



ESPAÑA

⑤ Int. Cl.:
G06F 1/025 (2006.01)

A1

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

El dispositivo de la invención es un conversor de paquetes de datos digitales, enviados por un equipo externo de medida, en señales de tipo codificador de posición incremental sinusoidal. La invención propone un nuevo dispositivo que supera las limitaciones detectadas en el estado de la técnica de los simuladores de codificadores de posición incremental con entrada por paquetes digitales, en dos aspectos fundamentales: 1) La conversión a salidas incrementales sinusoidales es correcta y sin discontinuidades incluso aunque la frecuencia de recepción de los paquetes de datos no sea totalmente constante, haciendo para ello uso de un procedimiento de compensación de los retardos detectados; y 2) la conversión se realiza apropiadamente, aunque no existan líneas de sincronismo con el equipo externo de medida, utilizando para ello un procedimiento de auto-sincronización con la cadencia de los paquetes de entrada.

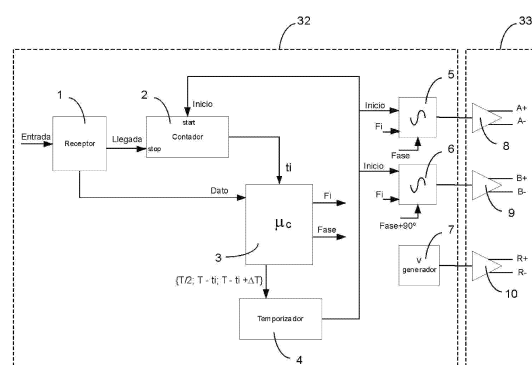


FIG. 1

DESCRIPCIÓN

Método de auto-sincronización y compensación de desviaciones temporales en la recepción de datos emitidos periódicamente y dispositivo conversor a señales de tipo codificador incremental que lo implementa.

Sector de la técnica

El sector de la técnica donde se encuadra la presente invención es el de la electrónica y las comunicaciones. Los sectores de aplicación son fundamentalmente la automática, la instrumentación, la robótica, el mecanizado de materiales y el control numérico por ordenador (CNC).

Estado de la técnica

Los sensores de desplazamiento, también denominados en algunos ámbitos como codificadores de posición, son dispositivos ampliamente utilizados en la industria para medir desplazamientos de translación o rotativos. Por otro lado, los actuadores son dispositivos capaces de generar el desplazamiento de un cuerpo utilizando energía eléctrica, líquidos o gases, siendo los actuadores más comunes los motores eléctricos, neumáticos y los hidráulicos. Los sensores de desplazamiento se emplean normalmente acoplados a alguno de estos actuadores en áreas como la automatización industrial, robótica, manipulación, máquinas-herramienta, sistemas de posicionamiento, impresoras, y en general en todas aquellas aplicaciones donde se requiera el movimiento controlado de un actuador. Existen diversos tipos de sensores para la captación de la información de desplazamiento, basados en principios capacitivos, resistivos, inductivos, magnéticos, piezoeléctricos, láser, por tiempo de vuelo ultrasónico, o por técnicas ópticas, entre otros [J.G. Webster, "The measurement, instrumentation and sensors handbook". CRC Press, Springer, IEEE Press. Capítulo 6, 1999. ISBN: 3-540-64830-5].

Los sensores o codificadores de posición pueden ser incrementales o absolutos en función, respectivamente, de si la información de posición que transmiten debe ser integrada a partir de una posición arbitraria que se define como cero, o, por el contrario la información contiene siempre el valor absoluto del desplazamiento. Dentro de la categoría particular de codificadores de posición ópticos, los codificadores incrementales rotativos son ampliamente utilizados acoplados a ejes de rotación de motores. Estos codificadores incrementales rotativos están compuestos por un disco acoplado a un eje rotatorio cuyo giro se quiere medir. El disco está fabricado de un material opaco y tiene un conjunto de ranuras equidistantes que al permitir el paso de la luz pueden ser detectadas por medio de un sistema óptico, el cual comúnmente está compuesto por un diodo emisor de luz o LED (Light Emitting Diode) y un fotorreceptor. Al girar el disco, en el fotorreceptor se obtiene una señal eléctrica en forma de pulsos, debida al paso de la luz entre las ranuras del disco. La señal eléctrica obtenida permite medir de forma directa el desplazamiento angular del disco; otros parámetros como la velocidad o aceleración angular se pueden deducir mediante diferenciación del desplazamiento angular respecto al tiempo. Para conocer el sentido de rotación del disco se utiliza un segundo fotorreceptor ubicado de forma tal que genere una señal desfasada 90° con respecto a la primera; por ello a este tipo de codificadores de posición incrementales se les conoce también como codificadores de posición en cuadratura.

Según sea el tipo de señal eléctrica de salida, los codificadores incrementales de posición pueden ser clasificados en dos clases: los de formas de onda cuadrada (conocidos como codificadores *digitales*), y los de forma de onda sinusoidal (también llamados codificadores *sinusoidales*). Aunque el principio de funcionamiento es el mismo, en muchas aplicaciones industriales se prefiere el uso de codificadores sinusoidales ya que permiten obtener una mayor precisión y resolución en las medidas de posicionamiento por medio de interpolación en la recepción [Jouve D., Bui D., "Influence of the motor feedback sensor on AC brushless servo drive performances", PCIM'2003 Conference Intelligent Motion, Nürnberg, pp. 410-416, Mayo 2003; Burke J., Moynihan, J., Unterkofler K., "Extraction of high resolution position information from sinusoidal encoders", PCIM'2000 Conference Intelligent Motion, Nürnberg, pp. 217-222, 2000].

Además de las implementaciones clásicas de los codificadores de posición, existen dispositivos *simuladores* de codificador que, a pesar de no estar contruidos mediante soluciones electro/magneto/óptico/mecánicas clásicas, en su salida se comportan como ellos y generan señales del mismo tipo que las de un codificador real. Por ejemplo, un simulador en cuadratura, que aparentemente podría ser una "caja negra" con una sola entrada y salida, permitiría transformar una señal analógica o digital, que representa información de desplazamiento y proviene de un equipo de medida externo, en señales en cuadratura del mismo tipo que las generadas por un codificador de posición real. Estos simuladores, se suelen implementar utilizando soluciones mixtas hardware y software, sobre plataformas electrónicas y de cómputo que operan en tiempo real. Las aplicaciones especiales en las que son útiles este tipo de simuladores de codificador de posición son fundamentalmente de tres tipos, tal y como se describe a continuación:

1. *Evaluación del correcto funcionamiento de decodificadores de posición.* El decodificador de posición se encarga de leer e interpretar las señales enviadas por los codificadores de posición. El tipo de verificaciones que se suelen hacer con los simuladores consisten en la comprobación de que los decodificadores lean correctamente las cuentas transmitidas por el simulador, y también la comprobación de que el decodificador cumple las especificaciones eléctricas (p.ej. la corriente demandada).
2. *Simulación de un accionamiento completo para la verificación, diseño y prueba de controladores externos.* Un controlador externo puede ser verificado de forma aislada si se acoplan dos simuladores en cascada: 1)

un simulador de un actuador, y 2) un simulador de un codificador de posición. El simulador del accionamiento transforma una señal de comando de un motor (valor de tensión, pulsos, etc.) en una salida de datos que representa el desplazamiento de un actuador virtual según un modelo matemático que incluye tanto la cinemática como la dinámica del accionamiento. Acoplando en serie los dos simuladores: de actuación y de codificación, se obtiene un simulador completo del sistema virtual actuador/codificador que constituye una herramienta muy flexible para validar, diseñar y probar un controlador externo ante diferentes modelos de actuador.

3. *Medición alternativa de posición y transmisión en tiempo real para hacer un control en lazo cerrado de un proceso.* En esta aplicación se sustituiría el codificador de posición, normalmente acoplado a un actuador, por un equipo externo de medida alternativo que no tiene por qué disponer de una salida tipo codificador de posición. Por ello, a este nuevo medidor de posición se le añade un simulador/conversor de información de desplazamiento en señal de tipo codificador de posición. Salvo el equipo de medida alternativo y el simulador de codificador, el resto de los elementos necesarios para controlar el proceso quedan totalmente inalterados (actuador, controlador, etc.).

Se pueden encontrar en el mercado algunos dispositivos electrónicos para simular codificadores de posición incrementales, por ejemplo tenemos el fabricado por la compañía Elettronica Scledense [Encoder System, "Encoder Simulator and Motion Simulator: Quadrature Reference for Lab, production and field" Codecx 2.0 User's Manual, <http://www.encoder-system.com>]. Este equipo es capaz de transformar señales continuas analógicas que representan la velocidad de desplazamiento de un actuador en señales incrementales digitales o de onda cuadrada. Asumiendo que los datos en la entrada son continuos y representan fielmente el desplazamiento realizado por el actuador, el equipo conversor se puede utilizar en aplicaciones de tiempo real. También existe otra compañía que fabrica un simulador de codificador, se trata de Deva electronics [Deva electronics controls, "DEVA011 3 Axis PCI quadrature signal generator" Issue 2.0 user manual, <http://www.deva.co.uk>]. La salida de este dispositivo conversor, al igual que el dispositivo anterior, también es digital (es decir, de onda cuadrada, y no sinusoidal). Sin embargo, al estar preparado para conectarse al bus estándar de los ordenadores personales, como ISA o PCI, las entradas al conversor se hacen mediante el envío de paquetes de datos digitales. Si los paquetes de datos a transmitir al conversor están listos en tiempo real, es decir, la secuencia digital de paquetes se envían a intervalos de tiempo exactamente iguales, entonces el conversor se podría usar igualmente para aplicaciones de tiempo real.

La descripción del principio de funcionamiento de este tipo de simuladores de codificador digital se encuentra publicada en algunas patentes internacionales, gracias a las aportaciones de Dalton [US 5926122 A, Dalton R., "Electronic circuit and method for simulating mechanical quadrature encoders" Julio, 1999] y Wolf [US 6812861 B1, Wolf R., "Method for automatically generating several electrical pulses using numeric default values, in particular simulating an incremental encoder", Noviembre, 2004], La solicitud de patente de Dalton describe un método para convertir una señal analógica, que representa una información de posición o velocidad, en una señal tipo codificador incremental digital; es básicamente un conversor amplitud/frecuencia que requiere que la señal analógica de entrada sea continua, tenga un nivel de ruido muy bajo y se actualice en tiempo real.

En la patente de Wolf [US 6812861 B1, Wolf R., "Method for automatically generating several electrical pulses using numeric default values, in particular simulating an incremental encoder", Noviembre, 2004] se describe un método para convertir secuencias de paquetes de datos digitales generadas a intervalos de tiempo fijos de duración T_a , en señales de tipo codificador incremental digital. El método utiliza un microprocesador que construye el tren de señales digitales que simulan al codificador mediante iteraciones sucesivas a intervalos T_k , donde T_k es mucho menor que T_a . T_k define la resolución en la formación de la forma de onda digital del codificador. El principal inconveniente de esta metodología es que, al igual que en las implementaciones comerciales existentes, se asume que la recepción de paquetes se hace a intervalos regulares T_a , y que por tanto el periodo temporal de llegada de paquetes, T_a , es totalmente conocido y constante. En el caso de aplicaciones donde se necesite hacer un control de lazo cerrado en tiempo real de un proceso (tipo de aplicación "3" listada anteriormente), un sensor externo tiene que medir un parámetro de desplazamiento y transmitirlo al conversor/simulador, pudiéndose producir retardos aleatorios en la transmisión de esos paquetes (especialmente si se usa un medio inalámbrico, o un medio cableado en red). Además el reloj del conversor y del medidor pueden ser ambos diferentes, con lo cual no hay conocimiento exacto del tiempo o frecuencia de llegada de los paquetes al conversor. Por estos motivos, este tipo de conversores de paquetes de datos digitales no se pueden aplicar en problemas de realimentación en tiempo real donde un equipo de medida externo no envíe la información de forma totalmente determinista.

En resumen, los dispositivos conversores diseñados hasta la fecha para simular señales de codificadores de posición, están preparados para operar con fiabilidad y en tiempo real, solamente cuando la frecuencia de transmisión de los paquetes de datos digitales es constante y conocida. En el caso de un envío de datos digitales al conversor mediante protocolos que no garantizan un tiempo fijo de recepción de los paquetes enviados, como ocurre en los protocolos inalámbricos (WiFi, Bluetooth, etc.) y los cableados diseñados para operar en red (TCP/IP, etc), se imposibilita la utilización de estos simuladores de conversor incremental en aplicaciones que requieran autentico tiempo-real. Además los conversores existentes tienen salida digital (forma de onda cuadrada) lo cual implica una menor precisión que si trabajasen con una salida sinusoidal extrapolable.

Descripción de la invención

La presente invención propone un método para compensar los retrasos o adelantos aleatorios. Es también objeto de la presente invención, un dispositivo que implementa dicho método. Se trata de un conversor de paquetes de datos digitales en señales de tipo codificador de posición incremental sinusoidal que supera las limitaciones detectadas en el estado de la técnica de los simuladores de *codificadores de posición incremental* con entrada por paquetes digitales, en dos aspectos fundamentales:

1) La conversión a salidas incrementales sinusoidales es correcta y sin discontinuidades, incluso aunque la frecuencia de recepción de los paquetes de datos no sea totalmente constante, haciendo para ello uso de un procedimiento de compensación de los retardos detectados;

2) La conversión se realiza apropiadamente, aunque no existan líneas de sincronismo con el equipo externo de medida, utilizando para ello un procedimiento de auto-sincronización con la cadencia de los paquetes de entrada.

El dispositivo conversor de la invención permite comunicar un equipo de medida independiente que genera paquetes de datos digitales emitidos a una frecuencia prácticamente constante, con otro equipo receptor que disponga de decodificadores incrementales sinusoidales. En concreto, el conversor objeto de la presente invención puede transformar datos de posicionamiento en tres dimensiones (3D), medidas con un equipo externo de laser-tracking, a un formato incremental sinusoidal para ser utilizadas por el control numérico computerizado (CNC) de una máquina herramienta de mecanizado. De esta forma, se puede cerrar un lazo de control usando un equipo de medida externo, el cual mejora la calidad de las medidas tradicionales en máquinas herramienta con reglas ópticas o encoders acoplados al eje de los motores. El equipo de medida externo se conecta, a través del dispositivo conversor de la invención, a las entradas estándar del controlador de la máquina herramienta, donde se decodifican las señales incrementales sinusoidales. De esta forma, aunque la salida del equipo de medida externo por laser-tracking sea un protocolo cableado en red (TCP/IP), los pequeños retardos en las transmisiones de los paquetes de datos y las diferencias de relojes entre los equipos, se compensan mediante los procedimientos implementados en el dispositivo conversor de la invención.

Descripción de las figuras

A continuación se presentan una serie de dibujos que ayudan a comprender mejor la invención y que se relacionan con una realización concreta de dicha invención con carácter no limitativo.

Figura 1.- Un diagrama de bloques con los elementos constituyentes de una posible realización de la presente invención.

Se distinguen dos bloques principales: el bloque conversor (32) y el bloque de adaptación (33). El bloque principal (32) convierte los datos recibidos de un equipo emisor externo en señales sinusoidales en cuadratura, y consta de un receptor de paquetes (1) que decodifica el dato y envía un mensaje de llegada del paquete; un contador (2) que mide los tiempos de llegada de paquetes; c) un microcontrolador (3) que calcula los retardos adicionales a crear para garantizar la continuidad de la señal, y la frecuencia y fase de las sinusoides a generar; un temporizador (4) que define los instantes de actualización de la forma de onda generada; unos módulos (5 y 6) para generar la señal sinusoidal con la frecuencia y fase indicadas en cada momento, y un generador de tensión fijo (7) para la señal de referencia del codificador. En el segundo bloque de adaptación (33) se acomodan los niveles eléctricos al estándar de codificador incremental sinusoidal, y consta de amplificadores con salida diferencial (8, 9 y 10).

Figura 2. Ejemplo de diagrama de flujo del procedimiento seguido por un dispositivo conversor de acuerdo con la presente invención.

Hay dos grandes lazos en el procedimiento:

- I) Mediante los pasos que van del 11 al 21, se realiza la recepción de los paquetes de datos y la conversión a una señal sinusoidal incremental, y además se realiza la compensación ante retardos o adelantos aleatorios respecto a la tasa media de llegada de los paquetes (T). Los pasos 11, 12 y 13 sólo se realizan una vez, al inicio del procedimiento. En estos pasos se inicializa el índice (i) de los paquetes (paso 11), se espera a que llegue el primer paquete (paso 12), y a continuación se espera medio periodo (T/2) usando el temporizador 4 de la figura 1. A partir de la información de posición o velocidad en el paquete i-ésimo (Pqi) se determina la frecuencia de la onda sinusoidal a generar (paso 14) usando el microcontrolador 3 de la figura 1. La información de desplazamiento o velocidad que se desea convertir está contenida en formato digital por el paquete (Pqi). En el paso 14 se calcula la cantidad de pulsos sinusoidales (o en forma equivalente la frecuencia Fi) que representará la información del paquete Pqi. Cada pulso sinusoidal representa un desplazamiento igual a la resolución (r) del dispositivo conversor, por tanto la frecuencia Fi se calcula dividiendo el dato de desplazamiento por la resolución (r). En el paso 15 se genera la señal en formato codificador sinusoidal mediante los generadores sinusoidales 5 y 6 de la figura 1. Para ello el microcontrolador transmite el dato de frecuencia (Fi) calculado en el paso 14 y el comando de *Inicio* (figura 1) a los generadores sinusoidales para que generen la señal de salida. Dicha señal se genera durante un periodo fijo de tiempo (T). A partir de este momento que define la primera base de tiempo (línea vertical discontinua a la izquierda en figura 3a) y se comienza a medir el tiempo (ti) que tarda el siguiente paquete de datos en llegar (pasos

16, 17, 18 y 19), donde k es un índice que se incrementa con el contador 2 de la figura 1 y se usa para medir el tiempo transcurrido (t_i). El paso 20 realiza la compensación en los retardos o adelantos aleatorios en la recepción del paquete, mediante la espera del tiempo restante para completar el periodo de recepción ideal ($T-t_i$). Esta espera se hace al igual que en el paso 13 mediante el temporizador 4 de la figura 1. Finalmente se comprueba si el tiempo medido (t_i) está dentro de una ventana temporal ($t_i > T/n$ y $t_i < (n-1)T/n$) que depende de un valor arbitrario (n), el proceso continua iterativamente volviendo al paso 14 para generar la forma de onda correspondiente al último paquete recibido.

II) Mediante el lazo adicional que comprenden los pasos del 22 al 30, se realiza la adaptación de la base de tiempos del conversor para adaptarse a la falta de sincronismo o derivas de frecuencia entre los relojes del equipo de medida externo y el conversor objeto de la invención. Si el tiempo de llegada (t_i) no superó el test del paso 21, se ejecuta el paso 22 que determina si el paquete ha llegado demasiado pronto ($t_i > T/n$) o tarde $t_i < (n-1)T/n$. En el primer caso se debe recortar el tiempo de generación de señal para compensar el adelanto en la recepción de paquetes, para ello al tiempo de generación (T) se le resta una cierta cantidad ($\Delta T = T/m$) y se incrementa por un factor $(m+1)/m$ la frecuencia de salida (F_i) de forma a transmitir la misma cantidad de pulsos durante el nuevo periodo ($T-\Delta T$). Todo esto se realiza en el paso 23 utilizando el microcontrolador 3 de la figura 1. En caso de retardo en la recepción de paquetes al tiempo de generación (T) se le suma una cierta cantidad ($\Delta T = T/m$) y se disminuye por un factor $(m-1)/m$ la frecuencia de salida (F_i) (paso 24) utilizando nuevamente el microcontrolador 3.

Posteriormente en el paso 25 se genera la señal en formato codificador sinusoidal mediante el mismo proceso del paso 15.

A continuación se vuelve a medir el tiempo de llegada (t_i) del siguiente paquete (pasos 26, 27, 28 y 29). A diferencia del paso 20, ahora en el paso 30 se espera un tiempo igual a $T-t_i+\Delta T$. Una vez hecha esta corrección se vuelve al bucle inicial en el paso 14.

Figura 3a y 3b.- Representación temporal del proceso de creación de la forma de onda sinusoidal a la salida del conversor. Se distinguen los instantes de actualización de la frecuencia (líneas discontinuas verticales).

Figura 3a.- En el diagrama superior se asumen relojes idénticos para el dispositivo conversor y para el equipo externo generador de la secuencia de datos. Los instantes de recepción de paquetes (P_{qi}), la medición de tiempos de llegada (t_i), y los intervalos de actualización iguales a T: 34, 35, 36, 37.

Figura 3b.- En el diagrama inferior, se representa el caso habitual en el que los relojes no tienen exactamente la misma frecuencia, y por ello las derivas acumuladas se van corrigiendo cuando sea necesario en incrementos o decrementos de T/m segundos. Los intervalos, durante los que se genera la señal sinusoidal a la frecuencia F_i , son adaptables y diferentes a T.

Realización preferente de la invención

El dispositivo conversor de paquetes de datos en señales de tipo codificador incremental sinusoidal, en adelante dispositivo conversor de la invención, consta de los siguientes elementos físicos (Figura 1):

- i.- un bloque principal (32, Fig. 1) que convierte los datos recibidos de un equipo emisor externo en señales sinusoidales en cuadratura, que consta de:
 - a) un receptor de paquetes (1, Fig. 1) que lee el dato presente en el paquete P_{qi} , y envía un mensaje de llegada del paquete ("Llegada"),
 - b) un contador (2, Fig. 1) que mide los tiempos de llegada de paquetes (t_i),
 - c) un microcontrolador (3, Fig. 1) que calcula los retardos adicionales a crear ($T/2$, $T-t_i$, o $T-t_i+\Delta T$), para garantizar la continuidad de la señal, así como, la frecuencia (F_i) que depende del valor del dato transmitido en el paquete, y la fase de las sinusoides a generar ("Fase") que es 0° o 90° ,
 - d) un temporizador (4, Fig. 1) que define los instantes de actualización de la forma de onda generada,
 - e) unos módulos (5 y 6, Fig. 1) para generar la señal sinusoidal con la frecuencia y fase indicadas en cada momento por el microcontrolador, y
 - f) un generador de tensión fijo (7, Fig. 1) para la señal de referencia del codificador,
- ii.- un segundo bloque (33 fig. 1) que acomoda los niveles eléctricos al estándar de codificador incremental sinusoidal, que consta de amplificadores con salida diferencial (8, 9 y 10, Fig. 1).

Con la plataforma física descrita anteriormente, el dispositivo conversor de la invención, realiza un procedimiento de cálculo (Figura 2), que proporciona las capacidades realmente novedosas del conversor:

- iii.- adaptarse a la tasa cambiante en la recepción de paquetes mediante la medida de los retardos en los tiempos de llegada (t_i , en figura 2), y su posterior tratamiento siguiendo los pasos del 11 al 21 de la figura 2; y
- iv.- auto-sincronizarse con la cadencia de datos de envío del dispositivo emisor, mediante el procedimiento adicional descrito en los pasos que van del 22 al 30 de la figura 2, a través del cual la tasa de actualización de datos del conversor objeto de la invención se adapta a la cadencia del dispositivo de medida externo.

Cuando desde un equipo externo de medida se hace un envío periódico de paquetes de datos (siendo T el periodo de envío de paquetes en segundos) hacia un equipo conversor de codificador de posición, y se utilizan protocolos no deterministas en la transmisión de los paquetes, como los inalámbricos (WiFi, Bluetooth, etc.) o los cableados diseñados para operar en red (TCP/IP, etc), se provoca que los tiempos de llegada no sean conocidos con exactitud. Si los paquetes no llegan a una tasa constante y conocida los conversores convencionales no pueden operar correctamente. Para solventar este problema el dispositivo conversor de la invención compensa los retardos o adelantos aleatorios en torno al periodo de envío T . El valor de estos retardos o adelantos deben ser una pequeña fracción de T para que el dispositivo de la invención pueda realizar la compensación correctamente.

Más concretamente, la compensación de la incertidumbre en la recepción de los paquetes de datos se realiza mediante la medida, con un contador (2 fig. 1), del tiempo de llegada (t_i) del paquete de datos P_{qi} (fig 3a). Donde denominados P_{qi} a los paquetes de datos recibidos a la entrada del dispositivo, siendo i el índice del paquete P_q . El tiempo de llegada (t_i) del paquete P_{qi} se mide respecto a la base de tiempos del dispositivo conversor (líneas verticales discontinuas en fig. 3a). Idealmente, si no hay retardos, t_i valdrá exactamente $T/2$. Este tiempo (t_i) es usado para activar un temporizador (4 fig. 1) durante un intervalo de tiempo $T-t_i$ (fig 3a) que marcará el final de la generación sinusoidal a frecuencia $F(i-1)$ para el paquete $P_{q(i-1)}$ y el comienzo de una nueva generación sinusoidal a frecuencia F_i para el paquete P_{qi} . Las frecuencias de estas señales sinusoidales (F_i y $F(i-1)$) solo dependen de los valores en los paquetes P_{qi} y $P_{q(i-1)}$, respectivamente. El valor del paquete, normalmente indica un desplazamiento espacial, y se transforma en una señal sinusoidal con frecuencia F_i proporcional al desplazamiento a transmitir ($F_i=0$ si no hay desplazamiento, $F_i=1/T$ si hay un desplazamiento igual a la resolución (r) del sensor externo, $F_i=2/T$ si el desplazamiento es de $2r$, etc.). Esta forma de onda se va actualizando sucesivamente sin discontinuidades a intervalos T regulares y constantes (siendo T el periodo medio de envío de paquetes de datos), todo ello con independencia de la variación en el tiempo de llegada de los paquetes P_{qi} , ya que $t_i+(T-t_i)$ es igual a T , con lo cual se obtiene una frecuencia de refresco constante igual a $1/T$ Hz.

Este procedimiento de compensación de los retardos detectados en la llegada de paquetes está detallado gráficamente en el método sistemático descrito en los bloques que van del 11 al 21 en la figura 2, y el resultado de dicha operación se muestra en la figura 3a. El procedimiento de compensación (11 al 21 en la figura 2) queda descrito con detalle en la sección de descripción de figuras. La fracción de T que indica la desviación máxima del tiempo de llegada del paquete que el dispositivo conversor de la invención soporta y compensa, depende del valor " n " elegido (21 fig. 2) en el procedimiento de compensación, y es de $\pm T \cdot (n-2)/(2n)$, siendo " n " un valor positivo mayor que 2 ($n>2$). Dicho de otro modo, siempre que el retraso o adelanto experimentado por el paquete recibido esté por debajo de la mitad del periodo T con el que se emitió, el procedimiento de compensación puede ser aplicado. En la práctica la elección de n depende de la carga de trabajo del procesador (3 fig 1) al ejecutar las funciones 14 y 15 de fig. 2. un valor mayor de 2, pero menor de 4 suele ser típico, lo cual limita el retraso o adelanto aceptado por el conversor a menos de $T/2$ (p.ej $T/4$ para n igual a 4).

Por otro lado, en el caso de derivas en la frecuencia de reloj entre un dispositivo conversor convencional y un equipo exterior de medida, se ocasionaría una falta de sincronía entre ambos equipos que terminarían causando que, en un intervalo de tiempo T puedan llegar, o ninguno, o bien, dos paquetes de datos. Como consecuencia, o no se actualizarían las señales sinusoidales por falta de datos, o bien, uno de los paquetes de datos se perdería, provocándose en ambos casos la consiguiente pérdida en la continuidad de la señal sinusoidal generada. Frente a este problema, el dispositivo conversor de la invención es capaz de *auto-sincronizarse* analizando la tasa de recepción de paquetes proveniente del equipo emisor externo, sin necesidad de utilizar señales adicionales de sincronismo o de reloj con el equipo emisor de datos, de tal forma que en el instante en que se termina de generar una salida correspondiente a un dato recibido, el siguiente dato ya se haya recibido y el dispositivo esté preparado para seguir con la generación de la señal de salida. Es decir, el dispositivo de la invención se encarga de compensar o adaptar internamente las variaciones de la frecuencia de recepción de los paquetes de datos provenientes de dicho equipo externo de entrada, para generar siempre una señal de salida continua en tiempo real.

Más concretamente, el dispositivo conversor de la invención compensa las derivas o variaciones de frecuencia, detectando el adelanto o atraso entre el reloj del generador (equipo de medida externo) y del conversor, mediante la medida con un contador (2, Fig. 1) del tiempo de llegada (t_i) (fig. 3b), el cual representa cuanto tardó el paquete P_{qi} en llegar respecto a la base de tiempos del dispositivo conversor (líneas verticales discontinuas en fig. 3a). Si este tiempo t_i es inferior o superior a un determinado umbral (21 y 22 en fig. 2), entonces la base de tiempos del dispositivo conversor crece o decrece una fracción de T (T/m) para adaptarse al ritmo de envío del generador externo y no perder la sincronía. Este modo de operación está detallado en el procedimiento sistemático descrito en los bloques que van

del 11 al 30 en la Figura 2, y el resultado de dicha temporización se muestra en la Figura 3b. La fracción T/m con la que se adapta la base de tiempos del dispositivo conversor, depende del valor elegido para “n”, y es cualquier m que cumpla: $m \geq 2n/(n-2)$. En la práctica, para un valor de n entre 2.5 y 4, es una buena elección tomar m igual a $2n/(n-2)$, lo cual da valores de m entre 10 y 16, respectivamente.

Cabe destacar que el tipo de datos a convertir puede ser diferente a los de posicionamiento o desplazamiento, con lo cual el conversor se puede utilizar en otras aplicaciones de comunicación diferentes a las de monitorización y control de posición. Por ejemplo, se podría transmitir por medio del conversor información de temperatura, presión, aceleración, velocidad, etc, es decir, cualquier magnitud física medible.

Ejemplo

Los siguientes párrafos aclaran las funcionalidades de la invención, a través de una aplicación real sin carácter limitativo. Una realización particular del conversor propuesto por la presente invención fue adaptada exitosamente para transformar señales de posicionamiento, medidas con un equipo externo de laser-tracking, a un formato incremental sinusoidal. Las señales generadas se utilizan por parte de un control numérico computerizado (CNC) de una máquina herramienta de mecanizado, de modo que se mejoran las lecturas provenientes de los codificadores reales acoplados directamente a los motores, que no siempre son representativas del movimiento de la herramienta. Este problema ocasiona mecanizados imperfectos.

La máquina herramienta de mecanizado utilizada (Equipo Fatronik-Tecnalia, San Sebastián, Guipuzcoa) cuenta con un controlador numérico (CNC) Siemens Sinumerik 611. Un equipo de medida externo basado en tecnología láser (“LaserTrack” de AIDO, Paterna, Valencia) estima la posición de un retroreflector colocado en el cabezal de la máquina herramienta. La información de posición la envía el equipo láser mediante una conexión TCP/IP. El control numérico de la máquina herramienta solo puede leer información de posicionamiento en tiempo real mediante sus puertos X411 y X422 a través de los cuales se decodifican las señales de encoder incremental, y que normalmente se conectan a encoders reales o a reglas ópticas. Para conectar la salida TCP/IP del sistema de medida externo con el regulador de la máquina herramienta, se utiliza el conversor de la invención que transforma los paquetes de datos enviados por TCP/IP a tres salidas incrementales sinusoidales. Cada una de las 3 salidas proporciona la información de desplazamiento de cada uno de los 3 ejes, X, Y y Z, necesarios para caracterizar el desplazamiento tridimensional del cabezal de la máquina herramienta. Los datos generados por el sistema de medida láser se transmiten a una frecuencia aproximada de 1000 Hz (1 paquete cada aproximadamente 1 milisegundo). El dispositivo conversor en tiempo real, procesa los datos recibidos tal y como se describió en la figura 2, y permite cerrar el lazo de posición en la máquina herramienta.

Los test realizados fueron exitosos, permitiendo operar con el sistema de medida externo láser cerrando el lazo de control con precisión y en tiempo real. De esta forma se evitó el uso de tres reglas ópticas, que hubiese sido el método tradicional para controlar la posición en la máquina herramienta, que tiene más errores. La manera tradicional no estima de forma directa la posición real del cabezal de la máquina herramienta, al contrario como hace el sistema lasertrack.

La implementación del dispositivo conversor se hizo utilizando una plataforma comercial (RCM4200 de Rabbit semiconductors) con un microcontrolador y varios periféricos incluidos que permiten plasmar el concepto del bloque principal del conversor de la invención (bloque 32 en fig 1). El procesador que contiene la plataforma es un microprocesador Rabbit® 4000 con una frecuencia de reloj de 58.98 MHz (3 fig. 1). La plataforma RCM4200 tiene 8 Megabytes de memoria serie Flash para almacenar el procedimiento de cálculo de la invención, y 512 kBytes de memoria para las variables intermedias necesarias. La plataforma RCM4200 contiene un módulo Ethernet 10/100 Mbps que se utiliza como receptor de los paquetes enviados por el sistema de medición (1 fig 1).

El RCM4200 incluye varios timers para implementar el procedimiento del conversor de la invención; en concreto, tiene 12 timers (10 de 8 bits, uno de 10 bits y otro de 16 bits). En la invención, un timer de 16 bits se usa como temporizador (4 fig. 1) y un timer de 10 bits para crear el contador (2 fig 1). El contador y el temporizador comparten la misma señal de reloj, que se ha configurado para que sea un múltiplo del reloj principal del controlador. En nuestro caso se ha configurado el temporizador y el contador para que trabajen a una frecuencia de $58.98 \text{ MHz}/59 = 999 \text{ kHz}$, lo que representa una resolución temporal de $1,001 \mu\text{s}$. Esta resolución es suficiente para realizar las correcciones necesarias en los tiempos de llegada de los paquetes al conversor.

El RCM4200 incluye suficientes funcionalidades configurables para realizar las múltiples tareas requeridas por el dispositivo y el procedimiento del conversor de la invención. La función “captura de entrada” permite configurar los timers del RCM4200 para medir el tiempo transcurrido entre dos eventos, como por ejemplo la activación de dos entradas externas. Esta configuración la utilizamos para implementar el contador (2 fig 1) que mide la diferencia de tiempo (t_i) entre el inicio de la generación de la señal sinusoidal y la llegada de un nuevo paquete. El primer evento lo genera el temporizador (4 fig 1) y el segundo evento lo genera el módulo Ethernet (1 fig 1) al recibir un nuevo paquete.

Como temporizador del dispositivo conversor (4 fig 1) se utiliza el timer de 16 bits del RCM4200 configurándolo para generar un pulso externo, denominado señal de “inicio” (fig. 1), cuando se cumpla un cierto tiempo previamente calculado por el microprocesador. Este tiempo que se carga al temporizador es siempre $(T-t_i)$ o $(T-t_i+\Delta T)$ dependiendo

ES 2 372 079 A1

del lazo activo en el procedimiento descrito en la figura 2. El pulso generado por el temporizador marca el final de la generación de la señal sinusoidal actual y determina el inicio de la siguiente (líneas verticales discontinuas en figura 3).

El tiempo medido (t_i) que idealmente debería valer 0.5 milisegundos ($T/2$), sirve y se utiliza para compensar estos pequeños retrasos y adelantos en la recepción de los paquetes. A modo de ejemplo, cuando el tiempo medido (t_i) es de $517 \mu s$ (cifra bastante común en nuestra aplicación), el microcontrolador configura el temporizador (4 fig 1) con un valor de $T-t_i = 483 \mu s$, para asegurar que la señal dure exactamente los $1000 \mu s$ correspondiente al periodo de envío (T) del equipo de medida externo. El procedimiento implementado hace que si el tiempo (t_i) es inferior o superior a un determinado umbral ($T/n < t_i < (n-1)T/n$), entonces la base de tiempos del dispositivo conversor crece o decrece una fracción de T (T/m) para adaptarse al ritmo de envío del generador externo y no perder la sincronía. En nuestro caso hemos operado con un valor de n de 2,5 ($n=2,5$) con lo cual hemos trabajado con un umbral inferior de $400 \mu s$ y un umbral superior de $600 \mu s$. La fracción de T utilizada para la corrección de la base de tiempos la hemos elegido para que T/m sea igual a $100 \mu s$. Es decir, m tiene un valor de 10 ($m=10$).

Si el tiempo medido (t_i) aumentar progresivamente al ir leyendo los nuevos paquetes de datos (p.ej. $510 \mu s$, 525 , 540 , 570 , etc.), lo cual ocurre cuando el reloj del emisor se atrasa con respecto al reloj del dispositivo conversor, y se llega a superar el umbral superior ($t_i \geq (n-1)T/n$), es decir alcanza un valor por encima de los $600 \mu s$, entonces el dispositivo aumentará el periodo de generación en $100 \mu s$ (caso b en fig. 3). Este procedimiento nos permite adaptar el reloj de dispositivo conversor a la velocidad del reloj del sistema emisor, asegurando así la llegada de los paquetes antes de empezar a generar las señales sinusoidales y por tanto asegurando la continuidad de la señal. El mismo procedimiento se aplica si (t_i) va disminuyendo continuamente hasta ser inferior a $400 \mu s$, en ese caso el dispositivo disminuirá el periodo de muestreo en $100 \mu s$ (opuesto al caso b en fig. 3).

La generación de las señales sinusoidales (5 y 6 fig 1) se hace utilizando dispositivos generadores de ondas sinusoidales (AD9832 de Analog Devices) que cuentan con las siguientes características:

- Configuración de la fase inicial de la señal (para generar las señales en cuadratura, es decir, desfasadas 90 grados).
- Interrupción de la generación de la señal manteniendo el último valor de tensión generado por el dispositivo (para simular el codificador en estado estático).
- Programación de la frecuencia de la siguiente señal a ser generada sin necesidad de interrumpir la generación de la señal actual (esto permite cambiar la frecuencia de la señal sin necesidad de realizar nunca una pausa en la generación).

En nuestra realización usamos tres circuitos integrados AD9832 de Analog Devices, para generar las tres señales XYZ de posicionamiento (5 y 6 fig 1). Este circuito integrado utiliza el canal de comunicación serie síncrono, lo cual nos permitió conectar varios AD9832 al microcontrolador RCM4200 utilizando un único puerto serie.

La etapa final de acondicionamiento de señal (33 en fig. 1), para generar las señales diferenciales se implemento con amplificadores operacionales de salida diferencial, en concreto con el amplificador THS4141 de Texas Instruments (8, 9 y 10 en fig. 1). El amplificador se configuró para que la salida cumpliera con el requerimiento de una amplitud de 1V pico a pico, que marca el estándar de los codificadores incrementales.

Las salidas diferenciales del conversor se conectaron a un cable con conector DB-15 con la siguiente tabla de conexionado, para que fuese compatible con el formato del conector (X421/422) del control Sinumerik 611 de la máquina herramienta:

Pin	Etiqueta	Función
2	GND	Tierra
3	A+	Señal Incremental para senoide A
4	A-	Señal Incremental Inversa para senoide A
6	B+	Señal Incremental para senoide B
7	B-	Señal Incremental Inversa para senoide B
10	R+	Señal de pulso de marca de referencia (valor constante)
12	R-	Señal de pulso inversa de marca de referencia

Los otros pines (1, 5, 8, 9, 11, 13, 14, 15) se dejaron desconectados.

REIVINDICACIONES

1. Método de auto-sincronización y compensación de desviaciones temporales en la recepción de datos emitidos periódicamente con un periodo de emisión (T) dado, **caracterizado** por que comprende:
 - calcular la frecuencia de la senoide (F_i) correspondiente a la información contenida en un paquete de datos (P_{qi}) recibido por un conversor en un instante de tiempo (t_i) en la base de tiempos del conversor;
 - esperar un tiempo de espera (t_{ei}) hasta que termine de generarse la senoide de frecuencia ($F_{(i-1)}$) correspondiente al paquete de datos anterior ($P_{q(i-1)}$);
 - generar una señal sinusoidal con la frecuencia (F_i) de conversión, durante un intervalo temporal (d_i), de manera que entre señales sucesivas se mantenga la continuidad.
2. Método según la reivindicación 1, **caracterizado** por que el primer paquete de datos que se recibe toma como tiempo de espera (t_{ei}) la mitad del periodo de emisión (T).
3. Método según la reivindicación 1, **caracterizado** por que el tiempo de recepción de cada paquete t_i se compara para comprobar que se encuentra dentro de una ventana temporal fijada por un valor $T/n < t_i < T - T/n$, con $n > 2$.
4. Método según la reivindicación 3, **caracterizado** por que cuando el tiempo de recepción de cada paquete t_i se encuentra dentro de una ventana temporal fijada por un valor $T/n < t_i < T - T/n$, con $n > 2$, entonces el tiempo de espera (t_{ei}) tiene el valor de $T - t_i$ ($t_{ei} = T - t_i$), y el intervalo temporal de generación sinusoidal (d_i) tiene el valor de T ($d_i = T$).
5. Método según la reivindicación 3, **caracterizado** por que se disminuye el tiempo de espera (t_{ei}) en una cantidad ΔT ($t_{ei} = T - t_i - \Delta T$), y el de generación sinusoidal en la misma cantidad ($d_i = T - \Delta T$), para compensar la desviación sufrida cuando el tiempo de recepción de un paquete (t_i) es anterior al mínimo establecido por la ventana temporal.
6. Método según la reivindicación 3, **caracterizado** por que se aumenta el tiempo de espera (t_{ei}) en una cantidad ΔT ($t_{ei} = T - t_i + \Delta T$), y el de generación sinusoidal en la misma cantidad ($d_i = T + \Delta T$), para compensar la desviación sufrida cuando el tiempo de recepción de un paquete (t_i) es posterior al máximo establecido por la ventana temporal.
7. Método según la reivindicación 5, **caracterizado** por que se modifica la frecuencia de la señal sinusoidal (F_i) correspondiente a la información contenida en un paquete de datos (P_{qi}) respecto al valor que le correspondería según el contenido del paquete de dicho datos (P_{qi}) por un factor multiplicativo igual a $(m+1)/m$ cuando el tiempo de espera disminuye.
8. Método según la reivindicación 6, **caracterizado** por que se modifica la frecuencia de la señal sinusoidal (F_i) correspondiente a la información contenida en un paquete de datos (P_{qi}) respecto al valor que le correspondería según el contenido del paquete de dicho datos (P_{qi}) por un factor multiplicativo igual a $(m-1)/m$, cuando el tiempo de espera aumenta.
9. Método según la reivindicación 5 ó 6, **caracterizado** por que el retraso y el adelanto, ΔT , respecto de los márgenes establecidos por la ventana temporal se fija como una fracción del periodo T de emisión de los paquetes de datos $\Delta T = T/m$, siendo m un número mayor o igual a $2n/(n-2)$.
10. Codificador de posición incremental sinusoidal **caracterizado** por que comprende
 - medios de recepción (1) configurados para:
 - leer bloques de datos (P_{qi}), dichos bloques de datos siendo emitidos por una máquina externa con un periodo de emisión T constante, y siendo recibidos a intervalos de recepción no regulares,
 - y para enviar un mensaje de notificación por bloque de datos recibido;
 - medios de sincronización (2, 4) que comprenden:
 - un contador (2) configurado para medir los tiempos (t_i) de llegada de bloques de datos (P_{qi}) a través del mensaje de notificación emitido por los medios de recepción, y
 - un temporizador (4) configurado para establecer los instantes de actualización,
 - medios de cálculo (3) configurados para determinar la frecuencia, la fase y la compensación temporal necesaria para la continuidad de la señal a generar;

ES 2 372 079 A1

- medios de generación de señales (5, 6, 7) configurados para generar señales en cuadratura, cada señal de una duración temporal dada, con una frecuencia y una fase especificadas por los medios de cálculo (3), tales que:

5 siendo la frecuencia de la señal generada función del valor del paquete de datos convertido y asegurando la fase la continuidad con la siguiente señal generada correspondiente al siguiente paquete convertido.

10 11. Codificador de acuerdo con la reivindicación 10, **caracterizado** por que comprende además medios de adaptación (13) configurados para acomodar la señal generada a las especificaciones eléctricas sobre el voltaje del equipo.

12. Codificador de acuerdo con la reivindicación 11, **caracterizado** por que medios de adaptación comprenden:

15 - una pluralidad de amplificadores de salida incremental (9, 8, 10).

13. Codificador de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, **caracterizado** por que los medios de cálculo comprenden un microcontrolador (3).

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

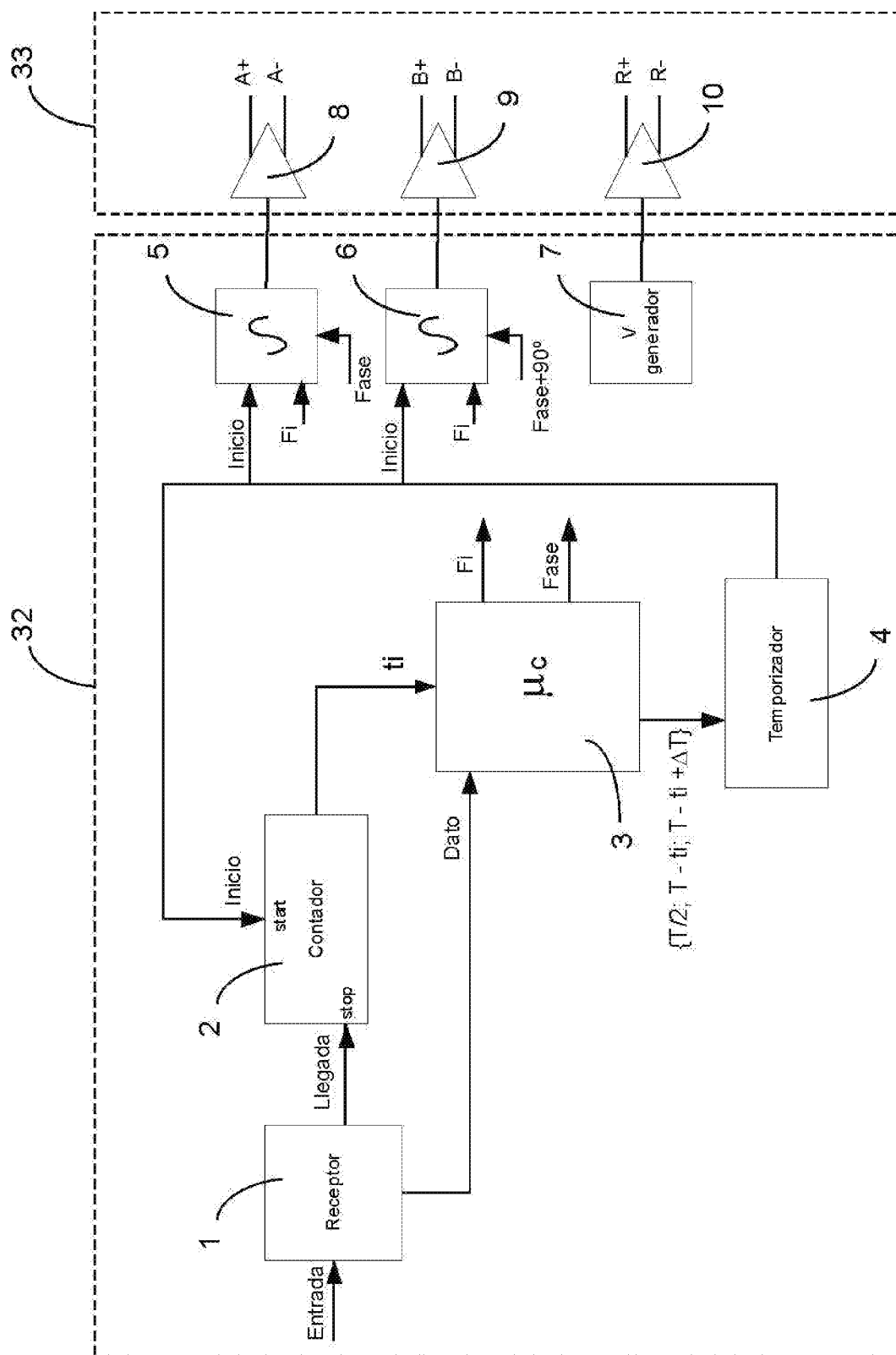
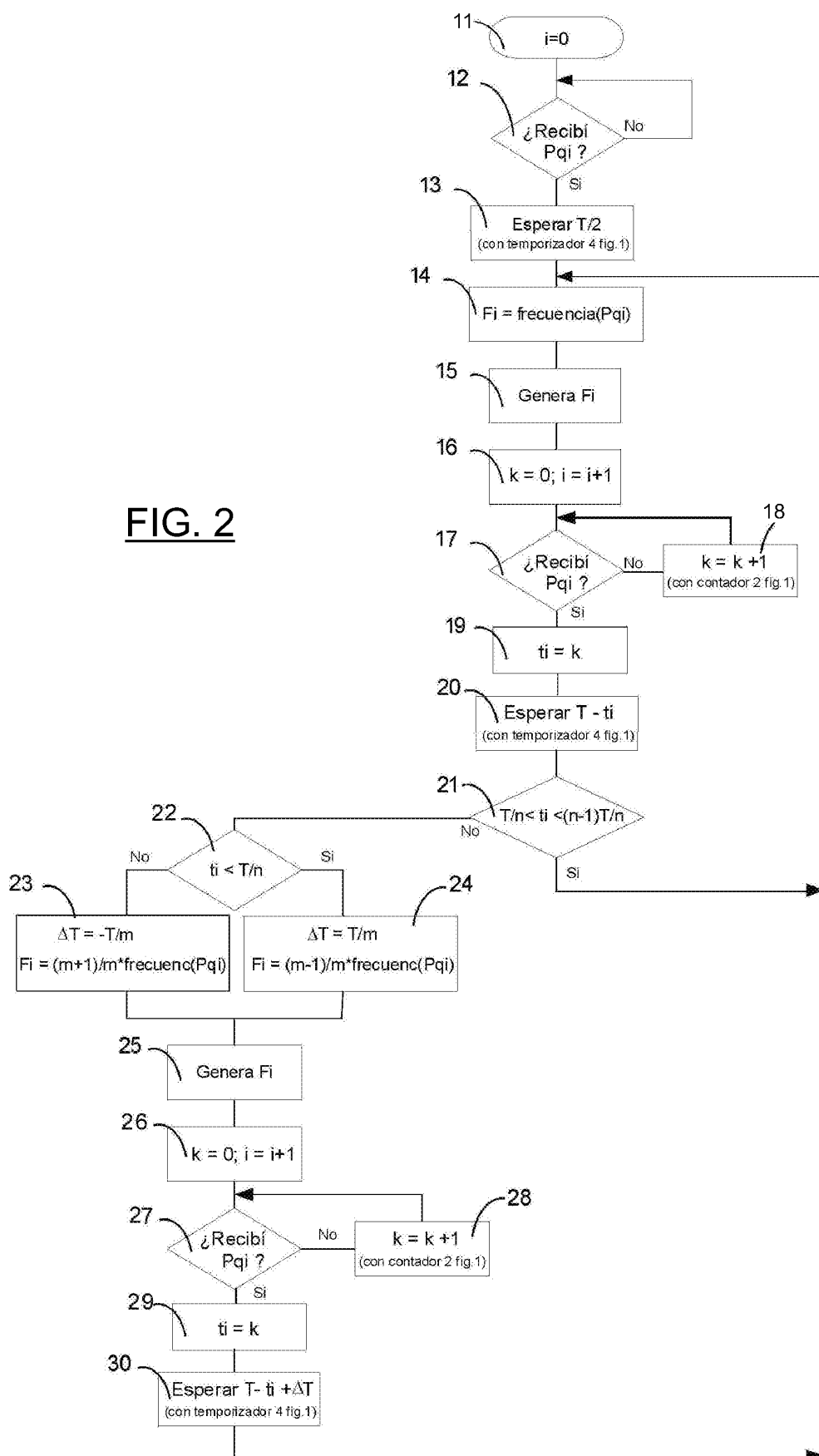
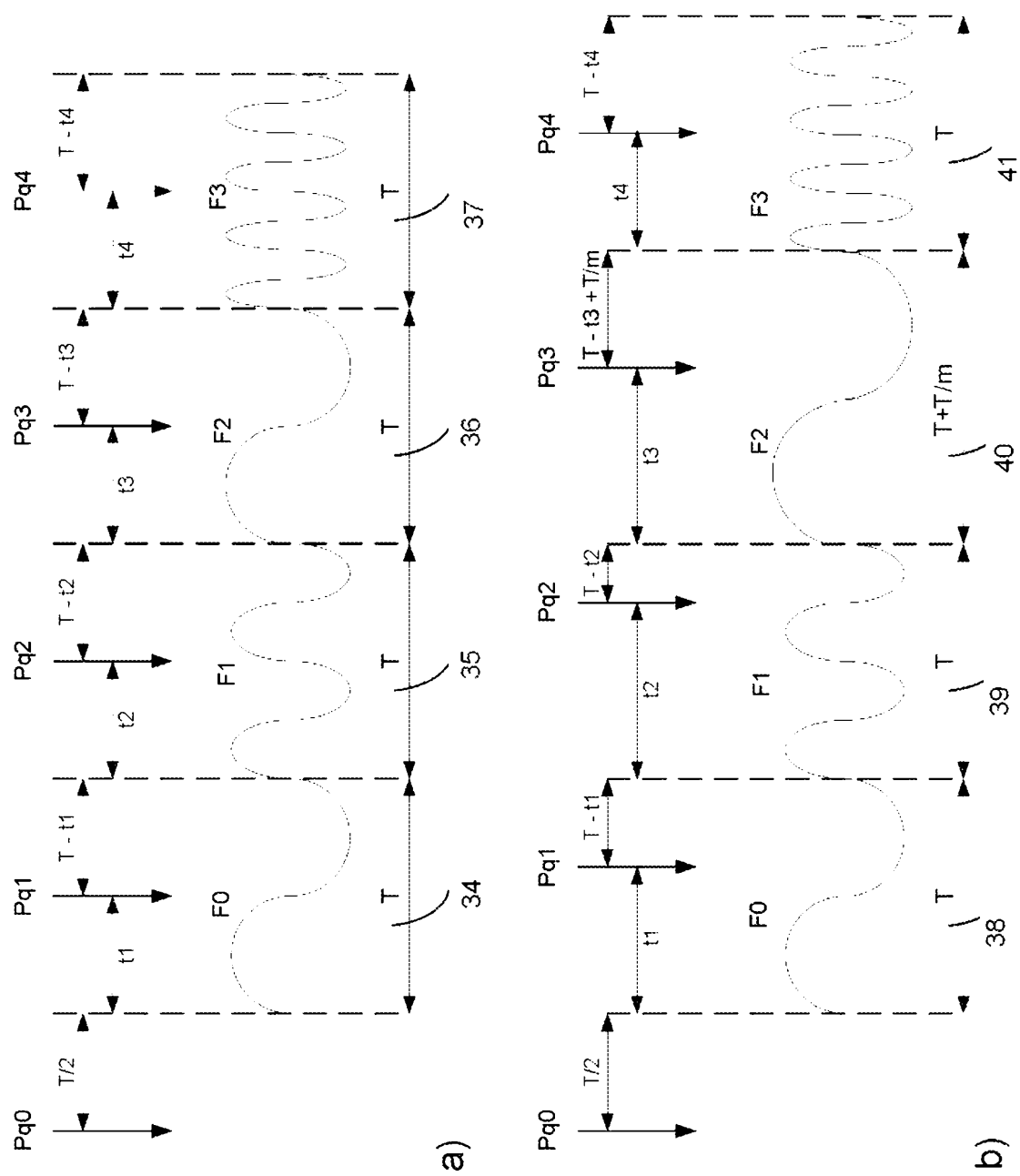


FIG. 1

FIG. 2







OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

②① N.º solicitud: 201030136

②② Fecha de presentación de la solicitud: 02.02.2010

③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤① Int. Cl.: **G06F1/025** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	US 2005035884 A1 (WOLF) 17.02.2005, todo el documento.	1,10
A	US 2009085507 A1 (QUAN et al.) 02.04.2009, todo el documento.	1,10
A	US 5926122 A (DALTON) 20.07.1999, todo el documento.	1,10
A	WO 2009057066 A2 (UNIVERSITA DEGLI STUDI DI ROMA "TOR VERGATA") 07.05.2009, todo el documento.	1,10

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
13.12.2011

Examinador
M. L. Alvarez Moreno

Página
1/4

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G06F

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 13.12.2011

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones 1-13	SI
	Reivindicaciones	NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones 1-13	SI
	Reivindicaciones	NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	US 2005035884 A1 (WOLF)	17.02.2005
D02	US 2009085507 A1 (QUAN et al.)	02.04.2009
D03	US 5926122 A (DALTON)	20.07.1999
D04	WO 2009057066 A2 (UNIVERSITA DEGLI STUDI DI ROMA "TOR VERGATA")	07.05.2009

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

Los documentos citados (D01 a D04) muestran diversos procedimientos existentes para simular la generación de codificaciones incrementales. Todos basan sus procesamientos en la recepción de una señal de entrada en intervalos regulares de tiempo. En todos los casos, los documentos se centran en generar la señal en cuadratura a una frecuencia constante a partir de una información de posición en la entrada del codificador. La información de posición recibida en momentos predeterminados no se analiza en ninguno de los documentos encontrados, de forma que se determinen los diferentes instantes de recepción, para poder compensar la señal de salida de acuerdo a las desviaciones temporales detectadas (reivindicaciones 1 y 10). Tampoco existe ningún análisis de la información contenida para generar la señal de salida con una frecuencia dependiente del valor de los datos recibidos. No se han encontrado documentos relacionados con codificadores incrementales que intenten solucionar el problema de generar una señal sinusoidal a partir de una medida recibida, donde dicha medida (posición o equivalente) sea tomada mediante sensores externos, y remitidas al codificador en instantes de tiempo no predeterminados y en un formato de paquete de datos.

Las reivindicaciones 1 a 13 tienen actividad inventiva según al artículo 8 de la Ley de Patentes.