



(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 266 692**

(51) Int. Cl.:  
**G01M 1/10** (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Número de solicitud europea: **03016287 .9**

(86) Fecha de presentación : **18.07.2003**

(87) Número de publicación de la solicitud: **1388732**

(87) Fecha de publicación de la solicitud: **11.02.2004**

(54) Título: **Procedimiento para determinar el momento de inercia de un sistema de accionamiento por motor eléctrico.**

(30) Prioridad: **08.08.2002 DE 102 36 847**

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**01.03.2007**

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**01.03.2007**

(73) Titular/es: **Dr. Johannes Heidenhain GmbH**  
**Postfach 12 60**  
**83292 Traunreut, DE**

(72) Inventor/es: **Kerner, Norbert y**  
**Kellner, Eugen**

(74) Agente: **Ungría López, Javier**

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 determinar el momento de inercia de un sistema de accionamiento por motor eléctrico.

5 La invención se refiere a un procedimiento para determinar el momento de inercia de masa de un sistema de accionamiento por motor eléctrico para una máquina herramienta.

10 Para poder evaluar el diseño dinámico de la máquina es necesario conocer la relación entre el momento de inercia de masa del motor (que se refiere al motor de accionamiento en su sentido más concreto, es decir a su rotor, y que en el caso de un accionamiento rotativo es igual al momento de inercia de masa del rotor) respecto al momento de inercia de masa de la carga (que se refiere a los restantes componentes del accionamiento por motor eléctrico, tal como por ejemplo un embrague, un husillo de bolas recirculantes, otros elementos de la transmisión, una mesa desplazable por medio del accionamiento, etc.). El momento de inercia de masa del motor y el momento de inercia de masa de la carga han de encontrarse en una determinada relación entre sí para conseguir una alta calidad de regulación al efectuar la regulación de un accionamiento por motor eléctrico.

15 El cociente entre el momento de inercia de masa del motor y el momento de inercia de masa de la carga es una magnitud determinante para evaluar las posibilidades de regulación y de la calidad de regulación que se puede prever en un sistema de accionamiento por motor eléctrico. Si este cociente se encuentra fuera de aquella gama en la que permite una regulación de alta calidad, entonces las medidas para seguir optimizando la regulación a menudo no conducen al resultado deseado.

20 A partir del momento de inercia de masa (total del sistema de accionamiento, es decir de la suma del momento de inercia de masa del motor y del momento de inercia de la masa de la carga) se puede calcular también la aceleración máxima posible del motor, teniendo en cuenta la intensidad de corriente máxima del motor de accionamiento. Por lo general, para el cociente del momento de inercia de masa del motor y del momento de inercia de masa de la carga se tiende a un valor entre 1 y 2. Por lo general, esto ya lo tiene en cuenta el fabricante que fabrica una máquina herramienta. Sin embargo las modificaciones posteriores de las condiciones marginales, como por ejemplo la modificación posterior de un componente de la máquina, conducen a modificaciones del cociente, de manera que éste puede adoptar un valor que se encuentre fuera de la gama deseada. Esto a su vez puede dar lugar a que después de efectuar las modificaciones en la máquina herramienta se tenga que utilizar un motor de accionamiento distinto para posibilitar la regulabilidad del accionamiento con una calidad de regulación suficiente.

25 Dado que el valor del momento de inercia de masa del motor de accionamiento en el sentido más estricto, por lo general, es conocido y representa una magnitud constante (salvo que se hayan efectuado modificaciones en el mismo motor de accionamiento), basta con determinar el momento de inercia de masa del conjunto del accionamiento por motor eléctrico. Si de ahí se resta el momento de inercia de masa del motor se obtiene como resultado el momento de inercia de masa de la carga, lo que a su vez permite calcular el valor real del cociente entre el momento de inercia de masa del motor y el momento de inercia de masa de la carga.

30 De acuerdo con la patente US 4.607.408, la carga del tambor de una máquina lavadora viene determinada por la determinación del momento de inercia de masa del tambor cargado de la máquina lavadora. El procedimiento allí descrito suministra una magnitud relativamente poco precisa del correspondiente momento de inercia de masa.

35 Por la patente US 4.202.205 se conoce un procedimiento para determinar el momento de inercia de masa de un cuerpo, tal como se utiliza para fines de técnica aeroespacial. Este procedimiento no es adecuado para determinar de forma sencilla el momento de inercia de masa de un sistema de accionamiento por motor eléctrico de una máquina herramienta.

40 En la patente EP 0827 265 B1 se describe un sistema para la determinación de la constante de regulación de un motor eléctrico para el accionamiento de una máquina herramienta, con el fin de determinar las constantes de regulación, y mediante el cual se pueden determinar entre otras cosas el momento de inercia de masa. Para ello se aplica un procedimiento iterativo que está basado en un modelo de corrección que tiene en cuenta las desviaciones de regulación durante la regulación del motor. Ahora bien, un procedimiento iterativo tiene siempre el inconveniente de tener limitada su precisión, y que además, debido a su propensión a los fallos, no conduce necesariamente a un resultado óptimo para todos los estados de funcionamiento.

45 La invención tiene planteado por lo tanto como base el problema de facilitar un procedimiento mejorado para determinar el momento de inercia de masa de un sistema de accionamiento por motor eléctrico para una máquina herramienta. Este problema se resuelve de acuerdo con la invención mediante un procedimiento que presenta las características de la reivindicación 1.

50 De acuerdo con ello, se determina en primer lugar un flujo de compensación del sistema de accionamiento, que a una velocidad constante del motor compense las pérdidas que se producen, haciéndolo de manera tal que para una velocidad constante del motor no exista ninguna necesidad de corriente adicional además de la corriente de compensación. A continuación se determina la corriente de aceleración que genera una aceleración del motor definida (constante), si están compensadas las pérdidas que aparecen durante la velocidad constante del motor. A partir de esta corriente de aceleración se calcula finalmente el momento de inercia de masa.

Con la solución conforme a la invención se facilita un método analítico para determinar el momento de inercia de masa de un accionamiento por motor eléctrico, mediante el cual se determina el momento de inercia de masa a partir de la corriente de aceleración  $u$  que genera una velocidad definida del motor, si están compensadas las pérdidas que aparecen durante la velocidad constante del motor (revoluciones del motor). Es decir, que la corriente de aceleración es una corriente que provoca exclusivamente la aceleración del motor. Aquellas partes de la corriente que sirven para compensar pérdidas durante la velocidad constante del motor, en particular las pérdidas por rozamiento y por remagnetización, se consideran como corriente de compensación independiente de la corriente de aceleración.

Para el cálculo del momento de inercia de masa a partir de la corriente de aceleración es por lo tanto condición necesaria calcular previamente la corriente de compensación que se necesita para el funcionamiento del accionamiento a velocidad constante del motor. Ésta se determina haciendo funcionar el accionamiento por lo menos a dos velocidades diferentes del motor, las cuales se mantienen constantes en cada caso durante un período de tiempo predeterminado, y que preferentemente presentan la misma magnitud pero signo contrario. A partir de ahí se puede determinar la corriente de compensación que se necesita para mantener constante la velocidad del motor en un valor predeterminado que compense por lo tanto completamente las pérdidas que se producen durante el funcionamiento del accionamiento a velocidad constante del motor, de manera que no se produzca ninguna reducción de la velocidad del motor debido a las pérdidas.

En un perfeccionamiento preferido de la invención se hace funcionar el accionamiento a cuatro velocidades de motor diferentes para determinar la corriente de compensación, cada dos de las cuales presentan en cada caso la misma magnitud pero signo contrario.

Si al accionamiento por motor eléctrico le corresponde un sistema de regulación mediante el cual se regulen las revoluciones del motor de accionamiento, entonces la corriente de compensación corresponde a la corriente de pilotaje mediante la cual el regulador de revoluciones compensa las pérdidas que surgen durante el funcionamiento del accionamiento a velocidad constante del motor. El funcionamiento de un accionamiento por motor eléctrico con pilotaje de la velocidad es ya conocido; para ello se remite por ejemplo al prospecto de Heidenhain para control del recorrido, iTNC 530 (mayo de 2002).

Por lo tanto, en un sistema de accionamiento regulado se necesitan para la determinación del momento de inercia de masa únicamente aquellas magnitudes que de todos modos son necesarias para regular el accionamiento. Por lo tanto no se necesitan magnitudes adicionales que se tengan que determinar especialmente para determinar el momento de inercia de masa.

Para determinar la corriente de aceleración se hace funcionar el accionamiento preferentemente con dos aceleraciones de motor diferentes, que se mantienen en cada caso constantes durante un período de tiempo predeterminado y que presentan signos contrarios. La corriente de aceleración es en este caso aquella corriente que se necesita exclusivamente para acelerar el motor, es decir la diferencia de la corriente total necesaria para el funcionamiento del accionamiento por motor eléctrico (corriente total de momentos), y la corriente necesaria para la compensación de las pérdidas (corriente de compensación o corriente de pilotaje).

Para calcular el momento de inercia de masa a partir de la corriente de aceleración se representa la aceleración del motor por una parte en función de la corriente de aceleración y por otra en función del momento de inercia de masa, y se igualan estas dos formulaciones de aceleración del motor. La ecuación correspondiente se puede resolver entonces despejando el momento de inercia de masa, de manera que se obtiene una fórmula para el momento de inercia de masa en función de la corriente de aceleración medida previamente.

Para representar la aceleración del motor en función de la corriente de aceleración se puede recurrir en un accionamiento regulado por motor eléctrico al llamado pilotaje de aceleración, que indica como parámetro constante la relación entre la corriente de aceleración y la aceleración del motor, en particular la aceleración angular. El pilotaje de aceleración es por lo tanto la medida que indica qué corriente de aceleración se necesita para conseguir una determinada aceleración del motor. Tal como se ha descrito anteriormente, esta magnitud se puede determinar si se conoce la corriente de compensación, es decir aquellas partes de la corriente total de momentos que se necesitan para compensar las pérdidas para una velocidad de motor constante.

Para representar la aceleración del motor en función del momento de inercia de masas, se emplea la ley física según la cual la aceleración es igual al cociente entre el momento de accionamiento que actúa (por ejemplo el par de giro) y el momento de inercia del accionamiento. En este caso, el momento eléctrico del accionamiento a su vez se puede representar como producto de la corriente de aceleración y una constante del motor, que en el caso de un motor de accionamiento rotativo se designa como constante del par de giro. A partir de ahí se obtiene la representación de la aceleración del motor en función del momento de inercia de masa.

Una vez que se haya determinado el momento de inercia de masa del conjunto del sistema de accionamiento, se puede calcular a partir de ahí el momento de inercia de masa de la carga, restando para ello del momento de inercia de masa del sistema de accionamiento el momento de inercia de masa del motor (conocido y constante). Esto a su vez permite calcular el cociente entre el momento de inercia de masa del motor y el momento de inercia de masa de la carga. Este cociente se visualiza entonces mediante un sistema de salida, por ejemplo de forma óptica (mediante una pantalla, una impresora o similar) o de forma acústica, de manera que el cociente está disponible inmediatamente y

se puede comprobar si éste se encuentra dentro de una gama de valores conveniente y determinada, como magnitud característica importante para la posibilidad de regulación del sistema de accionamiento.

El procedimiento objeto de la invención no solamente es adecuado para los accionamientos por motor eléctrico de máquinas que mueva un rotor, sino también para accionamientos con motor lineal y los llamados accionamientos directos.

Otras características y ventajas de la invención se manifestarán claramente en el curso de la siguiente descripción de un ejemplo de realización, sirviéndose de las figuras.

Las figuras muestran:

Figura 1 Una representación esquemática de un procedimiento para la determinación del momento de inercia de masa de un sistema de accionamiento por un motor eléctrico, en un diagrama de flujo.

Figura 2 Una representación de la corriente que se produce durante el funcionamiento del motor de accionamiento de una máquina herramienta.

Figura 3 Una representación semejante a la figura 2, donde además se ha representado la corriente de aceleración que después de compensar las pérdidas provoca la aceleración del motor.

La siguiente descripción de un ejemplo de realización del procedimiento objeto de la invención, sirviéndose de las figuras 1 a 3, parte de un sistema de accionamiento por motor eléctrico para una máquina herramienta que comprende un motor de accionamiento, y los componentes situados a continuación del motor de accionamiento, como por ejemplo un embrague, un husillo de bolas recirculantes, elementos de transmisión y una mesa de máquina herramienta que se ha de desplazar con traslación. Mediante la determinación del momento de inercia de masa resultante de este sistema de accionamiento se puede determinar el cociente del momento de inercia de masas del motor y del momento de inercia de masa de la carga. Porque el momento de inercia de masa del motor es una constante que es conocida para el tipo de motor respectivo, y que generalmente es indicada por el fabricante. Al restar del momento de inercia de masa del conjunto del sistema de accionamiento el momento de inercia de masa del motor se obtiene el momento de inercia de masa de la carga. Esto a su vez permite determinar el cociente entre el momento de inercia de masa del motor y el momento de inercia de masa de la carga.

De acuerdo con los dos primeros pasos, 1, 2 del diagrama de flujo de la figura 1, el motor de accionamiento se acelera primeramente a una primera velocidad constante  $v_1$ , y se mantiene funcionando a esta velocidad durante un período de tiempo predeterminado, frenando a continuación y acelerando a la misma velocidad de sentido opuesto  $-v_1$ , y se hace funcionar nuevamente durante un período de tiempo predeterminado a esta velocidad. A continuación se acelera el accionamiento a una velocidad menor  $v_2$ , y se vuelve a mantener en funcionamiento a esta velocidad durante un período de tiempo predeterminado, se frena a continuación y se acelera a la misma velocidad de sentido opuesto  $-v_2$ , manteniendo el funcionamiento nuevamente a esta velocidad durante un período de tiempo predeterminado.

Las velocidades  $v_1$ ,  $-v_1$  corresponden a un avance de mecanizado típico de la correspondiente máquina herramienta, que funcionan respectivamente con este avance durante un período de tiempo predeterminado. Las velocidades de sentido opuesto  $v_1$ ,  $-v_1$  se corresponden, respectivamente, a un avance a la misma velocidad pero en sentido opuesto.

En la figura 2 está representada la velocidad del motor  $v$  del accionamiento en función del tiempo  $t$ . Se reconocen en particular cuatro zonas con velocidad constante distinta  $v_1$ ,  $-v_1$ ,  $v_2$  y  $-v_2$ , que corresponden a las velocidades de motor antes descritas. En la figura 2 está representada además en función del tiempo la corriente de momentos total  $i_M$  que se necesita para alcanzar las cuatro velocidades de motor constantes diferentes  $v_1$ ,  $-v_1$ ,  $v_2$  y  $-v_2$  y mantenerlas, respectivamente, a un nivel constante durante un período de tiempo definido. En la corriente de momentos resultante  $i_M$  están contenidos no sólo los componentes de aceleración, es decir aquellos componentes de corriente que provocan la aceleración para modificar la velocidad del motor, sino también los componentes de pérdidas, que se necesitan para compensar pérdidas por rozamiento y otras pérdidas dependientes de la velocidad, por ejemplo pérdidas de remagnetización. Esto queda claro porque según la figura 2, la corriente de momentos resultante del motor de accionamiento es, en cada caso, distinta a 0, incluso funcionando el accionamiento a velocidad constante  $v_1$ ,  $-v_1$ ,  $v_2$  o  $-v_2$ . Por lo tanto se necesita una determinada corriente (corriente de compensación) para mantener una velocidad de motor constante, mediante la compensación de pérdidas, y conseguir de esta manera un avance constante de la máquina herramienta.

Las pérdidas que aparecen durante el funcionamiento del motor de accionamiento a velocidad constante y la corriente necesaria para compensar estas pérdidas se pueden determinar en una siguiente fase del proceso 3, evaluando la denominada corriente de integración durante las fases de movimiento constante del motor de accionamiento o de la máquina herramienta, es decir durante aquellas fases en las que la velocidad del motor o, respectivamente, el avance de la máquina herramienta son en cada caso constantes. La corriente integral es la corriente de momentos total, reducida en la componente proporcional de la corriente (ruido). Esto permite ajustar en 4 una corriente de pilotaje que compense las pérdidas por rozamiento y otras pérdidas dependientes de la velocidad que surgen de la velocidad constante del motor.

En un siguiente funcionamiento de prueba se determina en las dos fases siguientes 5, 6 del procedimiento conforme a la invención, funcionando la máquina herramienta nuevamente de forma sucesiva con las cuatro velocidades de motor distintas antes mencionadas ( $v_1$ ,  $-v_1$ ,  $v_2$  y  $-v_2$ ). En la figura 3 se han representado nuevamente, para este segundo funcionamiento de prueba la velocidad del motor  $v$ , la corriente de momentos resultante  $i_m$  y adicionalmente la corriente de aceleración  $i_B$ . Se puede observar que la corriente de aceleración  $i_B$  es siempre igual a cero cuando es constante la velocidad  $v$ . Por este motivo, la corriente de aceleración  $i_B$  contiene solamente aquellos componentes de la corriente que se necesitan para la aceleración del accionamiento. La compensación de las pérdidas tiene lugar mediante un pilotaje de velocidad ajustable mediante el sistema de regulación del accionamiento.

Durante el segundo funcionamiento de prueba, el accionamiento por motor eléctrico trabaja mediante el sistema de regulación correspondiente de tal manera que durante las fases en las que la velocidad del motor se ajusta a un primer valor (por ejemplo  $v_1$ ) o se modifica de un primer valor ( $v_1$ ) a un segundo valor ( $-v_1$ ) la aceleración es, en cada caso, constante, es decir (prescindiendo de las respectivas fases inicial o final de la aceleración), presenta un valor constante a o -a. Mediante la evaluación de la corriente de aceleración  $i_B$  durante las fases con aceleración constante del motor a o -a se puede determinar qué corriente de aceleración  $i_B$  se necesita para mantener una determinada aceleración constante del motor, a o -a.

En una siguiente fase del proceso 7, esto permite determinar lo que se llama el pilotaje de aceleración FF. Se trata de un parámetro constante que indica qué corriente de aceleración  $i_B$  ha de fluir durante una fase de aceleración para conseguir una determinada aceleración angular  $\alpha$  del motor de accionamiento. Se cumple:  $FF = 2\pi * i_B / \alpha$ . Esto se puede resolver despejando la aceleración angular  $\alpha$ , y se obtiene:  $\alpha = 2\pi * i_B / FF$ .

Por otra parte, y de acuerdo con las leyes físicas del movimiento circular se puede representar la aceleración angular también como  $\alpha = M/J$ . En este caso, M es el par de giro eléctrico del motor de accionamiento para el que rige:  $M = k_T * i_B$ . Aquí es  $k_T$  la constante del par de giro del motor de accionamiento. Por lo tanto, se obtiene como segunda fórmula para la aceleración angular  $\alpha = k_T * i_B / J$ .

Igualando las dos fórmulas anteriores de aceleración angular se obtiene:  $k_T/J = 2\pi/FF$ . En esta ecuación se puede despejar el momento de inercia de masas  $J$  de manera que resulta:

$$J = k_T * FF / 2\pi$$

De este modo se representa el momento de inercia de masa  $J$  en función de la constante del par de giro  $k_t$  del motor de accionamiento, que viene determinada por la construcción y elección de materiales del motor, así como en función del pilotaje de aceleración FF que se ha determinado en las fases del proceso anteriores 1 a 6.

Después de determinar en 8 el momento de inercia de masas  $J$  del sistema de accionamiento de la máquina herramienta se puede calcular ahora de forma sencilla el cociente entre el momento de inercia de masa del motor y el momento de inercia de masa de la carga. Para ello se aprovecha que el conjunto del momento de inercia de masa de un sistema de accionamiento se compone de forma aditiva del momento de inercia de masas  $J_M$  del motor de accionamiento, en el sentido propiamente dicho, y el momento de inercia de masas de la carga  $J_L$ . El momento de inercia de masas de la carga  $J_L$  a su vez se obtiene de forma aditiva a partir de magnitudes que proceden del embrague, del husillo de bolas recirculantes, de los elementos de transmisión, así como, por ejemplo, de una mesa de desplazamiento de traslación de la máquina herramienta. Por lo tanto, se tiene que  $J_L = J - J_M$ , donde el momento de inercia de masas del motor  $J_M$  por lo general es conocido. En caso de necesidad se puede determinar este momento de inercia de masa del motor  $J_M$  de la misma manera que el momento de inercia de masas del conjunto del sistema de accionamiento, realizando los funcionamientos de prueba antes descritos para el motor de accionamiento, sin carga, es decir para su inducido (rotor), evaluándolos de la misma manera que se ha descrito anteriormente.

Para un motor de accionamiento que esté girando, el momento de inercia de masas del motor es igual al momento de inercia de masas del rotor.

Una vez que se haya determinado en 9 el momento de inercia de masas de la carga, a partir del momento de inercia de masas total  $J$  determinado previamente y del momento de inercia de masas del motor  $J_M$ , se obtiene finalmente en la última fase 10 el cociente buscado  $J_M/J_L$  entre el momento de inercia de masa del motor y el momento de inercia de masa de la carga.

Igualmente se determina la aceleración máxima  $a_{\max}$  del motor a partir de la intensidad de corriente máxima  $I_{\max}$ , que en cualquier caso está disponible como valor numérico en el control de la máquina. Al usuario se le presenta entonces directamente en una pantalla el cociente buscado junto con el momento de inercia de masas  $J$  del sistema de accionamiento y la aceleración máxima  $a_{\max}$  del motor. El usuario puede leer por lo tanto directamente el cociente  $J_M/J_L$  entre el momento de inercia de masa del motor y el momento de inercia de masa de la carga sin ningún cálculo complejo propio (realizado manualmente), para lo cual no se le piden al usuario datos de introducción que no fuesen necesarios en todo caso para el funcionamiento del control del sistema de accionamiento.

Tal como se ha indicado ya anteriormente, para calcular el momento de inercia de masas resultante  $J$  de la corriente de aceleración o del pilotaje de aceleración, se ha empleado la constante de par de giro  $k_T$  del respectivo motor de

## ES 2 266 692 T3

accionamiento. Ésta se puede calcular a partir del par de giro de parada  $M_0$  y de la intensidad de corriente de parada  $I_0$  del motor de accionamiento:  $k_T = M_0/I_0$ .

En el caso de que tampoco se conozca el par de giro de parada, se puede calcular la constante de par de giro, igualando la potencia eléctrica del motor y la potencia mecánica del motor. Para la potencia eléctrica del motor de un motor trifásico en esquema equivalente en estrella se obtiene  $P_{el} = 3 * U * I$ , siendo  $U = n * U_c$ , donde  $U_c$  es la constante de tensión dependiente de la velocidad y  $n$  la velocidad del motor de accionamiento.

Para la potencia mecánica del motor se tiene:  $P_{mech} = M * \Omega$ , siendo  $M = k_T * I$  y  $\Omega = 2\pi * n$ .

Igualando la potencia del motor eléctrica con la mecánica se obtiene por lo tanto  $3 * n * U_c * I = 2\pi * k_T * n * I$ . Resulta por lo tanto  $k_T = 3 * U_c / 2\pi$ , siendo  $U_c = U_0 \sqrt{3} * n_{pol} / F_n$ . En este caso son, en cada caso, parámetros constantes  $U_0$  (tensión de vacío del motor de accionamiento, correspondiente a la tensión efectiva entre fases),  $n_{pol}$  (número de pares de polos del motor de accionamiento) y  $F_n$  (frecuencia nominal).

Como resultado, el procedimiento objeto de la invención permite la determinación analítica directa de la relación entre el momento de inercia de la masa del motor y el momento de inercia de masa de la carga de un sistema de accionamiento de una máquina herramienta.

Este cociente es un medio auxiliar importante para evaluar el eje de máquina de una máquina herramienta, mediante una herramienta de compensación (externa). Además de ello, puede servir para el seguimiento adaptivo de los parámetros del regulador de un sistema de regulación del sistema de accionamiento así como para el pilotaje. Si durante el funcionamiento de una máquina herramienta se comprueba, por ejemplo, que durante las fases de aceleración varía la corriente de momentos necesaria para ajustar una determinada aceleración, entonces de acuerdo con el procedimiento antes descrito tiene lugar una nueva determinación del pilotaje de la aceleración, así como del momento de inercia de masas total. Los factores de regulación se modifican entonces igualmente de forma correspondiente (en particular, de forma proporcional) de la variación del momento de inercia de masas. De este modo se mantiene constante la dinámica del sistema de accionamiento.

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para determinar el momento de inercia de masa de un sistema de accionamiento por motor eléctrico de una máquina herramienta, que comprende un motor de accionamiento y otros elementos de accionamiento dispuestos a continuación del motor de accionamiento, y al que le corresponde un sistema de regulación, en el cual

a) se determina una corriente de compensación que compensa las pérdidas que se producen durante la velocidad constante del motor, de tal manera que se mantenga constante la velocidad del motor ( $v$ ),

b) se determina la corriente de aceleración ( $i_b$ ) que da lugar a una aceleración definida del motor ( $a$ ), si están compensadas las pérdidas que se producen durante la velocidad constante del motor ( $v$ ),

c) se calcula la constante del par de giro ( $k_t$ ) del motor de accionamiento, y

d) a partir de la corriente de aceleración ( $i_b$ ) y de la constante del par de giro ( $k_t$ ) calculada se calcula el momento de inercia de masas ( $j$ ).

2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** porque para determinar la corriente de compensación se determina la corriente ( $i_M$ ) necesaria para el funcionamiento del accionamiento a una velocidad constante del motor ( $v$ ), por lo menos para una velocidad del motor, preferentemente por lo menos a dos velocidades diferentes ( $v_1$ ,  $-v_1$ ,  $v_2$ ,  $-v_2$ ).

3. Procedimiento según la reivindicación 2, **caracterizado** porque por lo menos una velocidad ( $v_1$ ,  $-v_1$ ,  $v_2$ ,  $-v_2$ ) es constante durante un período de tiempo predeterminable.

4. Procedimiento según la reivindicación 2 o 3, **caracterizado** porque las dos velocidades ( $v_1$ ,  $-v_1$ ,  $v_2$ ,  $-v_2$ ) tienen la misma magnitud pero signo opuesto.

5. Procedimiento según la reivindicación 4, **caracterizado** porque el motor de accionamiento funciona sucesivamente con cuatro velocidades distintas ( $v_1$ ,  $-v_1$ ,  $v_2$ ,  $-v_2$ ) para determinar la corriente de compensación, cada dos de las cuales tienen la misma magnitud pero signo opuesto.

6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque la constante de par de giro ( $k_t$ ) se calcula igualando la potencia eléctrica del motor ( $p_{el}$ ) y la potencia mecánica del motor ( $p_{mec}$ ).

7. Procedimiento según la reivindicación 6, **caracterizado** porque la constante de par de giro ( $k_t$ ) se calcula basándose en la tensión de vacío ( $u_0$ ), el número de pares de polos ( $n_{pol}$ ) y la frecuencia nominal ( $f_n$ ) del motor de accionamiento.

8. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque se regulan las revoluciones del motor de accionamiento.

9. Procedimiento según la reivindicación 8, **caracterizado** porque la corriente de compensación está formada por una corriente de pilotaje del regulador de velocidad mediante la cual se compensan las pérdidas que surgen durante el funcionamiento del motor de accionamiento a una velocidad constante del motor ( $v$ ).

10. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque para determinar la corriente de aceleración ( $i_b$ ) se hace funcionar el motor de accionamiento con dos aceleraciones diferentes ( $a$ ,  $-a$ ).

11. Procedimiento según la reivindicación 10, **caracterizado** porque las dos aceleraciones ( $a$ ,  $-a$ ) presentan signo distinto.

12. Procedimiento según la reivindicación 10 u 11, **caracterizado** porque la aceleración ( $a$ ,  $-a$ ) se mantiene, en cada caso, constante durante un período de tiempo predeterminable.

13. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque la corriente de aceleración ( $i_b$ ) está formada por la diferencia entre la corriente de momentos total ( $i_m$ ) del motor de accionamiento y la corriente de compensación.

14. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque para calcular el momento de inercia de masas ( $j$ ) a partir de la corriente de aceleración ( $i_b$ ) se representa por una parte la aceleración del motor ( $a$ ) en función de la corriente de aceleración ( $i_b$ ) y por otra parte en función del momento de inercia de masa ( $j$ ), igualándose las dos fórmulas de la aceleración del motor ( $a$ ).

15. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque el momento de inercia de masa ( $j_n$ ) del sistema de accionamiento se determina a partir de la diferencia entre el momento de inercia de masa total ( $j$ ) del sistema de accionamiento y el momento de inercia de masa ( $j_m$ ) del motor de accionamiento.

## ES 2 266 692 T3

16. Procedimiento según la reivindicación 15, **caracterizado** porque se calcula la relación entre el momento de inercia de masas del motor y el momento de inercia de masas de la carga.

5 17. Procedimiento según la reivindicación 16, **caracterizado** porque el cociente entre el momento de inercia de masas del motor y el momento de inercia de masas de la carga se visualiza mediante un sistema de presentación.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65



Fig. 1





