

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 893 447**

51 Int. Cl.:

G01B 7/02 (2006.01)

G01B 7/04 (2006.01)

B23K 26/04 (2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.11.2016** **PCT/EP2016/078123**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.05.2017** **WO17085246**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.11.2016** **E 16798480 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.08.2021** **EP 3377847**

54 Título: **Procedimiento para la regulación de distancia en el mecanizado por láser**

30 Prioridad:

19.11.2015 DE 102015120105

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

09.02.2022

73 Titular/es:

PRECITEC GMBH & CO. KG (100.0%)
Draisstraße 1
76571 Gaggenau-Bad Rotenfels, DE

72 Inventor/es:

SPÖRL, GEORG y
THIEL, MARC

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 893 447 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para la regulación de distancia en el mecanizado por láser

- 5 La invención se refiere a un procedimiento para la regulación de distancia en el mecanizado por láser empleando un circuito oscilante eléctrico, cuya frecuencia de oscilaciones depende de la distancia entre un cabezal de mecanizado por láser y una pieza de trabajo. Para una regulación de distancia dinámica en el mecanizado por láser, en particular en el corte por láser o soldadura por láser, se requiere una medición precisa de la distancia real entre el cabezal de mecanizado por láser y la pieza de trabajo con una tasa de medición lo más alta posible.
- 10 Un tipo conocido de medición de la distancia entre el cabezal de mecanizado por láser y la pieza de trabajo o, para ser más exactos, entre la punta de la tobera del cabezal de mecanizado por láser, a través de la cual sale el rayo láser de trabajo y a través de la cual, dado el caso, circula gas de proceso hacia la zona de interacción entre rayo láser de trabajo y la pieza de trabajo con alta presión, y la pieza de trabajo es la evaluación de la capacidad entre la punta de tobera y la pieza de trabajo. Para ello esta capacidad se integra en un circuito oscilante eléctrico, en particular en un circuito oscilante LC. Dado que la capacidad entre la punta de tobera y la pieza de trabajo depende de la distancia, con la variación de la distancia entre la punta de tobera y la pieza de trabajo varía también la frecuencia del circuito oscilante LC como consecuencia de la variación de la capacidad. Para extraer la información de distancia a partir de la frecuencia del circuito oscilante, la frecuencia de la oscilación se digitaliza habitualmente para el mecanizado posterior empleando un circuito electrónico correspondiente. Para ello habitualmente se cuentan los flancos de la señal de medición, es decir, de la señal de salida del circuito oscilante LC dentro de un intervalo de medición determinado. A este respecto, la resolución de la medición depende, entre otras cosas, de la selección del intervalo de medición. Cuanto más corto se seleccione el intervalo de medición, menor será el número de flancos contados y correspondientemente menor será la resolución resultante.
- 25 Si se acorta, por lo tanto, la duración del intervalo de medición, para obtener una alta tasa de medición, es decir, muchos valores de medición por tiempo, se obtiene así como resultado siempre una pérdida de resolución. Si, por ejemplo, en un intervalo de medición de 1 ms, la resolución fuera de 250 Hz, entonces la resolución en un intervalo de medición de 0,25 ms solamente ascendería a 1 kHz. El acortamiento del intervalo de medición, que es necesario para una alta tasa de medición y una dinámica elevada de la regulación de distancia, lleva entonces a una disminución de la resolución de medición y, como consecuencia, en particular en caso de distancias mayores entre la tobera y la pieza de trabajo, a una medición de distancia que no es tan exacta como cuando se emplea un intervalo de medición más largo.
- 30 Por el documento WO2012/022718A1 se conoce una medición de distancia capacitiva y/o inductiva, que se utiliza, en particular, en el corte o soldadura por láser. En este caso, la señal de salida de un circuito oscilante LC, en el que está integrada la capacidad y/o inductancia entre la punta de tobera y la pieza de trabajo, se alimenta inicialmente a un transmisor de valores umbral en forma de un disparador Schmitt, que transforma la señal de salida periódica del circuito oscilante LC en una señal de una señal de impulsos en forma de una señal rectangular. La señal rectangular se alimenta a través de un conmutador controlable a un contador digital. El conmutador controlable está conectado con un transmisor de ciclos de medición, que controla el conmutador de tal modo que este se abre y se cierra con una tasa de muestreo predeterminada. La apertura del conmutador da como resultado, a este respecto, la duración del intervalo de medición, por ejemplo, 1 ms, durante el cual los impulsos de la señal rectangular son alimentados al contador.
- 45 Para aumentar la exactitud de la medición de frecuencia y con ello la exactitud de medición para la distancia, se usa una lógica de disparo, que sincroniza el intervalo de medición con la señal de impulsos rectangular obtenida a partir de la señal de salida del circuito oscilante LC. La duración del intervalo de medición, que debido a la sincronización varía dependiendo de la frecuencia y, por tanto, dependiendo de la distancia, se determina entonces en un equipo de medición de tiempo con una exactitud de normalmente alrededor de 100 ps o menos. En este caso, por lo tanto, la duración del intervalo de medición varía en el periodo de oscilación de la frecuencia que va a medirse y debe medirse correspondientemente con exactitud, para poder averiguar la frecuencia de manera precisa. La tasa de medición no varía a este respecto.
- 50 El documento EP 2 546 598 A1 (por ejemplo, base del preámbulo de la reivindicación 1) describe un procedimiento para la determinación de la distancia entre la máquina-herramienta y la pieza de trabajo, en el que, utilizando una función de linealización, la frecuencia de un circuito oscilante se transforma en una distancia absoluta entre un electrodo de sensor y la pieza de trabajo. Para ello, como tres parámetros del ajuste simétrico se determinan una amplificación, una frecuencia límite inferior y una frecuencia límite superior del circuito oscilante o la amplificación, la frecuencia límite superior del circuito oscilante y el periodo de la oscilación de una frecuencia diferencial. Para poder determinar el periodo de la oscilación de una frecuencia diferencial, la señal de salida del circuito oscilante se aplica a un mezclador de frecuencias, al que se alimenta una oscilación de referencia por parte de un oscilador de referencia. La señal de salida del mezclador de frecuencias contiene la frecuencia diferencial y las componentes de suma de las frecuencias de entrada. Las componentes de suma se atenúan con un filtro paso bajo, mientras que la señal de frecuencia diferencial se alimenta a un divisor de frecuencia, cuya señal de salida se alimenta a una unidad procesamiento de datos y de control. Para la medición de distancia, a partir del periodo de la oscilación de la frecuencia
- 65

diferencial a la frecuencia límite inferior y del periodo de la oscilación de la frecuencia diferencial para la frecuencia de circuito oscilante, puede averiguarse la distancia teniendo en cuenta la amplificación.

La invención se basa en el objetivo de facilitar un procedimiento para la regulación de distancia en el mecanizado por láser empleando un circuito oscilante eléctrico que haga posible una medición precisa de la distancia entre un cabezal de mecanizado por láser y una pieza de trabajo con tasa de medición y exactitud de medición necesarias para el proceso de mecanizado.

Este objetivo se consigue mediante el procedimiento según la reivindicación 1. Configuraciones y perfeccionamientos ventajosos de la invención se describen en las reivindicaciones dependientes.

De acuerdo con la invención, la medición de frecuencia necesaria para averiguar la distancia no tiene lugar contando flancos de la señal de medición durante un intervalo de medición, sino que se mide la duración de periodo de la señal de circuito oscilante y se averigua la distancia entre el cabezal de mecanizado por láser y la pieza de trabajo en función de la duración de periodo medida de la señal de circuito oscilante, de modo que puede emitirse una correspondiente señal de distancia o de ajuste al dispositivo de ajuste.

Mediante la medición de la duración de periodo de la oscilación, puede averiguarse la distancia entre el cabezal de mecanizado por láser y la pieza de trabajo con gran exactitud en intervalos de tiempo muy cortos de 0,25 ms o menos para hacer posible una alta tasa de actualización y una dinámica de regulación elevada tanto para distancias cortas como para distancias mayores entre el cabezal de mecanizado por láser y la pieza de trabajo.

Para aumentar la resolución de frecuencia y, con ello, la exactitud de la determinación de la distancia, está previsto ventajosamente que se reduzca la frecuencia de la señal de circuito oscilante mediante división de frecuencia y, con ello, que se prolongue la duración de periodo de una señal de medición derivada a partir de la señal de circuito oscilante. Por consiguiente, se logra la exactitud necesaria para una regulación precisa de la distancia.

De manera conveniente, la duración de periodo de la señal de medición derivada a partir de la señal de circuito oscilante se mide por medio de un convertidor de tiempo a digital, al que se alimenta también una señal de referencia con frecuencia constante, y, a partir de una desviación de la duración de periodo medida de la señal de referencia con respecto a la duración de periodo fija conocida de la señal de referencia, se averigua un valor de corrección para la duración de periodo de la señal de medición. De este modo pueden evitarse influencias externas, en particular influencias térmicas en la medición de distancia y la regulación de distancia.

La dinámica de la regulación de distancia puede mejorarse adicionalmente cuando, para averiguar la distancia entre el cabezal de mecanizado por láser y la pieza de trabajo, la relación entre la duración de periodo de la señal de circuito oscilante y la distancia está almacenada en una tabla interna.

De manera conveniente, en la regulación de distancia de acuerdo con la invención se utiliza como circuito oscilante un circuito oscilante LC, que oscila con una frecuencia básica en el intervalo de 9 MHz a 11 MHz, preferentemente en el intervalo de 9,5 MHz a 10,5 MHz, en particular de alrededor de 10 MHz.

La invención se explica más detalladamente a continuación a modo de ejemplo con ayuda del dibujo. En este, muestra:

la Figura 1 un diagrama de bloques esquemático simplificado de un dispositivo de mecanizado por láser con un dispositivo de regulación de distancia para llevar a cabo el procedimiento de acuerdo con la invención, y

la Figura 2 una curva característica de un sensor de distancia capacitivo.

La figura 1 muestra esquemáticamente un cabezal de mecanizado por láser 10 de un dispositivo de mecanizado por láser, a través del cual un rayo láser de trabajo 11 se focaliza mediante una óptica de focalización 12 sobre una pieza de trabajo 14. Para medir la distancia d entre una punta de tobera 15 del cabezal de mecanizado por láser 10 y la pieza de trabajo 14, una capacidad C_m entre la punta de tobera 15 y la pieza de trabajo 14 está integrada en un circuito oscilante, en particular en un circuito oscilante 17 LC de un sensor de distancia 16. De manera conveniente, el circuito oscilante LC utilizado en el ejemplo de realización descrito oscila con una frecuencia básica de alrededor de 10 MHz. La frecuencia básica del circuito oscilante LC puede seleccionarse también de un intervalo de 9 MHz a 11 MHz, o preferentemente un intervalo de 9,5 MHz a 10,5 MHz. La señal de salida del circuito oscilante 17 LC que depende de la capacidad C_m entre la pieza de trabajo 14 y la punta de tobera 15 se suministra a un circuito electrónico 18, que determina la duración de periodo de la señal de frecuencia analógica para la medición de distancia.

Para ello, el circuito electrónico 18 presenta un convertidor de tiempo a digital 19, que averigua tiempos, tal como en este caso la duración de periodo de la señal de frecuencia analógica, con una exactitud en el rango de los picosegundos (ps). El convertidor de tiempo a digital 19 utiliza para ello, por ejemplo, retardos provocados por tiempos de propagación de compuerta internos. Dado que los tiempos de propagación de compuerta dependen en gran medida de la temperatura, al convertidor de tiempo a digital 19 no solo se alimenta la señal de salida del circuito oscilante LC 17, que representa en este caso el oscilador de medición, directamente o a través de un divisor de frecuencia T

indicado con líneas discontinuas en la figura 1, sino también una señal de referencia con frecuencia constante por parte de un oscilador de comparación R. Esto puede tener lugar simultáneamente en el caso de un convertidor de tiempo a digital 19 de dos canales. Si está previsto solo un canal de medición, esto puede tener lugar también de manera consecutiva.

A partir de una desviación de la duración de periodo medida de la señal de referencia con respecto a la duración de periodo fija conocida de la señal de referencia se averigua un valor de corrección para la duración de periodo de la señal de medición que se aplica al transformador de tiempo a digital 19. Por ejemplo, a la duración de periodo T_{mg} medida de la señal de medición se le puede sumar un valor ΔT , que resulta de la diferencia entre la duración de periodo medida y la conocida de la señal de referencia $T_{rg} - T_{rb}$ dividido por la duración de periodo medida de la señal de referencia T_{rg} y multiplicado por la duración de periodo T_{mg} medida de la señal de medición conforme a la siguiente ecuación: $\Delta T = T_{mg} * (T_{rg} - T_{rb}) / T_{rg}$

La duración de periodo T_m real de la señal de medición es entonces: $T_m = T_{mg} + \Delta T$

Tal como está indicado con líneas discontinuas en la figura 1, la señal de salida del circuito oscilante LC 17 puede alimentarse al convertidor de tiempo a digital 19, por tanto, también a través de un divisor de frecuencia T, para prolongar el periodo de medición, es decir, el periodo de oscilación de la señal de medición aplicada al convertidor de tiempo a digital 19, por lo que se aumenta la resolución de frecuencia de la medición y, por tanto, también la resolución de distancia.

La señal de tiempo T_p digital corregida puede suministrarse por parte del convertidor de tiempo a digital 19 a un convertidor de tiempo a frecuencia 20 que, a partir de la señal de tiempo T_p genera una señal de medición digital de la frecuencia del circuito oscilante LC 17, que se suministra a un circuito de conmutación electrónico 21. Sin embargo, de acuerdo con la invención la señal de tiempo T_p se suministra directamente al circuito de conmutación electrónico 21. El circuito de conmutación electrónico 21 podría extraer la información de distancia a partir de la frecuencia del circuito oscilante LC. De acuerdo con la presente invención, directamente a partir de la señal de tiempo T_p se extrae una señal de distancia D y se suministra a un dispositivo de regulación de distancia 22, que genera una correspondiente señal de ajuste para un dispositivo de ajuste 23 indicado en el dibujo mediante una doble flecha, que regula el cabezal de mecanizado por láser 10 en perpendicular a la superficie de pieza de trabajo para el ajuste y la regulación de la distancia d entre la punta de tobera 15 y la pieza de trabajo 14. La relación entre la frecuencia del circuito oscilante LC 17 y la distancia o la relación entre duración de periodo y distancia puede estar almacenada en una tabla interna.

La figura 2 muestra un ejemplo de una curva característica de frecuencia-distancia, es decir, un ejemplo de la dependencia de la frecuencia de un circuito oscilante LC 17, en el que está integrada la capacidad C_m dependiente de la frecuencia entre la punta de tobera 15 y la pieza de trabajo 14, con respecto a la distancia d entre la punta de tobera 15 y la pieza de trabajo 14. La curva característica, es decir, la relación funcional entre frecuencia y distancia se obtiene para cada cabezal de mecanizado por láser 10 individualmente en función de su configuración estructural, en particular debido a la configuración geométrica de la punta de tobera 15.

Si la punta de tobera 15 en el mecanizado por láser está dispuesta de manera muy ceñida por encima de la pieza de trabajo 14, entonces la capacidad de medición entre la punta de tobera 15 y la pieza de trabajo 14 se comporta casi igual que un condensador de placas ideal, de modo que incluso pequeñas variaciones de distancia llevan ya a variaciones de frecuencia claras. Sin embargo, cuanto más se aleje la punta de tobera 15 de la pieza de trabajo 14, más notables se hacen las capacidades parásitas, lo que se expresa en que, para grandes distancias entre la pieza de trabajo 14 y la punta de tobera 15, una variación de distancia relativamente grande tiene como consecuencia una variación de frecuencia relativamente pequeña. En otras palabras, pequeñas variaciones de distancia tienen como consecuencia variaciones de la capacidad y, por tanto, de la frecuencia, relativamente grandes, cuando la distancia entre la pieza de trabajo 14 y la punta de tobera 15 es pequeña, mientras que, en caso de grandes distancias, incluso variaciones relativamente grandes de la distancia tienen como consecuencia solo pequeñas variaciones de la capacidad y, por tanto, de la frecuencia.

En una configuración práctica de la invención, la frecuencia del circuito oscilante LC 17 se lleva a cabo mediante la medición de la duración de periodo de las oscilaciones de la señal de medición. Si, por ejemplo, la duración de periodo de una oscilación se mide a una frecuencia de 10 MHz, es decir, $0,1 \mu s = 100 ns$ con una exactitud de 100 ps, entonces la exactitud de medición que puede alcanzarse a este respecto es $\pm 0,1 \%$. Por consiguiente, en la medición de un periodo de oscilación individual, la resolución de frecuencia asciende a 10 kHz. Sin embargo, si la duración de periodo se prolonga mediante división de frecuencia, es decir, mediante reducción de la frecuencia de la señal de medición, de 10 a, por ejemplo, 1,25 MHz, entonces, la duración de periodo medida de las oscilaciones asciende a $0,8 \mu s$ y la resolución de frecuencia teórica es entonces de 1,25 kHz. Mediante división de frecuencia adicional son posibles mejoras adicionales de la resolución de frecuencia.

En comparación con la medición de frecuencia habitual mediante el conteo de los flancos de señal durante un intervalo de medición fijo, el tiempo de medición necesario para la medición puede acortarse drásticamente con una resolución de frecuencia alta. Por lo tanto, la tasa de medición que puede lograrse se establece, ante todo, por el tiempo de cálculo necesario y no por la duración del intervalo de medición propiamente dicho en correspondencia con la duración

de periodo de la señal de medición de entrada en el convertidor de tiempo a digital 19.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la regulación de distancia en el mecanizado por láser empleando un circuito oscilante eléctrico (17), cuya frecuencia de oscilación depende de la distancia entre un cabezal de mecanizado por láser (10) y una pieza de trabajo (14), y un dispositivo de ajuste (23) para ajustar la distancia (d) entre el cabezal de mecanizado por láser (10) y la pieza de trabajo (14), en el que
 - se mide la duración de periodo de la señal de circuito oscilante, y
 - se averigua la distancia (d) entre el cabezal de mecanizado por láser (10) y la pieza de trabajo (14) en función de la duración de periodo medida de la señal de circuito oscilante y se alimenta al dispositivo de ajuste (23),
 - caracterizado por que la duración de periodo de la señal de medición derivada a partir de la señal de circuito oscilante se mide por medio de un convertidor de tiempo a digital (19), al que se alimenta también una señal de referencia con frecuencia constante, y por que, a partir de una desviación de la duración de periodo medida de la señal de referencia con respecto a la duración de periodo fija conocida de la señal de referencia, se averigua un valor de corrección para la duración de periodo de la señal de medición.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que la frecuencia del circuito oscilante (17) se averigua a partir de la duración de periodo medida de la señal de circuito oscilante, y la distancia (d) entre el cabezal de mecanizado por láser (10) y la pieza de trabajo (14) se extrae a partir de la frecuencia averiguada del circuito oscilante (17).
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que la frecuencia de la señal de circuito oscilante se reduce mediante división de frecuencia y, con ello, se prolonga la duración de periodo de una señal de medición derivada a partir de la señal de circuito oscilante.
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que, para averiguar la distancia (d) entre el cabezal de mecanizado por láser (10) y la pieza de trabajo (14), la relación entre la duración de periodo de la señal de circuito oscilante y la distancia está almacenada en una tabla interna.
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que se utiliza un circuito oscilante LC como circuito oscilante, que oscila con una frecuencia básica en el intervalo de 9 MHz a 11 MHz, preferentemente en el intervalo de 9,5 MHz a 10,5 MHz, en particular con alrededor de 10 MHz.

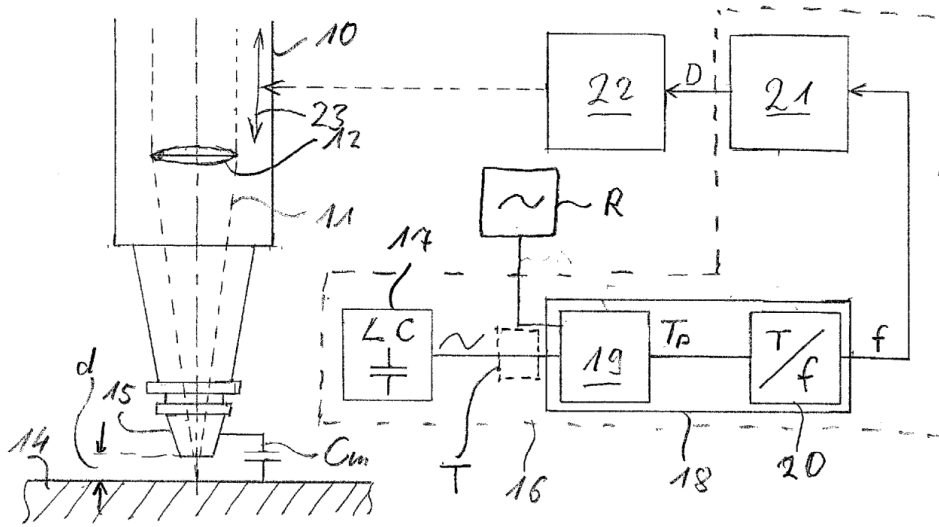


Fig. 1

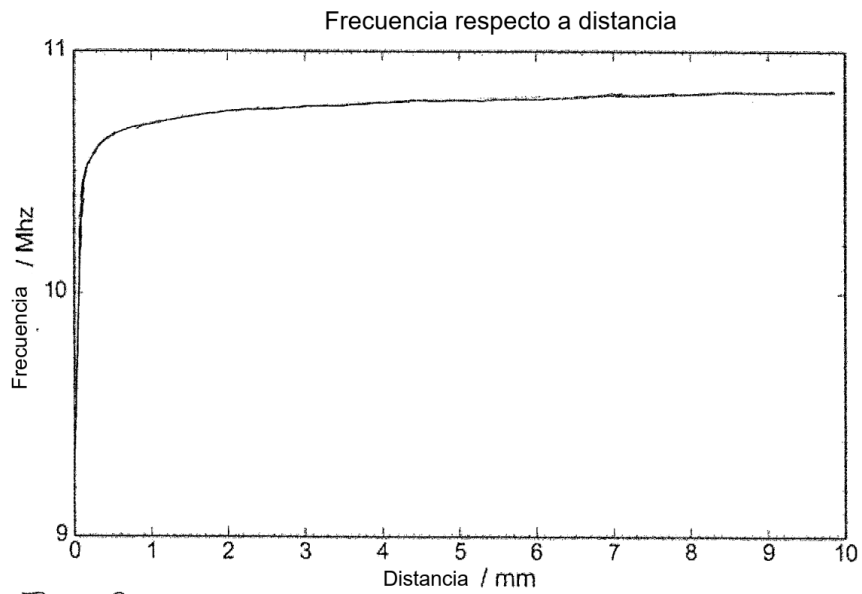


Fig. 2