(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 382 308**

(51) Int. CI.:
***G01S 7/487*** (2006.01)
***G01S 17/10*** (2006.01)
***G01S 7/497*** (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Número de solicitud europea: **08102606 .4**
(96) Fecha de presentación: **14.03.2008**
(97) Número de publicación de la solicitud: **1972961**
(97) Fecha de publicación de la solicitud: **24.09.2008**

(54) Título: **Sensor optoelectrónico y procedimiento para la medición de una distancia o de una modificación de una distancia**

(30) Prioridad:
**22.03.2007 DE 102007013714**

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
**10.07.2012**

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
**10.07.2012**

(73) Titular/es:
**SICK AG**
**ERWIN-SICK-STRASSE 1**
**79183 WALDKIRCH, DE**

(72) Inventor/es:
**Hug, Gottfried y**
**Heizmann, Reinhard**

(74) Agente/Representante:
**Lehmann Novo, Isabel**

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

Sensor optoelectrónico y procedimiento para la medición de una distancia o de una modificación de una distancia.

La invención se refiere a un sensor optoelectrónico y a un procedimiento para la medición de una distancia o de una modificación de la distancia de acuerdo con el procedimiento de tiempo de propagación de la luz de acuerdo con los preámbulos de las reivindicaciones 1 y 14, respectivamente.

La distancia de un objeto se puede determinar óptimamente de acuerdo con el principio del procedimiento del tiempo de propagación. A tal fin, se puede imprimir en un haz de luz un patrón de emisión que, a la recepción de la luz reflejada por el objeto, es comparado con un patrón de referencia generado internamente. A partir de ello se puede calcular la trayectoria de la luz y, por lo tanto, también la distancia. En la práctica, se emplean esencialmente dos procedimientos. En uno de los procedimientos, el patrón de emisión es un impulso luminoso sencillo, cuyo tiempo de propagación es medido. En el otro procedimiento, el patrón de emisión es una modulación sinusoidal, en la que la posición de las fases del seno frente a un seno de referencia de módulo corresponde al periodo del seno del tiempo de propagación.

La medición de la distancia se puede necesitar, por ejemplo, en la seguridad del vehículo, en la automatización de la logística o en la automatización de la fábrica o en la técnica de seguridad. En particular, un medidor de la distancia, que se basa en un haz de luz reflejado, puede reaccionar a una modificación de la distancia del reflector o del objetivo reflectante o remitente. Una aplicación especial es una barrera óptica de reflexión, en la que se supervisa la distancia entre el emisor de luz y el reflector.

En el procedimiento de medición considerado aquí del tiempo de propagación de la luz se pueden distinguir dos trayectorias de las señales. Sobre la trayectoria interna de la señal no existe ninguna vía luminosa, es decir, que el tiempo de propagación no depende tampoco de la distancia del objeto. Sobre una trayectoria externa de medición se suma a una componente interna del tiempo de propagación la componente interna del tiempo de propagación de la luz que depende de la distancia.

Por lo tanto, la distancia se determina precisamente a partir de la componente externa del tiempo de propagación, es decir, del intervalo de tiempo entre la emisión y la recepción del impulso luminoso. Puesto que el instante de la emisión es conocido, la medición del tiempo de propagación de la luz significa la medición del instante de la recepción. A tal fin, en el estado de la técnica se correlaciona un patrón de referencia sincronizado con el instante de la emisión con el patrón de recepción. A través de la selección precisa del retardo del instante de la emisión se pueden superponer el patrón de referencia y el patrón de emisión y a partir de ello se puede calcular el instante de la recepción.

Con esta finalidad es necesario, por una parte, retardar el instante de la emisión con una alta precisión de tiempo. Un procedimiento a tal finalidad ha sido propuesto bajo la referencia DE 10 2006 047 778.2 de la misma solicitante.

Además, la correlación del patrón de referencia y del patrón de recepción debe localizar el impulso luminoso recibido con precisión temporal correspondiente. En el estado de la técnica se emplea aquí una mezcladora analógica, que reconoce, por ejemplo, una desviación de la mejor correlación posible aprendida en primer lugar como modificación de la distancia del objetivo aprendido. De manera alternativa, la correlación puede calcular también el intervalo de tiempo entre el patrón de referencia y el patrón de recepción y a partir de ello la distancia absoluta. Pero ahora de ninguna manera está asegurada una relación suficientemente alta entre señal y ruido. Por el contrario, debido a la luz ambiental, otras fuentes de luz, especialmente también otros sensores optoelectrónicos, el nivel de interferencia puede oscilar en un intervalo de hasta seis décadas. También la señal útil puede mostrar diferencias de amplitud considerables según la distancia.

Esta dinámica de las señales no s satisface en una mezcladora analógica, de manera que el instante de la recepción no se puede determinar con suficiente exactitud. Otro inconveniente de la mezcladora analógica es que en el caso de mediciones que se suceden rápidamente, a la recepción del siguiente impulso de medición debido al impulso de medición precedente, no se retorna todavía de nuevo a un estado cero. La consecuencia es que en algunas situaciones no se puede medir ninguna distancia o la medición de la distancia permanece al menos poco exacta.

Se conoce a partir del documento WO 2005/006016 A1 un medidor de distancia por láser, que emite impulsos de emisión y amplifica en primer lugar la señal de recepción, la diferencia y la filtra. Por medio de un detector del umbral de la tensión se genera a continuación una señal binaria, en la que se codifica una porción de señal positiva “1” y una porción de señal negativa “0”. Estas señales binarias son acumuladas en repetición múltiple de mediciones individuales. A continuación se buscan a través de una evaluación del umbral los máximos en los datos acumulados y entonces su posición determina la distancia medida.

El documento WO 98/18061 A1 describe un dispositivo para la medición de tiempo para un sistema de tiempo de propagación de la luz basado en láser. El dispositivo mide con un contador el intervalo entre una señal de arranque durante la emisión y una señal de parada durante la recepción de la señal luminosa. Esta medición se puede repetir muchas veces bajo retardo artificial causal respectivo de la emisión y el valor de medición de la distancia se determina como media sobre los valores de medición individuales.

Se conoce a partir del documento EP 0 427 969 A2 una disposición de medición del tiempo de propagación del impulso, que presenta un sumador paralelo para el registro de la señal de recepción en un número de canales. Con la ayuda de un miembro diferenciador se consigue que para la determinación del instante de recepción se pueda establecer, en lugar de un máximo de la señal de entrada, una transición empinada a través de un valor medio del ruido.

Por lo tanto, el problema de la invención es posibilitar una medición de la distancia con un sensor optoelectrónico de una manera precisa y robusta contra influencias de interferencia.

Este problema se soluciona por medio de un sensor de acuerdo con la reivindicación 1 o bien por medio de un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 14. Esta solución tiene la ventaja de que también en el caso de mala relación entre señal y ruido, es posible una determinación precisa del instante de recepción y, por lo tanto, de la distancia. De esta manera, el sensor es insensible frente a la luz perturbadora y se puede emplear sobre una zona de distancia grande. Al mismo tiempo, el núcleo de la medición se puede realizar con coste favorable y es un espacio mínimo. Debido a la evaluación digital comprimida, todo el sensor puede conseguir una estructura compacta, que hace que se pueda utilizar también allí donde no se podría adaptar al espacio en el estado de la técnica. Precisamente la evaluación de una señal bipolar no depende del nivel de recepción, en cambio una evaluación de la señal unipolar original desde el receptor de luz depende en gran medida de este nivel de recepción. Por lo tanto, de acuerdo con la invención, el instante de la recepción se puede determinar de una manera extraordinariamente precisa independientemente de las condiciones de la luz de reflexión y de la luz ambiental.

La solución de acuerdo con la invención parte de la idea básica de emitir una pluralidad de impulsos luminosos individuales y de evaluar estadísticamente su información. En este caso, la frecuencia de repetición de la emisión es suficientemente alta, para posibilitar a pesar de la medición múltiple para la generación de los datos necesarios para la estadística todavía una determinación rápida de la distancia. A través de la selección y el aprovechamiento selectivo de componentes analógicos y digitales y de un procesamiento previo de la señal para obtener una señal bipolar robusta y que se puede evaluar con exactitud se puede evaluar de una manera rápida, compacta y en un espacio mínimo con alta exactitud de medición.

Con preferencia, el sensor presenta un circuito de retardo digital para emitir a través del emisor de luz impulsos luminosos individuales con un retardo definido. De esta manera, se puede desplazar también el instante de la recepción del impulso luminoso individual, para generar los datos para el histograma de una manera que facilita la evaluación.

De manera todavía más preferida, el sensor está configurado para activar el circuito de retardo digital con retardos, que presentan desviaciones en torno al retardo definido y solamente en el valor medio corresponden al retardo definido para promediar un comportamiento no lineal del circuito de retardo digital. En el caso de retardos extraordinariamente pequeños en el orden de magnitud inferior a 100 picosegundos, no se puede evitar que el circuito de retardo transmita el retardo predeterminado no exactamente como retardo del impulso luminoso individual. Si se incluyen valores en torno al retardo deseado, se recurre, por decirlo así, a una base estadística más amplia del retardo de salida, para hallar de esta manera en la media más exactamente el valor de retardo.

En un desarrollo ventajoso, la unidad de evaluación está configurada para determinar el tiempo de propagación de la luz de la siguiente manera:

- localización de la señal pre-procesada en una ventana de medición temporal, cuya anchura es la anchura total del histograma, a través de la representación grosera sistemática del retardo del impulso luminoso individual,

- desplazamiento de un punto de transición de la señal hasta un punto de observación en la ventana de medición, en particular el borde de la ventana de medición, a través de ajuste fino sistemático del retardo del impulso luminoso individual, y

- cálculo del tiempo de propagación de la luz a partir del retardo necesario.

Por lo tanto, en una primera etapa se determina el tiempo aproximado de propagación de la luz, puesto que consumiría mucha memoria si se registrase un histograma sobre todo el alcance posible del sensor. Solamente en una segunda etapa se ajusta finamente la posición del histograma para una precisión temporal suficiente de la condición de transición. De esta manera, se puede aplicar una conservación de recursos sin pérdida en la precisión de tiempo.

El punto de transición es en este caso con preferencia el primer punto de anulación desde el máximo hasta el mínimo de la señal bipolar pre-procesada. Este punto de transición especial se puede localizar con una precisión especialmente alta, de manera que la medición de la distancia del sensor es especialmente exacta. Esta precisión puede ser, debido a la determinación precisa de la condición de transición, especialmente también claramente más fina que la amplitud de las casillas del histograma. Evidentemente, la designación de una transición desde el máximo hasta el mínimo incluye también la dirección opuesta desde el mínimo hasta el máximo; esto es solamente una cuestión de la dirección de evaluación que se puede seleccionar de todos modos libremente.

Con preferencia, la unidad de evaluación está configurada para la determinación del instante de la recepción en una fase de aprendizaje antepuesta y para una evaluación de la modificación del punto de transición frente al instante de recepción aprendido en el funcionamiento, para calcular una modificación de la distancia. El procedimiento descrito en los dos párrafos anteriores para la determinación de una ventana de medición adecuada y su alineación temporal precisa solamente debe realizarse entonces una vez en una fase de aprendizaje, mientras que el sensor se puede limitar en el funcionamiento a reconocer una modificación de las condiciones aprendidas, Tal modificación se puede detectar de una manera más segura, rápida y con menos gasto.

De manera más ventajosa, la unidad de evaluación está configurada para aceptar una modificación de la distancia solamente cuando los valores del tiempo de propagación de la luz determinados a partir de una pluralidad de histogramas indican un cambio en la distancia en un valor mínimo más frecuentemente que una distancia permanente. La decisión a partir de un histograma individual puede estar influenciada siempre todavía por ruido y, por lo tanto, puede ser falsa. Puesto que debe agruparse un número mayor de decisiones positivas, se eleva la seguridad de que se reconozca correctamente la modificación de la distancia.

En otra forma de realización ventajosa, el pre-procesador presenta lo siguiente:

- un amplificador, en particular un amplificador de transimpedancia, para la amplificación de la señal y/o

- un filtro, en particular un filtro pasabanda o diferenciador, para la conversión de la señal eléctrica en primer lugar unipolar del receptor de luz en una señal bipolar y/o

- un amplificador de limitación para la amplificación de la porción positiva o bien negativa de la señal hasta un valor de saturación.

El impulso luminoso transformado por el receptor de luz en una señal eléctrica es débil y, por lo tanto, debería amplificarse antes de la evaluación posterior. Al mismo tiempo, el amplificador de transimpedancia puede eliminar por filtración una componente DC, es decir, una ondulación básica no modulada, que no es con seguridad un impulso luminoso. El filtro pasabanda o el diferenciador es una configuración del pre-procesador analógico, que convierte la señal eléctrica en primer lugar unipolar, que aparece, en efecto, a partir de la luz necesariamente unipolar, en una señal bipolar. El amplificador de limitación impulsa finalmente la señal hasta saturación, para que sea reconocida en cualquier caso en la evaluación umbral siguiente en el convertidor binario.

De manera más ventajosa, los elementos digitales del sensor están implementados en un módulo digital, por ejemplo en una lógica programable, en ASIC o en una FPGA (Field Programmable Gate Array). Esta implementación es suficientemente rápida para aportar la precisión temporal necesaria alta para el tiempo de propagación de la luz. Por módulo digital debe entenderse aquí y a continuación cualquier evaluación digital configurable, que está adaptada a través de pre-configuración del circuito digital del módulo a la aplicación, en lugar de realizarla, como en un microprocesador auténtico, a través de la ejecución de un programa en una unidad de evaluación universal. La variante preferida actualmente de una lógica programable de este tipo es una FPGA. Por lo tanto, a continuación se habla varias veces de FPGA en representación de toda la familia de módulos digitales, pero la invención no está limitada a ello. Esto es al mismo tiempo, frente a un microprocesador, de coste favorable y, sin embargo, suficientemente flexible para las aplicaciones posibles.

Con preferencia, la unidad de evaluación presenta una memoria, para mantener el tiempo de propagación hasta una distancia conocida de un objetivo de calibración. El tiempo de propagación medido contiene, además de la trayectoria de medición externa, es decir, el tiempo de propagación de la luz propiamente dicho, también una porción, que procede de los tiempos de propagación internos de las señales eléctricas. La distancia, que corresponde al tiempo de propagación medido, se desvía de la distancia real en la medida de estos tiempos de propagación internos. Este tiempo de propagación interno constante se puede tener en cuenta a través del objetivo de calibración y de esta manera se posibilita al sensor no sólo medir modificaciones de la distancia, sino también distancias absolutas.

En otra forma de realización ventajosa, la unidad de evaluación está configurada para una determinación del nivel de recepción, especialmente como máximo sobre uno o varios histogramas. Este nivel de recepción es interesante por sí, por ejemplo para indicar si el sensor puede trabaja correctamente en condiciones dadas. Además, se puede utilizar para elevar la exactitud de la determinación del instante de recepción, por ejemplo a través de la adaptación de determinados umbrales de evaluación.

En un desarrollo ventajoso, los elementos digitales del sensor están implementados en un módulo digital como una FPGA, que presenta adicionalmente una instalación digital de regulación de la temperatura, que está configurada para una regulación de la temperatura, en el que en un ciclo de compensación de la temperatura en el instante de la generación del impulso luminoso individual una señal eléctrica de prueba de la temperatura es conducida hacia fuera del módulo digital y de nuevo hacia dentro a través de un bucle de conductores y se retarda la emisión del impulso luminoso individual en la medida de una desviación de tiempo entre el instante de información medido y el instante de información previsto de la señal de prueba de la temperatura. La evaluación en la FPGA necesita, en efecto, tanta potencia que esta FPGA propiamente dicha contribuye en una parte considerable al calor de funcionamiento del sensor. Esto conduce a una falsificación durante la medición del tiempo de propagación de la luz, que se puede

compensar de esta manera.

En este caso, con preferencia, el sensor está configurado para una realización del ciclo de compensación de la temperatura, respectivamente, después de una pluralidad de impulsos luminosos individuales emitidos, en particular de todos los impulsos luminosos individuales, que forman un histograma. El calentamiento de la FPGA o del sensor es lento con relación a los ciclos de medición. De esta manera, es suficiente y ahorra gasto de evaluación realizar la compensación de la temperatura con frecuencia, en cambio, reducida.

De manera más ventajosa, el sensor presenta una instalación de compensación de interferencias, que puede variar los intervalos de tiempo entre los impulsos luminosos individuales y un desplazamiento sistemático y/o aleatorio, de manera que la unidad de evaluación está configurada para tener en cuenta el desplazamiento. Además de las fuentes de ruido propiamente dichas, como luz ambiental, existen también fuentes sistemáticas de error, que pueden perturbar las señales. A ellas pertenecen reflexiones del impulso luminoso individual emitido, que no proceden del objetivo propiamente dicho que debe medirse, pero 5también impulsos luminosos individuales de otros sensores. Tales interferencias son difuminadas a través del desplazamiento indicado sobre toda la ventana de medición y no tienen apenas ninguna importancia.

El procedimiento de acuerdo con la invención se puede configurar de manera similar a través de otras características y presenta en este caso ventajas similares. Tales otras ventajas se describen, a modo de ejemplo, pero no exhaustivamente, en las siguientes reivindicaciones dependientes.

A continuación se explica la invención también con relación a otras ventajas y características con referencia al dibujo adjunto con la ayuda de ejemplos de realización. En las figuras del dibujo se muestra lo siguiente:

La figura 1 muestra un diagrama de bloques esquemático de una forma de realización de la invención.

La figura 2 muestra una representación esquemática de las señales en diferentes fases de procesamiento para la explicación del procedimiento de evaluación de acuerdo con la invención.

La figura 3 muestra una representación esquemática según la figura 2 para la explicación del ajuste de la ventana de medición.

La figura 4 muestra una representación explicativa para el reconocimiento de una modificación de la distancia a través del sensor.

La figura 5 muestra un diagrama de bloques esquemático de otra forma de realización de la invención con una compensación de la temperatura.

La figura 6 muestra una representación esquemática de los impulsos luminosos que confluyen en un histograma para la explicación de la compensación de las interferencias a través de retardos de tiempo; y

La figura 7 muestra una representación esquemática de un sensor optoelectrónico para la determinación de la distancia.

La figura 7 muestra un medidor optoelectrónico de la distancia o sensor 10 representado de forma muy simplificada, que emite a través de un emisor de luz 12 un impulso luminoso hacia un reflector o un objeto de destino reflectante 14. El haz de luz reflejado o remitido allí retorna hacia un receptor de luz 16, que rodea el emisor de luz 12. Puesto que el rayo de luz se ensancha en su recorrido, el emisor de luz 12 solamente cubre una parte pequeño y poco considerable de a luz reflejada. Naturalmente, de manera alternativa se pueden emplear también otras soluciones conocidas, como un divisor de haz o una división de la pupila.

El emisor de luz 12 y el receptor de luz 16 son activados y evaluados por un control 18. El control 18 induce al emisor de luz 12 a emitir impulsos luminosos individuales en un instante conocido. El instante de la emisión se puede variar a través de una instalación de retardo 20, por ejemplo como se describe en la solicitud de patente alemana DE 10 2006 047 778.2 de la misma solicitante, con alta precisión temporal en el intervalo de algunos 10 picosegundos.

En una unidad de evaluación 22, el control 18 determina el instante de la recepción del impulso luminoso en el receptor de la luz 16 de una manera que se describe a continuación con relación a las figuras 1 a 6. A partir del instante de la recepción se calcula con el instante de la recepción conocido el tiempo de propagación de la señal, que corresponde de nuevo a través de la velocidad de la luz a la distancia del objeto de destino 14. En este caso, son posibles al menos dos modos: en un modo se mide en términos absolutos el tiempo de propagación de la luz y, por lo tanto, la distancia. En otro modo se aprende una distancia determinada, por ejemplo con respecto a un objetivo cooperativo fijo, y se supervisa si se modifica su distancia.

El sensor 10 puede ser un pulsador optoelectrónico o un medidor de la distancia. También es concebible una barrera óptica de reflexión, es decir, una barrera óptica con un emisor de luz y un reflector dispuesto frente al mismo, de manera que se detecta una interrupción del haz reflejado allí. A través de la medición de la modificación de la distancia de este reflector se puede supervisar si el reflector se encuentra todavía en el lugar previsto. Todos los

sensores mencionados pueden trabajar también como conmutadores, provocando un fenómeno de conmutación a la detección de un objeto a una distancia determinada o en el caso de una desviación de una distancia prevista.

El sensor 10 se representa de nuevo en la figura 1. En este caso, las mismas características se designan aquí y a continuación con los mismos signos de referencia. Como emisor de luz se representa aquí a modo de ejemplo una fuente de luz de semiconductores 12, por ejemplo un láser o un diodo luminoso, como receptor de luz se representa a modo de ejemplo un fotodiodo 16. En principio, en lugar de un fotodiodo 16 es adecuado cualquier receptor, que puede convertir una señal luminosa en una señal eléctrica. El objeto de destino 14 está más alejado, en general, en la escala de la figura 1, como se indica a través de líneas discontinuas 24.

El control está implementado en esta forma de realización como FPGA (Field Programmable Gate Array) 18. Es concebible que, como se ha descrito anteriormente, se utilice también otra implementación, por ejemplo, por medio de ASIC o de otro módulo digital. Pero con respecto al gasto de costes, flexibilidad y velocidad, se prefiere una FPGA. El control 18 presenta la unidad de evaluación 22 propiamente dicha y la instalación de retardo 20 implicada con ello, que están implementadas de la misma manera en sus componentes individuales sobre la FPGA 18. Las conexiones de la FPGA 18 están realizadas de forma diferencial para poder transmitir las señales de una manera más exacta y más segura.

El sensor 10 tiene una trayectoria de emisión, a la que pertenecen, además del emisor de luz 16 propiamente dicho, todavía una unidad de láser 26 y la instalación de retardo 20, así como una trayectoria de recepción, a la que pertenece el fotodiodo 12 que alimenta al pre-procesador analógico 28 la señal de recepción digitalizada de la unidad de evaluación 22.

El pre-procesador analógico 28 forma una trayectoria de procesamiento de varias fases. Ésta comienza con un amplificador 30, por ejemplo un amplificador de transimpedancia, que recibe la señal del fotodiodo 16 y la amplifica. Un filtro 32 conectado a continuación, que puede ser, por ejemplo, un filtro pasabanda o un diferenciador, convierte la señal de impulso luminoso unipolar en una señal bipolar. Como fase siguiente de procesamiento previo está previsto un amplificador de limitación, que amplifica la amplitud y luego la corta hasta el punto de que la señal luminosa se convierte en un impulso rectangular llevado a la saturación. Esta señal es alimentada como última fase a un convertidor A/D 36, en particular un generador binario, que no convierte la amplitud en un valor numérico digital sino solamente en un valor binario. El convertidor A/D 36 no es con preferencia un módulo propio, sino que está realizado a través de las entradas de la FPGA 18.

La trayectoria completa de la señal y de la evaluación en el sensor 10' a través de los componentes del sensor 10 que se acaban de describir se describe a continuación con la ayuda de la figura 2.

El emisor de luz 16 genera en cada periodo de medición 100, respectivamente, un impulso luminoso, que posibilita la determinación de un instante preciso. A tal fin es adecuado un impulso rectangular, pero también son concebibles otros impulsos, como por ejemplo impulsos de Gauss. La instante de la emisión se pone a disposición de la unidad de evaluación 22 o se genera allí y se puede retardar por medio de la instalación de retardo 20 con una precisión en el intervalo de algunos 10 picosegundos.

El impulso luminoso es reflejado o remitido en la zona de supervisión del sensor 10 en el objeto de destino 14 y entonces es convertido en el receptor de la luz 12 en una señal eléctrica. A continuación se amplifica la señal eléctrica en el amplificador 30. La señal eléctrica 102 amplificada resultante se representa de forma idealizada; en condiciones realistas el impulso luminoso 102 recibido no sería un rectángulo limpio, sino ruidoso y difuminado.

El sensor 10 solamente detecta el impulso luminoso cuando incide dentro de una ventana de medición temporal 101 sobre el receptor de luz 12. El periodo de medición 100 está en el orden de magnitud de un microsegundo, que corresponde a un recorrido de la luz de aproximadamente 150 m. La ventana de medición 101 cubre solamente una zona pequeña de este periodo de medición 100, por ejemplo 25 ns o aproximadamente 3,7 m. En principio, las ventana de medición 101 puede ser también más ancha, pero entonces requiere un gasto elevado de evaluación y de memoria, cuando debe determinarse el instante de recepción dentro de la ventana de medición 101 con alta precisión de tiempo.

Para asegurar que el impulso luminoso es recibido dentro de la ventana de medición 101, son posibles diferentes estrategias. La más sencilla consiste en colocar la ventana de medición al principio inmediatamente al comienzo del periodo de medición, lo que corresponde entonces a una zona de medición de la distancia directamente delante del sensor 10. Cuando allí no se recibe ningún impulso luminoso, se desplaza la ventana de medición 101 de manera sucesiva en la medida de su propia longitud hacia delante hasta que el impulso luminoso es recibido dentro de la ventana de medición 101. Un algoritmo un poco más rápido es un encaje de intervalos, en el que la anchura de la ventana de medición 101 se selecciona en principio suficientemente grande para cubrir toda la zona de medición de la distancia concebible y entonces seleccionar con la ayuda de la información de la distancia todavía grosera en virtud de la anchura grande de la ventana de medición 101 la posición de una ventana de medición 101 de la mitad de la anchura para la siguiente etapa de iteración. Pero es concebible cualquier algoritmo conocido para hallar una ventana de medición 101 estrecha, por ejemplo de 25 ns, dentro de la cual se recibe el impulso luminoso. En este caso es una condición previa que el objeto de destino 14 sea estático, hasta el punto de que exista un número

suficiente de periodos de medición en aquel tiempo, que el objeto de destino 14 necesita para moverse a una distancia dentro de la exactitud de medición.

La señal eléctrica amplificada de impulso luminoso recibida es siempre una señal unipolar en virtud de la naturaleza de la luz. En el filtro 32 es convertida en una señal bipolar 104. Esto se puede realizar con un filtro pasabanda, pero la curva de la señal 104 generada corresponde al menos aproximadamente a la derivación dilatada de la señal amplificada 102. En la figura 2 se representan, además de la señal bipolar 104, unos rectángulos grises, que deben simbolizar el nivel de ruido. Hay que observar de nuevo una idealización: solamente se representa una oscilación sinusoidal de la señal bipolar 104. Pero en la práctica aparecen la mayoría de las veces oscilaciones posteriores, es decir, otros periodos sinusoidales con amplitud cada vez más amortiguada. Evidentemente, tampoco hay que esperar un seno puro, sino una curva con máximo y mínimo.

En el amplificador de limitación 34 se amplifica y se corta la señal bipolar 104 hasta el punto de que la señal propiamente dicha se convierte en un flanco rectangular 106 y el nivel de ruido representado a través de rectángulos grises se dilata en su amplitud sobre toda la zona dinámica.

El flanco rectangular 106 es explorado en el generador binario 36 con una tasa de exploración, por ejemplo, de 2,5 ns. Esta tasa de exploración se simboliza en la figura 2 por medio de flechas 108. La secuencia binaria resultante, con los valores numéricos indicados, respectivamente, 1 bit por 2,5 ns, es decir 10 bits para toda la ventana de medición 101, se utiliza en la unidad de evaluación 22, para formar un histograma 110. A tal fin para cada casilla está previsto un acumulador, que solamente se eleva en un valor binario “1” correspondiente.

En el caso de señales ideales no ruidosas, se rellena en este histograma solamente aquella casilla, sobre la que se encuentra el flanco rectangular 106. El nivel de ruido elevado por el amplificador de limitación 34 rellena también las casillas restantes y en concreto debido a la aleatoriedad del ruido en el valor previsible por ejemplo en cada segundo periodo de medición 100.

Si se realiza la iteración del procedimiento que se acaba de describir y se forma el histograma 108 sobre n periodos de medición 100. Entonces se llenan las casillas a través del ruido aproximadamente con el valor n/2, añadiendo oscilaciones estadísticas. Este valor n/2 corresponde e virtud de la binarización al valor de la señal cero. A partir de ello se eleva hacia arriba el máximo formado a través de la parte positiva de la señal bipolar 104 y se reduce hacia abajo el mínimo correspondiente. Este máximo y este mínimo son utilizados por la unidad de evaluación 22 para determinar el instante de la recepción del impulso luminoso, de una manera especial que se describe a continuación.

En efecto, sería inexacto detectar directamente el máximo o el mínimo. De acuerdo con las condiciones de medición, el nivel de recepción del sensor 10 puede oscilar en una medida considerable, de manera que una condición umbral en la posición de los extremos depende del nivel de recepción. Por lo tanto, no es posible ninguna medición, cuya precisión alcance también solamente la anchura de las casillas del histograma 110, ni mucho menos fracciones de ella.

Cuando en su lugar se detecta la transición, es decir, el punto de anulación, que se encuentra, en efecto, debido a la binarización en n/2, entonces se suprime esta dependencia del nivel de recepción. Esta transición se encuentra, en efecto, independientemente de la intensidad siempre en el mismo instante.

En lugar de localizar directamente la transición, es decir, aquella casilla del histograma 110, en la que se encuentra el punto de anulación, se procede ahora como se ha descrito con relación a la figura 3. A través del ajuste fino de la instalación de retardo 20 se desplaza el impulso luminoso dentro de la ventana de medición 110 por medio del circuito de retardo 20 de tal manera que la transición 112 se encuentra precisamente en el borde de la ventana de medición 101.

El punto de transición se describe entonces por medio de una condición triple. Por una parte, la última casilla corresponde precisamente al valor de la señal cero, debido a la binarización realizada anteriormente esto corresponde al valor del histograma n/2. En segundo lugar, delante del punto de anulación debería encontrarse el máximo para desplazar el punto de anulación desde una casilla rellena de forma aleatoria con n/2. Esto se cumple cuando la penúltima casilla está rellena con un valor por encima de un umbral 114, que se eleva significativamente por encima del nivel de ruido. En tercer lugar, el punto de anulación hallado de esta manera podría ser todavía el de una oscilación posterior y no la primera oscilación buscada. Por lo tanto, debe excluirse todavía que alguna de las casillas anteriores está rellena con un valor por debajo de un umbral 115, que está significativamente por debajo del nivel de ruido. En efecto, tal mínimo solamente podría ser activado por una oscilación de orden superior, que no está, sin embargo, temporalmente delante de la oscilación principal buscada.

Si no se cumplen las tres condiciones de la transición, se desplaza adicionalmente el ajuste fino. Si se cumplen las tres condiciones de la transición, entonces el lado derecho de la ventana de medición 101 se encuentra en el lugar que corresponde al instante de la recepción del impulso luminoso. A partir del retardo, que debería generar a tal fin la instalación de retardo 20, se puede leer entonces el tiempo de propagación de la luz.

Cuando el sensor 10 debe determinar en su primer modo en términos absolutos la distancia. El procedimiento que se acaba de describir debe ejecutarse totalmente para una determinación de la distancia. El tiempo de propagación

medido del impulso corresponde no siempre corresponde todavía al tiempo puro de propagación de la luz, sino que contienen componentes para el procesamiento interno de la señal. Para calcularlo, se dirige el sensor 10 para la calibración, por ejemplo, a un objeto de destino 14 de una distancia totalmente conocida. A partir de la diferencia entre el tiempo de propagación medido y el tiempo requerido por la luz para la distancia conocida se puede calibrar el sensor 10 de esta manera a distancias absolutas.

En el segundo modo, en el que solamente hay que detectar una modificación de la distancia, se utiliza el procedimiento solamente una vez en un modo de aprendizaje para ajustar la distancia del objeto de destino 14 a supervisar. Entonces se detecta una modificación de la distancia porque no existe ya la triple condición de transición ajustada de esta manera.

Siempre es concebible todavía que la triple condición de transición se cumpla en el caso individual sin modificación de la distancia del objeto a supervisar. Por lo tanto, como se ha explicado con la figura 4, se repite constantemente toda la evaluación descrita del histograma. Cada determinación de una modificación de la distancia se evalúa con “1”, cada determinación de una distancia constante se evalúa con “-1”. Si se acumulan una pluralidad de evaluaciones de histogramas, entonces aparece una curva 120, cuando la distancia se ha modificado realmente y el sistema no está influenciado por interferencias. Solamente se activa un evento de conmutación cuando un número suficiente de evaluaciones de histogramas ha detectado una modificación de la distancia. En efecto, entonces la curva acumulada 120 se eleva por encima del umbral 122. El tiempo de conmutación 121 mínimo respectivo depende entonces solamente del umbral 122. En cambio, si la trayectoria de la señal es ruidosa, entonces la curva 124 correspondiente se eleva más lentamente y necesita un tiempo de conmutación de 125. La curva 126 ilustra un caso medio entre las curvas 120 y 122. Cuando el objeto no ha modificado su distancia, posiblemente las curvas no exceden tampoco el umbral de conmutación, sino que caen estadísticamente de nuevo al nivel básico. Todo esto correspo0nde a un paso bajo digital de la evaluación de la modificación de la distancia.

La ventana de medición 101 no está limitada, como se puede reconocer, a 25, pero con una ventana de medición 101 mayor deben preverse mas casillas si debe mantenerse la precisión temporal de la anchura de la casilla, lo que significa un gasto elevado en evaluación y sobre todo memoria.

Es concebible emplear en lugar de un generador binario 36 un convertidor A/D, que no sólo suministra valores binarios sino valores numéricos auténticos. La formación descrita del histograma corresponde entonces a un promedio sobre n valores de medición 100, en el que se calcula el ruido y se trata el punto de anulación del valor medio como punto de transición.

El histograma 110 contiene sobre su amplitud, es decir, el estado lleno de las casillas, también una información sobre el nivel de recepción. Esta información se puede evaluar, por ejemplo, para verificar o indicar las condiciones de recepción del sensor 10, pero también para establecer o corregir el umbral 114 para la evaluación de la condición de transición 112. Medidas posibles para el nivel de recepción son el máximo del histograma 110 sobre un número grande de periodos de medición 101 o también la integral media por debajo de aquella porción del histograma 110, que se eleva por encima o por debajo del nivel de ruido.

En lugar de la señal bipolar 104 se puede evaluar también, omitiendo el filtro 32, una señal unipolar. Pero esta evaluación es menos exacta debido a la dependencia de la intensidad de la recepción.

En una forma de realización con resolución elevada, se activa la instalación de retardo de una manera especial. El retardo real 20, que genera la instalación de retardo durante la activación con un retardo deseado, no es, en efecto, en virtud de interferencias eléctricas de la señal como comportamiento de histéresis, cargas residuales, diafonías o similares, estrictamente idéntico al retardo deseado. Por lo tanto, se producen de forma dinámica no linealidades entre retardo deseado y retardo real. Este efecto se puede aliviar seleccionando en lugar del retardo deseado propiamente dicho un valor en su proximidad. Puesto que una pluralidad de impulsos luminosos determinan en común el valor de medición del tiempo de propagación de la luz, estas desviaciones selectivas pueden seleccionarse de manera sucesiva promediadas por el retardo deseado en torno al valor propiamente dicho deseado. En la evaluación, solamente este valor medio juega un papel, cuya precisión no se reduce, por lo tanto, de esta manera. Pero las no linealidades con respecto al retardo real deseado se difuminan estadísticamente y falsifican la medición en una medida claramente reducida.

La figura 5 muestra otra forma de realización del sensor 10 con una compensación de la temperatura. Se muestra que la FPGA 18 es responsable de la mayor parte del desarrollo de calor en el sensor 10. Entonces resultan diferencias de tiempo de propagación dependientes de la temperatura, que no tienen nada que ver con la distancia a medir y deben compensarse. Los elementos del sensor 10 representados en la figura 5 corresponden a los mostrados en la figura 1, salvo la instalación de regulación de la temperatura 38 prevista adicionalmente, que está conectada tanto con la unidad de evaluación 22 como también con la unidad de retardo 20 y a la que pertenece un bucle de semiconductores 40, que es separado por la instalación de regulación de la temperatura 38 fuera de la FPOGA 18 y es introducido de nuevo.

La instalación de regulación de la temperatura 38 recibe desde la unidad de evaluación 22 el instante de la emisión de un impulso luminoso. Con este instante, la instalación de regulación de la temperatura 38 envía una señal

eléctrica a través del bucle de semiconductores 40, que la recibe de nuevo. Esta señal eléctrica pasa en este caso por salidas y entradas de la misma estructura de la FPGA 18 como el impulso de medición propiamente dicho y, por lo tanto, está sometida al mismo comportamiento de temperatura. La instalación de regulación de la temperatura 38 espera la señal eléctrica desde el bucle de conductores 40 en un instante determinado, que puede ser aprendido o que corresponde a un tiempo de propagación de la señal eléctrica sobre el bucle de conductores 40 a la temperatura conocida, por ejemplo la que existe poco después de la conexión del sensor 10. Si la señal eléctrica que procede del bucle de conductores 40 es más rápida o más lenta que lo esperado, entonces la instalación de compensación de la temperatura 38 regula de manera correspondiente el retardo de la instalación de retardo 20. De esta manera, la porción del tiempo de propagación interna, que se basa en la dependencia de la temperatura, está corregida para el impulso luminoso emitido.

Por lo tanto, la compensación de la temperatura tiene lugar en un circuito de regulación sencillo, que puede ser un regulador de dos puntos. La variable de ajuste, a saber, el impulso de emisión eléctrico sobre el bucle de conductores 40, influye en este caso sobre el miembro de ajuste, a saber, la instalación de retardo 20, a través de una elevación o reducción del impulso de medición propiamente dicha del emisor de luz 16. En este caso, la regulación de la temperatura no se realiza con cada periodo de medición 101. Por ejemplo, es concebible insertarla, respectivamente, después de n iteraciones, cuando un histograma 110 está completo y se emite un valor de medición.

Un desarrollo de la invención se ilustra en la figura 6. Además de las influencias de ruido descritas anteriormente a través de radiación difusa de interferencia como la influencia de la luz ambiental u otras fuentes de luz, también pueden aparecer interferencias extrañas sistemáticas. En este caso, se trata, por ejemplo, de reflexiones del impulso luminoso emitido por el emisor de luz 16, que no proceden del objeto de destino 14, es decir, reflexiones múltiples, pero también ecos de estos impulsos luminosos, es decir, superposiciones del impulso luminoso actual con el periodo de medición 100 precedente. Si el objeto de destino 14 se encuentra, por ejemplo, a una distancia de 10 metros, entonces por ejemplo la pared de una nave de almacén a una distancia de 160 m, es decir, precisamente a una distancia adicional de 150 m que corresponde al periodo de medición 100, puede conducir a la recepción de un impulso luminoso en la misma ventana de medición 101. Una tercera clase de interferencias son sensores del mismo tipo de construcción.

Para evitar que tales interferencias extrañas sean evaluadas, la unidad de retardo 20 retarda el impulso luminoso emitido en cada periodo de medición en una porción sistemática y/o una porción aleatoria. Este retardo es conocido por la unidad de evaluación 22, de manera que se puede calcular directamente antes de la formación del histograma.

En la figura 5 se representan una serie de periodos de medición, en los que el impulso de medición 120 propiamente dicho (línea continua) está superpuesto por el impulso de interferencia 122 (línea de trazos) de una interferencia extraña. En contra de la representación, propiamente no migra el impulso de interferencia, sino el impulso de medición a través del retardo adicional. Pero la instalación de evaluación 22 conoce estos retardos y corrige la posición de la ventana de medición 101, de manera que los impulsos de medición se superponen, como se representa. Hay que observar que no se representan influencias de ruidos adicionales para una consideración simplificada; las líneas de señales lisa representadas son propiamente ruidosas.

Sin el retardo adicional se sumarían también los impulsos 122 siempre en el mismo lado en el histograma 110 y, por lo tanto, falsificarían la medición. Pero en virtud del retardo adicional, los impulsos de interferencia 122 no se superponen y se suman, como se indica en la parte inferior de la figura 6 a través de una formación de sumas, solamente hasta un nivel de ruido adicional. Debido al desplazamiento temporal sistemático y/o aleatorio adicional se reduce la influencia de interferencias externas a través de una distribución uniforme sobre la ventana de medición 101.

En este caso, la componente de retardo sistemática sirve para desconectar condiciones estáticas, como la reflexión en otro objeto, mientras que la componente aleatoria protege contra interferencias extrañas, que emiten impulsos de acuerdo con un patrón determinado, en particular otros sensores del mismo tipo de construcción.

Una realización sencilla de la compensación de la luz extraña es la siguiente. Cuando x es la longitud teórica del periodo de medición 100 e y es la anchura de una casilla del histograma 110, entonces se utilizan valores x-zy, x-(z-1)y,.., x+(z-1)y, x+zy en una secuencia aleatoria para las longitudes variadas del periodo de medición 100. En este caso hay que observar que z y n, es decir, el número entero de los periodos de medición, deberían seleccionarse para que cada casilla reciba en el valor previsto el mismo nivel de ruido. En otro caso, precisamente la compensación de la luz extraña generaría una componente de error sistemática. Para asegurar esto, se puede utilizar también una tracción sin retorno, para que cada valor variado sea utilizado con la misma frecuencia. Otra componente sistemática adicionalmente a la componente aleatoria descrita no es ya necesaria de acuerdo con este ejemplo.

Con el sensor 10 descrito se puede realizar de manera compacta en un módulo digital como una FPGA una solución miniaturizada de coste favorable aprovechando módulos estándar, que es flexible y posibilita una medición muy exacta también en condiciones de recepción severas de un impulso luminoso.

**REIVINDICACIONES**

1.- Sensor optoelectrónico (10) para la medición de una distancia o de una modificación de la distancia a partir de un tiempo de propagación de la luz, que presenta lo siguiente:

- un emisor de luz (12) para la emisión de una pluralidad de impulsos luminosos individuales consecutivos,

- un receptor de luz (16) para la recepción de los impulsos luminosos individuales reflejados o remitidos,

- una unidad de evaluación digital (22), que determina el tiempo de propagación de los impulsos luminosos individuales entre la emisión y la recepción y a partir de ello por medio de un histograma de tiempo (110) determina el tiempo de propagación de la luz, y

- un pre-procesador analógico (28), que convierte en cada caso el impulso luminoso individual recibido en el receptor de luz (16) en una señal pre-procesada bipolar y la alimenta a través de un convertidor A/D (36) a la unidad de evaluación digital (22),

caracterizado por un circuito de retardo digital (20), para emitir a través del emisor de luz (12) impulsos luminosos individuales con un retardo definido, en el que la unidad de evaluación está configurada para determinar el tiempo de propagación de la luz de la siguiente manera:

- localización de la señal pre-procesada en una ventana de medición temporal (101), cuya anchura es la anchura total del histograma (110), a través de la representación grosera sistemática del retardo del impulso luminoso individual,

- desplazamiento de un punto de transición (112) desde un máximo hasta un mínimo o desde un mínimo hasta un máximo de la señal pre-procesada hasta un punto de observación en la ventana de medición (101), a través de ajuste fino sistemático del retardo del impulso luminoso individual, y

- cálculo del tiempo de propagación de la luz a partir del retardo necesario.

2.- Sensor (10) de acuerdo con la reivindicación 1, que está configurado para activar el circuito de retardo digital (20) con retardos que presentan desviaciones en torno al retardo definid y solamente corresponden en el valor medio al retardo definido, para promediar un comportamiento no lineal del circuito de retardo digital (20).

3.- Sensor (10) de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, en el que la unidad de evaluación (22) está configurada para desplazar el punto de transición (112) durante el ajuste fino del retardo hacia el borde de la ventana de medición (101).

4.- Sensor (10) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que el punto de transición (112) es el primer punto de anulación desde el máximo al mínimo de la señal bipolar pre-procesada.

5.- Sensor (10) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que la unidad de evaluación (22) está configurada para la determinación del instante de la recepción en una fase de aprendizaje antepuesta y para una evaluación de la modificación del punto de transición (112) frente al instante de recepción aprendido en el funcionamiento, para calcular una modificación de la distancia.

6.- Sensor (10) de acuerdo con la reivindicación 5, en donde la unidad de evaluación (22) está configurada para aceptar una modificación de la distancia solamente cuando los valores del tiempo de propagación de la luz determinados a partir de una pluralidad de histogramas (110) indican un cambio en la distancia en un valor mínimo más frecuentemente que una distancia permanente.

7.- Sensor (10) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que el pre-procesador (28) presenta lo siguiente:

- un amplificador (30), en particular un amplificador de transimpedancia, para la amplificación de la señal y/o

- un filtro (32), en particular un filtro pasabanda o diferenciador, para la conversión de la señal eléctrica en primer lugar unipolar del receptor de luz (16) en una señal bipolar y/o

- un amplificador de limitación (34) para la amplificación de la porción positiva o bien negativa de la señal hasta un valor de saturación.

8.- Sensor (10) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que los elementos digitales (20, 22, 38) del sensor están implementados en un módulo digital, por ejemplo en una lógica programable, en ASIC o en una FPGA (18).

9.- Sensor (10) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que la unidad de evaluación (22) presenta una memoria para mantener el tiempo de propagación hasta una distancia conocida de un objetivo de calibración.

10.- Sensor (10) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que la unidad de evaluación (22) está configurada para una determinación del nivel de recepción, especialmente como máximo sobre uno o varios histogramas (110).

11.- Sensor (10) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que los elementos digitales (20, 22, 38) del sensor están implementados en un módulo digital como una FPGA (18), que presenta adicionalmente una instalación digital de regulación de la temperatura (38), que está configurada para una regulación de la temperatura, en el que en un ciclo de compensación de la temperatura en el instante de la generación del impulso luminoso individual una señal eléctrica de prueba de la temperatura es conducida hacia fuera del módulo digital (18) y de nuevo hacia dentro a través de un bucle de conductores (40) y se retarda la emisión del impulso luminoso individual en la medida de una desviación de tiempo entre el instante de información medido y el instante de información previsto de la señal de prueba de la temperatura.

12.- Sensor (10) de acuerdo con la reivindicación 11, en el que el sensor (10) está configurado para una realización del ciclo de compensación de la temperatura, respectivamente, después de una pluralidad de impulsos luminosos individuales emitidos, en particular de todos los impulsos luminosos individuales, que forman un histograma (110).

13.- Sensor (10) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que el sensor (10) presenta una instalación de compensación de las interferencias (20, 22), que puede variar los intervalos de tiempo entre los impulsos luminosos individuales en la medida de un desplazamiento sistemática y/o un desplazamiento aleatorio, en el que la unidad de evaluación (22) está configurada para tener en cuenta el desplazamiento.

14.- Procedimiento para la medición de la distancia o de una modificación de la distancia a partir de un tiempo de propagación de la luz de un impulso luminoso, en el que se emiten de forma sucesiva una pluralidad de impulsos luminosos individuales y se determina el tiempo de propagación de la luz a partir de un histograma temporal (110) de los tiempos de propagación entre la emisión y la recepción de los impulsos luminosos individuales, y en el que los impulsos luminosos individuales recibidos son transformados de manera análoga a una señal pre-procesada bipolar y son evaluados digitalmente después de una linealización, caracterizado porque el tiempo de propagación de la luz se determina de la siguiente manera:

- localización de la señal pre-procesada en una ventana de medición temporal (101), cuya anchura es la anchura total del histograma (110), a través de la representación grosera sistemática del retardo del impulso luminoso individual,

- desplazamiento de un punto de transición (112) desde un máximo hasta un mínimo o desde un mínimo hasta un máximo de la señal pre-procesada hasta un punto de observación en la ventana de medición (101), en particular el borde de la ventana de medición, a través de ajuste fino sistemático del retardo del impulso luminoso individual, y

- cálculo del tiempo de propagación de la luz a partir del retardo necesario.

15.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 14, en el que el punto de transición (112) es el primer punto de anulación desde el máximo hacia el mínimo de la señal bipolar pre-procesada.

16.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 14 ó 15, en el que la evaluación digital es implementada en un módulo digital, por ejemplo en lógica programable, en ASIC o en un FPGA (18).

17.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 16, en el que se realiza una regulación (38, 40, 20) para las oscilaciones de la temperatura, en el que en un ciclo de compensación de la temperatura en el instante de la generación del impulso luminoso individual, una señal eléctrica de prueba de la temperatura es conducida hacia fuera del módulo digital (18) y de nuevo hacia dentro a través de un bucle de conductores (40) y se retarda la emisión del impulso luminoso individual en la medida de una desviación de tiempo entre el instante de información medido y el instante de información previsto de la señal de prueba de la temperatura.

18.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 14 a 17, en el que los intervalos de tiempo entre los impulsos luminosos individuales son variados para una compensación de las interferencias en la medida de un desplazamiento sistemático y/o aleatorio.

Figura1

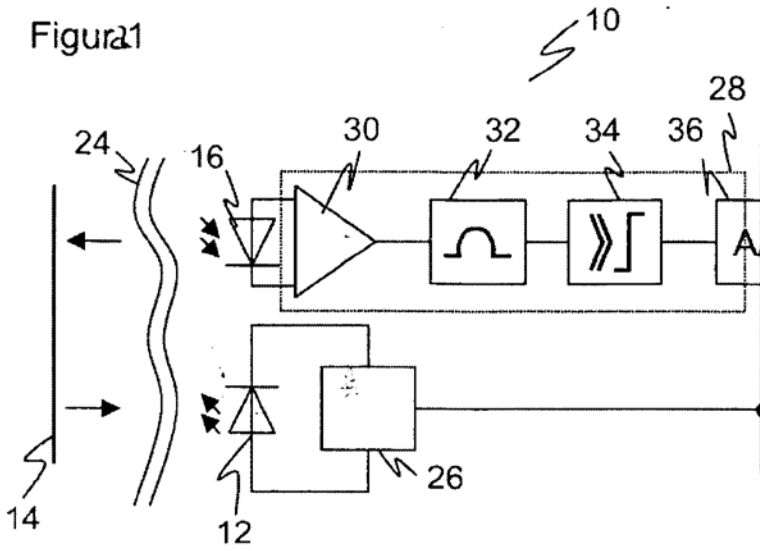


Figura2

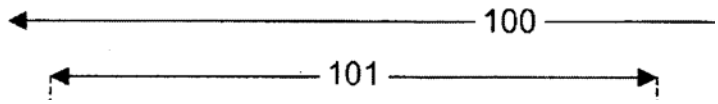

Figura3

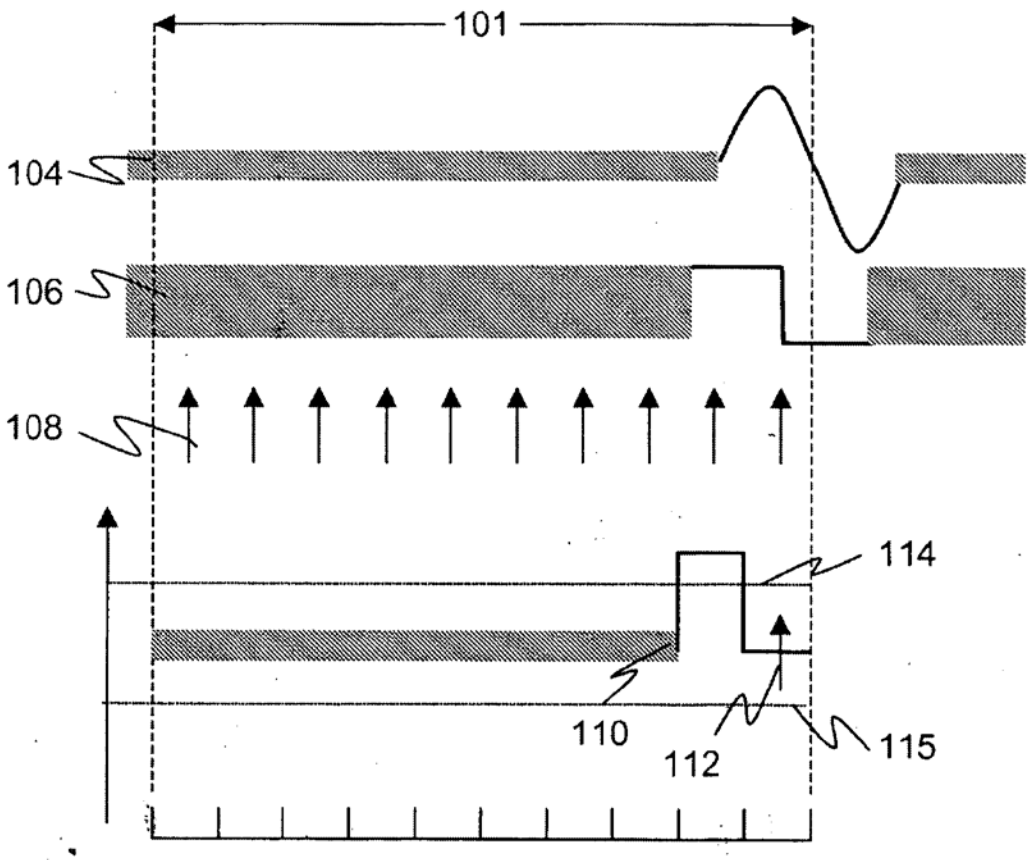


Figura4

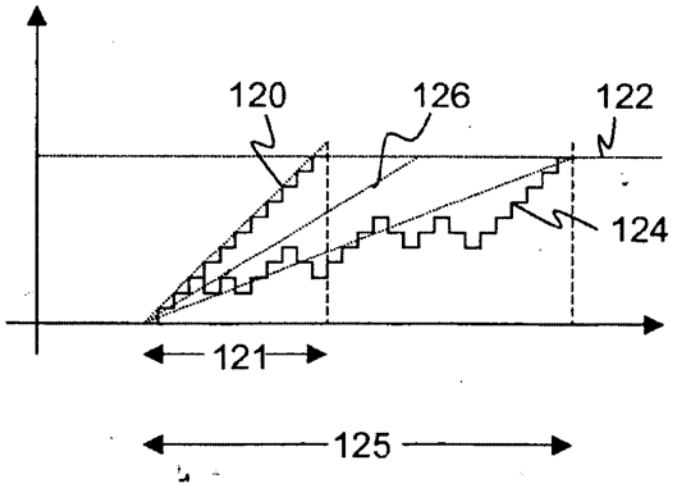

Figura 5

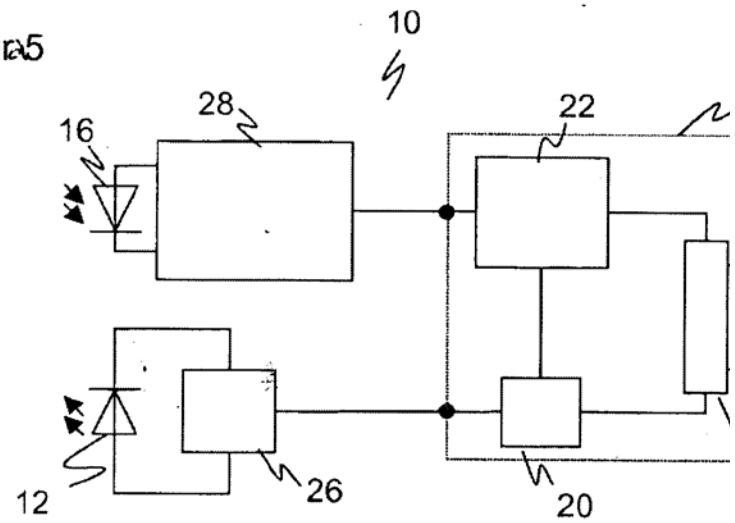


Figura 6

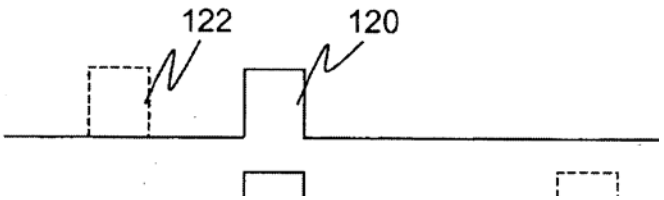
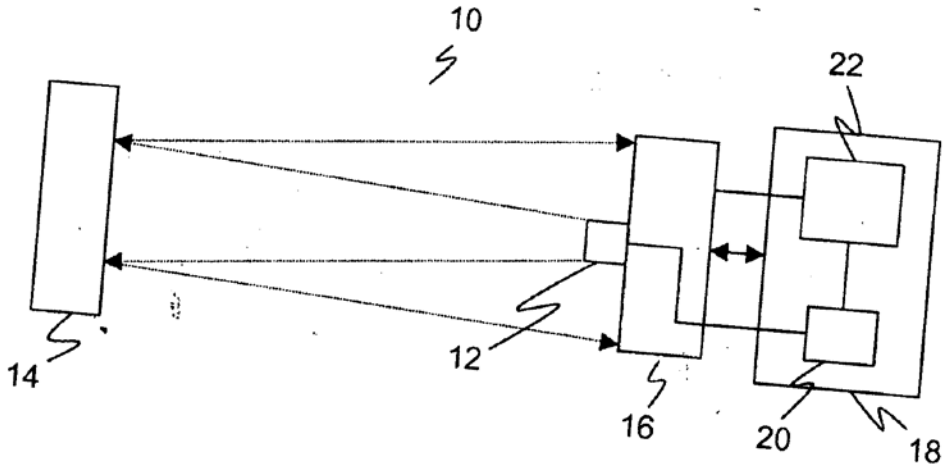
Figura 7