

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 728 249**

51 Int. Cl.:

**H03K 7/08** (2006.01)

**H01S 3/097** (2006.01)

**H01S 3/102** (2006.01)

**H01S 3/223** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.10.2010 PCT/US2010/051819**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.04.2011 WO11046804**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.10.2010 E 10768132 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.04.2019 EP 2489124**

54 Título: **Control de modulación por ancho de pulsos digital de una fuente de alimentación de radiofrecuencia para láser pulsado**

30 Prioridad:

**30.03.2010 US 749781**

**13.10.2009 US 251162 P**

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

**23.10.2019**

73 Titular/es:

**COHERENT, INC. (100.0%)  
5100 Patrick Henry Drive  
Santa Clara, CA 95054, US**

72 Inventor/es:

**ALLIE, DAVID, JOHN**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

ES 2 728 249 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

Control de modulación por ancho de pulsos digital de una fuente de alimentación de radiofrecuencia para láser pulsado

5 **Campo técnico de la invención**

La presente invención se refiere en general a láseres de descarga de gas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) alimentados por una fuente de alimentación de radiofrecuencia (RF). La invención se refiere en particular a métodos de modulación por ancho de pulsos (PWM) para variar y controlar selectivamente la salida de potencia promedio de la fuente de alimentación de RF.

**Comentarios sobre los antecedentes de la técnica**

Un láser de descarga de gas de CO<sub>2</sub> se alimenta normalmente por una fuente de alimentación de RF de alta tensión (RFPS). La fuente de alimentación aplica tensión de RF a electrodos del láser de gas, que excitan una descarga en una mezcla de gas de acción láser que incluye CO<sub>2</sub> y gases inertes. La descarga tiene lugar dentro de un resonador de láser. La descarga energiza el gas de acción láser de manera que el gas energizado proporciona una ganancia óptica provocando que la radiación láser circule en el resonador de láser. Una porción predeterminada fija de la radiación circulante se desacopla del resonador de láser como radiación de salida. El láser se hace funcionar normalmente de manera pulsada y entrega pulsos a una potencia de pico predeterminada, durante una duración de pulso dada, y a una frecuencia de repetición de pulso (PRF) predeterminada. Normalmente, la PRF es de entre aproximadamente 1 kilohercio (kHz) y 200 kHz. La potencia promedio en un pulso de láser se refiere a la potencia promedio entregada por la fuente de alimentación de RF durante la duración del pulso. La fuente de alimentación de RF funciona normalmente a una frecuencia fija (RF) predeterminada entre aproximadamente 10 megahercios (MHz) y 150 MHz, siendo 100 MHz normalmente, es decir, mucho más alta que la PRF más alta contemplada del tren de pulsos.

La potencia en los pulsos de salida de láser se controla mediante la modulación del ancho del pulso de RF individual desde la fuente de alimentación de RF. Este método de control de potencia se denomina modulación por ancho de pulsos (PWM). La fuente de alimentación de RF se enciende (completamente) y se apaga (completamente) de manera periódica, generando de ese modo un tren de pulsos de RF que se proporcionan a la descarga de láser. Los pulsos de RF en el tren tienen el mismo tiempo de encendido y el mismo tiempo de apagado entre pulsos. El tren de pulsos se caracteriza por un ciclo de trabajo que es igual a la duración de pulso de un pulso dentro del tren de pulsos dividido entre el periodo de repetición del tren de pulsos. La potencia de RF entregada al láser se controla mediante la variación del ciclo de trabajo, que se realiza mediante la variación de la duración (al modular el ancho temporal) de los pulsos de RF durante el periodo de repetición. Independientemente de cuál sea el ciclo de trabajo, el ancho de todos los pulsos de RF en un tren de los mismos, es la misma.

La duración de los pulsos en un modulador por ancho de pulsos digitales (DPWM) se controla digitalmente, por tanto, un pulso en un tren solo puede alargarse o acortarse mediante incrementos fijos, determinándose la longitud de un incremento mediante la frecuencia de un reloj de sistema que entrega pulsos de reloj. De manera similar, el número de pulsos de RF en un tren se fija (de nuevo, digitalmente) en algún valor requerido para proporcionar que la potencia promedio de tren pueda considerarse equivalente a un valor de estado estacionario que el tren está intentando simular. Por consiguiente, la resolución, es decir, la precisión a la que puede controlarse la potencia de RF promedio, y la potencia correspondiente de un pulso de láser, se determina mediante el periodo de pulso de reloj en relación con el periodo de repetición del tren de pulsos de RF.

A modo de ejemplo, si un DPWM tiene una frecuencia de reloj  $f = 10$  MHz, cada periodo de ciclo de reloj es  $1/f = 0,1$  microsegundos. Si la PRF de láser = 1 kHz (correspondiente a la frecuencia de entrega de trenes de pulsos de RF), un periodo de modulación por ancho de pulsos completo contendrá  $10 \text{ MHz}/1 \text{ kHz} = 10,000$  ciclos de reloj y la resolución será 10,000, es decir, 0,01%. Si la PRF de láser se aumenta hasta 100 kHz con la misma frecuencia de reloj la resolución cae hasta  $10 \text{ MHz}/100 \text{ kHz} = 100$ , es decir, 1,0%. Con el fin de obtener la resolución posible en el caso de 1 kHz-PRF en 100 KHz, la frecuencia de reloj tendrá que aumentarse hasta 1 gigahercio (GHz). Esta frecuencia más alta no es práctica en un láser comercial ya que requiere los usos de componentes de circuito más rápidos y contadores más amplios correspondientemente, lo cual aumenta el coste del láser.

LIU, JUAN; TANG, XIAHUI; QIN, YINGXIONG; PENG, HAO; LI, LIN: "Study on pulse width modulation of RF excited CO<sub>2</sub> laser", SPIE, PO BOX 10 BELLINGHAM WA 98227-0010 USA, 31 de agosto de 2009, da a conocer una unidad de modulación de pulsos diseñada para modular el valor y la forma de una salida de láser. El objetivo del estudio es proporcionar medios y métodos para aumentar la precisión del control de potencia de láser de salida de láser de CO<sub>2</sub> excitado por RF, funcionando el láser en transcurso de ignición, modo de pulsos o modo continuo.

LI, BO; JIA, XINTING; YUAN, HAO; GAO, YUHU; WANG, YOUQING: "Control system of an excitation power supply for fast axial flow CO<sub>2</sub> lasers", SPIE, PO BOX 10 BELLINGHAM WA 98227-0010 USA, 31 de agosto de 2009, presenta un sistema de control de potencia de conmutación de láseres de CO<sub>2</sub> de flujo axial rápido. Las técnicas descritas

incluyen un principio de control, un diseño de programa y método de realización, que tienen el objetivo de proporcionar una fuente de alimentación que pueda mejorar la eficiencia y la calidad de procesamiento.

MARIAN PEARSICA ET AL: "Discharge Current Modulation to Obtain the Pulse Operation of a Power CO<sub>2</sub> Laser, with Continuous Flow of the Gas", INDUSTRIAL ELECTRONICS, 2007, IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM, 1 de junio de 2007, páginas 561-565, presenta métodos de excitación de pulsos de láseres de CO<sub>2</sub> que permiten un número aumentado de aplicaciones en procesamiento de material. El artículo presenta también un sistema de excitación de pulsos de láseres de CO<sub>2</sub>, con flujo continuo del gas, y con descarga eléctrica que permite la operación de pulso del láser y el control automático de sus parámetros durante el procesamiento de material.

La solicitud de patente US 2004/017603 da a conocer un método y un sistema para controlar un amplificador óptico en un sistema de guía de ondas óptico para reducir los efectos de ruido, particularmente debido a una emisión espontánea amplificada.

La solicitud de patente US 2003/001686 da a conocer un aparato mediante el cual, cuando la modulación por ancho de pulsos se realiza con un patrón de datos digital, se realiza una modulación por ancho de pulsos apropiada según las variaciones de un dispositivo o un sistema de accionamiento.

En la aplicación de procesamiento de láser para la cual se usan láseres de CO<sub>2</sub>, por ejemplo, en aplicaciones de procesamiento de dispositivo semiconductor, hay una tendencia al alza hacia el uso de frecuencias de repetición de pulso más altas, por ejemplo, de hasta 200 kHz o mayores. Generalmente, se desea una precisión de control de potencia significativamente por encima del 1%. Se necesita un método de PWM que permita esta precisión de control con frecuencias de reloj razonables, por ejemplo, entre aproximadamente 1 MHz y 10 MHz.

## Sumario de la invención

La presente invención se refiere a un método y un aparato para controlar, mediante modulación por ancho de pulsos, la potencia de salida de un láser de descarga de gas pulsado alimentado por una fuente de alimentación de RF pulsada. En un aspecto de la presente invención, el método de modulación por ancho de pulsos comprende entregar un tren de pulsos digitales a la fuente de alimentación de RF. El tren tiene un número predeterminado de pulsos en el mismo, y cada pulso en el tren tiene una duración variable de manera progresiva. La fuente de alimentación se dispone para entregar un tren de pulsos de RF correspondientes en número y duración al tren de pulsos digitales recibido, teniendo cada tren de pulsos de RF una potencia promedio dependiente de la duración del tren de pulsos de RF y la duración agregada de pulsos en el tren de pulsos de RF. La potencia promedio en el tren de pulsos de RF puede variarse mediante la variación de manera progresiva de la duración de uno o más de, pero menos de todos, los pulsos digitales en el tren de los mismos.

En una realización preferida del método de modulación por ancho de pulsos inventivo, la duración de los pulsos digitales en el tren de los mismos se controla mediante pulsos entregados por un reloj digital. La variación progresiva de la duración del uno o más pulsos digitales es uno o más de los periodos de repetición de pulso del reloj digital. El método de modulación por ancho de pulsos inventivo se denomina, en el presente documento, método de modulación por ancho de pulsos digital de módulo doble (DMDPWM).

## Breve descripción de los dibujos

Las figuras 1A, 1B, 1C y 1D son gráficos de tensión como una función de tiempo que ilustran esquemáticamente principios del método (DMDPWM) de la presente invención y que representan parámetros de pulsos digitales como una función de periodos de ciclo de reloj en un ejemplo simplificado del método.

La figura 2 es un diagrama de bloques de circuito de alto nivel que ilustra esquemáticamente una realización preferida de conjunto de circuitos de modulador por ancho de pulso digital para implementar el método de la presente invención que incluye un procesador de señal para traducir peticiones de usuario a tres palabras digitales, el conjunto de circuitos de recuento de anchura de pulso y periodo sensible a dos de las palabras digitales y el conjunto de circuitos de recuento de módulo N sensible a la otra palabra digital.

La figura 3 es un diagrama de circuito que ilustra esquemáticamente una configuración preferida del conjunto de circuitos de recuento de módulo N de la figura 2

La figura 4 es un diagrama de circuito lógico que ilustra esquemáticamente una configuración preferida del conjunto de circuitos de anchura de pulso y periodo de la figura 2, y detalles de la interacción de ese conjunto de circuitos con el conjunto de circuitos de recuento de módulo N de la figura 3.

## Descripción detallada de la invención

Las figuras 1A-D ilustran esquemáticamente parámetros de pulsos digitales como una función de periodos de ciclo de reloj en un ejemplo simplificado de método de modulación por ancho de pulsos digital de módulo doble (DMDPWM)

de la presente invención. Los parámetros son un ancho (valor de número entero) F de trama (tren de pulsos), en el presente documento, que comprende 4 pulsos (F = 4); y un periodo P (valor de número entero), en el presente documento, que comprende 5 periodos de ciclo de reloj t (P = 5t). Obsérvese que, normalmente, se entregarán tramas de pulso repetidamente en el uso práctico de un láser, pero pueden darse parámetros diferentes de una repetición a la siguiente, según sea necesario.

El periodo de ciclo de reloj t es igual a 1/f, donde f es la frecuencia de reloj. En la figura 1A, todos los pulsos tienen un ancho básico (duración) W igual a 2t. La amplitud de tensión de los pulsos se representa mediante V. Tal como se resumió anteriormente, pueden darse diversos valores promedio a la potencia entregada en una trama de pulso aumentando de manera progresiva (dilatando) la duración de uno o más pulsos en la trama más allá de la duración básica. El número de pulsos dilatados en una trama se designa por un parámetro de número entero N. En el ejemplo de la figura 1A no hay dilatación (N = 0) de ninguno de los pulsos dentro de la trama F = 4.

En el ejemplo de la figura 1B, un pulso (el cuarto en la trama de cuatro pulsos) se dilata (N = 1) dentro de la trama de 4 pulsos. La cantidad de dilataciones es un periodo de ciclo de reloj t.

En el ejemplo de la figura 1C, dos pulsos (el segundo y el cuarto en la trama de cuatro pulsos) se dilatan (N = 1) dentro de la trama de 4 pulsos. La cantidad de dilataciones para cada uno de los pulsos dilatados es un periodo de ciclo de reloj t.

En el ejemplo de la figura 1D, cada uno de los cuatro pulsos en la trama se dilata un periodo de ciclo de reloj. En este caso, como la totalidad de los 4 pulsos dentro de la trama se dilatan, el ancho de pulso básico de cada pulso aumenta a W = 3 periodos de ciclo de reloj. Por consiguiente, N = 0 de nuevo como en el ejemplo de la figura 1A.

Debe observarse, en este caso, que los trenes de pulsos de las figuras 1A-D son trenes de pulsos digitales que se entregan a la RFPS mediante el conjunto de circuitos de DMDPWM inventivo descrito en detalle a continuación en el presente documento. En un láser de descarga de gas accionado por RF, el tren de pulsos ordenará a un RFPS que entregue trenes correspondientes de pulsos de salida de láser de energía de RF, que producirán pulsos correspondientes de energía de láser. La envolvente de los pulsos de salida de láser será similar a la envolvente de los pulsos digitales excepto por tiempos de ascenso y caída más lentos. El término envolvente se usa, en el presente documento, reconociendo que los pulsos de RF serán de tensión variable a frecuencia de RF por debajo de la envolvente.

La potencia promedio de una trama de pulsos puede representarse mediante un ciclo de trabajo D, que es la suma de la duración de todos los pulsos dentro de la trama dividida entre la duración de la trama. El valor promedio del tren de pulsos determina la potencia promedio de salida de láser. Tal como se observó anteriormente, en métodos de DPWM de la técnica anterior, el ancho de todos los pulsos en un tren se aumenta para aumentar el ciclo de trabajo. Por consiguiente, la resolución está limitada por el número de ciclos de reloj en un periodo de repetición de pulso del láser. En este método inventivo, donde en el ancho de pulsos individuales en una trama puede aumentarse, la resolución se aumenta de manera efectiva por 1/F, donde F es el número de pulsos en una trama que pueden dilatarse.

Los pulsos dilatados pueden distribuirse uniformemente por toda una trama. Esto da como resultado una forma de onda de salida más suave que se produce en el caso en el que todos los pulsos dilatados se agrupan. Este suavizado de la forma de onda de salida es importante para minimizar el rizado de amplitud de pico a pico de la salida de la RFPS que acciona el láser. Este suavizado de la salida de RFPS se traduce en una salida de potencia más suave desde el láser. Dilatando la duración de pulsos desde un valor básico solo un ciclo de reloj, que puede ser un incremento de tiempo muy pequeño, y que puede ser importante en la minimización de este rizado.

A modo de ejemplo, en un caso en el que N = 0 y F es algún número de pulsos que pueden dilatarse, entonces el valor promedio de la forma de onda con amplitud de pico V, anchura de pulso W y un periodo P emitido fuera del DMDPWM se da mediante una expresión:

$$VWF/PF = VD \quad (1)$$

donde D = W/P y es el ciclo de trabajo de la forma de onda. Si el ancho de pulso, que es un número W de periodos de ciclo de reloj t, de un número N de F pulsos en una trama de pulsos, se aumenta un periodo de ciclo de reloj "t", el valor de la forma de onda de salida a partir del DMDPWM se da mediante una expresión:

$$VW(1 + F - N)/PF + VNT/PF \quad (2)$$

Para N=1, la expresión (2) se reduce a

$$V(D + d) \quad (3)$$

donde d = t/FP es el aumento en el ciclo de trabajo del tren de pulsos y D = W/P, el ciclo de trabajo.

Para este ejemplo, donde uno de los pulsos dentro de una trama se aumenta un periodo de ciclo de reloj  $t$ , la resolución de control de ciclo de trabajo efectivo se ha mejorado por  $1/F$ . Si  $F$  consiste en 8 bits, dando una trama de 256 pulsos, la mejora de resolución de control de ciclo de trabajo es  $1/256$  o 0,0039. Este nivel de precisión es crítico al obtener control de bucle cerrado preciso de un RFPS que tiene una PRF alta que proporciona potencia de ENCENDIDO/APAGADO a un láser de gas controlado de bucle cerrado. La ventaja del enfoque de DMDPWM es que puede obtenerse una alta resolución con frecuencias de reloj relativamente bajas al tiempo que se mantiene la alta resolución cuando la PRF se aumenta sin tener que cambiar la frecuencia de reloj.

Adicionalmente a modo de ejemplo, si se desea mejorar la resolución de un DPWM básico de 8-bit proporcionando un tren de 256 pulsos mediante la implementación del DPWM básico como un dispositivo de DMDPWM según la presente invención, la resolución se mejora dilatando algunos de los pulsos un ciclo de reloj  $t$ . Para dilatar los pulsos, se proporciona información de anchura de pulso al DMDPWM mediante un procesador de señal en respuesta a una entrada de usuario. Esta información se define mediante una palabra digital "W", que especifica la duración, en ciclos de reloj, de un pulso no dilatado, y una palabra digital "N" que especifica el número de pulsos en el tren de pulsos que va a dilatarse; si  $N = 0$ , no se dilatan pulsos; si  $N = 1$ , se dilata un pulso de cada 256 pulsos; y así sucesivamente. Si  $N = 255$ , se dilata cada pulso salvo uno. Si  $N$  se incrementa por encima de 255,  $N$  vuelve a cero y genera un "acarreo" que se usa para incrementar  $W$ . El resultado es que pueden dilatarse 256 pulsos de 256. Efectivamente,  $W$  y  $N$  pueden concatenarse en una sola palabra digital  $WN$  donde cada movimiento de una posición de bit a la izquierda representa un aumento de  $2x$  en el ciclo de trabajo.

La figura 2 es un diagrama de bloques de circuito de alto nivel que ilustra esquemáticamente una realización preferida de un modulador por ancho de pulso digital de módulo doble (DMDPWM) según la presente invención. El DMDPWM incluye un procesador de señal (microprocesador) 12 que incluye un reloj de sistema 14. El DMDPWM incluye también un conjunto de circuitos de modulación por ancho de pulsos 16 que incluye un periodo y un contador de anchura de pulso (periodo/PW) 18 y un contador de módulo  $N$  20. Un reloj 14 entrega pulsos de reloj al contador de periodo/PW. Un usuario introduce al procesador de señal un periodo de repetición de pulso  $P_1$  deseado, un ancho de pulso  $W_1$  básica (mínima) deseada, y una resolución deseada en forma de un número de pulsos  $N_1$  que van a dilatarse. El procesador de señal traduce estas entradas en palabras digitales  $P$  (22),  $W$  (24) y  $N$  (26). Las palabras digitales  $P$  y  $W$  se proporcionan al contador 18 y la palabra digital  $N$  se proporciona al contador 20.

El conjunto de circuitos funciona de la siguiente manera.

Cada vez que el contador 18 cuenta pulsos de reloj hasta un periodo  $P$ , el contador se reinicia a cero y la señal de salida del DPWM, es decir, de salida del contador 18, para la fuente de alimentación de RF pasa a un valor alto. Cada vez que el contador 18 cuenta hasta  $W$ , es decir, el ancho de pulso básico, la señal de salida del DPWM, para la RFPS pasa a un valor bajo. Parte de la señal de salida de DPWM se dirige al contador 20 de 256 de módulo  $N$  para servir de reloj para el contador de 256 de módulo  $N$ . Cada vez que la señal de salida de PWM es alta, el contador 20 avanza de uno en uno. El contador 20 produce una señal de salida alta  $N$  veces fuera de 256 pulsos del DMDPWM. Siempre que la señal de salida de contador 20 sea alta, el ancho de pulso es  $W + 1$  en lugar de  $W$ . El contador 20 proporciona esta información de salida de acarreo al contador 18 tal como se indica en la figura 2.

Para minimizar el "rizado" en la salida de RFPS (y, de manera correspondiente, salida de láser) provocado por la inserción de pulsos de duración  $W + 1$  (dilatados) de entre pulsos de duración  $W$  (no dilatados) en el tren de pulsos de salida, es deseable que los pulsos dilatados se distribuyan relativamente de manera uniforme por toda la secuencia de 256 pulsos de salida de DPWM, en vez de "agruparse" dentro de la secuencia. La figura 3 ilustra esquemáticamente un ejemplo de una disposición de contador de 256 de módulo  $N$  20 que completa esta tarea.

En el presente documento, el contador 20 incluye un adicionador de 8 bit 28 y un biestable  $D$  de 8 bit 30. Debe observarse, en este caso, que el adicionador 28 y biestable 30 deben tener el mismo número de bits, independientemente de cuál sea ese número de bits. En el presente documento, se usan 8 bits para mejorar la resolución de PWM básica por 256, es decir,  $2^8$ .

Cada vez que el biestable 30 se cronometra por la salida del contador 18 de la figura 2, el contenido del biestable 30 se incrementa en  $N$ . La salida de biestable 30 puede pensarse como el "estado presente" del circuito 20, y la entrada del biestable puede pensarse como el "siguiente estado" del circuito 20. Obsérvese que el estado presente se aplica a la entrada de adicionador de 8 bit 28 junto con la palabra digital  $N$ . El adicionador 28 suma estas dos cantidades para formar el siguiente estado. Dicho de otro modo, el siguiente estado = el estado presente +  $N$ .

Cuando la entrada de reloj del biestable  $D$  de 8 bit 30 pasa de baja a alta, los datos en la entrada ( $D$ ) del biestable se transfieren a la salida ( $Q$ ) del biestable. El resultado es que el circuito 20 cuenta por  $N$ . La salida de salida de acarreo solo tiene una alta señal a continuación de estos ciclos de reloj en los que los resultados de la adición exceden 255. A modo de ejemplo, si el estado de contador es 0 y  $N = 1$ , el contador contará de uno en uno (1, 2, 3, etc.), y claramente se excederá cada 256 ciclos de reloj. Si  $N = 2$  el contador contará de dos en dos (2, 4, 6, etc.), y se excederá después de 128 (es decir,  $256/2$ ) ciclos. El comportamiento del contador es más complejo cuando  $N$  no es un factor de número entero de 256 (por ejemplo,  $N = 3$ ), sino que, a largo plazo, los pulsos de salida  $N$  se producirán cada 256 ciclos de

reloj, y se distribuirán en la secuencia de 256 ciclos de reloj, en vez de agruparse dentro de la secuencia.

La presente invención se describió anteriormente en un contexto de extensión de la resolución de un DPWM básico (técnica anterior) en 8 bits. La elección de los 8-bits, en este caso, es arbitraria, pero práctica. El aumento de resolución, sin embargo, puede elegirse para aumentar en una cantidad mayor o menor. A modo de ejemplo, si se deseaba mejorar la resolución 10 bits, podía usarse un contador de 1024 de módulo N, y los pulsos “dilatados” se distribuirían en tramas de 1024 pulsos de salida. La resolución, en teoría al menos, podía extenderse fácilmente a un número de bits incluso más alto. En cierto nivel, sin embargo, habrá una disminución de retornos puesto que se generarán componentes de rizado periódico en cierta fracción de la frecuencia de salida de láser.

El conjunto de circuitos 16, descrito anteriormente de manera funcional con referencia a la figura 2 y la figura 3, puede implementarse en un solo dispositivo lógico programable complejo (CPLD) comercialmente disponible. El conjunto de circuitos inventivo se sometió a prueba de manera experimental en un modelo EPM240T CPLD disponible de ALTERA Corporation de Santa Clara, California. Los expertos en la técnica de la electrónica reconocerán, a partir de la descripción de la presente invención presentada en el presente documento, que el conjunto de circuitos lógico según la presente invención puede implementarse en otros dispositivos lógicos programables, o incluso en una pluralidad de dispositivos lógicos individuales, sin apartarse del espíritu y el alcance de la presente invención.

El conjunto de circuitos 16 de la figura 4 funciona de la siguiente manera. Un contador 32 en el conjunto de circuitos 18 cuenta de uno en uno con cada transición de la señal de reloj 14 del procesador de señal (véase la figura 2). La salida de contador 32 se alimenta a dos comparadores digitales 34 y 36. Siempre que los datos en las entradas A y B de cualquiera de los comparadores sean iguales, la salida de ese comparador pasa a la lógica 1. Si A y B no son iguales en ninguno de los comparadores, la salida de ese comparador no pasará a la lógica cero.

Un ciclo de pulsos de salida de PWM (tren de pulsos) comienza cuando una señal de salida del contador 32 iguala al valor P introducido desde el procesador de señal. La salida del comparador 36 pasa a la lógica 1, provocando que el contador 32 se reinicie a cero, y estableciendo un biestable de establecimiento-reinicio (SR) 38 a la lógica 1. Esto marca el inicio de un pulso de salida de PWM fuera del biestable de SR 38.

El contador 32 retoma el recuento desde cero, y cuando la salida de contador iguala el valor de la palabra digital W introducido, la salida del comparador digital 34 pasa a la lógica 1. Se asume, en el presente documento, que la puerta AND 40 que sigue al comparador 34 se habilita. Siendo este el caso, la lógica 1 desde el comparador 34 se propaga a través de la puerta AND, y a través de una puerta OR 42 a la entrada reiniciada (R) del biestable SR 38 reiniciando la salida del biestable a la lógica 0. Esto marca el fin del pulso de salida de PWM. La salida de PWM permanecerá entonces en la lógica 0 hasta que el contador 32 haya contado de nuevo hasta el valor de la palabra digital P. Cuando esto ocurre, la salida de PWM fuera del biestable SR 38 se establecerá de nuevo a la lógica 1, y comenzará el siguiente ciclo de pulso de salida de PWM.

Si la puerta AND 40 no se habilitó cuando la salida del comparador 34 pasó a la lógica 1, la salida del comparador no se habrá propagado inmediatamente a la entrada reiniciada del biestable SR 38. En su lugar, la salida Q de un biestable D 44 se acciona como un elemento de retardo de ciclo de reloj. En este caso, la entrada reiniciada del biestable SR recibe su señal para terminar un pulso un ciclo de reloj más tarde de lo que lo haría si la puerta AND 42 se hubiese habilitado. El pulso de salida de PWM, por consiguiente, se “dilata” un ciclo de reloj.

El conjunto de circuitos 20, que comprende un adicionador 28 y un biestable D 30 (que actúa conjuntamente con un inversor 46 en el conjunto de circuitos 18) “decide” si la puerta AND 40 debe habilitarse o no, es decir, si el pulso de salida de PWM debe ser “normal” o “dilatado”. El funcionamiento del conjunto de circuitos 20 para tomar la “decisión” se describió anteriormente con referencia a la figura 3.

En resumen, la presente invención se describió anteriormente en cuanto a una preferida y otras realizaciones. La invención no está limitada, sin embargo, por las realizaciones descritas y representadas. Más bien, la invención sólo se limita por las reivindicaciones adjuntas al presente documento.

**REIVINDICACIONES**

1. Método de modulación por ancho de pulso, para controlar la salida de una fuente de alimentación de RF para un láser de descarga de gas, que comprende:
 

5 entregar un tren de pulsos digitales que tiene un número predeterminado de pulsos en el mismo a la fuente de alimentación de RF, teniendo cada pulso en el tren una duración variable progresiva de manera independiente e individual;

10 disponer la fuente de alimentación para entregar un tren de pulsos de RF correspondientes en número y duración al tren de pulsos digitales recibido, teniendo el tren de pulsos de RF una potencia promedio dependiente de la duración del tren de pulsos de RF y una duración agregada de pulsos en el tren; y

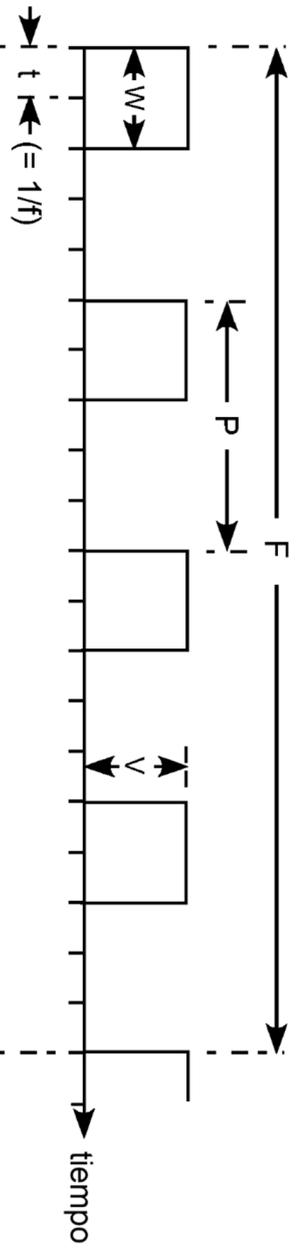
15 variar de manera progresiva la duración de uno o más de, pero menos de todos, los pulsos digitales en el tren de los mismos para variar selectivamente la potencia promedio en el tren de pulsos de RF correspondiente.
2. Método según la reivindicación 1, en el que la duración de una pluralidad de pulsos en el tren de los mismos se varía de manera progresiva y los pulsos variados de manera progresiva se distribuyen uniformemente en el tren.
3. Método según la reivindicación 1, en el que la duración de los pulsos digitales en el tren de los mismos se controla mediante pulsos entregados por un reloj digital que tiene un periodo de ciclo de reloj, y en el que la variación progresiva de la duración del uno o más pulsos digitales, es un periodo de ciclo de reloj.
4. Método según la reivindicación 3, en el que los pulsos en el tren de pulsos digitales tienen una duración básica de uno o más periodos de ciclo de reloj y la variación progresiva de la duración del uno o más de los pulsos digitales se ve afectada por el incremento de la duración del uno o más pulsos por un periodo de ciclo de reloj.
5. Método según la reivindicación 4, en el que la duración de una pluralidad de pulsos en el tren de los mismos se aumenta de manera progresiva, y en el que los pulsos de duración aumentada de manera progresiva se distribuyen uniformemente en el tren.
6. Método según la reivindicación 5, en el que hay N pulsos en el tren de los mismos, la duración de N/M de los pulsos donde M es un número entero que puede dividirse en N para proporcionar un resultado de número entero y la duración de cada M<sup>ésimo</sup> pulso en el tren de los mismos se aumenta por un periodo de ciclo de reloj.
7. Método según la reivindicación 6, en el que hay 256 pulsos en el tren de los mismos.
8. Aparato de láser de descarga de gas que comprende:
 

45 una fuente de alimentación de radiofrecuencia (RFPS) para excitar una descarga de gas en el aparato de láser;

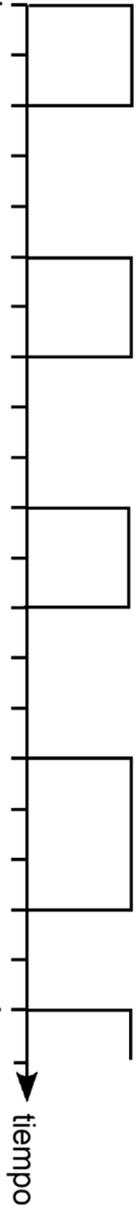
50 un modulador por ancho de pulso (16) dispuesto para entregar trenes repetidos de pulsos digitales, teniendo cada uno de los trenes la misma duración y el mismo número predeterminado de pulsos en los mismos, a la RFPS, teniendo cada pulso en cada uno de los trenes una duración variable progresiva de manera independiente e individual, estando dispuesta la RFPS para entregar un tren de pulsos de RF correspondiente en número y duración al tren de pulsos digitales recibido, teniendo cada tren de pulsos de RF una potencia promedio dependiente de la duración del tren de pulsos de RF y una duración agregada de pulsos en el tren; y

55 en el que la potencia promedio en uno cualquiera de los trenes de pulsos entregados por la RFPS con respecto a otro puede variarse selectivamente mediante la variación de manera progresiva de la duración de uno o más de, pero menos de todos, los pulsos digitales en el correspondiente tren de los mismos.
9. Aparato según la reivindicación 8, en el que, si la duración de una pluralidad de pulsos en el tren de los mismos se varía de manera progresiva, los pulsos variados de manera progresiva se distribuyen uniformemente en el tren.
10. Aparato según la reivindicación 8, en el que la duración de los pulsos digitales en el tren de los mismos se controla mediante pulsos entregados por un reloj digital que tiene un periodo de ciclo de reloj, y en el que la variación progresiva de la duración del uno o más pulsos digitales es un periodo de ciclo de reloj.

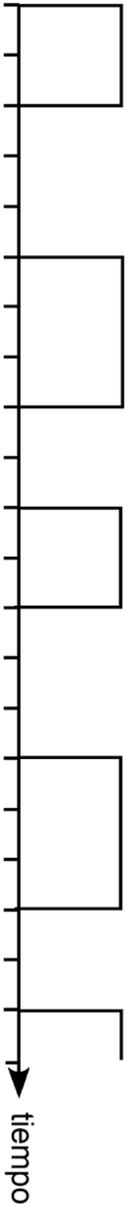
11. Aparato según la reivindicación 10, en el que pulsos en el tren de pulsos digitales tienen una duración básica de uno o más periodos de ciclo de reloj y la variación progresiva de la duración del uno o más de los pulsos digitales está aumentando la duración del uno o más pulsos por un periodo de ciclo de reloj.
- 5 12. Aparato según la reivindicación 11, en el que la duración de una pluralidad de pulsos en el tren de los mismos se aumenta de manera progresiva, y en el que los pulsos de duración aumentada de manera progresiva se distribuyen uniformemente en el tren.
- 10 13. Aparato según la reivindicación 12, en el que hay N pulsos en el tren de los mismos, la duración de N/M de los pulsos donde M es un número entero que puede dividirse en N para proporcionar un resultado de número entero y la duración de cada M<sup>ésimo</sup> pulso en el tren de los mismos se aumenta por un periodo de ciclo de reloj.
- 15 14. Aparato según la reivindicación 13, en el que hay 256 pulsos en el tren de los mismos.
- 15 15. Método según la reivindicación 1, que comprende, además:  
entregar trenes repetidos de pulsos digitales, teniendo cada tren de pulsos la misma duración, y  
20 disponer la fuente de alimentación para entregar trenes repetidos de Pulsos de RF.
16. Método según la reivindicación 15, en el que la duración de los pulsos digitales en el tren de los mismos se controla mediante pulsos entregados por un reloj digital que tiene un periodo de ciclo de reloj, y en el que la  
25 variación progresiva de la duración del uno o más pulsos digitales, es un periodo de ciclo de reloj.



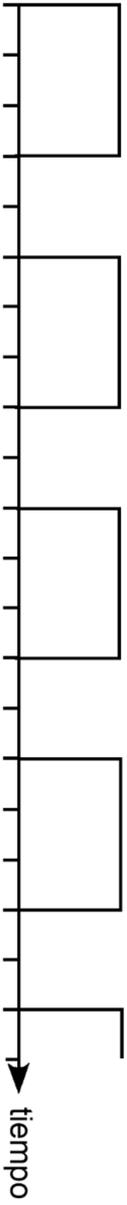
**FIG. 1A** ( $N=0$   
 $W=2$ )



**FIG. 1B** ( $N=1$   
 $W=2$ )



**FIG. 1C** ( $N=2$   
 $W=2$ )



**FIG. 1D** ( $N=0$   
 $W=3$ )

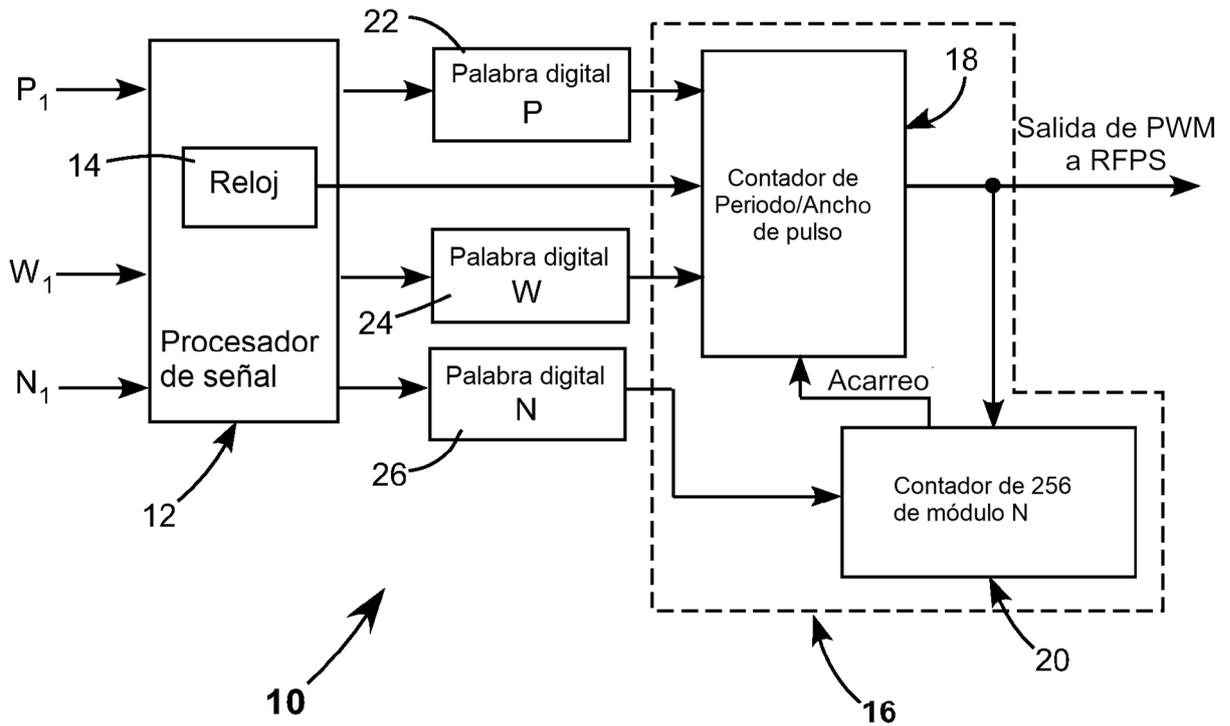


FIG. 2

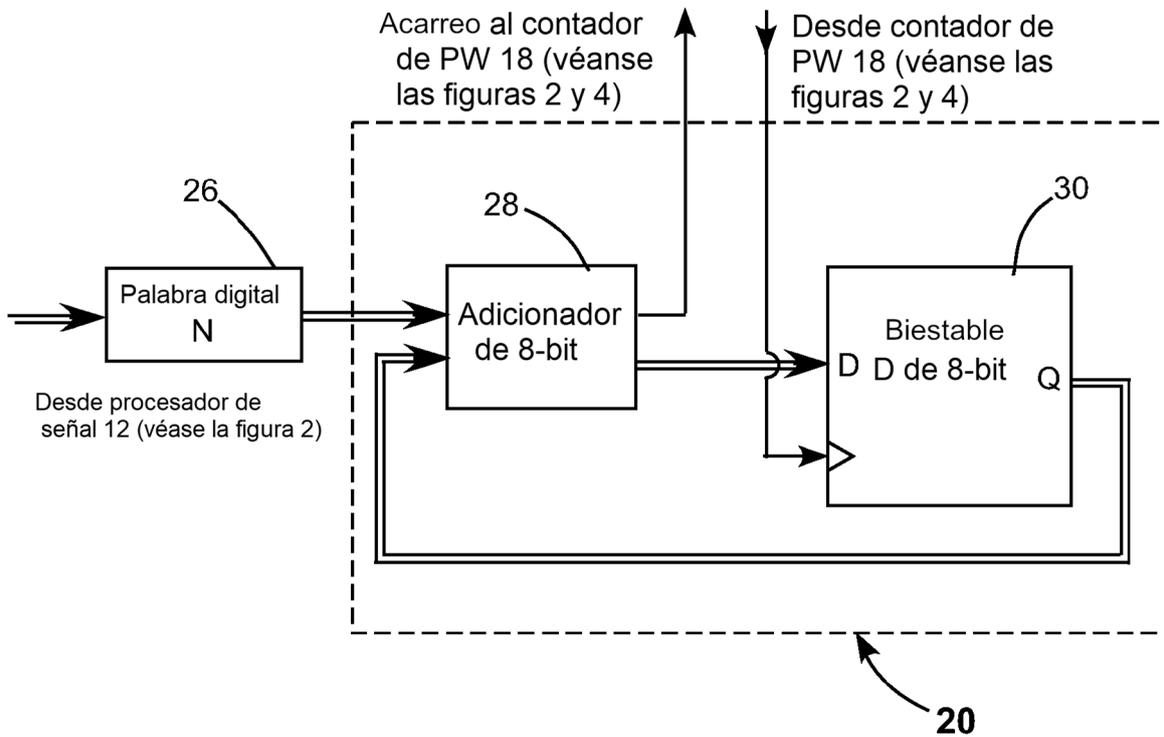


FIG. 3

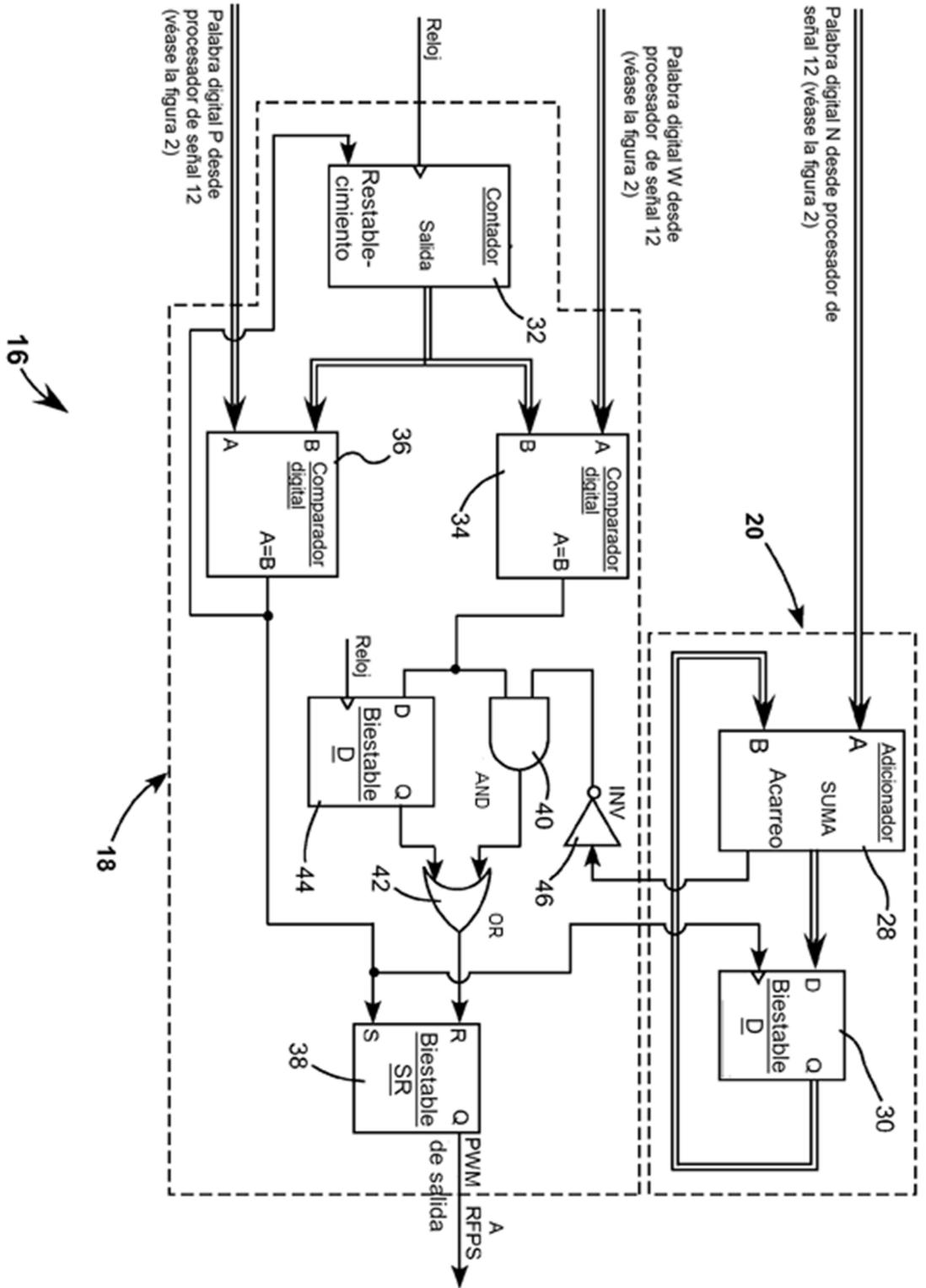


FIG. 4