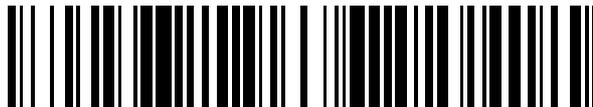


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 371 755**

51 Int. Cl.:
G05B 19/4061 (2006.01)
G05B 19/4062 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **05006084 .7**
96 Fecha de presentación: **19.03.2005**
97 Número de publicación de la solicitud: **1591850**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **02.11.2005**

54 Título: **DISPOSITIVO CONDUCTOR DE CONTROL NUMÉRICO CON DISPOSITIVO PARA DETECTAR ANOMALÍAS OPERATIVAS CON EL PROPÓSITO DE DETECTAR COLISIONES ACCIDENTALES Y MÉTODO PARA DETECTAR ANOMALÍAS OPERATIVAS PARA ESTE DISPOSITIVO.**

30 Prioridad:
27.04.2004 CH 7352004

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
09.01.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
09.01.2012

73 Titular/es:
Agie Charmilles SA
Via dei Pioppi 2
6616 Losone, CH

72 Inventor/es:
Altpeter, Friedhelm

74 Agente: **de Elzaburu Márquez, Alberto**

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).

ES 2 371 755 T3

DESCRIPCIÓN

Dispositivo conductor de control numérico con dispositivo para detectar anomalías operativas con el propósito de detectar colisiones accidentales y método para detectar anomalías operativas para este dispositivo

5 La invención presente trata de un dispositivo conductor de control numérico que comprende un dispositivo para detectar anomalías operativas con el propósito de detectar colisiones accidentales, que comprende:

- al menos un motor capaz de conducir una carga a lo largo de al menos un recorrido por medio de un conjunto de elementos de transmisión,
- unos primeros medios para medir la posición dispuestos aguas arriba de al menos uno de los elementos de dicho conjunto de transmisión al motor y cuyo propósito es proporcionar un primer valor de la posición,

10 - unos segundos medios para medir la posición dispuestos aguas debajo de este elemento del conjunto de la transmisión a dicha carga y cuyo propósito es proporcionar un segundo valor de posición correspondiente a la posición de la carga en dicho recorrido,

- medios de cálculo para establecer a intervalos predeterminados señales de error que corresponden a las diferencias entre el primer y el segundo valor de posición, y

15 - medios de análisis para analizar estas señales de error de manera que se detecten colisiones accidentales.

Dichos dispositivos ya han sido utilizados en el campo de las máquinas herramienta como se describe en los documentos DE 34 26 863 AL o DE-A-199 60 834.

20 Se utilizan dispositivos conductores comparables en otras muchas aplicaciones, como por ejemplo robots, máquinas impresoras, equipos para producción textil, máquinas de moldeado por inyección, estampación y alisado, grúas, antenas de seguimiento de satélite, telescopios, etc.

25 En el dispositivo conductor como el representado en la Figura 1, la posición del motor 14 se mide por medio de un transductor 15 de manera que se controle las comunicaciones de fase en las posiciones correctas del rotor del motor. El par del motor se transmite a la carga 18 que representa por ejemplo a la mesa de trabajo o también a un husillo provisto de una herramienta por medio de una transmisión de poleas 11 y 13 y de una correa 12 seguida de un tornillo con tuerca 17. La posición de la carga 18 se mide por medio de una regla lineal 16. El final de carrera se detecta mediante un tope mecánico 19 de manera que se proteja el mecanismo en caso de un defecto con el programa del servo conductor. Este tope 19 puede servir en una fase de preparación de la máquina como referencia absoluta para la inicialización del husillo. Tal inicialización es necesaria en el caso en el que las reglas lineales no proporcionan esta referencia. Generalmente, los contactores de final de carrera son utilizados en ese caso para la

30 inicialización. Si estos contactores son eliminados por razones de reducción de costes o similares, entonces un dispositivo de detección de colisiones efectivo y fiable como el propuesto por las invenciones hace necesario al objeto de utilizar el tope 19 como una referencia, sin que haya riesgo de dañar los mecanismos del dispositivo debido a fuerzas de impacto excesivas.

35 Cuando se utiliza una máquina herramienta, un robot u otros ítems de equipo con una articulación conducida por un servo motor, un elemento en movimiento puede colisionar con otro miembro de la máquina, con una pieza que va a ser mecanizada o con un componente del entorno. En este caso, el problema que se debe resolver consiste en prevenir y / o detectar la colisión.

40 La medida preventiva que está más extendida dentro de esta técnica, es la limitación del recorrido del husillo en cuestión por medio de contactores de final de carrera que forman una limitación lógica cableada, a través de la definición previa de los límites del dominio alcanzable del conjunto de posiciones que constituyen una limitación de programa, o también con la ayuda de topes mecánicos que forman una limitación física. Dentro de este contexto de la prevención de colisiones, del documento de patente US 5,347,459 ha propuesto también que el espacio de trabajo sea modelado de manera que se identifiquen previamente las interferencias entre los cuerpos en movimiento relativo. La desventaja de este procedimiento de modelado es la necesidad de asegurar la cinemática de todos los

45 objetos en el área de trabajo, no estando disponible esta información por ejemplo en relación con una máquina herramienta para la realización de cortes que puede resultar atascada entre la pieza y la herramienta. Al objeto de superar esta falta de conocimiento en relación a la posición de cuerpos dentro del espacio de trabajo, se ha recurrido por ejemplo a sistemas de visión, conduciendo en todos los casos a soluciones complejas y caras.

50 La patente de los Estados Unidos US 4,820,895 propone un sensor de contacto eléctrico en el caso de una máquina de electro – erosión. Tal dispositivo puede, de acuerdo con la patente DE 40 08 661 A, servir para la alineación de una herramienta tridimensional en una pieza semi - terminada, haciéndolo gracias a su capacidad para detectar las

colisiones de la herramienta y la pieza de manera precisa y sin gasto. Sin embargo, el uso de un sensor de contacto eléctrico requiere la presencia de objetos conductores de la electricidad.

5 La patente US 5,119,006 ha propuesto que sean monitorizados un cierto número de criterios, como por ejemplo el valor absoluto de la corriente / par del motor del servo. Los procedimientos descritos en esta patente se restringen a mecanismos conductores con una transmisión muy rígida o muy precisa, lo que requiere soluciones mecánicas que son necesariamente caras en el caso de ciertas aplicaciones industriales para las que la introducción de un segundo sensor de posición lineal hacen posible implementar procedimientos de programa para compensar los errores relacionados en particular con la flexibilidad o con los defectos homocinéticos. Esta compensación puede dar lugar a demandas de soporte en el bucle de retorno de velocidad del motor, así como a errores de seguimiento de gran velocidad y así a grandes variaciones en la corriente del motor. Más aún, si la inercia del motor domina a la inercia de la carga, en referencia al lateral del motor, entonces el efecto de las fuerzas de una colisión en al corriente del motor no se pueden distinguir de las fuerzas que deben ser provistas para una aceleración normal, o respectivamente una deceleración. Así, las señales sin procesar, como se propone en la patente US 5,119,006 no contendrán más la información relevante que hace posible identificar una colisión con sensibilidad suficiente para evitar el gasto de material.

20 Para una mejor utilización para la detección de una colisión de las señales de par del motor, las señales de velocidad y de corriente de motor respectivamente, la patente US 5,304,906 propone la construcción de un observador de anomalías de par basado en los parámetros del mecanismo conductor y en parámetros de filtrado cuyo propósito es reducir la influencia del ruido de medida a alta frecuencia. Sin embargo, el método propuesto en esta patente US 5,304,906 se limita a un modelo rígido para la transmisión del mecanismo conductor. E procedimiento es de esta manera insuficiente para mecanismos conductores para los que la flexibilidad de la transmisión y los defectos homocinéticos asumen un significado considerable. Sin embargo, el conocimiento de los parámetros tales como la inercia y el par constante del motor son compatibles con las numerosas aplicaciones como por ejemplo máquinas herramienta en donde la masa que va a ser conducida puede fácilmente variar en un factor de 5 durante el uso normal de la instalación.

30 La Solicitud de Patente DE 199 60 834 A1 propone que una posición lineal sea medida en la parte conducida del husillo y que esta medida sea comparada con una medida indirecta tomada dentro de la cadena de transmisión, de manera que se forme una señal de error. Un incremento abrupto en dicha señal indica que una colisión o un incidente anormal han ocurrido. Sin embargo, nada sugiere en al misma otra cosa que comparar el incremento temporal en la señal de error como un límite fijado previamente. El problema de esta señal de error en relación con la posición entre el motor y la parte conducida es que está contaminada por errores homocinéticos, que son característicos de la operación normal y que conduce de nuevo al límite de disparo que ha sido fijado en un valor excesivo. Por otro lado, la solución propuesta no es adecuada cuando es necesario acelerar violentamente grandes inercias. Tal es el caso para los husillos de X e Y de máquinas de electro - erosión, que sirven para mover el conjunto de la pieza que va a ser mecanizada y la bandeja llena de líquido dieléctrico, llegando posiblemente las masas conducidas a alcanzar una tonelada.

40 Un objeto de la invención presente es remediar los inconvenientes actuales y para este propósito es para lo que los medios de análisis comprenden medios de discriminación ajustados de tal manera que analicen dichas señales de error obtenidas en dichos intervalos predeterminados como una función del recorrido atravesado en un bastidor de referencia espacial con una visión para discriminar entre los errores debidos una colisión accidental y aquellos debidos a al menos otra causa.

En virtud de estas características, es posible detectar colisiones accidentales de una manera fiable y rápida, con un valor de consigna de detección que es considerablemente más bajo que en los dispositivos conocidos.

45 De manera favorable dicho conjunto de transmisión posee una flexibilidad de transmisión que se utiliza en virtud de dichas señales de error como un indicador de fuerza en relación con la conducción de la carga.

Estas características permiten una construcción muy simple y un coste muy ventajoso.

50 De acuerdo con un modo de ejecución preferido, los medios de discriminación comprenden la menos una restricción del dominio relevante de los datos relacionados con las señales de error sobre un movimiento limitado de la carga a lo largo del recorrido formando al menos una ventana espacial que enmarca el recorrido atravesado por la carga ajustados de tal manera que se discrimine entre los errores debido a una colisión accidental y aquellos debido a al menos otra causa.

Así uno tiene una detección particularmente fiable con un umbral de detección reducido.

Ventajosamente, los medios de discriminación consisten en medios espaciales de filtrado adaptados para descartar los errores homocinéticos y / o los errores debido a las variaciones térmicas.

En virtud de estas características, cualquier defecto de detección puede ser evitado de una manera eficaz.

5 De acuerdo con un modo ventajoso de ejecución los medios de filtrado comprenden dos matrices circulares de datos relativos de un lado a los movimientos de la carga sobre dicho recorrido y por el otro a las señales de error correspondientes a estos movimientos y al menos una ventana rectangular espacial que comprende los datos más recientes relativos a dichos movimientos y a dichas señales de error extraídas de las dos series circulares.

Uno obtiene así un dispositivo de detección de un principio original de de gran fiabilidad.

De acuerdo con otro modo de ejecución favorable, los medios para el filtrado comprenden al menos un filtro lineal invariable espacial que comprende una ventana espacial exponencial.

10 Este modo especialmente práctico, debido a que hace posible obtener una detección de anomalías rápida y fiable con una unidad de cálculo del tamaño más pequeño.

La invención trata también de un método para detectar anomalías operativas diseñado para detectar colisiones accidentales en dispositivos conducidos mediante control numérico que comprende:

- al menos un motor capaz de conducir una carga a lo largo de al menos un recorrido por medio de un conjunto de elementos de transmisión,
- 15 - unos primeros medios para medir la posición dispuestos aguas arriba de al menos uno de los elementos de dicho conjunto de transmisión al motor y diseñados para proporcionar un primer valor de posición,
- unos segundos medios para medir la posición dispuesto aguas debajo de este elemento del conjunto de transmisión hacia la carga y diseñados para proporcionar un segundo valor de posición correspondiente a la posición de la carga en dicho recorrido,
- 20 - medios de cálculo para establecer a intervalos predeterminados las señales de error correspondientes a la diferencia entre los primeros y los segundos valores de posición, y
- medios de análisis para analizar estas señales de error de manera que se detecten colisiones accidentales,

25 en el que se emplean medios de discriminación se manera que analicen dichas señales de error obtenidas en dichos intervalos predeterminados como una función del recorrido atravesado en un marco de referencia espacial con la idea de discriminar entre errores debidos a una colisión accidental y aquellos debido a al menos una causa diferente.

En virtud de este método una detección de colisiones accidentales puede ser obtenida de una manera simple y fiable con el umbral de detección más pequeño en comparación con los métodos conocidos.

30 Otras ventajas aparecen a partir de las características expresadas en las reivindicaciones dependientes y de la descripción que se desarrolla de aquí en adelante con mayor de talle de la invención con la ayuda de dibujos que representan esquemáticamente y a modo de ejemplo los dos modos de ejecución.

La Figura 1 muestra un dispositivo conductor controlado numéricamente.

La Figura 2 ilustra un diagrama básico de los medios para establecer las señales de error d.

Las Figuras 3a a 3f ilustran las variaciones de diferentes señales durante el movimiento hacia adelante y hacia atrás de la carga.

35 La Figura 3a muestra la posición x_r (mm) ocupadas por la carga como una función del tiempo t (s).

La Figura 3b ilustra la corriente I_M (A) del motor como una función del tiempo t (s).

La Figura 3c ilustra las variaciones en las señales de error d (micras) como una función del tiempo t (s).

La Figura 3d muestra las variaciones en la señal de error d (micras) como una función de las posiciones x_R (mm) ocupadas por la carga.

40 La Figura 3e ilustra una parte aumentada de la Figura 3d.

La Figura 3f muestra las variaciones en la señal $\Delta d_{\max} = \max d_k - \min d_k$ (micras) como una función del tiempo t (s).

La Figura 4 es un diagrama básico de un primer modo de ejecución del dispositivo para detectar colisiones accidentales.

La Figura 5 muestra un diagrama de los flujos utilizado en el primer modo de ejecución.

- 5 Las Figuras 6a a 6d ilustran las variaciones en diferentes señales durante un movimiento con un frenazo (colisión) de la carga.

La Figura 6a es un gráfico de las posiciones x_r (mm) ocupadas por la carga como una función del tiempo t (s).

La Figura 6b ilustra la corriente I_M (A) del motor como una función del tiempo t (s).

La Figura 6c muestra las variaciones en la señal de error d (micras) como una función del tiempo t (s).

- 10 La Figura 6d ilustra las variaciones en la señal de error d (micras) como una función de las posiciones x_R ocupadas por la carga.

Las Figuras 7a a 7h ilustran las variaciones en diferentes señales de un filtro invariable espacialmente utilizado en un segundo modo de ejemplo.

- 15 Las Figuras 7a y 7b son gráficos de la señal de salida del filtro $y(k)$ como una función de las posiciones $x_R(k)$ para los movimientos rápido y lento.

Las Figuras 7c y 7d muestran las posiciones $x_R(k)$ como una función de los varios puntos de medida k .

Las Figuras 7e y 7f ilustran la señal de salida del filtro $y(k)$ como una función de los varios puntos de medida k .

Las Figuras 7g y 7h corresponden a gráficas del valor de la señal de error $d(k)$ de los varios puntos de medida k .

La Figura 8 ilustra un diagrama de los flujos utilizado en el segundo modo de ejecución.

- 20 El dispositivo conducido de control numérico de la invención presente posee una configuración general como la ilustrada en la Figura 2. El motor 14a está asociado con un primer sensor de posición 15a que proporciona un primer valor de posición x_M y que constituye los primeros medios de medida de la posición dispuestos aguas arriba del conjunto de transmisión 12a a través del cual se transmite el movimiento a la carga 18a que se mueve a lo largo de un recorrido. La posición de la carga 18a se mide en virtud de un segundo sensor de posición 16a que proporciona un segundo valor de posición x_R .
- 25

Los medios de cálculo, en la forma de una unidad calculadora 20, están dispuestos de manera que calculen a intervalos de tiempo predeterminados una señal de error d de acuerdo con la ecuación

$$d = x_R - r x_M$$

donde r es igual al ratio de reducción del conjunto de transmisión 12a.

- 30 La señal de error d corresponde por lo tanto a la desviación entre la posición de la carga y la posición del motor en relación a la carga.

En la configuración ilustrada en la Figura 1, el error $d = x_R - r x_M$, es la suma de los errores debidos a los elementos de transmisión, lo que equivale a decir principalmente la correa, los contactos entre las bolas y las pistas de las bolas, la corredera y el tornillo, que actúan cada uno con su flexibilidad y sus propias fuerzas cinéticas.

- 35 Otros elementos de transmisión se pueden concebir, como por ejemplo ejes, conductores armónicos, etc.

Sin embargo, es preferible elegir componentes que no tengan juego. Elementos, como por ejemplo un engranaje sin precarga, que muestra juego en sentido inverso, por ejemplo, es objeto fácilmente de oscilaciones perturbadoras soportadas por el servo - control y requerirá precauciones particularmente limitadoras.

5 La señal de error d ilustrada en las Figuras 3c, 3d y 3e en relación a un movimiento hacia adelante y hacia detrás de la carga consiste por lo tanto en una contribución dinámica asociada con la aceleración del husillo y con la flexibilidad de la transmisión, y una contribución cinética o error homocinético asociado con los defectos de fabricación de montaje, en relación con los efectos de temperatura que falsifica el ratio de reducción r cambiando al longitud de la corredera. El componente dinámico de la señal de error d se representa naturalmente en un marco de referencia temporal, mientras que un marco de referencia espacial es la representación típica del componente cinético; por ejemplo la Figura 3c opuesta a la Figura 3d, respectivamente.

10 Las enseñanzas dadas en el documento DE 199 60 834 A1 proponen la observación de un incremento abrupto en el error d , establecido de otra manera mediante una cantidad del tipo $\Delta d / \Delta t$. Debemos observar que tal acercamiento comprende la fijación de límites de detección exagerados de manera que se puedan ignorar la suma de los defectos detallados a continuación, que pueden ser tolerados, siendo como son típicos de la operación normal y en particular sin colisiones.

15 Como ejemplo ilustrativo, se propone considerar el husillo y de una máquina de electro - erosión. La inercia del motor 14 es igual a 0,31 g m², el ratio de reducción de la transmisión de correa 11 – 13 es 5, el paso del tornillo 17 es 5 mm por vuelta, la masa del tablero que sostiene las piezas a mecanizar varía entre 620 y 1120 kg, la rigidez de la transmisión k es 175 N / μ m.

20 Las Figuras 3c, 3d y 3e ilustran la señal d de un mecanismo conductor del tipo mostrado en la Figura 1 para un gran movimiento y una inversión de dirección de velocidad.

El error homocinético originado por los defectos de fabricación del tornillo y por las interferencias generadas por el sistema para recircular las bolas dentro de la tuerca. Para el caso particular ilustrado en la Figura 3e cuando la posición de la carga x_R está representada como abscisa, se observa un pseudo - período de 7 mm.

25 La amplitud de 10 micras en este caso tipifican este defecto homocinético le da un carácter predominante, obliga a elegir un marco de referencia espacial, y más aún obliga a que el dispositivo de detección administre, entre otras cosas dicho pseudo-período por medio de un filtrado apropiado.

A esta cantidad fluctuante se añaden los errores del tipo térmico que se manifiestan como una desviación en la señal d en función de la posición x_R a medida que cambia la longitud del tornillo y con ella el ratio de reducción.

30 Para un tornillo de acero de longitud 440 mm, por ejemplo, cuyo coeficiente de expansión térmico es igual a 12 micras por metro y grado Kelvin, el error para una variación de 1 °C engendra un defecto de 5,28 micras. Tal variación de temperatura se puede originar por cambios en el aire en el taller, la exposición de la máquina a la luz solar, o incluso por el calentamiento del local generado por el movimiento del husillo y la fricción de los cojinetes de bolas. Estos tipos de errores térmicos explican en la gráfica de la Figura 3d la inclinación de la señal d en su conjunto, alrededor de 5 micras por cada 100 mm desplazado, a los que el dispositivo de detección debe permanecer insensible. Otra restricción impuesta en el dispositivo de detección será el administrar dicha inclinación, similar a un defecto de naturaleza espacial.

35 En la misma gráfica de la Figura 3d de la señal d como una función del movimiento x_R se puede observar una desviación entre el recorrido hacia delante y el recorrido de regreso, debido a la fuerzas de fricción en las guías lineales del husillo que provoca la flexibilidad de la transmisión. Este defecto de fricción / flexibilidad, que tiene una naturaleza dinámica, es del orden de 5 micras en el caso representado, que no será filtrado, como los componentes de alta frecuencia de la señal d , (véase la Figura 3e) que son debidos a la excitación de la frecuencia natural del dispositivo, y que están determinados por la flexibilidad de la transmisión y las inercias en los dos extremos. La manifestación de estas frecuencias puede ser observada también en la Figura 3b que muestra la gráfica de la corriente del motor I_M como una función del tiempo t .

40 De acuerdo con la invención presente, la flexibilidad de la transmisión se utiliza como un indicador de fuerza en relación con la carga que genera dicha señal de error de la transmisión d cuyos componentes son discriminados y filtrados de los defectos homocinéticos de manera que se evite disparar una falsa alarma de colisión en presencia de los defectos tolerables. Al objeto de ejecutar tal filtrado, los incrementos espaciales en la señal de error se observan, en lugar de monitorizar sus incrementos temporales abruptos.

45 El punto significativo es que las señales de error d se procesan por medios de análisis que comprenden medios de discriminación diseñados par analizar las señales de error obtenidas en los intervalos predeterminados como una

función del recorrido x_R atravesado en un marco de referencia espacial d , x_R con la idea de discriminar entre los errores debidos a colisiones accidentales y aquellos debidos a al menos otra causa.

- 5 La influencia de errores homocinéticos de transmisión son proporcionados por medio de una restricción del dominio espacial relevante de los datos en relación a un movimiento limitado formando al menos una ventana espacial que representa un camino recorrido por la carga diseñado de manera que se discrimine entre los errores debido a una colisión accidental y aquellos debidos a otras causas.

- 10 Esta restricción del dominio espacial relevante se consigue tanto en virtud de una ventana rectangular y de una serie circular manejada adecuadamente de acuerdo con el primer modo de ejecución, como en virtud de una o más ventanas exponenciales de acuerdo con el segundo modo de ejecución estando la manera se operación asociada con los filtros invariantes espacialmente (invariante espacial lineal LSI) será explicadas a continuación.

Estos medios de filtrado por restricción del dominio espacial se eligen experimentalmente de manera que se desechen los errores homocinéticos y / o los errores térmicos.

El primer modo de ejecución con una ventana rectangular en el espacio se basa en la arquitectura de software ilustrada en la Figura 4.

- 15 El primer y el segundo valor de posición x_M y x_R son proporcionados a la unidad de cálculo 20 que establece la señal de error $d = x_R - \tau x_M$.

Los valores de d y x_R se graban en dos series circulares 44 y 45 de tamaño n , siendo n por ejemplo 50.

El índice 1 denota la muestra más reciente de las registradas. El registro es realizado de acuerdo con un período de muestreo predeterminado, por ejemplo 2 ms.

- 20 De estos datos adquiridos se extrae un subconjunto de las muestras sucesivas más recientes $D = (i : 1 \geq i \leq i \max)$ para el que el dominio de las posiciones recorridas permanece inferior al límite L_x o anchura de la ventana espacial, de manera que

$$\sum_k |x_R(k) - x_R(k-1)| \leq L_x \quad \forall k \in D$$

- 25 Es juicioso seleccionar la anchura de la ventaba espacial L_x como una fracción del período del error homocinético local; por ejemplo, para una periodicidad en 7 mm, uno ventajosamente elige $L_x = 0,1$ mm. Reduciendo L_x , los defectos homocinéticos se ignoran más y más, no permitiendo la detección de colisiones diferentes que las relacionadas a miembros más y más rígidos. Una ventana espacial grande L_x permite la detección de miembros blandos, pero los defectos homocinéticos no resultan casi atenuados y el nivel de detección $L_{d,rel}$ debe ser elegido igualmente grande, reduciendo de esta manera la sensibilidad del método para detectar una colisión.

- 30 Dicho de otra manera, el subconjunto 43 de las muestras sucesivas más recientes $D = (i : 1 \geq i \leq i \max)$ puede ser vista como una ventana espacial rectangular que se desplaza en que se encuentra como abscisa los movimientos x_R de la carga y como ordenada el error $d = x_R - \tau x_M$.

Es esencial que el recorrido introducido en dicha ventana

$$\sum_k |x_R(k) - x_R(k-1)|$$

- 35 permanezca independiente de la velocidad del husillo en el caso de un muestreo temporal, por ejemplo en un intervalo regular h de 2 ms.

Se debe notar aquí que un muestreo espacial, obtenido reemplazando por ejemplo los pulsos de reloj con pulsos similares a aquellos de un reloj pero producidos por un codificador 15 (Figura 1) a intervalos regulares h de una

centésima de un grado por ejemplo hará posible procesar la señal, en la explicación ya dada, como si la velocidad el husillo permaneciera constante.

Una colisión será caracterizada por la superación de un límite $L_{d,rel}$, definido de aquí en adelante, del rango dinámico de d sobre el subconjunto D elegido en la ventana rectangular 43 de acuerdo con la operación.

$$\Delta d_{max} = \max_{k \in D} d_k - \min_{k \in D} d_k \geq L_{d,rel}$$

5

en donde

$\max d_x$ es el valor máximo de d en el subconjunto D

y

$\min d_x$ es el valor mínimo de d en el subconjunto D .

10 Dicho de otra manera, cada vez que el tamaño y el contenido de la venta 43, realizada por las memorias circulares, se actualiza, retenemos el valor máximo d y el valor mínimo d del subconjunto D de muestras relevantes (log), de manera que formen la diferencia entre ellas y a continuación compararla con el valor umbral $L_{d,rel}$. Cada muestra de par de valores $x_R(k)$, d_k se almacena con el mismo peso en la ventana rectangular, de aquí el nombre de rectangular.

15 Las elecciones anteriores del valor de umbral $L_{d,rel}$, y del ancho de la ventana deslizante L_x , lo que equivale a decir la calibración del dispositivo debe ser hecha en una instalación en buenas condiciones de trabajo.

20 El valor de $L_{d,rel}$ será fijado mediante observación y análisis de la amplitud y de la forma del error homocinético. Se propone que la personalización del límite de disparo $L_{d,rel}$ se base en las propiedades empíricas de los mecanismos conductores implicados. El procedimiento consiste en registrar el dominio de variación de d en un subconjunto D elegido, durante un cierto número de situaciones relevantes que no deben disparar la detección de colisiones, y en particular:

- movimientos programados por movimiento rápido que comprende inversiones de movimiento, así como saltos que en la velocidad significativos, por ejemplo de 0,1 mm/s, 1 mm/s y 10 mm/s.
- movimientos manuales a diversas velocidades, incluyendo bajas velocidades y movimientos manuales en modo paso a paso.
- los denominados períodos transitorios de "alimentación de mecanizado" o "salidas de mecanizado" caracterizados por el paso de una zona sin mecanizado a una zona con mecanizado o viceversa.

30 Así, el valor más alto de $\Delta d_{max} = \max_{k \in D} d_k - \min_{k \in D} d_k$ para la operación normal se evalúa. El límite de disparo $L_{d,rel}$ se elige con un margen suficiente, de manera que $L_{d,rel}$ es fijada a m % del valor máximo del Δd_{max} , estando m convenientemente entre 120 y 250, y muy favorablemente entre 140 y 200 y preferiblemente siendo igual a 150.

35 La Figura 3f muestra cómo tal gráfico personalizado, para un movimiento de alta velocidad, siendo el caso identificado como el más crítico para el mecanismo conductor implicado. El máximo de Δd_{max} en 2 micras, etiquetado 31, se obtiene al invertir la dirección del movimiento debido a la energía recuperada al invertir el movimiento. Ha sido posible reducir la influencia de los defectos homocinéticos de la transmisión mecánica a 0,8 micras máximo, etiquetado 32 en esta Figura. Para el caso mostrado, el límite de disparo puede ser elegido así en $L_{d,rel} = 3$ micras, permitiendo mientras tanto un margen de seguridad de 50%; para ser comparado con las 20 a 30 micras necesarias para los métodos conocidos en la técnica actual y que emergen de la observación de la Figura 3c.

En virtud de la invención el umbral de detección de colisión puede ser por lo tanto reducido en un factor de seis a siete en comparación con los métodos conocidos.

- Como se muestra en la Figura 3f la operación $\max_{k \in D} d_k - \min_{k \in D} d_k$ en la ventana rectangular 43 lleva a cabo un filtrado de pasa - alto que retira de la señal d el componente espacial correspondiente al pseudo - período de alrededor de 7 mm, así como a las desviaciones del tipo térmico. Expresado de una manera más general, la influencia de los errores térmicos y homocinéticos en la transmisión son gestionados por medios de una restricción del dominio espacial relevante de los datos en relación al movimiento limitado; y de aquí la posibilidad de establecer el límite $L_{d,rel}$ a un valor más pequeño permitiendo una mejor sensibilidad.
- En los casos más extendidos cuando el muestreo está regulado por un reloj, los límites de la ventana espacial de una longitud predeterminada no coinciden de manera general con el momento de medición de las muestras de pares de variables x_R y d . Es por lo tanto necesario realizar una interpolación que es espacialmente útil en el caso de movimientos de alta velocidad donde se utiliza un número pequeño de muestras, por ejemplo tres muestras.
- El límite espacial más reciente de la ventana espacial no es interpolado, mientras que el valor más antiguo del límite espacial más alejado de la ventana por una anchura L_x forma el objeto de una interpolación para el valor de la señal de error d .
- Este valor de interpolación es a continuación almacenado como la muestra más antigua de la ventana espacial. O se necesita interpolación si las muestras h son espaciales en lugar de ser temporales.
- Para la realización del dispositivo de detección, es preferible combinar las operaciones descritas anteriormente en una única función de programa, llamada periódicamente, por ejemplo con una periodicidad h de 2 mseg. La Figura 5 muestra el diagrama de flujo correspondiente a este método de detección de colisiones basado en una ventana rectangular. La gestión de las entradas del bloque 51, en particular de d considerando un cierto límite de movimiento L_x que define el subconjunto D , está contenido en los bloques 52 a 57. El bloque 58 detecta la colisión si por encima de este movimiento limitado L_x el valor de Δd_{max} es igual o mayor que el valor de consigna $L_{d,rel}$.
- Esta gestión de las entradas 51 comprende los siguientes pasos:
- 52: en primer lugar se determina el punto de inserción de la nueva información relativa a la posición y a las señales de error $x_R(k)$, $d(k)$ en la serie circular.
 - 53: si la serie circular está llena, entonces se borra el punto más antiguo para hacer sitio al nuevo dato; la longitud desplazada en el segmento así borrada es eliminada de la longitud del recorrido total desplazado durante las entradas.
 - 54: se inserta la información relativa a la posición x_R y la señal de error d .
 - 55: se añade la longitud desplazada correspondiente al camino tal recorrido durante la entrada.
 - 56: la esencia de la invención consiste en reducir el tamaño de la serie considerada con respecto a un subconjunto de longitudes recorridas limitado a L_x . Esta operación determinando el subconjunto relevante D requiere el recorrido de la serie circular. Los cálculos correspondientes rozan los límites del tamaño máximo n de la serie circular como una función de la unidad de cálculo disponible. Para el segmento más antiguo de las entradas, las coordenadas del punto correspondiente precisamente a la longitud L_x pueden ser interpoladas separadamente. Esta funcionalidad adicional en el paso 56 sirve para mejorar la precisión del algoritmo, especialmente con movimientos de alta velocidad de la carga donde el número último de muestras es pequeño, por ejemplo cercano a 3.
 - 57: el rango dinámico del defecto cinético d es evaluado determinando Δd_{max} .
 - 58: finalmente el rango dinámico Δd_{max} se compara con el límite $L_{d,rel}$.
- La aplicación de la invención presente a la detección de una colisión en un tope 19 equipado con arandelas elásticas como el ilustrado en la Figura 1 y la combinación con una parada del husillo resultante de la misma se muestran en la Figura 6. Las Figuras 6a, b, c muestran la evolución, como una función del tiempo, de la posición x_R , de la corriente del motor I_M y de la señal de error o defecto cinético d del husillo. La Figura 6d representa esta señal de error d como una función de la posición x_R . La sucesión de eventos se detalla a continuación:
- Durante la fase de acercamiento 62, la señal d permanece pequeña y la corriente del motor I_M sirve únicamente para compensar la fricción del husillo; véase en la Figura 6b el gráfico 61.

- 5 - En ese instante, denotado como 62, la mesa de la máquina donde la carga encuentra un tope, que está situada a $x_R = 0$. A continuación, la señal d aumenta en amplitud. Se debe notar en la Figura 6b que la variación en la corriente del motor I_M , observada en el período 62 a 63 en el que el husillo encuentra el tope, es igual a alrededor de 0,5 A únicamente. Esto es menos que un nivel que permitiría la aplicación de procedimientos de detección de colisiones basados en la señal de corriente.
- El umbral programado de deformación $L_{d,rel} = 5$ micras es sobrepasado en 63 en el instante $t=0$. la colisión detectada así es señalada a continuación al servo - control del husillo.
- 10 - La colisión se tiene en cuenta 16 ms después de su detección, en el instante denotado como 64. Una parada controlada del husillo es a continuación ordenada, siendo esta manifestada por el pico de corriente de deceleración, claramente visible en la Figura 6b. El retardo entre la detección de la colisión y la instrucción de parada da lugar a deformación adicional de la transmisión (5 micras) y así conduce a fuerzas suplementarias.
- 15 - La señal de colisión permanece activa a lo largo del dominio 65. Como en el experimento ilustrado aquí, no se ha detectado movimientos de relajación de las deformaciones engendradas por la colisión, la corriente continúa incrementándose hasta 1,2 A. Es por supuesto posible para el control numérico de la instalación ser programado para emitir un comando de husillo asegurando la parada de la carga con o sin movimiento de relajación de la fuerza.

20 El modo de ejecución descrito anteriormente en relación con el principio de una ventana espacial deslizable rectangular, aún siendo preciso sin embargo relativamente complejo. Es necesario gestionar una memoria circular en la que un número de n muestras, 50 por ejemplo, se almacena, de cuyo número se extrae un número variable de muestras relevantes, entre 3 y 50, dependiendo de si la velocidad es grande o pequeña.

25 Las muestras son reguladas generalmente por un reloj, y por lo tanto no coincide con las fronteras espaciales relevantes para la observación del fenómeno. Esto hace necesario, en particular cuando el número de muestras almacenado es pequeño, hacer correcciones por interpolación de las muestras más antiguas, al objeto de garantizar la precisión.

Para acotar el rango dinámico de la señal de error, todas las muestras deben ser revisadas cada vez que se llama una función del programa, y de aquí la necesidad de un dimensionado adecuado para no sobrepasar el límite de duración del bucle de cálculo del procesador.

30 Asumiendo que la aceleración es moderada, por ejemplo del orden de $0,5 \text{ m/seg}^2$ asociado en el presente caso con un período de muestreo rápido de 2 m/s, una integración numérica por una invariante espacial, el filtro lineal de primer orden (LSI) hace posible proporcionar un modo más simple y económico de ejecución como se resume en la Figura 8. El comportamiento de este filtro realizado digitalmente y regulado periódicamente en el tiempo se caracteriza por la constante espacial x_S .

35 La esencia de las operaciones está contenida en el bloque 81 y consiste en realizar un mapeo en el dominio espacial de la información temporal de la señal de error $d(k)$ regulado por el reloj de muestreo. El bloque 81 contiene los bloques 82, 83, 84, 85 para la gestión de la adquisición de d por medio de un LSI caracterizado por una constante espacial x_S . Se debe notar que x_S es análoga al movimiento L_x que define D del primer modo de ejecución que realiza la restricción del dominio relevante de los datos en un movimiento limitado.

El bloque 86 detecta la colisión realizando la comparación con el valor de consigna $L_{d,rel,lsi}$.

40 Los bloques 82 a 85 son similares a los bloques 52 a 57 de la Figura 5 y harán posible comprender la simplificación abordada por el segundo modo de ejecución.

Las mismas variables $x_R(k)$, $d(k)$ tal como están presentes en la Figura 5 en la entrada del bloque 52 se encuentran de nuevo en la entrada del filtro LSI y del bloque 82.

45 La expresión $\xi(k) = a_1(k) \xi(k-1) + b_0(k) d(k)$ del bloque 84 debe ser vista como un filtro pasa - bajo de la señal $d(k)$.

$\xi(k-1)$ representa el estado de $\xi(k)$ durante el bucle de cálculo previo, lo que equivale a decir para el ejemplo 2 ms antes del instante actual.

Dicho de otra manera, el $\xi(k-1)$ es la memoria de las entradas de la señal de error, comparable a la memoria circular 44 de la Figura 4 del primer modo de ejecución. Se debe notar aquí que el segundo modo de ejecución

utiliza únicamente una posición de memoria única para almacenar la entrada mientras que el primer modo descrito hasta 50 de ellas a modo de ejemplo.

El cálculo de $\xi(k)$ depende, de acuerdo con la expresión del bloque 84, de los parámetros de filtrado espacial $a_1(k)$ y $b_0(k)$ calculados previamente en 83 y actualizados en cada ciclo de cálculo, por ejemplo, cada 2 ms.

5 $b_0(k)$ sigue simplemente a $a_1(k)$, por ejemplo $b_0(k) = 1 - a_1(k)$.

La ley exponencial escrita en 83 demuestra que las constantes de filtrado depende del camino recorrido durante el último período $\Delta x_R(k) = x_R(k) - x_R(k-1)$ calculada en el bloque 82.

$$a_1(k) = \exp\left(-\frac{|\Delta x_R(k)|}{x_s}\right)$$

10 en donde x_s (micras) es la constante espacial de la ventana exponencial, véanse las Figuras 7a, 7b, y se explica a continuación. La constante x_s es comparable a la anchura de la ventana espacial rectangular L_x del primer modo de ejecución correspondiente a la restricción del dominio relevante de los datos durante un movimiento limitado.

15 El cálculo de $a_1(k)$ de acuerdo con este procedimiento asegura que las propiedades de entrada / salida del filtro, en el caos de muestreo temporal, son independientes de la velocidad del husillo, realizado así aun mapeo en el dominio espacial de la información temporal regulada por un reloj de muestreo. $a_1(k)$ y $b_0(k)$ son fijas si la velocidad del husillo es constante o si se realiza un muestreo espacial directamente.

Como se ha establecido anteriormente, la expresión $\xi(k)$ simbolizado en el bloque 84 de la Figura 8 es un filtro pasa – bajo de la señal de error $d(k)$.

20 Dicho de otra manera, $\xi(k)$ retiene únicamente los componentes de la señal de error que están caracterizados por frecuencias espaciales bajas y correspondientes en el caso representado en la Figura 3 a los defecto homocinéticos, más precisamente al pseudo-período de alrededor de 7 mm y a las desviaciones de tipo térmico.

Finalmente, la expresión $i(k) = -\xi(k) + d(k)$ del bloque 85 de la Figura 8 debe ser visto como un filtro pasa – alto complementario al filtro pasa – bajo $\xi(k) = a_1(k)\xi(k-1) + b_0(k)d(k)$ del bloque 84, que realiza la operación similar a $\max_{i \in \mathbb{R}} d_k - \min_{i \in \mathbb{R}} d_k$ del primer modo de ejecución y que retirar de la señal $d(k)$ los componentes espaciales que uno desea tolerar.

Este filtro espacial llevado a cabo por los bloques 84 y 85 hace por tanto posible tolerar la influencia de los errores de transmisión homocinéticos y permite, en la operación $|i(k)| > L_{d,rel,lsi}$ del bloque 86, y fijar el limite de detección de colisión $L_{d,rel,lsi}$ en un valor inferior resultando en una mejor sensibilidad del riesgo de colisión que uno desea detectar.

30 Tal como se ha establecido anteriormente $\xi(k-1)$ es la memoria de la adquisición de la entrada de la señal de error, comparable con la memoria circular 44 de la Figura 4 del primer modo de ejecución; sin embargo, en este segundo modo de ejecución se requiere una única posición de memoria para almacenar la entrada. Tal simplificación se hace posible en virtud del principio de la ventana exponencial explicado a continuación y por el hecho de que cada muestra tomada en cuenta en la integración participa en la misma con un peso que es inferior de acuerdo con un decremento exponencial, tanto más lejos como más reciente es la muestra; al contrario que en la ventana rectangular del primer modo de ejecución en el que la memoria de la muestra es borrada completamente a partir de una distancia alejada L_x .

40 Las Figuras 7a a 7h muestran las características de un filtro invariante espacial (LSI) de primer orden reconociendo una ventana espacial. Para el caso ilustrado, la entrada del filtro $d(k)$ se elige de manera que $d(k) = 0$ para todos los $x_R(k) < 0$ y $d(k) = 1$ para todos los $x_R(k) \geq 0$. Este filtro de ejemplo, estando determinado por el valor de su constante espacial $x_s = 1$, está caracterizado a continuación por una relación entre la señal de posición $x_R(k)$ y la señal de salida $y(k)$ idénticas para todas las transversales monotónicas $x_R(k)$. Las Figuras 7a, c, e y g muestran un movimiento rápido, a una velocidad media de $v_{sub0} = 0,05$ mm/s. La Figura 7b, d, f y muestran el comportamiento a lo largo del mismo camino recorrido, pero a una velocidad media inferior de $v_{sub0} = 0,005$ mm/s. En ambos casos ha sido añadido un pequeño componente sinusoidal de la velocidad.

45 En la Figura 7a, la sucesión de las muestras se muestra con la ayuda de cruces. La zona designada 71 corresponde a un movimiento rápido, y al contrario en la zona 72. La velocidad instantánea del movimiento se manifiesta por la pendiente de las posiciones $x_R(k)$ como una función de las muestras k , que se muestran en la

Figura 7c. La posición $x_R(k) = 2$ es sobrepasada tras la muestra 48. La evolución de la señal de entrada, en relación con al señal de salida del filtro, es representada en las Figuras 7g y e, respectivamente.

Las Figuras 7b, d, f y h se caracterizan por una densidad de muestras mayor como consecuencia de la velocidad media inferior.

5 Por supuesto, las realizaciones descritas anteriormente no exhiben características limitantes y pueden ser modificadas de cualquier forma deseable dentro del ámbito definido por la reivindicación 1. En particular, las aplicaciones que son posibles por el segundo modo de ejecución no se limitan al uso de filtro invariantes espaciales sencillos (LSI) de primer orden. Las explicaciones anteriores hacen posible implementar filtros pasa – alto y pasa – bajo en el dominio espacial de manera que toleren la mayor parte de los defectos homocinéticos.

10 Eligiendo otros valores de la constante espacial x_S , la teoría de los filtros digitales hace posible extender el procedimiento y combinar los filtros de banda de parada o de banda de paso conocidos de manera que los componentes homocinéticos tolerables de la señal de error puedan ser extraídos de una manera todavía más precisa. El dispositivo y el método descrito pueden ser aplicados también a aparatos y máquinas que tienen varios husillos y a movimientos circulares o a cualquier movimiento no lineal.

15

20

REIVINDICACIONES

- 1.- Un dispositivo conductor controlado numéricamente que comprende un dispositivo para detectar anomalías operativas con la intención de detectar colisiones accidentales, comprendiendo:
- 5
- al menos un motor (14) capaz de desplazar una carga (18) a lo largo de al menos un recorrido por medio de un conjunto de elementos de transmisión (T),
 - unos primeros medios para medir la posición (15) dispuestos aguas arriba de al menos uno de los elementos de dicho conjunto para la transmisión del motor (14) y diseñados para proporcionar un primer valor de posición (x_M),
- 10
- unos segundos medios para medir la posición (16) dispuestos aguas debajo de este elemento del conjunto para la transmisión de dicha carga (18) y diseñados para proporcionar un segundo valor de posición (x_R) correspondiente a la posición de la carga en dicho recorrido,
 - medios de cálculo (20) para establecer a intervalos predeterminados (h) señales de error (t) correspondientes a la diferencia entre el primer y el segundo valores de posición, y
 - medios de análisis para analizar estas señales de error de manera que se detecten colisiones accidentales,
- 15
- en el que los medios de análisis comprenden medios de discriminación ajustados de manera que analicen dichas señales de error (d) obtenidas en dichos intervalos predeterminados como una función del camino (x_R) recorrido en un marco de referencia espacial (d, x_R) discriminando entre los errores debidos a colisión accidental y a aquellos debidos a al menos otra causa.
- 20
- 2.- El dispositivo como el reivindicado en la reivindicación 1, en el que dicho conjunto de transmisión (T) posee una flexibilidad de transmisión que se utiliza en virtud de dichas señales de error (d) como indicador de fuerza en relación con el movimiento de la carga (18).
- 25
- 3.- Un dispositivo como el reivindicado en las reivindicaciones 1 ó 2, en el que los medios de discriminación comprenden al menos una restricción del dominio relevante de los datos relacionados con las señales de error a lo largo de un movimiento limitado de la carga por el recorrido que forman al menos una ventana espacial (L_x , x_S) representando un camino recorrido por la carga diseñado de manera que discrimine entre los errores debidos a una colisión accidental y aquellos debidos a al menos otra causa.
- 30
- 4.- El dispositivo como el reivindicado en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que los medios de discriminación consisten en medios espaciales de filtrado adaptados para desechar los errores homocinéticos y / o los errores debidos a variaciones térmicas.
- 35
- 5.- El dispositivo como el reivindicado en la reivindicación 4, en el que los medios de filtrado comprenden dos series circulares de datos (44, 45) relacionadas por una parte con los movimientos (x_R) de la carga a lo largo de dicho recorrido y por otro lado a las señales de error (d) correspondientes a estos movimientos y al menos una ventana rectangular espacial (D) que comprende los datos más recientes relacionados con dichos movimientos (x_R) y a dichas señales de error (d) extraídas de las dos series circulares.
- 40
- 6.- El dispositivo como el reivindicado en la reivindicación 5, en el que los medios de filtrado están diseñados de manera que:
- registrar de acuerdo con un período de muestreo predeterminado (h) muestras de pares de variables relacionadas con los movimientos (x_R) de la carga y con las señales de error (d) asociadas con estos movimientos en las dos series circulares que tienen un tamaño (m) de manera que formen pares de datos introducidos $x_{R(k)}$, $d(k)$, denotando el índice 1 del coeficiente k la última muestra registrada;
 - extraer un subconjunto de las muestras sucesivas más recientes.

$$D = \{i : 1 \leq i \leq i_{max}\}$$

Para el cual el dominio de las posiciones recorridas por la carga (18) a lo largo de dicho camino es menor que o igual al primer límite fijo y predeterminado (L_x) correspondiente al ancho espacial de dicha ventana rectangular de manera que

$$\sum_k |x_R(k) - x_R(k-1)| \leq L_x \quad \forall k \in D$$

5 Este subconjunto de muestras sucesivas (D) formen una ventana rectangular espacial en la que se encuentran como abscisas los movimientos (x_R) de la carga y como ordenadas las señales de error (d), siendo el valor del primer límite (L_x) predeterminado de manera que sea una fracción de un período del error o errores que deben ser desechados;

10 - detectar una colisión que está definida por la superación de un segundo límite predeterminado ($L_{d,rel}$) del rango dinámico de la señal de error (d) a lo largo del subconjunto (D) elegido en la ventana rectangular de acuerdo con la operación

$$\Delta d_{max} = \max_{k \in D} d(k) - \min_{k \in D} d(k) \geq L_{d,rel}$$

donde $\max d(k)$, y $\min d(k)$ son los valores máximo y mínimo respectivamente de d en el subconjunto D.

15 7.- El dispositivo como el reivindicado en la reivindicación 6, en el que dicho segundo límite $L_{d,rel}$ está fijado a m % del valor máximo de Δd_{max} determinado para situaciones de movimientos de la carga sin colisión, estando ventajosamente m entre 120 y 250, y muy favorablemente entre 140 y 200, y preferiblemente siendo igual a 150.

20 8.- El dispositivo como el reivindicado en la reivindicación 6 ó 7, en el que los medios de filtrado comprende medios de interpolación diseñados de manera que obtengan por interpolación de dichos primer límite (L_x) de la ventana rectangular espacial un valor de interpolación de la señal de error (d), estando este primer límite (L_x) y dicho valor de interpolación almacenados como las muestras más antiguas de la ventana rectangular espacial.

9.- El dispositivo como el reivindicado en la reivindicación 4, en el que los medios de filtrado comprenden al menos un filtro lineal invariante espacial que comprende una ventana espacial exponencial.

25 10.- El dispositivo como el reivindicado en la reivindicación 9, en el que la constante o constantes espaciales (k_s) del filtro o filtros lineales invariantes espaciales está o están fijados de acuerdo con los defectos homocinéticos que uno decide tolerar.

11.- El dispositivo como el reivindicado en la reivindicación 10, en el que los medios de filtrado están diseñados para

- registrar de acuerdo con un período de muestreo predeterminado una muestra de un par de variables $x_R(k)$, $d(k)$ relacionados respectivamente con el movimiento de la carga y con la señal de error asociada,
- calcular en cada período de muestreo una señal $\xi(k)$ de acuerdo con la ecuación

$$\xi(k) = a_1(k) \xi(k-1) + b_0(k) d(k)$$

30 donde $\xi(k-1)$ es la memoria de la entrada de las señal de error y donde

$$a_1(k) = \exp\left(-\frac{|\Delta x_s(k)|}{x_s}\right), \Delta x_R(k) = x_R(k) - x_R(k-1)$$

$$b_0(k) = 1 - a_1(k)$$

- calcular una señal de salida y (k) de acuerdo con la ecuación

$$y(k) = -\xi(k) + d(k)$$

- 5
- detectar una colisión que está definida por la superación de un límite predeterminado $L_{d,rel,lsi}$ de acuerdo con la operación $|y(k)| > L_{d,rel,lsi}$.

12.- Un método para detectar anomalías de operación diseñado para detectar colisiones adicionales en dispositivos conductores controlados numéricamente que comprende:

- al menos un motor (14) capaz de mover una carga (18) a lo largo de al menos un recorrido por medio de un conjunto de elementos de transmisión (T),
- 10 - unos primeros medios para medir la posición (15) dispuesto aguas arriba de al menos uno de los elementos de dicho conjunto para transmisión al motor (14) y diseñado para proporcionar un primer valor de posición (x_x),
- segundos medios para medir la posición (16) dispuestos aguas abajo de este elemento del conjunto para la transmisión a dicha carga (18) y diseñado para proporcionar un segundo valor de posición (x_R) correspondiente a la posición de la carga en dicho recorrido,
- 15 - medios de cálculo (20) para establecer a intervalos predeterminados señales de error (d) correspondientes a la diferencia entre el primer y el segundo valor de posición, y
- medios de análisis para analizar estas señales de error de manera que se detecten colisiones accidentales,

20 en el que los medios de discriminación se emplean de manera que analicen dichas señales de error (d) obtenidas en dichos intervalos predeterminados como una función del camino (x_R) recorrido en un marco de referencia espacial (d, x_R) para discriminar entre los errores debidos a colisiones accidentales y aquellos debidos a al menos otra causa.

13.- El método como el reivindicado en la reivindicación 12, en el que se hace uso como indicador de fuerza en relación con el movimiento de la carga 18 de la flexibilidad de transmisión de dicho conjunto de transmisión (T) en virtud de dichas señales de error d.

25 14.- El método como el reivindicado en las reivindicaciones 12 ó 13, en el que las señales de error d se analizan por medio de la discriminación realizando al menos una restricción del dominio relevante de los datos relativos a las señales de error durante un movimiento limitado de la carga a lo largo del recorrido que forman al menos una ventana espacial (L_x, x_s) realizando un camino recorrido por la carga diseñado de tal manera que se discrimine entre los errores debidos a una colisión accidental y aquellos debidos a al menos otra causa.

30 15.- El método como el reivindicado en cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14, en el que se hace uso de medios de discriminación que comprende medios espaciales para filtrar adaptados para descartar los errores homocinéticos y / o los errores debidos a variaciones térmicas.

35 16.- El método como el reivindicado en la reivindicación 15, en el que se realiza un filtrado por los medios de filtrado que comprenden dos series circulares de datos (44, 45) relacionados por un lado con los movimientos (x_R) de la carga a lo largo de dicho camino y por otro lado con las señales de error (d) correspondientes a estos movimientos y al menos una ventana espacial rectangular (D) que comprende los datos más recientes relacionados con dichos movimientos (x_R) y con dichas señales de error (d) extraídos de dichas series circulares.

17.- El método como el reivindicado en la reivindicación 16, que consiste en:

- registrar de acuerdo con período de muestreo predeterminado (h) ejemplos de pares de variables relacionadas con los movimientos (x_R) de la carga y de las señales de error (d) asociadas con estos movimientos en las dos series

circulares que tienen un tamaño n de manera que formen pares de datos adquiridos $(x_R(k), d(k))$, denotando el índice 1 del coeficiente k la última muestra registrada;

- extraer un subconjunto de las muestras sucesivas más recientes

$$D = \{i : 1 \leq i \leq i_{\max}\}$$

- 5 para el cual el dominio de las posiciones recorridas por la carga (18) a lo largo de dicho camino menor o igual que un primer límite fijo y predeterminado (L_x) correspondiente a al anchura espacial de dicha ventana rectangular de manera que

$$\sum_k |x_R(k) - x_R(k-1)| \leq L_x \quad \forall k \in D$$

- 10 Este subconjunto de muestras sucesivas (D) formen una ventana rectangular espacial en la que se encuentran como abscisas los movimientos (x_R) de la carga y como ordenadas las señales de error (d), siendo el valor de dicho primer límite (L_x) predeterminado de manera que sea una fracción de un período del error o de los errores que van a ser descartados;

- 15 - detectar una colisión que está definida por la superación de un segundo límite predeterminado ($L_{d,rel}$) del rango dinámico de la señal de error (d) a lo largo de un subconjunto (D) elegido en la ventana rectangular de acuerdo con la operación

$$\Delta d_{\max} = \max_{k \in D} d(k) - \min_{k \in D} d(k) \geq L_{d,rel}$$

en la que $\max_{RED} d(k)$, y $\min_{RED} d(k)$ respectivamente son el valor máximo y mínimo respectivamente de d en el subconjunto D .

- 20 18.- El método como el reivindicado en la reivindicación 17, en el que dicho segundo límite $L_{d,rel}$ está fijado a m % del valor máximo de Δd_{\max} determinado para situaciones de movimientos de la carga sin colisión, estando ventajosamente m entre 120 y 250, muy favorablemente entre 140 y 200, y preferiblemente siendo igual a 150.

- 25 19.- El método como el reivindicado en las reivindicaciones 17 ó 18, en el que los medios de interpolación se emplean de manera que se calcule para dicho primer límite (L_x) de la ventana espacial rectangular un valor de interpolación de la señal de error (d), siendo dicho primer límite (L_x) y dicho valor de interpolación almacenados como las muestras más antiguas y que están más alejadas en la ventana espacial rectangular.

20.- El método como el reivindicado en la reivindicación 15, en el que se realiza un filtrado por medio de un filtro que comprende al menos un filtro lineal invariante espacial que comprende una ventana espacial exponencial.

- 30 21.- El método como el reivindicado en la reivindicación 20, en el que la constante o constantes de espacio (x_s) del filtro o filtros lineales invariantes espaciales está o están fijados de acuerdo con los defectos homocinéticos que uno decido tolerar.

22.- El método como el reivindicado en al reivindicación 21, en el que se combinan dos o más filtros pasa – alto, pasa - bajo, filtra – banda o pasa – banda, para cada uno de los cuales se elige un valor diferente de la constante espacial de manera que se extraiga precisamente los componentes homocinéticos tolerables de la señal de error (d).

23.- El método como el reivindicado en la reivindicación 21, que consiste en:

- registrar de acuerdo con período de muestreo predeterminado una muestra de un par de variables ($x_R(k)$, $d(k)$) relacionadas respectivamente con el movimiento de la carga y con la señal de error asociada,
- calcular para cada período de muestreo una señal $\xi(k)$ de acuerdo con la ecuación

$$\xi(k) = a_1(k) \xi(k-1) + b_0(k) d(k)$$

5 en la que el $\xi(k-1)$ es la memoria de la entrada de la señal de error y donde

$$a_1(k) = \exp\left(-\frac{|\Delta x_R(k)|}{x_s}\right), \Delta x_R(k) = x_R(k) - x_R(k-1)$$

$$b_0(k) = 1 - a_1(k)$$

- calcular la señal de salida $y(k)$ de acuerdo con la ecuación

$$y(k) = -\xi(k) + d(k)$$

- 10
- detectar una colisión que está definida por sobrepasar un límite predeterminado $L_{d,rel,lsi}$ de acuerdo con la operación $|y(k)| > L_{d,rel,lsi}$.

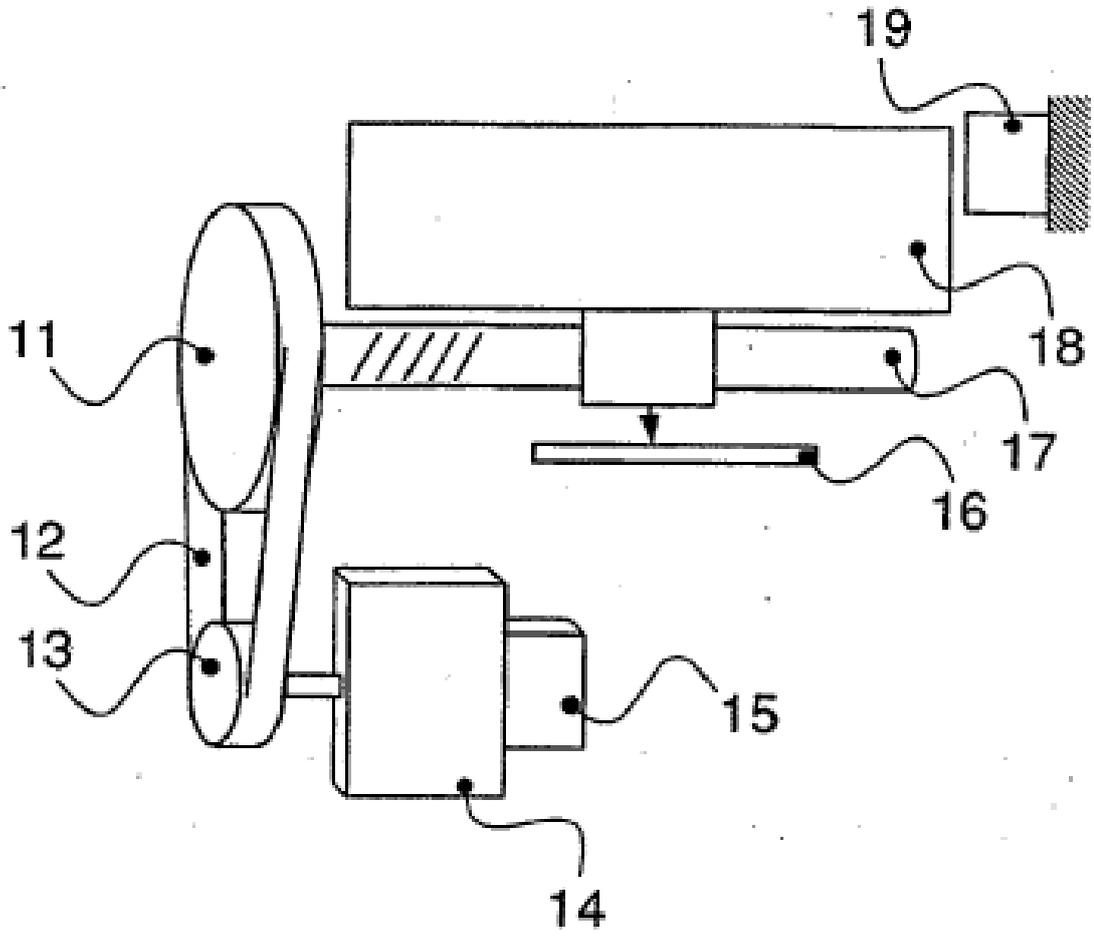


Fig. 1

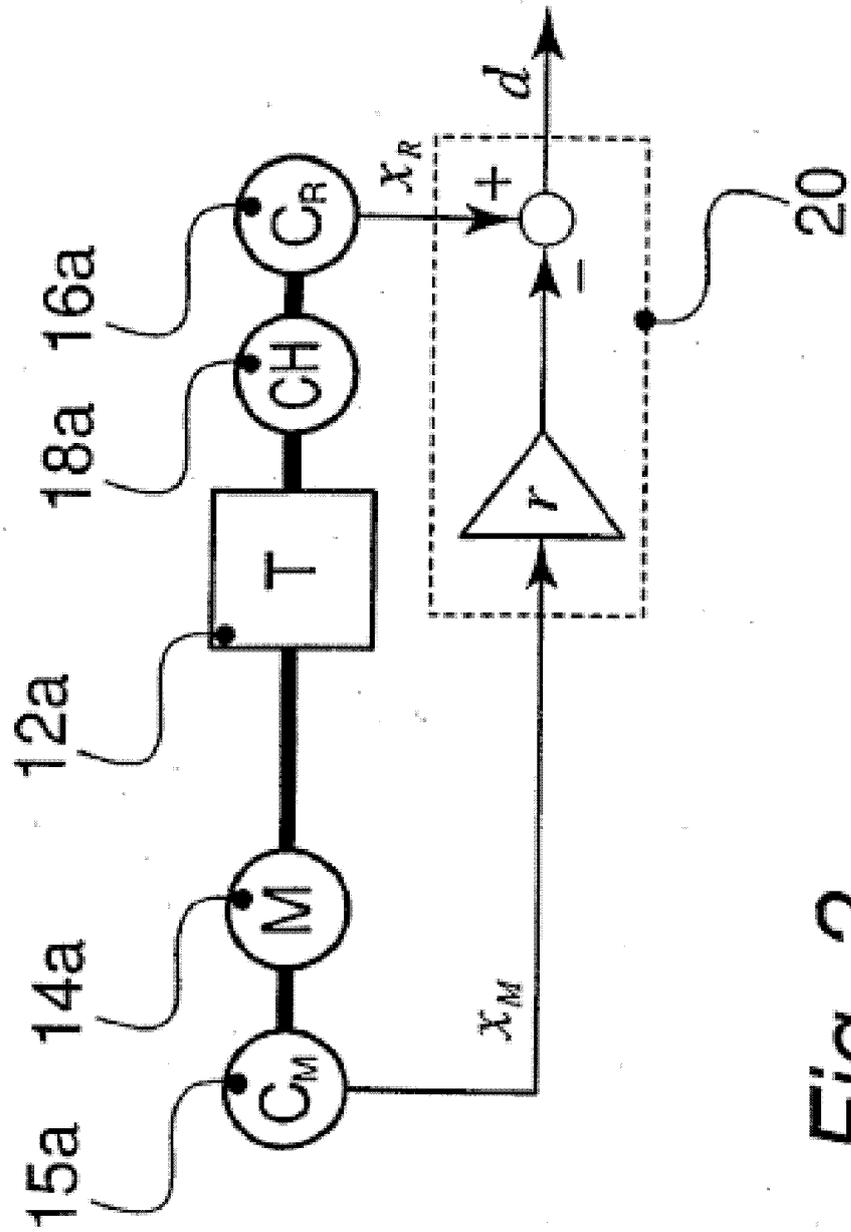


Fig. 2

Fig. 3a

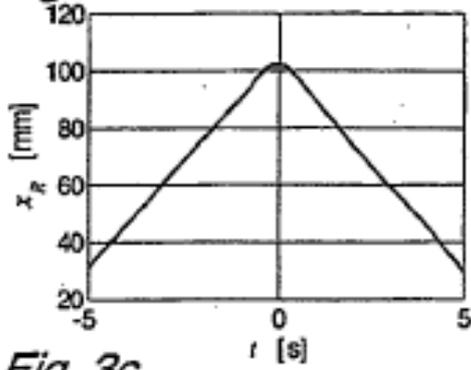


Fig. 3b

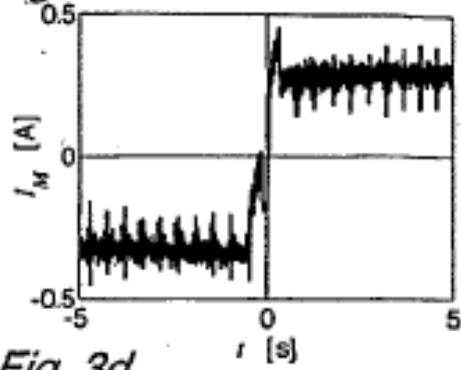


Fig. 3c

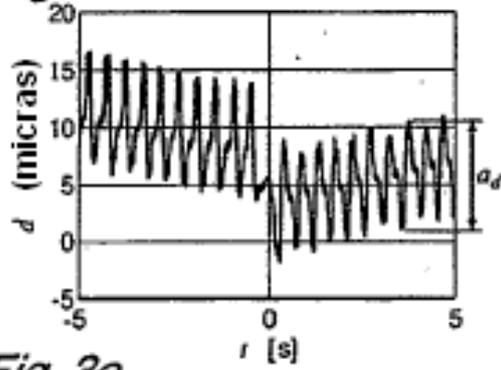


Fig. 3d

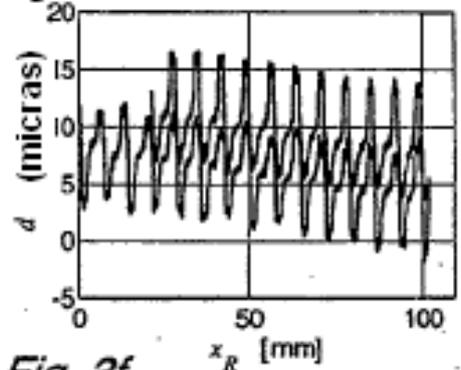


Fig. 3e

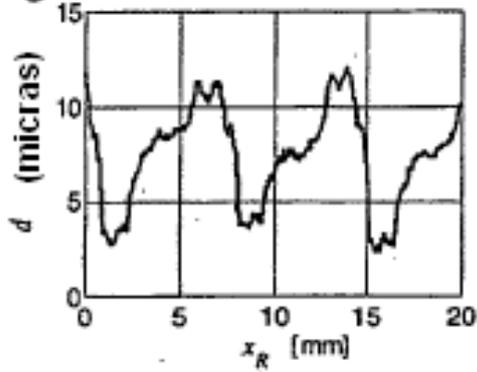
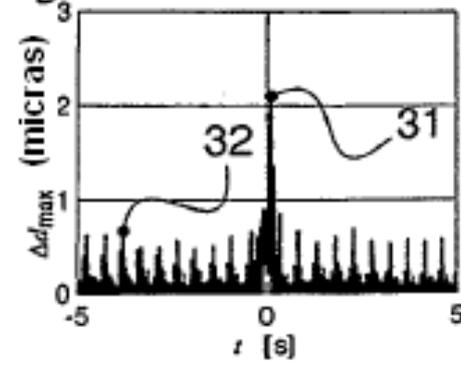


Fig. 3f



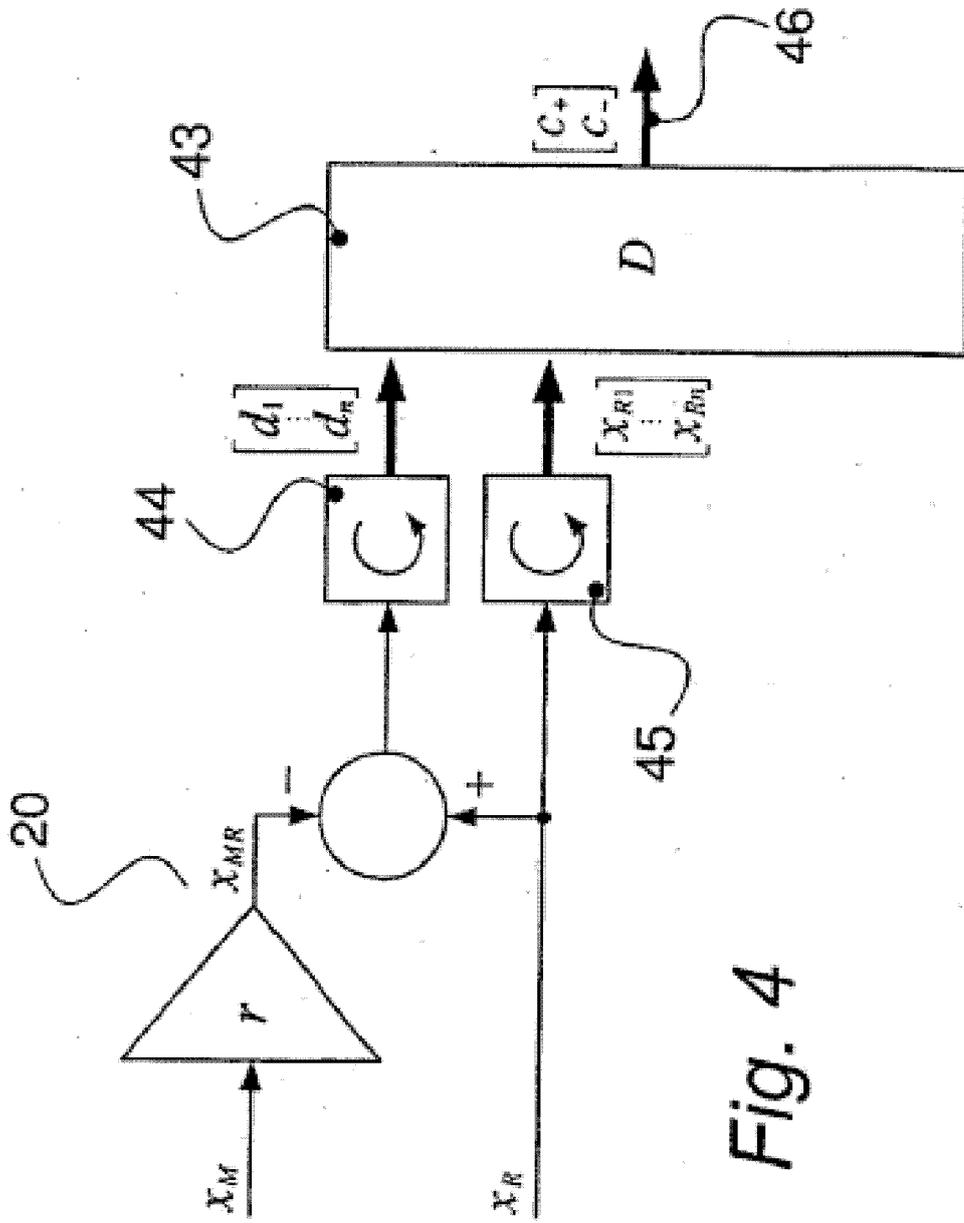


Fig. 4

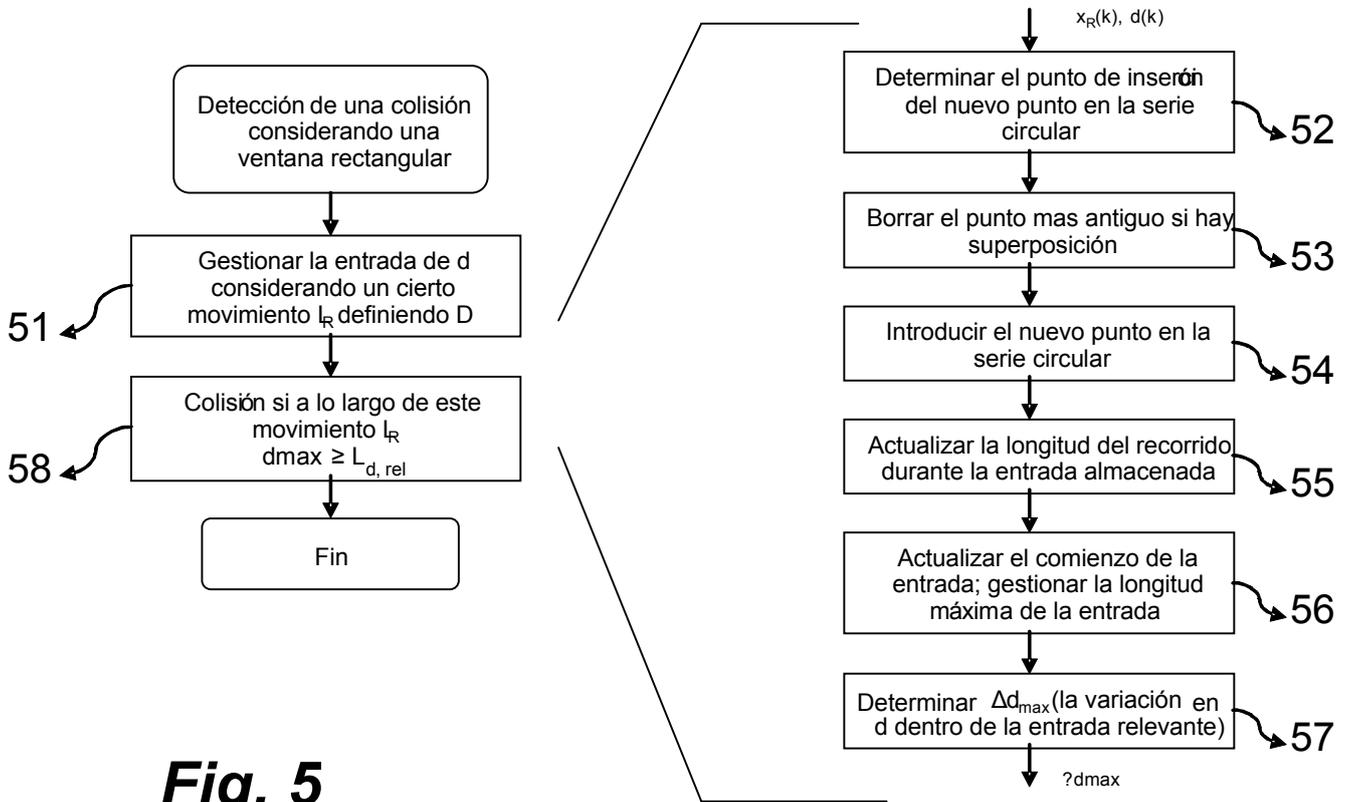


Fig. 5

Fig. 6a

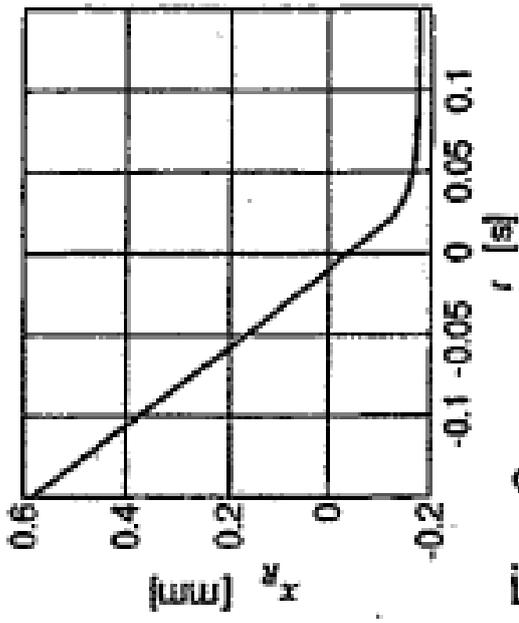


Fig. 6b

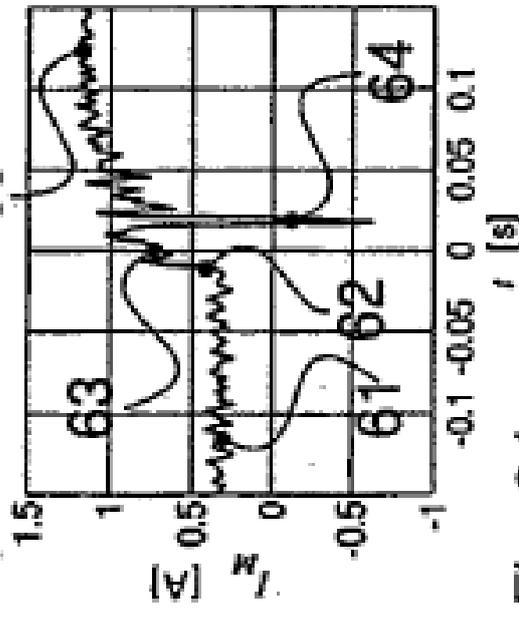


Fig. 6c

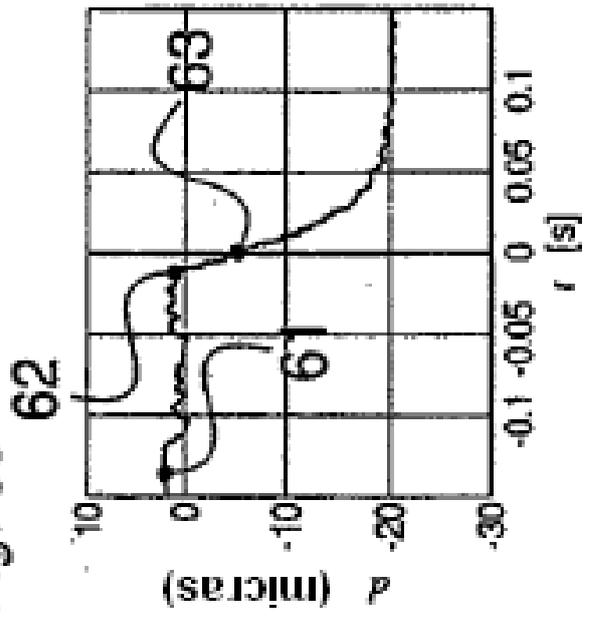
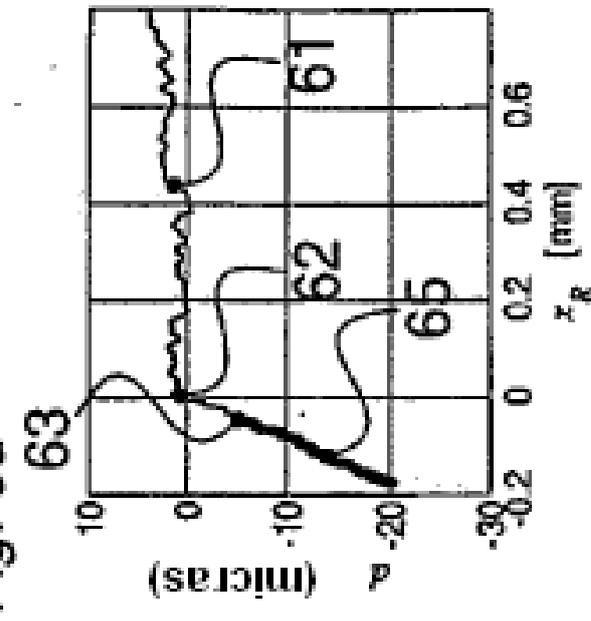
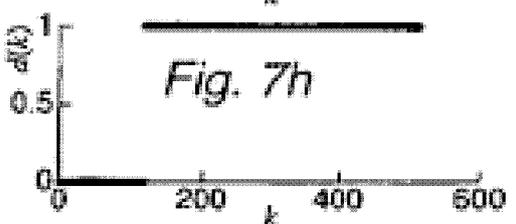
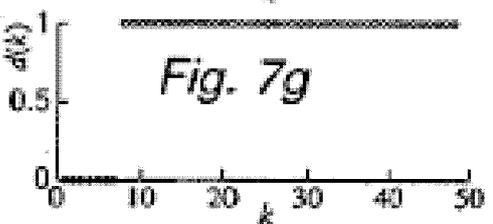
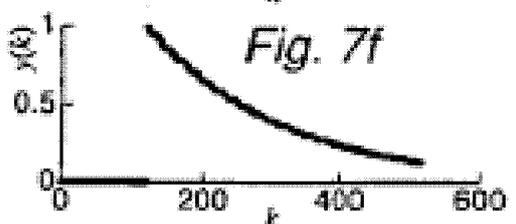
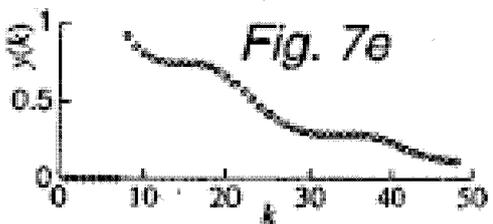
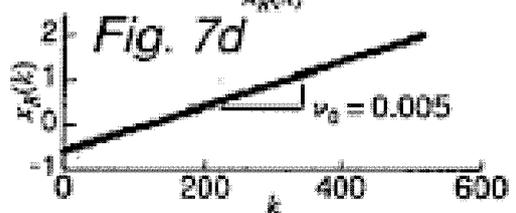
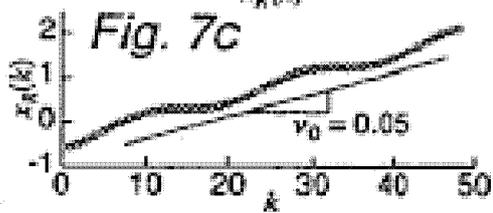
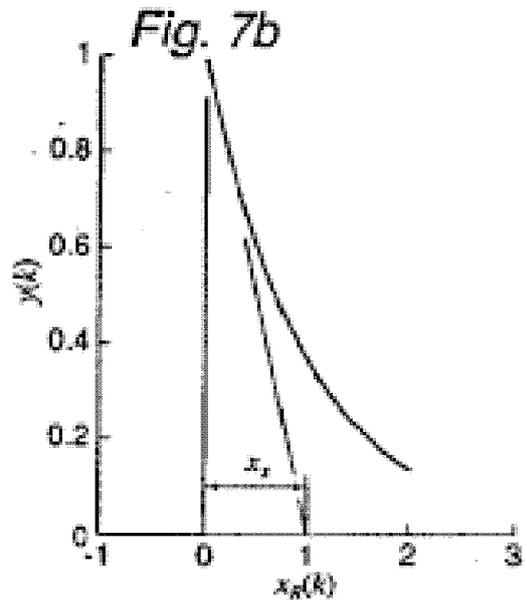
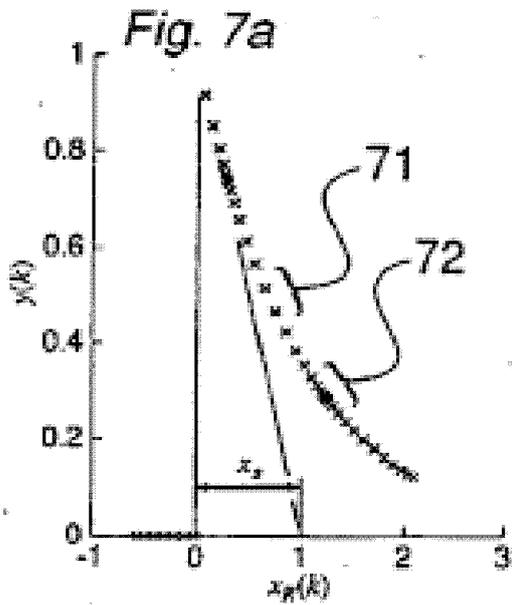


Fig. 6d





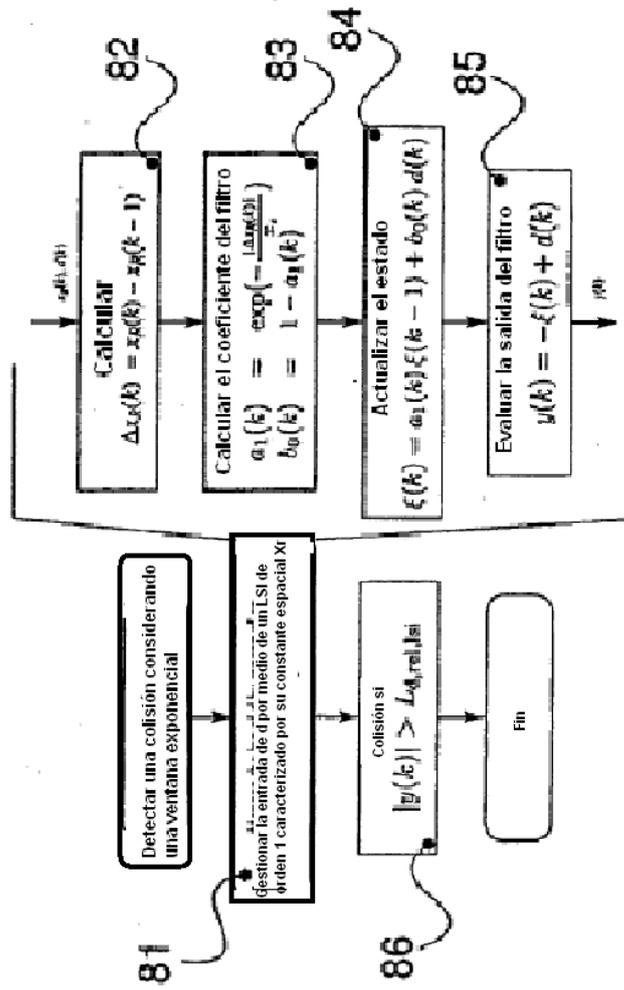


Fig. 8