuada con la adaptación de la amplitud, siempre que ésta se realice. Debido a la primera selección del offset el importe del factor de corrección es comparativamente pequeño en una primera determinación del factor de corrección, siempre que se recurra al offset como factor de corrección. En particular en el caso de que la adaptación se lleve a cabo de forma reiterada en una primera elección del offset y que la integral durante el periodo sea 0, únicamente se necesitará un número pequeño de iteraciones.

Alternativamente o en combinación para la adaptación de la amplitud y/o del offset antes del primer cálculo del ángulo y de su evolución angular temporal se adaptará la fase entre ambas pistas de manera que la pista cosenoide equivalga a una pista senoide desplazada unos 90°. Preferiblemente antes del primer cálculo del ángulo, de la evolución temporal y de la determinación de una vibración dentro de ésta, las pista senoide y cosenoide que aquí se emplean se adaptan de manera que la aplicación bidimensional de los valores averiguados por medio de ambas pistas en el sistema de coordenadas cartesiano mencionado, en el que el coseno y el seno forman respectivamente un eje, se obtiene un círculo unidad 1 concéntrico alrededor del origen. Luego será la primera vez que se forma el ángulo y la evolución temporal y de ahí se averigua la vibración, de manera que aquí se empleen las pistas adaptadas. Según la frecuencia de la vibración en una primera etapa se adapta o bien el offset, la amplitud o la fase como factor de corrección, De manera que la amplitud de la vibración está por debajo del valor límite o es igual a éste.

Desde un punto de vista práctico se prefiere que la velocidad a la que se regule el motor eléctrico sea una velocidad constante. Por ejemplo, la velocidad dispuesta se elige de manera que la frecuencia de la vibración se encuentre entre 50 y 200 Hz. En el caso de que el codificador rotatorio tenga un número de líneas de 1024, y se establezca como frecuencia el producto de la velocidad estimada y el número de líneas, la velocidad definitiva se situará por tanto entre 2,9 giros por minuto (U/min) y 12 U/min. De ese modo se garantiza que el rotor de la máquina eléctrica básicamente funcione de un modo uniforme y la vibración estimada en la evolución angular temporal no se atribuya a una aceleración o frenazo del rotor.

Por ejemplo, el control de la máquina eléctrica se efectúa a la velocidad determinada en un banco de pruebas y la velocidad real, que se compara con la velocidad determinada, se averigua con ayuda de un codificador rotatorio ya calibrado. No obstante, lo más conveniente es que el control de la máquina eléctrica se lleve a cabo a la velocidad determinada por medio del codificador rotatorio propiamente puesto que mediante la calibración es comparativamente bajo el número de errores a eliminar.

La evaluación del codificador diseñado como aparato de control preferiblemente se ha dispuesto desde un punto de vista técnico tanto para programación como conexiones y se ha previsto para llevar a cabo el procedimiento. Por ese motivo el aparato de control presenta, por ejemplo, una memoria de la cual se carga el programa en un

microprocesador. Alternativamente el microprocesador ya se encuentra equipado como circuito integrado de aplicación específica (ASIC). De un modo conveniente la evaluación del codificador comprende una memoria o registro para la recepción de la pista senoide y cosenoide transmitida por el codificador rotatorio, que se ha configurado por ejemplo como un almacenamiento o memoria circular. Además, la evaluación del codificador tiene preferiblemente una memoria para almacenar los correspondientes factores de corrección.

La evaluación del codificador o bien el aparato de control es, por ejemplo, un componente de una máquina eléctrica con un codificador rotatorio, o bien la máquina eléctrica se ha calibrado por medio del procedimiento, en especial del codificador rotatorio. Por ejemplo, para ello el factor de corrección averiguado se ha depositado en una memoria del codificador rotatorio o de la electrónica de mando del motor eléctrico. Al menos la máquina eléctrica diseñada como motor eléctrico presenta una fluctuación de la velocidad angular calculada por medio de la pista senoide y/o cosenoide alrededor de la velocidad real, una fluctuación de menos de 2° por segundo, en particular para una velocidad real comprendida entre 50 U/min y 70 U/min. Por ejemplo, el motor eléctrico presenta un momento de giro entre 300 y 1000 Nm y/o una potencia entre 5 kW y 150 kW. Por ejemplo, la velocidad estimada durante el funcionamiento se encuentra entre 50 U/min y 1000 U/min. Como consecuencia de ello es posible emplear el motor eléctrico en una máquina o prensa offset, que sea alimentada por ejemplo por medio de papel sin fin, de manera que se pueda elaborar una imagen precisa gracias al conocimiento de la posición angular actual del rotor y de su velocidad. También mediante el empleo del motor eléctrico en una máquina o prensa de inyección se facilita la dosificación exacta del material que va a ser pulverizado. El motor eléctrico es preferiblemente un componente de una máquina o prensa offset o de una máquina o prensa de inyección.

A continuación, se explica con detalle un ejemplo de la invención con ayuda de unas figuras.

Figura 1            esquema de un motor eléctrico con un codificador rotatorio,

Figura 2            un procedimiento para calibrar el codificador rotatorio,

Figura 3a-c        pasos intermedios del procedimiento, y

Fig. 4              una evolución angular temporal alternativa

Las piezas correspondientes se han dispuesto en todas las figuras con los mismos números o signos de referencia.

En la figura 1 se representa esquemáticamente un motor eléctrico 2, que se alimenta por medio de un convertidor de frecuencia 3 con una corriente alterna trifásica  $I_{ist}$ . El convertidor de frecuencia 3 propiamente es accionado por medio de un regulador de corriente 4 y un transmisor de revoluciones 5, al cual se le suministra tanto el valor de la corriente alterna  $I_{ist}$  como también un número de revoluciones actual  $n_{ist}$  del motor eléctrico 2 y una velocidad determinada  $n_{soll}$ . A partir de estas entradas se calcula una corriente teórica  $I_{soll}$  y se transfiere al regulador de corriente 4 y según estos requisitos de partida se accionan las válvulas de corriente del convertidor 3 no representadas. La velocidad determinada  $n_{soll}$  viene dada por la dependencia de los requisitos en el motor eléctrico 2 por medio de una unidad de partida del valor teórico 6 o también se inicia en el caso del inicio de la calibración del motor eléctrico 2.

El número de revoluciones actual  $n_{ist}$  se averigua por medio de un transmisor incremental 8 que trabaja según un principio fotoeléctrico, que se encuentra sujetado por bridas por el lado B a un eje de una unidad rotor-estator 10. El transmisor incremental 8 presenta una serie de líneas 12, que equivale a un total de 512, de manera que por giro del transmisor incremental 8 se registra un número de 512 impulsos y se crea tanto una pista senoide 14 como cosenoide 16, donde la frecuencia de las vibraciones en las correspondientes pistas 14, 16 corresponde al producto del número de revoluciones actual  $n_{ist}$  y al número de líneas 12. En otras palabras, se registran un total de 512 periodos por giro completo del rotor dentro del estator mediante el transmisor incremental por pista senoide o cosenoide 14,16.

La pista senoide 14 y la pista cosenoide 16 están conectadas a una evaluación del codificador 18 y están dispuestas en un registro anular. Por medio de la evaluación del codificador 18 se calibra el transmisor incremental, de manera que las pistas senoide y cosenoide 14,16 pasan a ser una pista senoide 14a calibrada y una pista cosenoide 16a calibrada. Para ello se deposita un equipo de factores de corrección 20 en una memoria de la evaluación del codificador 18, los cuales se averiguan al avanzar la calibración del motor eléctrico 2 por medio de la evaluación del codificador 18. Debido a la calibración del motor eléctrico 2 es posible una determinación precisa de la posición del rotor o del estator y con ello el cálculo de una velocidad angular 22, que debilita el número de revoluciones  $n_{ist}$  actual real a menos de 2° por segundo. Por lo tanto, el número de revoluciones  $n_{ist}$  se encuentra entre una y cien revoluciones por segundo, de forma que el momento de giro aplicado es de 400 Nm y la potencia de 35 kW. Debido a ello es posible emplear el motor eléctrico 2 en una instalación o prensa offset, mediante la cual se puedan imprimir periódicos.

En la figura 2 se visualiza esquemáticamente un procedimiento 24 en un diagrama de flujo con el objetivo de calibrar el codificador incremental 8. Tras un evento de iniciación 26 que se desencadena automáticamente tras el montaje del motor eléctrico 2 o bien manualmente por una persona encargada del motor eléctrico 2, se regula el motor eléctrico 2 en una etapa de control 28 a la velocidad determinada  $n_{soll}$  por medio del regulador de revoluciones 5, de manera que se dispone de la velocidad  $n_{soll}$  definida de la unidad de fijación previa de los valores teóricos 6. Dicha velocidad  $n_{soll}$  es constante y equivale a un giro por segundo o bien 60 U/min. Consecuentemente, cada 1/512 s (segundos) se espera una línea averiguada por medio del transmisor incremental 8. En el caso de que por ejemplo entre dos líneas consecutivas transcurra un tiempo de más de 2 milisegundos, el número de revoluciones aumenta y en caso de que al contrario el espacio de tiempo sea menor de 1,5 milisegundos el número de revoluciones disminuye hasta que el intervalo corresponda a 1/512 s.

Apenas el número de revoluciones actual  $n_{ist}$  sea tan exacto que corresponda a la velocidad estimada  $n_{soll}$  se registra en una fase receptora 30 la pista senoide y cosenoide 14,16 por medio del transmisor incremental 8 y se deposita en la memoria anular de la evaluación del codificador 18. En una etapa de adaptación offset 32 y en una etapa de adaptación de amplitudes 34 se adaptan tanto la pista senoide 14 como también la pista cosenoide 16, por lo que su correspondiente Offset O equivale a un valor de cero (0) y la amplitud A correspondiente equivale a un valor de 1,024 bit. En otras palabras, el mínimo de las amplitudes de las pistas senoide y cosenoide equilibradas 14,16 a un valor de -1.024 y el máximo a 1.024.

En una etapa posterior de determinación del ángulo 36 se calcula un ángulo 38 del rotor o del estator (Fig. 4). En este caso el arco tangente (pista senoide 14/pista cosenoide 16) se aproxima como ángulo 38. El ángulo 38 se prepara para cada valor de medición de la pista cosenoide 14 y cosenoide 16, de manera que se puede averiguar la velocidad del ángulo 22 como una evolución angular temporal en una etapa de determinación de la velocidad 40. Aquí se observa la diferencia de dos ángulos consecutivos 38 y se divide por la distancia temporal entre los puntos de la pista senoide 14 y cosenoide 16 para averiguar el ángulo 38.

En una etapa de análisis 42 la velocidad angular se analiza por medio del algoritmo de Goertzel, donde como frecuencia se emplea el producto de la velocidad estimada  $n_{soll}$  y el número de líneas 12. En consecuencia, en la etapa de análisis 42 se averigua la amplitud A y una fase P de una vibración 44 (fig. 3b) con la frecuencia del producto de la velocidad estimada  $n_{soll}$  y el número de líneas 12 en la velocidad angular 22. Además, en la misma etapa 42 se investiga la pista senoide 14 y cosenoide 16 por medio del algoritmo Goertzel y se determina su fase P correspondiente.

En una etapa de comparación 46 posterior se compara la amplitud A de la vibración 44 con un valor comparativo 48a, que al inicio del procedimiento 24, es decir básicamente justo tras el inicio del evento de partida 26, se fija inicialmente en un valor máximo, por ejemplo 1024 bit. En el caso de que la amplitud A de la vibración 44 sea menor que el valor comparativo 48a, el valor comparativo actual 48a será sobrescrito con la amplitud A de la vibración 44, y en una etapa de comparación de fases 50 se comparan las fases P de la vibración 44 o de la pista senoide y cosenoide 14,16 averiguadas en la etapa de análisis 46.

Si la fase P de la vibración 44 o de la pista senoide 14 es mayor de +270° y menor de +90° el offset O de la pista senoide 14 aumenta en una fase correctora offset 52. En el caso de que la fase P de la vibración 44 en la velocidad angular 22 o bien la pista senoide 14 sea mayor de +90° y menor de +270°, el offset O de la pista senoide 14 se reduce en 1 bit. En este caso el máximo de la pista senoide 14 corresponde a un valor de 1023 y el mínimo a -1.25. En la etapa de corrección offset 52 además de la pista senoide 14 se corrige también la pista cosenoide 16 por medio de su offset O, por lo que asimismo aumenta el offset O, en el caso de que la fase P de la vibración 44 o bien de la pista cosenoide 16 se sitúe entre -90° y +90°, la vibración 44 de la pista cosenoide 16 disminuye o bien avanza menos de 90°. En los casos restantes el Offset O de la pista cosenoide 16 disminuye y es alrededor de 1 bit.

Tras la adaptación de ambas pistas 14, 16 en el registro anular de la evaluación del codificador 18 por medio del correspondiente offset O se ejecuta de nuevo la etapa de determinación del ángulo 36 de un modo iterativo y se averigua el ángulo 38, con ayuda de las pistas 14, 16 adaptadas. A continuación y según esto se determina la velocidad angular 22 y la amplitud A de la vibración 44 por medio del ángulo recién obtenido 38 y se comparan con el nuevo valor 48a, es decir la amplitud A de la vibración 44 previamente a la última adaptación del offset O de la pista senoide y cosenoide 14,16. En el caso de que la amplitud ahora existente A sea inferior o igual al valor comparativo 48a, se incrementa o reduce de nuevo el offset O de ambas pistas 14, 16 en 1 bit, según la posición de la fase de la vibración 44 respecto a la pista pertinente 14,16.

Siempre que la amplitud A sea mayor del valor comparativo 48a, el valor comparativo 48a se considerará un valor límite 48. Es decir, el valor límite 48 es al menos un mínimo local de la amplitud A de la vibración 44 dependiente del offset O de la pista senoide 14 y cosenoide 16. En el caso de que la amplitud A de la vibración 44 sea menor o igual a este valor límite 48, se depositan en una etapa 50 en la memoria de la evaluación del codificador 18 las amplitudes averiguadas en las etapas de adaptación 32, 34, 52 y los offset A, O como factor de corrección 20. Los offsets O de la pista senoide y cosenoide 14,16 corresponden pues a los offsets O antes de realizar la última

etapa de corrección del offset 52. Tras colocar los factores de corrección 20 en la memoria el procedimiento 24 llega a un final 56, y los factores de corrección 20 se emplean ahora para el cálculo de la pista senoide y cosenoide corregida 14a, 16a.

5 La figura 3a representa la evolución temporal de la pista senoide 14 y de la pista cosenoide 16, tal como se presentan tras la etapa 30. Así la pista senoide 14 tiene un offset O negativa y una amplitud A, que es mayor de 1024 bit. La amplitud A de la pista cosenoide 16 es menor de 1024 bit y su offset O es positivo. En la figura 3b se representan las pistas senoide y cosenoide 14, 16 de igual amplitud y offset tras las etapas de adaptación 32, 34, cuyo offset respectivo O tiene un valor de cero (0) y su amplitud equivale a 1024 bit. La determinación de ambos parámetros A, O de cada pista 14, 16 se realiza o bien mediante el integrado durante un periodo, una comparación de máximos-mínimos o bien tras aplicar el algoritmo de Goertzel a la pista 14,16 correspondiente. En la velocidad angular calculada 22 su escala ha sido modificada para la representación en diagrama y se puede ver la vibración 44 con la amplitud A. La fase P de la vibración 44 o bien de la pista senoide 14 es de aproximadamente 260° y la fase P de la vibración 44 o de la pista cosenoide 16 es de aproximadamente 350°. En consecuencia, se reduce el offset O de la pista senoide en la etapa de corrección offset 56 e inicialmente aumenta el offset O de la pista cosenoide 16.

20 En la figura 3c se muestra la evolución de la pista senoide y cosenoide calibradas 14a, 16a, en las cuales durante la velocidad angular 22 no se reconoce ninguna vibración 44. La pista senoide corregida 14a presenta un offset O ligeramente negativo y la pista cosenoide corregida 16a un offset O positivo, de manera que estos offsets O se depositan junto a las correspondientes amplitudes A como factor de corrección 20 en la etapa 50 en la evaluación del codificador 18.

25 En la figura 4 se muestra una evolución angular temporal alternativa 38 con la vibración 44. Como evolución angular temporal se recurre al correspondiente ángulo 38, de manera que entre cada una de las líneas del transmisor incremental 8 se ha revelado un ángulo 58 óptimo que discurre en forma de dientes de sierra. Alrededor de éste oscila el ángulo 38 calculado alrededor de la amplitud A de la vibración 44. La invención no se limita al ejemplo descrito con anterioridad. De aquí se deducen otras variantes de la invención que no se apartan del objetivo definido por las reivindicaciones. En particular todas las características descritas en relación con el ejemplo de configuración son también combinables de algún otro modo, sin que se alejen del objetivo de la invención definido por las reivindicaciones.

#### Listado de referencia

35	2	Motor eléctrico
	3	convertidor
	4	regulador de corriente
	5	regulador del número de revoluciones
	6	unidad de fijación previa de valores teóricos
40	8	transmisor incremental
	10	unidad del rotor-estator
	12	número de líneas
	14	pista senoide
	14a	pista senoide calibrada
45	16	pista cosenoide
	16a	pista cosenoide calibrada
	18	evaluación del codificador
	20	factor de corrección
	22	velocidad angular
50	24	procedimiento
	26	evento de iniciación
	28	etapa de control
	30	fase receptora
	32	fase de adaptación del offset
55	34	fase de adaptación de amplitudes
	36	fase o etapa de determinación del ángulo
	38	ángulo
	40	fase de determinación de la velocidad
	42	fase o etapa de análisis
60	44	Vibración
	46	etapa de comparación
	48	valor límite
	48a	valor comparativo
	50	etapa comparativa de fases
65	52	fase de corrección del offset



# ES 2 700 948 T3

	54	fase de depósito
	56	final
5	A	amplitud
	I <sub>ist</sub>	corriente alterna
	I <sub>soll</sub>	corriente teórica
	n <sub>ist</sub>	número de revoluciones actual
	n <sub>soll</sub>	velocidad estimada
10	O	offset
	P	fase

15

20

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Procedimiento (24) para calibrar un codificador rotatorio (8) de una máquina eléctrica (2) diseñado como un transmisor incremental que emite una pista senoide (14) y pista cosenoide (16), que tiene un número de líneas (12), en el cual
- 10 - La máquina eléctrica (2) se regula a una velocidad determinada ( $n_{soll}$ )
- Un ángulo (38) de la máquina eléctrica (2) se determina con ayuda de la traza senoide(14) y/o de la traza cosenoide (16),
- A partir de este ángulo (38) se identifica una evolución angular temporal (22)
- que se caracteriza por que**
- 15 - Se identifica una vibración (44) en el recorrido angular temporal (22) que tiene una frecuencia de básicamente un múltiplo íntegro del producto de la velocidad determinada ( $n_{soll}$ ) y del número de rayas (12) y
- Se deriva de ésta un factor de corrección (20) de la traza senoide (14) y/o de la traza cosenoide (16), por medio del cual se adapta la amplitud, la fase y/o el offset de la traza senoide o cosenoide (14,16),
- 20 - Donde el factor de corrección (20) se elige de manera que, en el caso de un cambio de la traza respectiva (14,16) por el factor de corrección (20) y una nueva identificación de la evolución angular temporal por medio de la traza (14a, 16a), modificada por el factor de corrección (20), la amplitud (A) de la vibración (44) de la evolución temporal del ángulo (22) sea menor o igual al valor límite (48).
- 25 2. Procedimiento (24) conforme a la reivindicación 1, **que se caracteriza por que** la determinación del factor de corrección (20) se realiza de forma iterativa, en especial por medio de una nueva determinación del ángulo (38) y de la evolución angular temporal (22).
- 30 3. Procedimiento (24) conforme a la reivindicación 1 ó 2, **que se caracteriza por que** la velocidad angular se utiliza como evolución angular temporal (22), el producto de la velocidad determinada ( $n_{soll}$ ) y el número de líneas (12) se utiliza como la frecuencia y/o el offset (O) de la pista senoide (14) o de la pista cosenoide (16) se utiliza como el factor de corrección (20).
- 35 4. Procedimiento (24) conforme a una de las reivindicaciones 1 a 3, **que se caracteriza por que** se determina una fase (P) de la vibración (44) con respecto a la pista senoide (14) y/o la pista cosenoide (16), en particular por medio del algoritmo de Goertzel.
- 40 5. Procedimiento (24) conforme a una de las reivindicaciones anteriores, **que se caracteriza por que** el offset (O) de la pista senoide (14) y/o de la pista cosenoide (16) aumenta si la fase (P) es inferior a  $\pm 90^\circ$  con respecto a la pista senoide (14) o a la pista cosenoide (16).
- 45 6. Procedimiento (24) conforme a una de las reivindicaciones anteriores, **que se caracteriza por que** el offset (O) de la pista senoide (14) y/o de la pista cosenoide (16) se reduce, en el caso de que la fase (P) sea mayor a  $\pm 90^\circ$  con respecto a la pista senoide (14) o a la pista cosenoide (16).
- 50 7. Procedimiento (24) conforme a una de las reivindicaciones anteriores, **que se caracteriza por que** las amplitudes (A) de la pista senoide (14) y/o de la pista cosenoide (16) se adaptan una a otra.
8. Procedimiento (24) conforme a una de las reivindicaciones 1 a 7, **que se caracteriza por que** antes de la primera determinación del ángulo (38), el offset (O) de la pista senoide y/o de la pista cosenoide (16) se fija de tal manera que la integral durante un periodo es igual a 0, en particular por medio de una comparación de mínimos/máximos.
- 55 9. Procedimiento (24) conforme a una de las reivindicaciones 1 a 8, **que se caracteriza por que** se elige una velocidad constante como velocidad determinada ( $n_{soll}$ ).

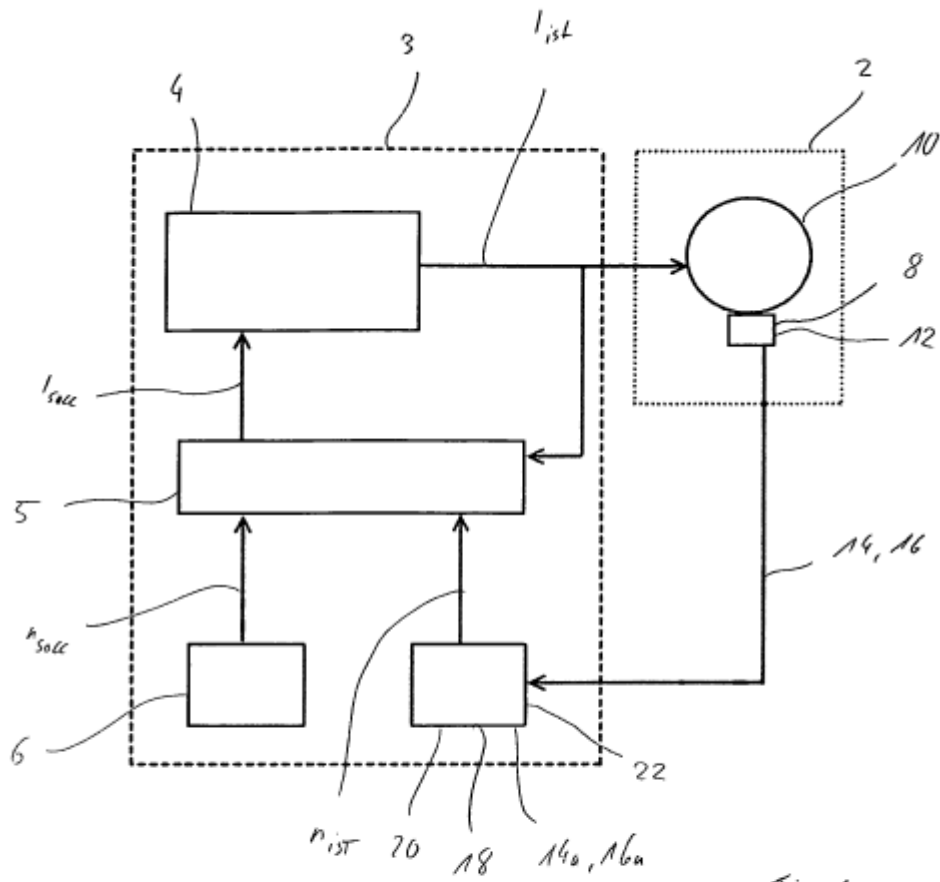


Fig. 1

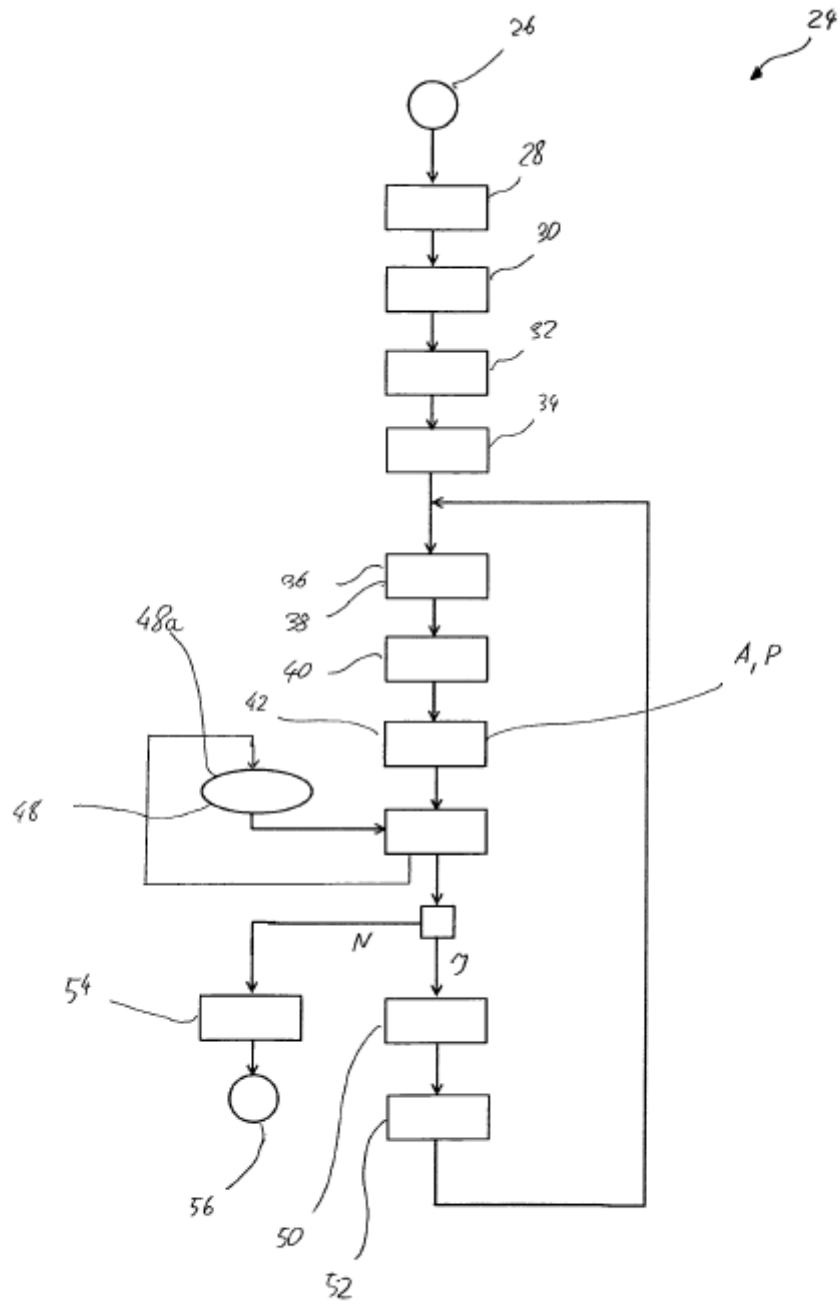


Fig. 2

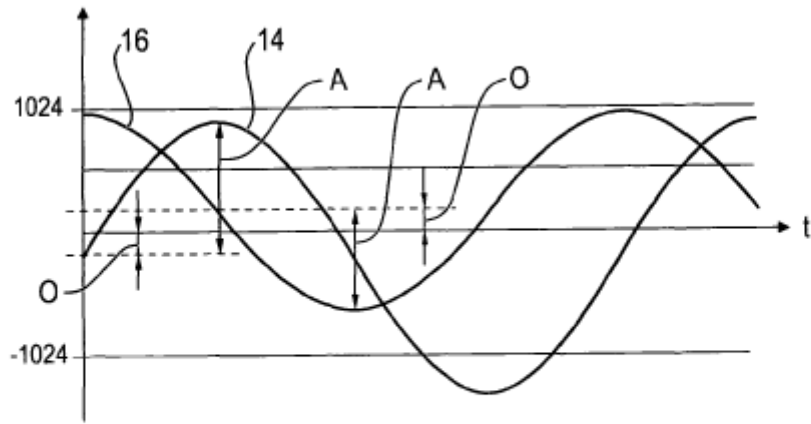


FIG. 3a

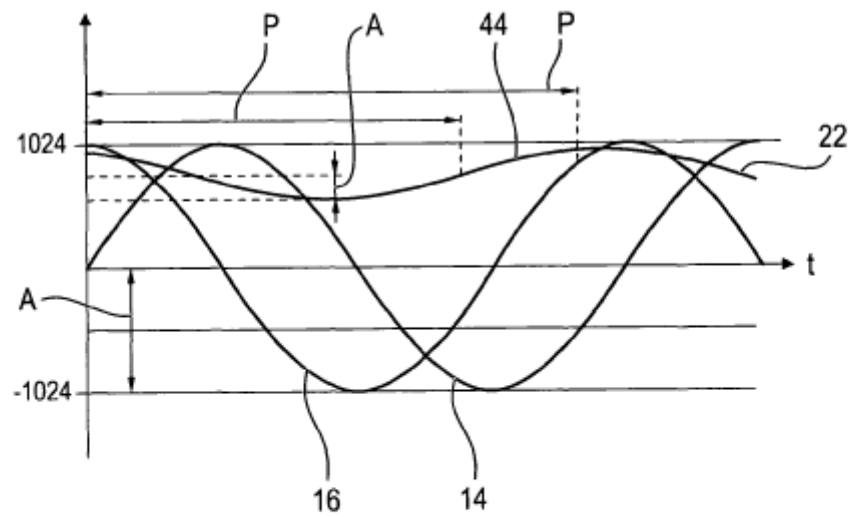


FIG. 3b

