



(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 276 746**

(51) Int. Cl.:
G05B 19/4103 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Número de solicitud europea: **01274420 .7**

(86) Fecha de presentación : **24.10.2001**

(87) Número de publicación de la solicitud: **1421452**

(87) Fecha de publicación de la solicitud: **26.05.2004**

(54) Título: **Un dispositivo para la generación de magnitudes de guía para circuitos reguladores de una máquina con control numérico.**

(30) Prioridad: **11.08.2001 DE 101 39 638**

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

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.07.2007

(72) Inventor/es: **Kohler, Frieder y**
Fausser, Matthias

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.07.2007

(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

Un dispositivo para la generación de magnitudes de guía para circuitos reguladores de una máquina con control numérico.

La presente invención se refiere a un dispositivo para la generación de magnitudes de guía para circuitos reguladores de una máquina con control numérico según el preámbulo de la reivindicación 1.

En las máquinas herramienta o robots controlados por ordenador la generación de valores teóricos para la posición, la velocidad y la aceleración como magnitudes de guía para los circuitos reguladores de los correspondientes accionamientos tiene lugar normalmente en unidades de interpolación preasignadas a los circuitos reguladores. Con esta finalidad se preajustan a las unidades de interpolación, en el lado de la entrada, las funciones geométricas de movimiento axial y los perfiles de velocidad deseados. En el lado de la salida la unidad de interpolación proporciona series discretas de valores teóricos o valores de muestreo en una trayectoria. Los valores teóricos se emiten como magnitudes de guía para los circuitos reguladores posconectados en línea con un tiempo de muestreo del interpolador T_{IPO} definido, normalmente fijo. Por otra parte los valores teóricos generados por la unidad de interpolación antes de la transmisión al circuito regulador de posición se filtran aún en un filtro de valores teóricos, por lo general en forma de un filtrado digital de paso bajo, para conseguir de este modo un aplanamiento de la trayectoria.

Por la solicitud de patente internacional WO 01/18622 de la solicitante se conoce un dispositivo genérico de este tipo. En esta solicitud de patente se proponen, en particular, medidas que afectan al modo de construir, con el menor esfuerzo de cálculo posible, un filtro apropiado de valores teóricos de posición en la forma de un filtro FIR [*finite impulse response*]. Por otra parte, en esta solicitud se describe además que, para la generación de magnitudes de guía en la retícula de tiempo de los circuitos reguladores, se debe disponer una unidad de interpolación fina entre el filtro de los valores teóricos de posición y los circuitos reguladores, por ejemplo el circuito regulador de posición. Con ayuda de la unidad de interpolación fina el tiempo de muestreo del interpolador T_{IPO} , que se sitúa típicamente en el entorno de $T_{IPO} = [1...6 \text{ ms}]$, o la frecuencia de muestreo del interpolador, se adapta al tiempo de muestreo del circuito regulador T_{Ctrl} , al circuito regulador posconectado y a la frecuencia de muestreo del circuito regulador. El tiempo de muestreo del circuito regulador T_{Ctrl} se encuentra más o menos en el entorno de $T_{Ctrl} = [100...800 \mu\text{s}]$, y es, por tanto, claramente menor que el tiempo de muestreo del interpolador T_{IPO} , o bien la frecuencia de muestreo del circuito regulador es claramente mayor que la frecuencia de muestreo del interpolador. No obstante, en este documento no figuran detalles acerca del diseño concreto de la unidad de interpolación fina.

Una arquitectura similar de un control numérico se da a conocer además en la introducción de la descripción de la patente DE 43 03 090 A1; no obstante, tampoco en este documento se encuentran referencias sobre el modo de configurar de forma apropiada la unidad de interpolación fina.

Habitualmente la adaptación del tiempo de muestreo del interpolador T_{IPO} al tiempo de muestreo del circuito regulador T_{Ctrl} del circuito regulador posconectado tiene lugar mediante procedimientos muy costosos. Por ejemplo, por la patente EP 0 917 033 A2 se conoce aquí la aplicación de una llamada interpolación polinómica, o bien una interpolación de splines. No obstante, además del esfuerzo de cálculo enorme, este tipo de interpolación fina ofrece unas trayectorias resultantes con unas oscilaciones excesivas no deseadas.

Por lo demás, en este punto se trabaja también con interpolación fina lineal. Sin embargo, este procedimiento da lugar a excitaciones no deseadas de los sistemas de accionamiento en las correspondientes transiciones entre segmentos.

Por tanto, el objetivo de la presente invención consiste en indicar, para un dispositivo genérico de generación de magnitudes de guía para circuitos reguladores de una máquina con control numérico, una aplicación idónea de una unidad de interpolación fina. Aquí la unidad de interpolación fina deberá procesar los valores teóricos de posición generados por una unidad de interpolación con una determinada frecuencia de muestreo del interpolador, de tal modo que resulten magnitudes de guía para los circuitos reguladores posconectados en la retícula de tiempo de la frecuencia de muestreo del circuito regulador. Se exige, además de un gasto de cálculo lo más reducido posible para la interpolación fina, la mejor calidad posible de las trayectorias resultantes.

Este objetivo se resuelve mediante una disposición con las características relevantes de la reivindicación 1.

Las formas de realización ventajosas de la disposición conforme a la invención se deducen de las medidas enumeradas en las reivindicaciones dependientes de la reivindicación 1.

De acuerdo con la invención se prevé a partir de ahora la realización de la unidad de interpolación fina con ayuda de un transductor de frecuencias de muestreo y de un filtro digital posconectado. La medida de configurar el filtro digital como filtro FIR se muestra aquí como particularmente ventajosa. De este modo resulta posible unir las operaciones aritméticas en curso del transductor de frecuencias de muestreo y del filtro FIR. Dado que el transductor de frecuencias de muestreo introduce valores intermedios con el valor cero en la retícula de tiempo de la frecuencia de muestreo del circuito regulador, entre los valores teóricos del lado de la entrada, el vector de entrada del filtro FIR contiene muchos valores cero. Todo valor cero contiguo a la entrada del filtro FIR da lugar, en el lado del filtro FIR, a operaciones aritméticas cuyo valor de salida es a su vez cero. De acuerdo con la invención se aprovecha en adelante

esta circunstancia, esto es, no es necesario efectuar las operaciones aritméticas con el valor de entrada cero. Por el contrario se calculan, para una serie de valores de entrada con ayuda de varios conjuntos de coeficientes de filtro, varios valores de salida interpolados, donde el número de conjuntos de coeficientes de filtro necesarios para el cálculo corresponde al factor de interpolación deseado. De este modo se requiere únicamente un esfuerzo de cálculo escaso por parte de la unidad de interpolación fina.

También se puede mencionar, como ventaja añadida de la disposición conforme a la invención, una calidad muy buena de la trayectoria resultante en último término. La razón de ello es la posibilidad, debida al tipo de interpolación fina seleccionado, de reconstruir casi exactamente la señal de salida en la medida en que durante la interpolación no se haya alterado el teorema de muestreo.

Otras particularidades de la presente invención se deducen de la siguiente descripción de un ejemplo de realización con ayuda de los dibujos anexos.

En ellos puede verse:

Figura 1 un diagrama de bloques esquemático de una parte del control numérico de una máquina herramienta;

Figura 2 un diagrama de bloques esquemático de un ejemplo de realización del dispositivo conforme a la invención;

Figura 3 una representación esquemática del filtro FIR digital utilizado en la disposición conforme a la invención de la figura 2.

En la figura 1 se muestra de forma esquemática una parte del control numérico de una máquina herramienta, en el que se utiliza una unidad de interpolación fina configurada de acuerdo con la invención.

En el control numérico de la máquina herramienta, para la generación de datos de la trayectoria de la herramienta, los datos del control numérico (CN) los convierte, en primer lugar, un interpolador 10 en una serie de valores teóricos de posición $X_{\text{Nominal, INCR}}$, con una frecuencia de muestreo del interpolador definida y un tiempo de muestreo del interpolador T_{IPO} . Aquí el tiempo de muestreo del interpolador T_{IPO} se sitúa habitualmente en el orden de magnitudes $T_{\text{IPO}} = [1 \text{ ms} \dots 6 \text{ ms}]$. Los valores teóricos de posición X_{Nominal} se envían, después de su procesamiento -que se describe a continuación-, como magnitudes de guía X_{Nominal} , $V_{\text{Feedforward}}$ y $A_{\text{Feedforward}}$ a unos circuitos reguladores 50, 60 en la forma de un regulador de posición y un regulador de velocidad. Aquí los circuitos reguladores 50, 60 presentan tiempos de muestreo T_{Ctrl} claramente menores en el orden de magnitudes $T_{\text{Ctrl}} = [100 \mu\text{s} \dots 800 \mu\text{s}]$. A través de los circuitos reguladores 50, 60 se efectúa finalmente en el presente ejemplo, de forma conocida, el control del movimiento a lo largo de la trayectoria deseada, sobre la base de las magnitudes de guía enviadas.

Antes de la entrega de los datos CN al interpolador 10 tiene lugar, entre otros procesos, un tratamiento previo de los datos CN en el sentido de calcular un recorrido de velocidad de la trayectoria teniendo en cuenta diferentes condiciones marginales. Para evitar en este sentido, en particular, una sobrecarga dinámica del sistema de propulsión, se garantiza, durante el procesamiento previo de los datos CN, que las magnitudes de guía no superen los límites físicos del sistema de propulsión. De aquí resulta, en último término, una limitación del espectro del perfil de velocidad por tener lugar, en puntos críticos del recorrido del movimiento, una extensión temporal del recorrido del movimiento. En relación con los procedimientos apropiados en este sentido, remitimos en este punto al Capítulo 7 (págs. 60 - 108) de la tesis doctoral de M. Fauser, *Steuerungstechnische Maßnahmen für die Hochgeschwindigkeits-Bearbeitung* [Medidas técnicas de control para el procesamiento a alta velocidad], Editorial Shaker, Aquisgrán, 1997.

En el transcurso de la presente descripción se tratará en mayor detalle la importancia de esta medida. A continuación los valores teóricos de posición $X_{\text{Nominal, INCR}}$, producidos por el interpolador 10, son filtrados digitalmente por medio de un filtro 20 de valor teórico de posición, configurado como filtro FIR, para garantizar que las magnitudes de guía enviadas a los circuitos reguladores 50, 60 no presentan ya componentes de frecuencia que en su caso podrían activar resonancias de la máquina. El filtro digital 20 utilizado en este punto actúa como filtro de paso bajo, que deja pasar componentes de frecuencia hasta una frecuencia límite f_G y bloquea componentes de frecuencia a partir de la frecuencia límite f_G . La frecuencia límite del filtro f_G se establece por lo general en unos valores menores que la frecuencia de resonancia f_{Res} de la máquina herramienta, $f_G = f_{\text{Res}}$. En relación con el filtro 20 de valores teóricos de posición remitimos a la patente WO 01/18622, ya mencionada.

A continuación los valores teóricos de posición filtrados $X_{\text{Nominal, INCR}}$ se procesan con ayuda de la unidad de interpolación fina 30, para lo cual básicamente se efectúa, a través de la unidad de interpolación fina 30 y en la retícula de tiempo de los circuitos reguladores 50, 60, la generación de magnitudes de guía X_{Nominal} , $V_{\text{Feedforward}}$ y $A_{\text{Feedforward}}$ para los circuitos reguladores 50, 60 posconectados, esto es, la generación de magnitudes de guía se efectúa con la frecuencia de muestreo del circuito regulador. Como magnitudes de guía se mencionan aquí los valores teóricos X_{Nominal} para el circuito regulador 50 posconectado, así como los valores de control previo $V_{\text{Feedforward}}$ y $A_{\text{Feedforward}}$ para el circuito regulador de posición 50 y el circuito regulador de revoluciones 60. En consecuencia, la unidad de interpolación fina 30 configurada según la invención cumple la función de adaptar la frecuencia de muestreo baja del interpolador 10 a la frecuencia de muestreo más elevada de los circuitos reguladores 50, 60; en lo sucesivo la relación entre frecuencia de muestreo del interpolador y frecuencia de muestreo del circuito regulador se denomina aquí factor de interpolación. Habitualmente ocurre aquí que la frecuencia de muestreo del interpolador se incrementa con el factor de interpolación

IF hasta llegar a la frecuencia de muestreo del circuito regulador. Los factores de interpolación IF típicos se sitúan, por ejemplo, en el ámbito de $IF = [2...60]$.

La frecuencia de muestreo del interpolador se establece en un valor no tan alto como el de la frecuencia de muestreo del circuito regulador porque, como se conoce por la patente WO 01/18622 de la solicitante, la elección de la frecuencia de muestreo del interpolador, teniendo en cuenta la frecuencia de resonancia f_{Res} , o dependiendo de la misma, permite una construcción más sencilla del filtro FIR 20. En frecuencias de resonancia habituales en el ámbito de $f_{Res} = [20 \text{ Hz} \dots 100 \text{ Hz}]$ resultan los tiempos de muestreo del interpolador típicos, anteriormente indicados, de $T_{IPO} = [1 \text{ msec} \dots 6 \text{ msec}]$.

En relación con la configuración concreta, conforme a la invención, de la unidad de interpolación fina 30 remitimos a la siguiente descripción de las figuras 2 y 3.

En el ejemplo de la figura 1 se dispone además, entre la unidad de interpolación fina 30 y los circuitos reguladores 50, 60, otra unidad de sincronización 40. El objetivo de la unidad de sincronización 40 consiste aquí en la sincronización temporal de las diferentes magnitudes generadas $X_{Nominal}$, $V_{Feedforward}$, $A_{Feedforward}$ para diferentes ejes de la máquina. Una sincronización de este tipo resulta necesaria en una máquina herramienta de varios ejes pues las magnitudes de guía enviadas por la unidad de interpolación fina $X_{Nominal}$, $V_{Feedforward}$, $A_{Feedforward}$ se refieren a un momento diferente del momento en que se las necesita en los circuitos reguladores 50, 60 posconectados; en particular si, por ejemplo, la regulación de ejes diferentes tiene lugar de forma secuencial. Por ello se deberá conseguir, a través de la unidad de sincronización 30, un retardo apropiado de las magnitudes de guía $X_{Nominal}$, $V_{Feedforward}$, $A_{Feedforward}$, enviadas a los circuitos reguladores, para los diferentes ejes.

La estructura fundamental de un ejemplo de realización de la unidad de interpolación fina 30 está representada esquemáticamente en la figura 2. Aquí la unidad de interpolación fina 30 está construida preferiblemente en un procesador de señal digital (DSP), cuya arquitectura está optimizada para el cálculo de filtros digitales. Como alternativa en este sentido cabe también su construcción en una CPU.

En el ejemplo representado la unidad de interpolación fina 30 presenta dos canales de procesamiento en los que se generan las magnitudes de guía $X_{Nominal}$, $V_{Feedforward}$ en relación con la posición y la velocidad para los circuitos reguladores de posición y de velocidad posconectados. Del canal de procesamiento destinado a la generación de la magnitud de guía $V_{Nominal}$, referida a la velocidad, se deriva además, mediante diferenciación a través del elemento diferenciador 32, la magnitud de guía $A_{Feedforward}$, referida a la aceleración. Conviene destacar en este punto que, como alternativa en este punto, sería posible construir la unidad de interpolación fina 30 sólo en un canal, y derivar las magnitudes de guía $V_{Feedforward}$, $A_{Feedforward}$, en relación con la velocidad y la aceleración, mediante una diferenciación, una o dos veces, a partir de los valores teóricos de posición $X_{Nominal}$.

A excepción del elemento diferenciador 31 los dos canales de procesamiento de la unidad de interpolación fina 30 presentan una estructura en principio idéntica, que se explica a continuación. Así, cada uno de los dos canales de procesamiento de la unidad de interpolación fina 30 presenta un transductor de frecuencias de muestreo 33.1, 33.2, así como un filtro digital 34.1, 34.2 posconectado. Con ayuda del transductor de frecuencias de muestreo 33.1, 33.2, así como del filtro digital 34.1, 34.2 se produce la adaptación, antes mencionada, de la frecuencia de muestreo baja del interpolador a la frecuencia de muestreo del circuito regulador, claramente superior.

A través del transductor de frecuencias de muestreo 33.1, 33.2 la frecuencia de muestreo de los valores teóricos del lado de la entrada se incrementa en primer lugar desde la frecuencia de muestreo del interpolador hasta la frecuencia de muestreo del circuito regulador. Para ello el transductor de frecuencias de muestreo 33.1, 33.2 introduce en la retícula de tiempo de los valores teóricos del lado de la entrada valores intermedios con el valor cero en la retícula de tiempo de la frecuencia de muestreo del circuito regulador. En consecuencia, en la salida del transductor de frecuencias de muestreo 33.1, 33.2, en cada uno de los dos canales de procesamiento, se encuentra una señal con la frecuencia de muestreo deseada o necesaria del circuito regulador posconectado, que seguidamente se conduce al filtro digital respectivo 34.1, 34.2 para el aplanamiento o la eliminación de componentes de frecuencia no deseados.

El filtro digital 34.1, 34.2 está configurado a su vez como filtro FIR, al que corresponden diferentes conjuntos de coeficientes de filtro. Por ejemplo, los diferentes conjuntos de coeficientes de filtro pueden estar guardados en una unidad de memoria correspondiente al filtro FIR. En el filtro FIR tiene lugar a partir de ahora un cálculo de varios valores de salida para una serie determinada de valores de entrada al filtrarse la serie en cuestión de valores de entrada utilizando los diferentes conjuntos de coeficientes de filtro.

En la salida del filtro FIR 34.1, 34.2 se encuentran las diferentes señales deseadas con las frecuencias de muestreo aumentadas, esto es, con las frecuencias de muestreo del circuito regulador, que finalmente se envían como valor teórico o como magnitudes de guía $X_{Nominal}$, $V_{Feedforward}$, $A_{Feedforward}$ a los correspondientes circuitos reguladores posconectados.

Debido a la configuración conforme a la invención de la unidad de interpolación fina 30 se obtiene, además de una cualidad excelente de la trayectoria generada, un esfuerzo de cálculo solamente escaso. Ello está asegurado, en particular, por la configuración del (de los) filtro(s) digital(es) 34.1, 34.2 como filtro FIR. De este modo resulta posible unir las operaciones aritméticas del (de los) transductor(es) de frecuencias de muestreo 33.1, 33.2 y del filtro FIR.

ES 2 276 746 T3

Debido a la introducción, efectuada por el transductor de frecuencias de muestreo 33.1, 33.2, de valores intermedios con el valor cero en la retícula de tiempo de la frecuencia de muestreo del circuito regulador, entre los valores teóricos del lado de la entrada, el vector de entrada del filtro FIR 34.1, 34.2 incluye muchos valores cero. Cualquier valor cero contiguo a la entrada del filtro FIR da lugar, en el lado del filtro FIR 34.1, 34.2, a operaciones aritméticas cuyo valor de salida es a su vez cero. De acuerdo con la invención esta circunstancia se aprovecha de aquí en adelante, esto es, no será necesario efectuar las operaciones aritméticas con el valor de entrada cero. En cambio, para una determinada serie de valores de entrada se calculan, con ayuda de varios conjuntos de coeficientes de filtro, varios valores de salida o valores intermedios interpolados, donde el número de conjuntos de coeficientes de filtro necesario para ello corresponde al factor de interpolación IF deseado. Cada uno de los conjuntos de coeficientes de filtro utilizados tiene la misma respuesta de amplitud; en cambio la respuesta de fase, o el tiempo de retardo de grupo como derivación de la respuesta de fase, varía de conjunto de coeficiente de filtro a conjunto de coeficiente de filtro en un periodo de muestreo de la frecuencia de muestreo del circuito regulador. Resultan en el lado de la salida los valores intermedios en la retícula de muestreo necesario.

Para poder efectuar este tipo de interpolación fina en la forma de un filtrado digital se necesita el procesamiento previo, ya mencionado anteriormente, de los datos CN en forma de una limitación de banda de las señales que se envían al filtro de valor teórico de posición 20 y a continuación a la unidad de interpolación fina 30. Sólo una limitación de banda de este tipo permite en último término el filtrado digital conforme a la invención en la unidad de interpolación fina 30; de no ser así los efectos de solapamiento no deseados provocados por el filtrado distorsionarían el recorrido de la señal interpolada finamente.

Para el envío de las magnitudes de guía X_{Nominal} , $V_{\text{Feedforward}}$, $A_{\text{Feedforward}}$, generadas por la unidad de interpolación fina 30, a los diferentes circuitos reguladores se deberá garantizar a partir de ahora que cada una de las diferentes magnitudes de guía X_{Nominal} , $V_{\text{Feedforward}}$, $A_{\text{Feedforward}}$ se refieren sin excepción al mismo momento o a la misma base temporal.

Esto se consigue mediante unos elementos de compensación 35, 36, 37 del lado de la salida en la unidad de interpolación fina 30, que provocan un tiempo muerto determinado en los canales de procesamiento y garantizan en último término la misma base temporal para las magnitudes de guía X_{Nominal} , $V_{\text{Feedforward}}$, $A_{\text{Feedforward}}$.

Por lo demás los elementos de compensación de este tipo pueden estar previstos también en una configuración de la unidad de interpolación fina con un único canal, para garantizar que las magnitudes de guía generadas se refieran a la misma base temporal.

Finalmente, en la figura 3 se muestra una representación esquemática del filtro digital 34.1, 34.2 de la unidad de interpolación fina 30. Como se puede observar en la figura 3, el filtro FIR utilizado se corresponde con unas estructuras de filtro FIR habitualmente conocidas.

Además del ejemplo de realización explicado existen, evidentemente, posibilidades alternativas de configurar la disposición conforme a la invención.

REIVINDICACIONES

1. Disposición para la generación de magnitudes de guía para circuitos reguladores de una máquina con control numérico, compuesta por una unidad de interpolación (10) para la fijación previa de valores teóricos de posición con una determinada frecuencia de muestreo del interpolador y con una unidad de interpolación fina (30) que está posconectada en serie a la unidad de interpolación y genera, a partir de valores teóricos de posición en el lado de la entrada, magnitudes de guía del lado de la salida para uno o varios circuitos reguladores posconectados, donde la unidad de interpolación fina genera las magnitudes de guía en la retícula de tiempo de los circuitos reguladores con la frecuencia de muestreo del circuito regulador, **caracterizada** porque la unidad de interpolación fina (30) incluye un transductor de frecuencias de muestreo (33.1, 33.2), así como un filtro digital de paso bajo (34.1, 34.2) posconectado, donde el transductor de frecuencias de muestreo (33.1, 33.2) eleva la frecuencia de muestreo del interpolador de las señales del lado de la entrada en una cantidad equivalente a un factor de interpolación determinado, hasta alcanzar la frecuencia de muestreo del circuito regulador.

2. Disposición según la reivindicación 1, **caracterizada** porque el filtro digital de paso bajo (34.1, 34.2) está configurado como filtro FIR.

3. Disposición según la reivindicación 2, **caracterizada** porque el filtro FIR lleva asociados diferentes conjuntos de coeficientes de filtro.

4. Disposición según la reivindicación 1 y 3, **caracterizada** porque el número de conjuntos de coeficientes de filtro corresponde al factor de interpolación.

5. Disposición según la reivindicación 1, **caracterizada** porque la frecuencia de muestreo del interpolador (T_{IPO}) se elige dependiendo de una frecuencia de resonancia específica de la máquina.

6. Disposición según la reivindicación 1, **caracterizada** porque la señal conducida hacia la unidad de interpolación (20) tiene una banda limitada.

7. Disposición según la reivindicación 1, **caracterizada** porque la unidad de interpolación fina (30) está configurada en un procesador de señal digital o en una CPU.

8. Disposición según la reivindicación 1, **caracterizada** porque la unidad de interpolación fina (30) incluye al menos dos canales de procesamiento paralelos, en los cuales se pueden generar magnitudes de guía diferentes ($X_{Nominal}$, $V_{Feedforward}$, $A_{Feedforward}$) para la posición y la velocidad, que a su vez pueden ser procesadas por unos circuitos reguladores de posición y velocidad (50, 60) posconectados, y donde cada uno de los canales de procesamiento incluye un transductor de frecuencias de muestreo (33.1, 33.2) así como un filtro de paso bajo digital (34.1, 34.2) posconectado.

9. Disposición según la reivindicación 1 u 8, **caracterizada** porque en la unidad de interpolación fina (30) se dispone uno o varios elementos de retardo (35, 36, 37), que garantizan que cada una de las magnitudes de guía para la posición y la velocidad ($X_{Nominal}$, $V_{Feedforward}$, $A_{Feedforward}$), enviadas al circuito regulador de posición (50) y al circuito regulador de velocidad (60) está referida a una base temporal definida.

10. Disposición según la reivindicación 1, **caracterizada** porque, entre la unidad de interpolación fina (30) y los circuitos reguladores (50, 60) posconectados, se dispone además una unidad de sincronización (40) que efectúa una sincronización temporal de las magnitudes de guía ($X_{Nominal}$, $V_{Feedforward}$, $A_{Feedforward}$) generadas para diferentes ejes de la máquina.

FIG. 1

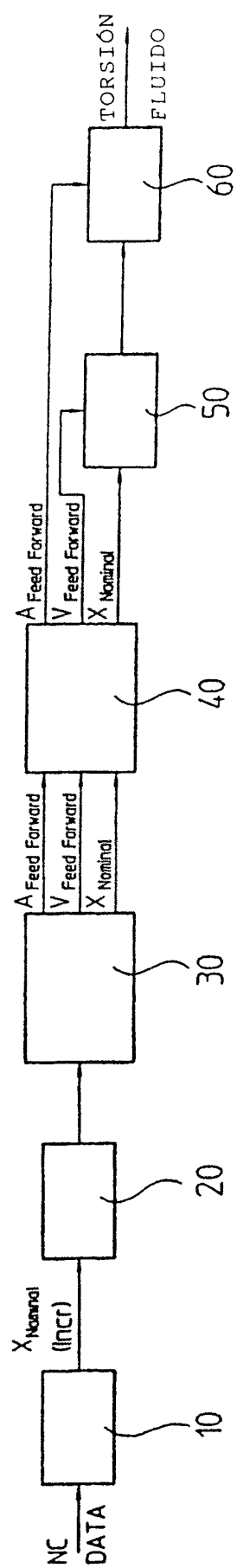


FIG. 2

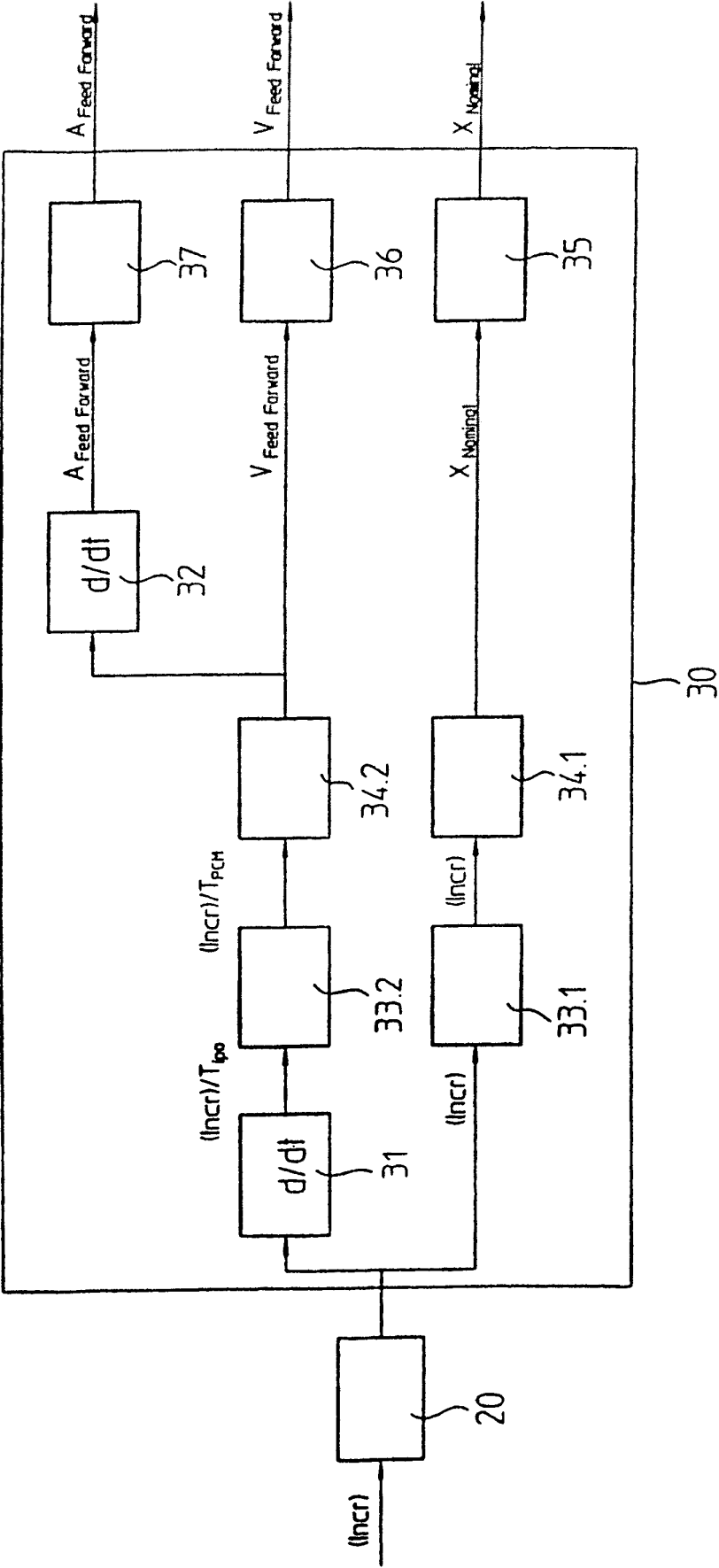


FIG. 3

