

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 657 606**

51 Int. Cl.:

B23H 1/02 (2006.01)

B23H 7/20 (2006.01)

B23H 9/14 (2006.01)

B23H 7/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.09.2013** **E 13004459 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.11.2017** **EP 2848349**

54 Título: **Método y aparato para mecanizado por electroerosión de una pieza**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
06.03.2018

73 Titular/es:

AGIE CHARMILLES SA (100.0%)
Via dei Pioppi 2
6616 Losone, CH

72 Inventor/es:

BOCCADORO, MARCO y
BONINI, STEFANO

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 657 606 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

Método y aparato para mecanizado por electroerosión de una pieza

Campo de la invención

5 La invención se refiere a un método y a un aparato para aumentar la productividad y la precisión del mecanizado por electroerosión de piezas, de acuerdo a la parte genérica de las reivindicaciones independientes. La invención se refiere en particular a un aparato para mecanizado por electroerosión por descargas eléctricas (EDM) y para el taladrado EDM de una pieza y a un método para controlar el mecanizado por electroerosión por descargas eléctricas (EDM) y el taladrado de una pieza.

Antecedentes de la invención

10 El proceso de descarga eléctrica permite reproducir una forma en una pieza, al copiar la geometría de un electrodo negativo. Esta copia no es exacta. Por un lado, el electrodo se desgasta durante el mecanizado; por el otro, se forma un hueco entre el electrodo de la herramienta y el electrodo de pieza. Un hueco lateral mínimo es imprescindible, dado que las partículas erosionadas deben ser evacuadas desde el frente de erosión hacia la superficie de la pieza.

15 No obstante, dicho hueco debe mantenerse tan pequeño como sea posible, por varios motivos:

- Como ya se ha mencionado, se reduce la precisión de la copia
 - En la mayoría de operaciones de mecanizado, la evacuación de las partículas erosionadas se realiza mediante movimientos de elevación del cabezal de la máquina y un hueco lateral mayor debilita este efecto de bombeo.
 - 20 - El hueco lateral aumenta por las descargas laterales, las cuales se producen principalmente en partículas ya erosionadas. Por lo tanto, esta energía se desperdicia en la mayoría de aplicaciones de mecanizado, especialmente en el mecanizado de nervaduras.
 - Para el mecanizado de nervaduras, el espesor del electrodo de nervadura está definido por la anchura deseada de la ranura menos el hueco total entre los electrodos. Cuanto mayor sea el hueco, más fino será el electrodo y más alta será la tendencia a la vibración de este último, lo que causa una pérdida de precisión, un deterioro de la calidad de la superficie y de la velocidad del procesado. Esto es cierto también para otras operaciones de EDM con electrodos de relación dimensional alta, como en el taladrado EDM.
 - 25 - Para el micro-mecanizado EDM, las dimensiones del electrodo son el factor limitante. Un hueco lateral menor permite conseguir estructuras menores en la pieza.
- 30

Estado de la técnica

Para minimizar el hueco lateral, se intenta trabajar con una tensión en vacío menor e impulsos de corriente bajos. En un mecanizado EDM estándar, el hueco lateral es, de hecho, proporcional a la tensión en vacío y a la energía de impulso.

35 No obstante, una tensión en vacío reducida también reduce el hueco frontal. Dado que el hueco frontal es siempre menor que el hueco lateral, su valor llega a ser tan pequeño que el servosistema que controla la distancia entre los dos electrodos no puede realizar sus funciones de modo satisfactorio.

40 La energía de impulso está dada por el producto: (tensión de descarga) x (corriente del impulso) x (duración del impulso). Una energía de impulso pequeña ralentiza el mecanizado, lo que compromete la productividad de la máquina.

45 Se conoce, del estado de la técnica, cambiar la tensión de la fuente de alimentación del generador, p.ej., en el documento EP1063043 A1, esta tensión se cambia para ajustar con precisión la pendiente de la corriente de los impulsos de descarga, como una función del retardo de encendido. Este método podría reducir el desgaste del electrodo, pero no elimina las chispas laterales ni reduce el hueco lateral, por lo tanto, está fuera del alcance.

50 En el documento US2012/0152907A1, se intentan superar los inconvenientes de las fuentes de tensión tipo generadores, es decir, generadores que utilizan resistencias para limitar la corriente. Este tipo de generador produce impulsos cuya corriente varía como una función de la tensión de descarga. Para garantizar resultados reproducibles, un impulso de corriente constante (o controlado) es deseable, por lo tanto, la mencionada invención mantiene la corriente del impulso constante mediante ajustes de la tensión de la fuente de alimentación del generador. Tampoco este método elimina las chispas laterales ni reduce el hueco lateral, por lo tanto, también está fuera del alcance.

El documento EP2610027 A1 describe otro método y aparato de mecanización por descargas eléctricas. La enseñanza en ese documento, no obstante, no actúa sobre la tensión de la fuente de alimentación.

5 El documento US2012/217225A1 puede ser considerado como la técnica anterior más parecida y describe un método de funcionamiento de una máquina de descargas eléctricas en la que los impulsos de descarga son analizados y clasificados de acuerdo a su tensión.

Dado que los métodos anteriormente mencionados logran solo resultados modestos, hay una necesidad de proporcionar una solución a este problema.

10 El objetivo de la presente invención es proporcionar un aparato mejorado y un método mejorado para el mecanizado por descargas eléctricas de una pieza, al impedir que ocurran chispas laterales y obtener para cada condición de procesado el hueco lateral más pequeño posible, mientras se mantiene una velocidad de procesado más alta.

Compendio de la invención

El objetivo de esta invención se logra utilizando los métodos innovadores de acuerdo a las reivindicaciones independientes 1 y 7 o un aparato de acuerdo a la reivindicación 12.

15 La solución innovadora está basada en la consideración de que los impulsos laterales o de esquina tienen una tensión de funcionamiento más alta y un retardo de encendido mayor que los impulsos frontales.

La idea principal de la invención consiste en medir y guardar en tiempo real la tensión de descarga eléctrica de un impulso de descarga y analizar su tensión de descarga para determinar el tipo de impulso y ajustar la fuente de alimentación del generador de forma acorde.

20 El método novedoso mide y guarda un número significativo de impulsos de descarga a lo largo de un cierto intervalo de tiempo, analiza las tensiones medidas de los impulsos de descarga producidos para determinar con ello la tensión de los impulsos de descarga frontales y la tensión de los impulsos de descarga laterales y para ajustar a continuación, de forma automática, la tensión de los impulsos producidos por el módulo de potencia, para que sea solo ligeramente superior a la tensión de descarga frontal. Este procedimiento se repite
25 preferiblemente durante todo el proceso de mecanizado por descargas eléctricas (p.ej., continuamente o a intervalos dados).

Breve descripción de los dibujos

El método innovador y algunas realizaciones de la invención se describirán ahora, a modo de ejemplos, en referencia a los dibujos anexos, en los cuales:

30 La Figura 1 es una realización ejemplar relativa a un modelo de circuito eléctrico de la invención, que utiliza un generador EDM, el cual puede utilizarse en una máquina de descargas eléctricas;

la Figura 2 es una representación esquemática de un electrodo mecanizando una cavidad en una pieza;

la Figura 3 es una realización ejemplar innovadora de un generador EDM conectado a un electrodo de grafito

las Figuras 4a, 4b son gráficas que muestran un impulso de corriente conformado del generador EDM;

35 la Figura 5 es una gráfica que muestra un conjunto de impulsos de corriente que tienen la misma energía;

la Figura 6 es una gráfica que muestra tres impulsos de tensión de descarga;

las Figuras 7a, b, c son gráficas que muestran un impulso de tensión de descarga, un impulso de corriente de acuerdo a una técnica anterior y un impulso de corriente de acuerdo a la invención;

40 la Figura 8 es una gráfica que muestra impulsos de tensión de descarga y los correspondientes impulsos de corriente de descarga;

la Figura 9 es un diagrama funcional de una realización preferida de la invención;

la Figura 10 es una representación del electrodo y la pieza, enfrentados de modo que causan chispas de esquina.

45 Una serie de explicaciones que describe de forma general la invención seguirá ahora, con referencia a una realización ejemplar preferida. A continuación, se dará una descripción más detallada de la realización ejemplar que ilustra la presente invención.

La Figura 1 ilustra un generador, compuesto por un módulo de encendido y un módulo de potencia, como es conocido en el estado de la técnica.

El módulo de encendido proporciona la tensión en vacío que dispara la descarga, habitualmente de 200 a 300 V. Su corriente es relativamente pequeña, preferiblemente 2 A máximo.

El módulo de potencia proporciona las corrientes de impulso más altas, de 2 a 60 A, habitualmente.

5 Un generador tal, que funciona como una fuente de corriente programable, está explicado en detalle, p.ej., en el documento DE 41 07 910 y no se describirá adicionalmente.

Es relevante a la invención descrita que, debido al diodo 10 que bloquea el módulo de potencia, una corriente puede fluir del módulo de potencia solo si la tensión de descarga es menor que la tensión de la fuente de alimentación Ufa por la fuente de alimentación 12 programable. Si la tensión de descarga es superior, solo fluye la pequeña corriente del módulo de encendido.

10 La ilustración en la Figura esquemática 2 explica el mecanizado de una cavidad profunda. El hueco frontal es menor que el hueco lateral, ya que las partículas erosionadas son evacuadas a lo largo de este último y originan descargas secundarias. Además, en el caso del mecanizado de nervaduras, un fino electrodo en forma de nervadura oscila debido a las fuerzas de proceso inducidas por las chispas laterales. La forma de onda 22 de la tensión en la chispa lateral y la forma de onda 23 de la tensión en la chispa frontal habituales, se muestran en la Figura 2. Aparte de la forma de onda en sí misma, la tensión de descarga 22 de la chispa lateral habitual es mayor que la tensión de descarga 23 de la chispa frontal habitual.

15 La Figura 3 ilustra un problema y una complicación más, los cuales se resuelven gracias a la presente invención: el error de medición inducido por la caída de tensión a lo largo del electrodo. Si, como en la mayoría de los casos, se utiliza un electrodo de grafito, siendo su resistencia específica $\rho(\text{grafito}) = 15 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$, puede haber una caída de tensión considerable a lo largo del electrodo, especialmente en electrodos largos y finos. Dado que la referencia de la tensión se mide normalmente en el mandril (30), dicha caída de tensión tiene que ser añadida a la tensión de descarga. Consecuentemente, una chispa lateral 31 en la parte superior del electrodo mostrará una tensión mayor que una chispa lateral cercana a la parte inferior (32) o al frente (véase la Figura 3). Una caída de tensión habitual para una corriente de descarga de 60 A podría ser:

25 Nervadura de 30 mm de longitud, área frontal $10 \times 1 \text{ mm}^2$: $R = 15 \times 0,03/10 = 0,045 \Omega$

Por lo tanto, la caída de tensión Uct a 60 A = 2,7 V.

Ya que la tensión de quemado se encuentra en torno a 25 V, es evidente que el error sistemático causado por la caída de tensión de +/- 2,7 V excluye la utilización de umbrales absolutos para distinguir entre descargas frontales y laterales; solo deberían emplearse valores relativos.

30 Las Figuras 4a y 4b ilustran impulsos de corriente habituales, como se observan con un generador que trabaje según el conocido principio de modo de conmutación, el cual causa una fluctuación en el impulso de corriente. En una realización preferida, dicho impulso de corriente tiene un perfil trapezoidal.

Como se sabe comúnmente, el borde anterior del impulso de corriente es muy importante, ya que es responsable del desgaste del electrodo. Hay dos maneras de determinar el borde anterior del impulso:

35 El borde anterior se puede sintetizar modulando el valor del punto de ajuste interno del control de corriente. La pendiente 41 de corriente programable mostrada en la Figura 4 se implementa de este primer modo. La pendiente 40 de corriente, por otro lado, viene dada por la inductancia del cable, habitualmente en torno a 6 μH . Aquí, la pendiente 40 de corriente se calcula de acuerdo a las fórmulas:

$di+/dt = (Ufa - Uint)/L$ para el borde anterior del impulso

40 $di-/dt = Uad/L$ para el borde posterior

donde

Uad tensión de alimentación de la descarga, véase la Figura 1

Ufa tensión de la fuente de alimentación

Uint valor de la tensión de descarga

45 La Figura 4a muestra el caso donde Ufa es más bien alta, habitualmente 80 V, por lo tanto, la pendiente 40 de corriente es más pronunciada que la 41. Si Ufa es baja, p.ej., 30 V, el gradiente $di+/dt$ se hace muy pequeño y la pendiente 41 de corriente es más pronunciada que la pendiente 40 de corriente (véase la ilustración en la Figura 4b). Prevalece la pendiente más suave, que conforma el impulso de corriente y determina el desgaste del electrodo.

50 La Figura 5 ilustra de forma simplificada un conjunto de cuatro impulsos de corriente diferentes, los cuales se

pueden producir con la misma anchura del hueco lateral y la misma energía de descarga (la cual es la integral a lo largo de la duración del impulso de la tensión de descarga multiplicada por la corriente de descarga del impulso), pero con resultados diferentes en términos de tasa de retirada de material y desgaste del electrodo. La retirada de material es proporcional a la corriente de descarga del impulso, mientras que el desgaste del electrodo es proporcional a la pendiente de la corriente, como se ha explicado antes. Por ejemplo, el impulso 51 tiene una retirada de material mayor que el impulso 52, pero un desgaste del electrodo mayor que el impulso 52, etc.

La base de datos de la máquina contiene, para cada anchura de hueco lateral deseada, un conjunto de dichos impulsos de corriente de descarga, que pueden ser programados en el generador.

En la Figura 6, un conjunto de tensiones de descarga es ilustrado en una forma simplificada. La tensión de descarga 63 menor corresponde a chispas frontales o de esquina. La tensión de descarga 62 corresponde, por otro lado, a las chispas laterales. Y la tensión de descarga 61 más alta corresponde a las denominadas descargas resistivas, es decir, aquellas descargas que se dan a través de puentes de partículas en el hueco.

Varias mediciones realizadas por la solicitante muestran que la tensión de descarga promedio de una descarga 63 del hueco frontal para corrientes de impulso de 50 A es menor, en 1,6 V, comparada con una descarga 62 del hueco lateral. Las descargas resistivas tienen incluso una tensión de descarga mucho mayor; hasta 50 V (véase referencia número 61).

En las siguientes Figuras 7a, 7b y 7c, se muestran otros perfiles simplificados de tensiones de descarga y corrientes de impulso.

La Figura 7b muestra un impulso de corriente de descarga generado por medios convencionales, mientras que la Figura 7c muestra un impulso de corriente de descarga generado por los medios descritos en la presente invención.

Las líneas 71 y 72 representan la tensión U_{fa} de las fuentes de alimentación respectivas. La línea 71 representa un generador de una técnica anterior con una tensión de la fuente de alimentación U_{fa} de 85 V. La línea 72 representa el generador con una tensión de la fuente de alimentación U_{fa} menor, de acuerdo a la invención, para, p.ej., un electrodo de grafito con pieza de acero, la tensión de la fuente de alimentación requerida estará en torno a 40 V, habitualmente, para otros materiales la tensión de alimentación será de 20-40 V, en casos especiales 15-60 V.

Como ya se ha mencionado, el desgaste del electrodo se produce durante la fase de ruptura dieléctrica, la cual está representada por el área sombreada en las Figuras 7 a-c. Esto es así porque primero hay solo un haz de electrones enfocado desde el cátodo (-, electrodo de pieza) hacia el ánodo (+, electrodo de herramienta), entonces, después de unos 700 ns, sigue una corriente de iones en sentido opuesto, fluyendo así desde el ánodo hacia el cátodo. Tras este tiempo, el haz de electrones resulta un cono, ya que los electrones se repelen entre sí, y tienen lugar una recombinación y un efecto de pantalla por la corriente de iones, lo que reduce mucho el desgaste del electrodo de herramienta. Por lo tanto, es ventajoso mantener el producto de la tensión multiplicada por la corriente, tan pequeño como sea posible durante el inicio de la descarga, para minimizar el desgaste.

Basado en todas estas observaciones, la solicitante ha descubierto que es ventajoso adaptar de forma continua la tensión de la fuente de alimentación U_{fa}, de modo tal que sea ligeramente superior a la tensión de descarga real de una chispa frontal. Esta adaptación debe, preferiblemente, hacerse en tiempo real, basada en la comparación en tiempo real de tensiones de chispas frontales y chispas laterales, dado que, como se ha explicado antes, la diferencia entre estos dos tipos es relativamente pequeña.

También es posible registrar la tensión de las chispas frontales por erosión superficial, p.ej., al inicio del mecanizado en la superficie de la pieza, o la tensión de las chispas de esquina situando el electrodo en las inmediaciones de una esquina de la pieza, para descargar solo chispas de esquina. Esto está representado en la Figura 10, donde la esquina del electrodo se halla sobre una línea 101 imaginaria a 45 grados con respecto a la esquina de la pieza.

En otras realizaciones ejemplares, mostradas en la Figura 9, la tensión de descarga se mide para un número de chispas mediante un módulo de medición 91. Entonces, las tensiones de descarga de un número de impulsos, que tengan los valores de tensión de descarga más bajos, son promediadas, con lo que se representa la tensión de descarga frontal respectivamente al valor 63, de acuerdo a la Figura 6. A este valor se añade una compensación predeterminada: el valor de compensación puede determinarse experimentalmente y guardarse en una base de datos para ser utilizado.

El valor 63 también puede determinarse, como se ha dicho, midiendo la tensión de descarga al inicio del proceso de erosionado, cuando el electrodo de herramienta está en la superficie de la pieza y solo hay descargas frontales.

El valor 62 puede, por otro lado, determinarse también midiendo la tensión de descarga en la cavidad erosionada, tras haber retraído el electrodo de herramienta desde su posición más profunda, con lo que se generan en su mayoría chispas laterales de un valor 62 de tensión de descarga.

5 La tensión de la fuente de alimentación Ufa es entonces ajustada por el innovador módulo de control 92 del generador, al nivel 64 de tensión, como está representado por la línea de puntos en la Figura 6. En una realización preferida, dicho nivel de tensión puede ajustarse de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$Ufa = U_{int,frontal} + U_{cab} + U_{diodo} + U_s,$$

donde:

U_{int,frontal} es la tensión 63 de descarga

10 U_{cab} es la caída de tensión en los cables del electrodo

U_{diodo} es la caída de tensión en el diodo 10 que bloquea el módulo de potencia

U_s es un margen de seguridad

15 Cambiando la tensión de la fuente de alimentación Ufa, la pendiente 40 o 41 del impulso de corriente y su energía (véase la Figura 5) también se cambian. Así, en algunas realizaciones un impulso energéticamente equivalente es empleado. Cambiando la duración del impulso y la amplitud de la corriente I_p para tener la misma anchura del hueco y energía de impulso, se garantiza la precisión geométrica necesaria de la pieza, se reduce significativamente el desgaste del electrodo de herramienta y las descargas ocurrirán principalmente en el hueco frontal. El método innovador que utiliza, por ejemplo, el innovador módulo de medición 91, se repite durante todo el mecanizado por descargas eléctricas de la pieza. El margen de seguridad U_s puede 20 determinarse, por ejemplo, calculando la diferencia entre la tensión de descarga lateral y la de descarga frontal, dividida por 2.

En algunas realizaciones ejemplares es ventajoso utilizar impulsos que produzcan un desgaste muy pequeño del electrodo de forma, si la forma del electrodo debe conservarse, p.ej., en sus esquinas, o para obtener radios mínimos en la pieza a mecanizar, o para un electrodo conforma de punta.

25 Estos impulsos están caracterizados por una tensión de descarga muy baja. En este caso, no solo es ventajoso reducir la Ufa de acuerdo a la invención, respectivamente como se ha descrito anteriormente, sino también conformar el borde anterior 41 del impulso con una pendiente muy suave y aumentar la duración del impulso y/o disminuir la amplitud de la corriente, para minimizar dicho desgaste.

30 Adicionalmente, es ventajoso para algunas aplicaciones interrumpir estos impulsos en tiempo real, tan pronto como se detecta esta tensión de descarga baja.

35 Es más, en algunas realizaciones ejemplares la invención se beneficia de una característica adicional de las chispas laterales, es decir, un retardo de encendido más prolongado, como se representa en la Figura 2 (formas de onda 22 y 23). Es ventajoso operar en el llamado "modo de isofrecuencia", utilizando un impulso de corriente con una corriente en aumento, como se representa en la Figura 8. En este modo, el generador emite impulsos de la misma duración 85. Con mayores retardos 82 de encendido, la duración del impulso de corriente es menor y viceversa.

Otra ventaja de este método innovador es que la energía es concentrada o enfocada en el área frontal de la cavidad y reducida en las paredes de la cavidad, donde se desea tener una calidad superficial especialmente fina y una zona afectada por el calor pequeña (las cuales son proporcionales a la energía).

40 Por lo tanto, los impulsos laterales 84, de haberlos, tendrán una energía y una amplitud de impulso reducidas, comparados con los impulsos frontales 83. Este método puede emplearse conjuntamente con la adaptación de la tensión de la fuente de alimentación Ufa, para reforzar este efecto.

45 La invención es un método para el mecanizado por descargas eléctricas de piezas, mediante impulsos de descarga eléctrica generados por un módulo de potencia de una máquina de descargas eléctricas. La tensión de descarga U_{int} de cada impulso de descarga eléctrica, el cual tiene lugar entre el electrodo de herramienta y la pieza, es medida y almacenada. Esto se hace para un número N1 de impulsos de descarga eléctrica que se producen. A partir de esa cantidad de N1 tensiones de descarga almacenadas (véanse, p.ej., las referencias con número 22, 23, 31, 32, 61, 62, 63), se determina una tensión de descarga frontal, U_{int,frontal}. La determinación de U_{int,frontal} puede producirse de diferentes maneras, como ya se ha descrito y como se hará 50 en las siguientes líneas. A continuación, la tensión Ufa (64) producida por el módulo de potencia del generador es ajustada de acuerdo a la invención en función de la tensión de descarga frontal U_{int,frontal} determinada. Esto se hace para provocar, de acuerdo a la presente invención, la generación de impulsos de descarga frontales (entre el electrodo de herramienta y la pieza mecanizada, obviamente) en vez de descargas laterales indeseadas. Ésta es, por supuesto, también una cuestión estadística.

El método innovador para determinar la tensión de descarga frontal $U_{int,frontal}$ es preferiblemente aplicado durante todo el mecanizado por descargas eléctricas de la pieza o a intervalos que se pueden determinar, durante el mecanizado por descargas eléctricas de la pieza.

5 En una versión más preferida, el método para determinar la tensión de descarga frontal $U_{int,frontal}$ se realiza promediando una cantidad N_2 de las tensiones de descarga almacenadas más bajas de entre la cantidad N_1 de tensiones de descarga almacenadas (calculando la tensión promedio de los N_2 valores almacenados). A continuación, la tensión U_{fa} (64) para los impulsos de descarga eléctrica producidos por el módulo de potencia del generador se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$U_{fa} = U_{int,frontal} + U_{cab} + U_{diodo} + U_s,$$

10 donde:

$U_{int,frontal}$ es la tensión 63 de descarga frontal

U_{cab} es la caída de tensión en los cables del electrodo

U_{diodo} es la caída de tensión en el diodo 10 que bloquea el módulo de potencia

U_s es un margen de seguridad

15 En otra versión, el método para determinar la tensión de descarga frontal $U_{int,frontal}$ se lleva a cabo moviendo el electrodo de herramienta que se utiliza en el proceso de mecanizado por descargas eléctricas a una posición espacial tal, con respecto a la pieza, que solo puedan producirse impulsos de descarga frontales entre la pieza y el electrodo de herramienta. A continuación, una cantidad N_3 de impulsos de descarga eléctrica es generada de acuerdo a esta versión. Promediando las N_3 tensiones de descarga medidas de los impulsos de descarga eléctrica -frontales- producidos, la tensión de descarga frontal $U_{int,frontal}$ puede ser determinada mediante medición para el caso respectivo.

20 De modo equivalente, un método de medición tal puede aplicarse también para determinar la tensión de descarga lateral $U_{int,lateral}$. Esto se puede hacer moviendo el electrodo de herramienta utilizado en el proceso de mecanizado por descargas eléctricas a una posición espacial tal, con respecto a la pieza, que solo puedan producirse descargas laterales entre la pieza y el electrodo de herramienta (de forma esquemática, se hace referencia a los números de referencia 22, 31, 32 de las figuras). Generando a continuación una cantidad N_4 de impulsos de descarga eléctrica -laterales- y promediando las tensiones de descarga medidas de los N_4 impulsos de descarga eléctrica -laterales- producidos, la tensión de descarga lateral $U_{int,lateral}$, es determinada mediante medición del caso respectivo. Con este método de medición para determinar la tensión de descarga lateral $U_{int,lateral}$, la tensión U_{fa} de los impulsos de descarga eléctrica producidos por el módulo de potencia del generador puede ser calculada, utilizando la tensión de descarga lateral $U_{int,lateral}$ determinada y aplicando la siguiente fórmula: $U_{fa} = U_{int,lateral} - U_s$; donde U_s es un margen de seguridad definible.

25 De forma equivalente a los dos métodos de medición anteriores, la tensión de las descargas de esquina puede determinarse de modo parecido, moviendo el electrodo de herramienta utilizado en el proceso de mecanizado por descargas eléctricas a una posición espacial tal con respecto a la pieza, que solo puedan producirse descargas de esquina (véase la referencia 101 en la Figura 10) entre la pieza y el electrodo de herramienta. Generando a continuación una cantidad N_5 de impulsos de descarga eléctrica y promediando los valores de tensión de esas N_5 tensiones de descarga medidas y almacenadas, la tensión de descarga de esquina $U_{int,esquina}$, puede determinarse mediante medición.

30 Con este método de medición para determinar la tensión de descarga de esquina $U_{int,esquina}$, la tensión U_{fa} de los impulsos de descarga eléctrica producidos por el módulo de potencia del generador puede ser calculada, utilizando la tensión de descarga de esquina $U_{int,esquina}$ medida y la fórmula

$$U_{fa} = U_{int,esquina} + U_{cab} + U_{diodo};$$

45 donde

U_{cab} es la caída de tensión en los cables del electrodo

U_{diodo} es la caída de tensión en el diodo 10 que bloquea el módulo de potencia

50 En una realización más de la invención, cada vez que la tensión U_{fa} (64) de los impulsos de descarga eléctrica producidos por el módulo de potencia del generador es calculada y ajustada, de forma adicional se elige un impulso de descarga energéticamente equivalente, bien a partir de una base de datos previamente calculados (base de datos almacenada) o calculándolo.

Preferiblemente, los impulsos del generador se emiten en modo de isofrecuencia y el perfil de la corriente tiene

una amplitud de corriente que aumenta con la duración del impulso. En otra versión, la pendiente de los impulsos del generador es modificada de una de las siguientes maneras: a) programando la referencia de corriente interna del generador, y/o b) adaptando la Ufa de la fuente de alimentación.

5 La invención se refiere, no obstante, no solo al método innovador en sí mismo y sus versiones descritas, sino también a un dispositivo -p.ej., sistema de control o máquina herramienta- que opera de modo acorde. Un aparato innovador tal para el mecanizado por descargas eléctricas de piezas, mediante impulsos de descarga eléctrica, comprende al menos un módulo de encendido para producir la tensión de encendido U_{enc} ; al menos un módulo de potencia para producir impulsos de generador con una amplitud, perfil, duración y tensión U_{fa} de corriente programables, una fuente de alimentación (12) con tensión programable, un módulo de medición (91) de la tensión en el hueco, y un controlador (92) del generador, con un sistema de control para el módulo de potencia del generador, para determinar la tensión U_{fa} (64) de los impulsos de descarga eléctrica producidos por el módulo de potencia del generador, de acuerdo al método o proceso innovador, como se ha descrito anteriormente.

15 La especificación anterior se refiere a los modos preferidos de ejecución de la invención, pero realizaciones más o menos similares son posibles. La invención no está, por lo tanto, limitada a las realizaciones descritas en la presente memoria. Estos ejemplos pretenden más bien ser un incentivo para que las personas expertas en la técnica apliquen el concepto innovador de forma ventajosa.

Glosario

- 10 diodo de bloqueo del módulo de potencia
- 20 11 diodo de bloqueo del módulo de encendido
- 12 fuente de alimentación programable del módulo de potencia
- 13 fuente de corriente de encendido
- 14 tensión en vacío, antes de la descarga
- 15 inductancia en serie
- 25 16 electrodo de herramienta
- 17 electrodo de pieza
- 22 forma habitual de la tensión de descarga lateral
- 23 forma habitual de la tensión de descarga frontal
- 24 partículas erosionadas que están siendo evacuadas
- 30 30 punto de medición de la tensión en el hueco
- 31 descarga lateral en la parte superior de la cavidad
- 32 descarga lateral en la parte inferior de la cavidad
- 33 resistencia que representa la resistividad del electrodo de herramienta
- 35 40 pendiente ascendente de la corriente en un generador en modo de conmutación, resultante de la tensión y la inductancia
- 41 pendiente programable del impulso de corriente
- 51 a 54 impulsos de corriente con la misma energía y el mismo hueco
- 61 tensión de descarga de una descarga resistiva
- 62 tensión de descarga de una descarga lateral $U_{int,lateral}$
- 40 63 tensión de descarga de una descarga frontal $U_{int,frontal}$
- 64 mejor tensión U_{fa} , de acuerdo a la invención
- 71 U_{fa} de acuerdo a una técnica anterior
- 72 U_{fa} de acuerdo a la invención

- 73 componente de tensión de la potencia de descarga que genera el desgaste
- 74 componente de corriente de una técnica anterior
- 75 componente de corriente de acuerdo a la invención
- 81 retardo de encendido de una descarga frontal
- 5 82 retardo de encendido de una descarga lateral
- 83 impulso de corriente frontal
- 84 impulso de corriente lateral
- 85 duración del impulso
- 91 módulo de medición en el hueco
- 10 92 módulo de control del generador
- 101 descargas de esquina
- Uad tensión para generar el borde posterior del impulso, en el módulo de potencia
- Uad2 tensión para generar el borde posterior del impulso, en el módulo de encendido

REIVINDICACIONES

1. Método para el mecanizado por descargas eléctricas de piezas (17) mediante impulsos de descargas eléctricas (22, 23, 31, 32, 83, 84) generados por un módulo de potencia de una máquina de descargas eléctricas entre un electrodo de herramienta (16) y una pieza (17), caracterizado por que para un número N1 de impulsos de descarga eléctrica que se producen (22, 23, 31, 32, 61, 62, 63), la tensión de descarga Uint,frontal (63) y una tensión de descarga eléctrica es medida y almacenada, en donde una tensión de descarga frontal Uint,frontal (63) y una tensión de descarga lateral Uint,lateral (62) son determinadas a partir de la cantidad de N1 tensiones de descarga (22, 23, 31, 32, 61, 62, 63) almacenadas y la tensión Ufa (64) producida por el módulo de potencia del generador es ajustada en función de la tensión de descarga frontal Uint,frontal (63) determinada para provocar la generación de impulsos de descarga frontales (23) entre el electrodo de herramienta (16) y la pieza (17).

2. Método para el mecanizado por descargas eléctricas de piezas de acuerdo a la reivindicación 1, caracterizado por que,

el método para determinar la tensión de descarga frontal Uint,frontal (63) se aplica durante todo el mecanizado por descargas eléctricas de la pieza (17) o a intervalos determinables durante el mecanizado por descargas eléctricas de la pieza (17)

3. Método para el mecanizado por descargas eléctricas de piezas de acuerdo a la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que,

el método determina la tensión de descarga frontal Uint,frontal (63) promediando una cantidad N2 de las tensiones de descarga más bajas almacenadas de entre la cantidad N1 de tensiones de descarga almacenadas y la tensión Ufa (64) de los impulsos de descarga eléctrica producidos por el módulo de potencia del generador se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$Ufa = Uint,frontal + Ucab + Udiodo + Us,$$

donde:

Uint,frontal es la tensión 63 de descarga frontal

Ucab es la caída de tensión en los cables del electrodo

Udiodo es la caída de tensión en el diodo 10 que bloquea el módulo de potencia

Us es un margen de seguridad.

4. Método para el mecanizado por descargas eléctricas de piezas de acuerdo a una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que,

el método determina la tensión de descarga frontal Uint,frontal (63) moviendo el electrodo de herramienta (16) utilizado en el proceso de mecanizado por descargas eléctricas a una posición espacial tal con respecto a la pieza (17), que solo se pueden producir impulsos de descarga frontal (23) entre la pieza (17) y el electrodo de herramienta (16), y generando a continuación una cantidad N3 de impulsos de descarga eléctrica y promediando las N3 tensiones de descarga medidas de los impulsos de descarga eléctrica producidos para determinar con ello la tensión de descarga frontal Uint,frontal (63).

5. Método para el mecanizado por descargas eléctricas de piezas de acuerdo a una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que,

el método también determina la tensión de descarga lateral Uint,lateral (62) moviendo el electrodo de herramienta (16) empleado en el proceso de mecanizado por descargas eléctricas a una posición espacial tal con respecto a la pieza (17), que solo se pueden producir descargas laterales (22, 31, 32) entre la pieza (17) y el electrodo de herramienta (16), y generando a continuación una cantidad N4 de impulsos de descarga eléctrica y promediando las tensiones de descarga medidas de los N4 impulsos de descarga eléctrica producidos para determinar con ello la tensión de descarga lateral Uint,lateral (62).

6. Método para el mecanizado por descargas eléctricas de piezas de acuerdo a la reivindicación 5 precedente, caracterizado por que,

la tensión Ufa (64) de los impulsos de descarga eléctrica producidos por el módulo de potencia del generador se calcula por la tensión de descarga lateral Uint,lateral (62) determinada y la fórmula:

$$Ufa = Uint,lateral - Us$$

donde

Us es un margen de seguridad.

7. Proceso para determinar la tensión de descargas de esquina, caracterizado por que,

el método determina la tensión de descarga de esquina (63) moviendo el electrodo de herramienta (16) empleado en el proceso de mecanizado por descargas eléctricas a una posición espacial tal con respecto a la pieza (17), que solo se pueden producir descargas de esquina (101) entre la pieza (17) y el electrodo de herramienta (16), y generando a continuación una cantidad N5 de impulsos de descarga eléctrica y promediando las N5 tensiones de descarga medidas de los impulsos de descarga eléctrica producidos para determinar con ello la tensión de descarga de esquina $U_{int,esquina}$.

8. Método para el mecanizado por descargas eléctricas de piezas mediante impulsos de descargas eléctricas generados por un módulo de potencia de una máquina de descargas eléctricas que utiliza el proceso para determinar la tensión de las descargas de esquina (101) de la reivindicación 7 precedente, caracterizado por que,

la tensión U_{fa} (64) de los impulsos de descarga eléctrica producidos por el módulo de potencia del generador se calcula con la tensión de descarga de esquina $U_{int,esquina}$ determinada y la fórmula:

$$U_{fa} = U_{int,esquina} + U_{cab} + U_{diodo};$$

donde

U_{cab} es la caída de tensión en los cables del electrodo

U_{diodo} es la caída de tensión en el diodo 10 que bloquea el módulo de potencia

9. Método para el mecanizado por descargas eléctricas de piezas de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde cada vez que la tensión U_{fa} (64) de los impulsos de descarga eléctrica producidos por el módulo de potencia del generador es calculada y ajustada, adicionalmente, se elige un impulso de descarga energéticamente equivalente, bien a partir de una base de datos previamente calculados o calculándolo.

10. Método para el mecanizado por descargas eléctricas de piezas de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde los impulsos del generador son emitidos en modo de isofrecuencia y el perfil de la corriente tiene una amplitud de corriente que aumenta con la duración del impulso.

11. Método para el mecanizado por descargas eléctricas de piezas de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la pendiente de los impulsos del generador es modificada en una de las siguientes maneras:

a) programando la referencia de corriente interna del generador, y/o

b) adaptando la U_{fa} de la fuente de alimentación.

12. Aparato para el mecanizado por descargas eléctricas de piezas mediante impulsos de descargas eléctricas, que comprende

al menos un módulo de encendido para producir la tensión de encendido U_{enc} ;

al menos un módulo de potencia para producir impulsos de generador con una amplitud, perfil, duración y tensión U_{fa} de corriente programables,

una fuente de alimentación (12) con tensión programable,

un módulo de medición (91) de la tensión en el hueco,

un controlador (92) del generador con

un sistema de control para el módulo de potencia del generador, para determinar la tensión U_{fa} (64) de los impulsos de descarga eléctrica producidos por el módulo de potencia del generador, de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes de método o proceso.

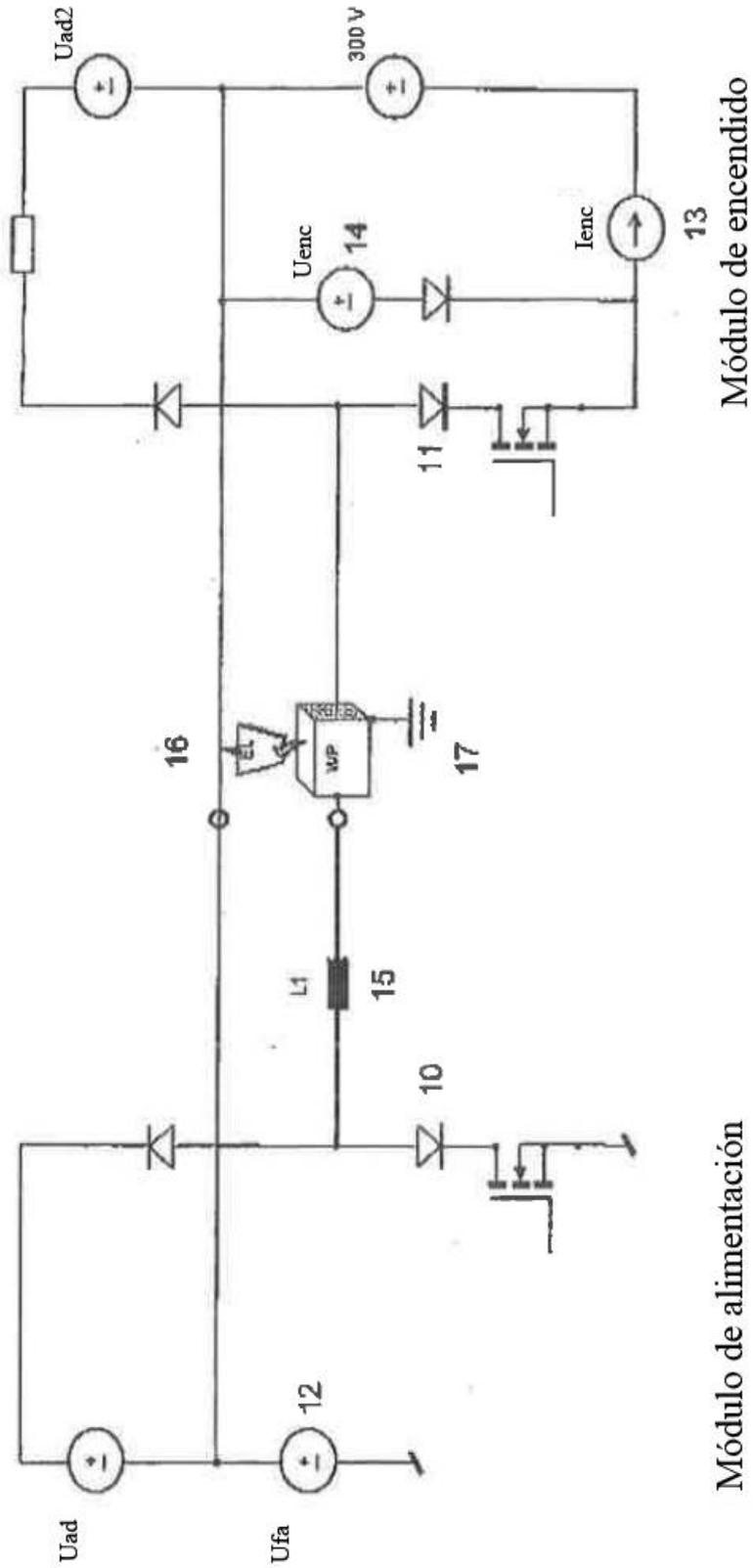


Fig 1

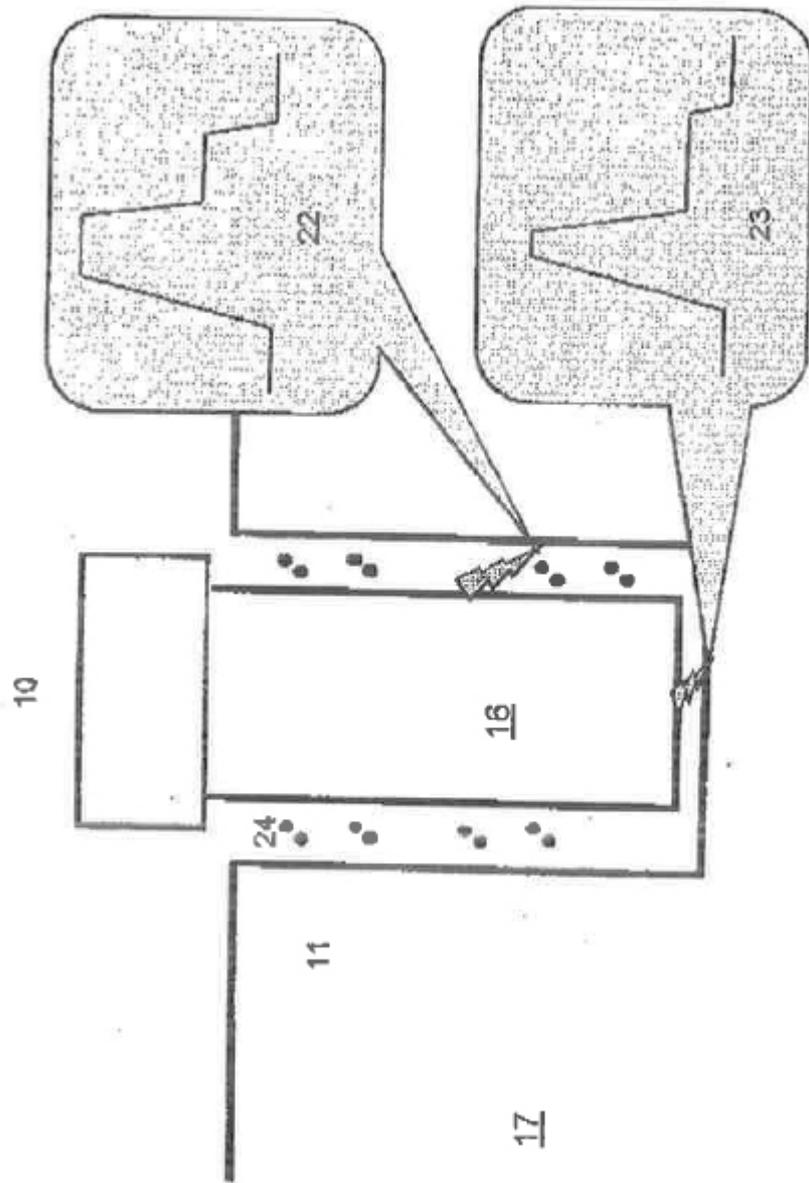
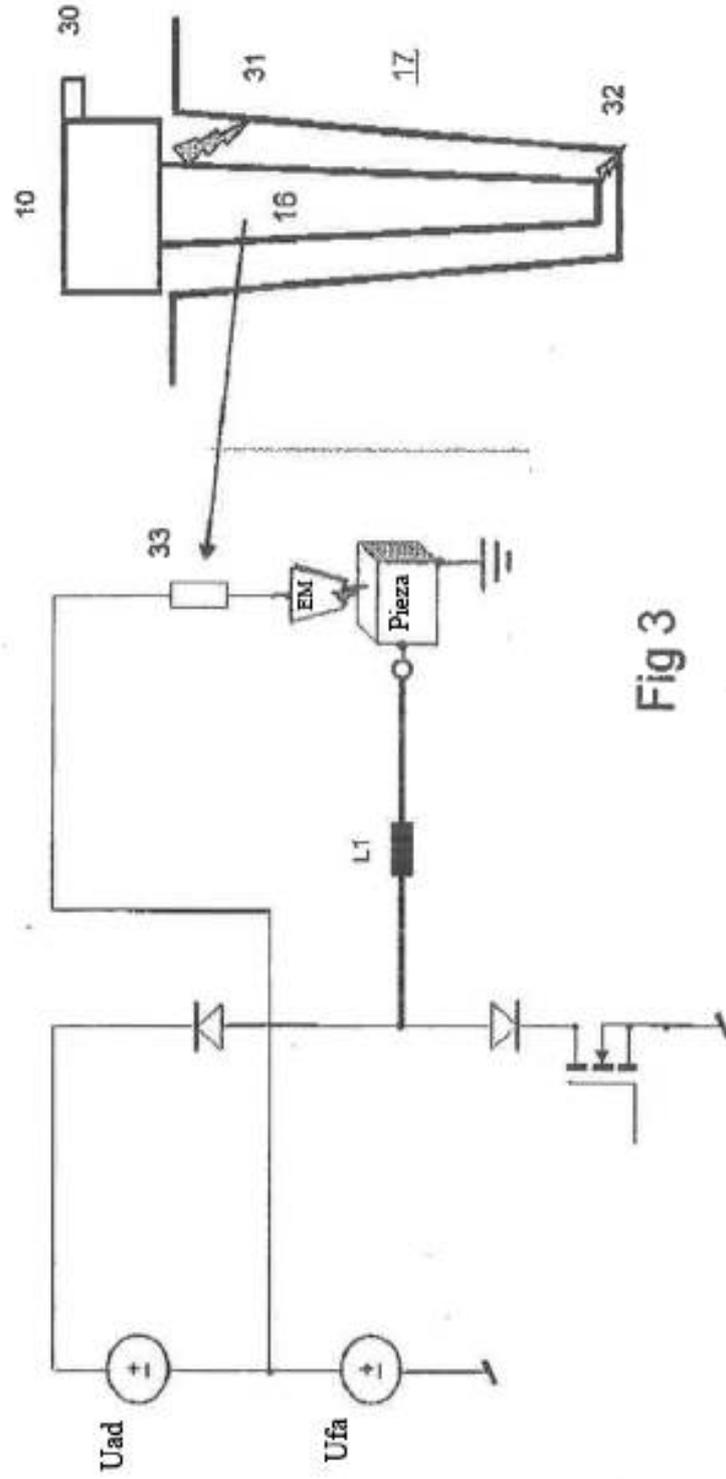


Fig 2



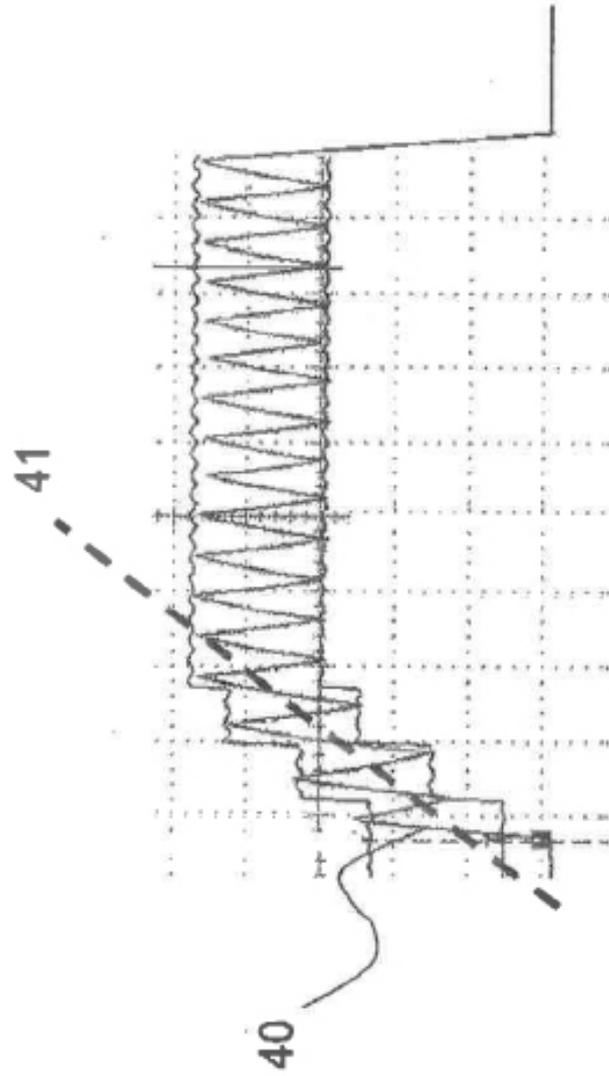


Fig 4a



Fig 4b

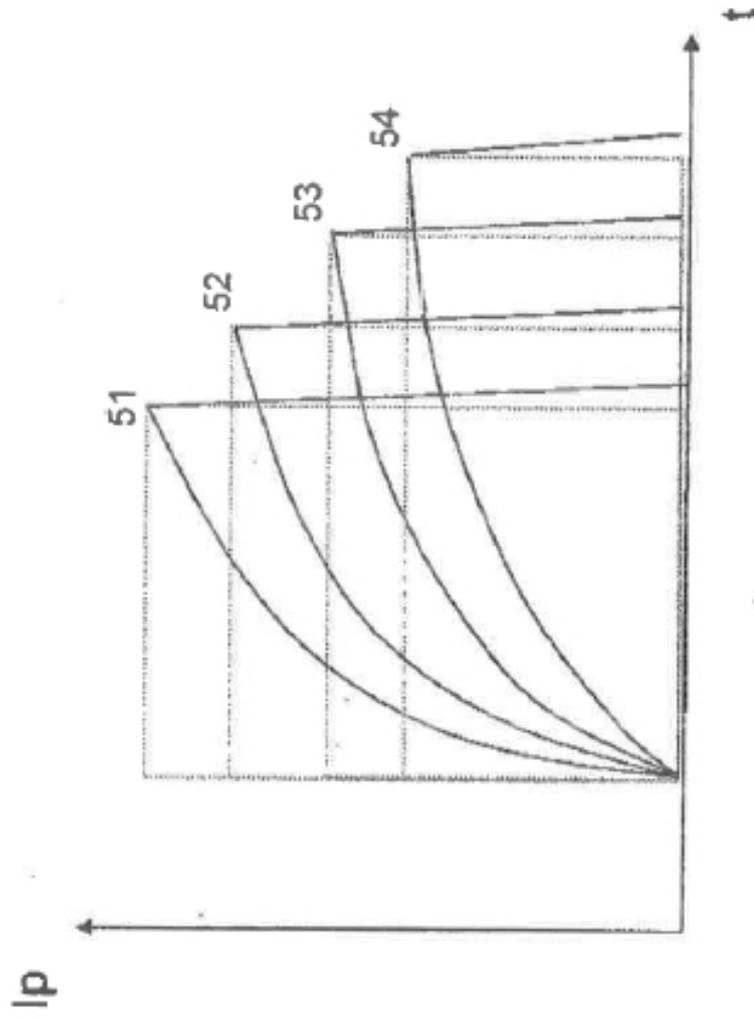


Fig 5

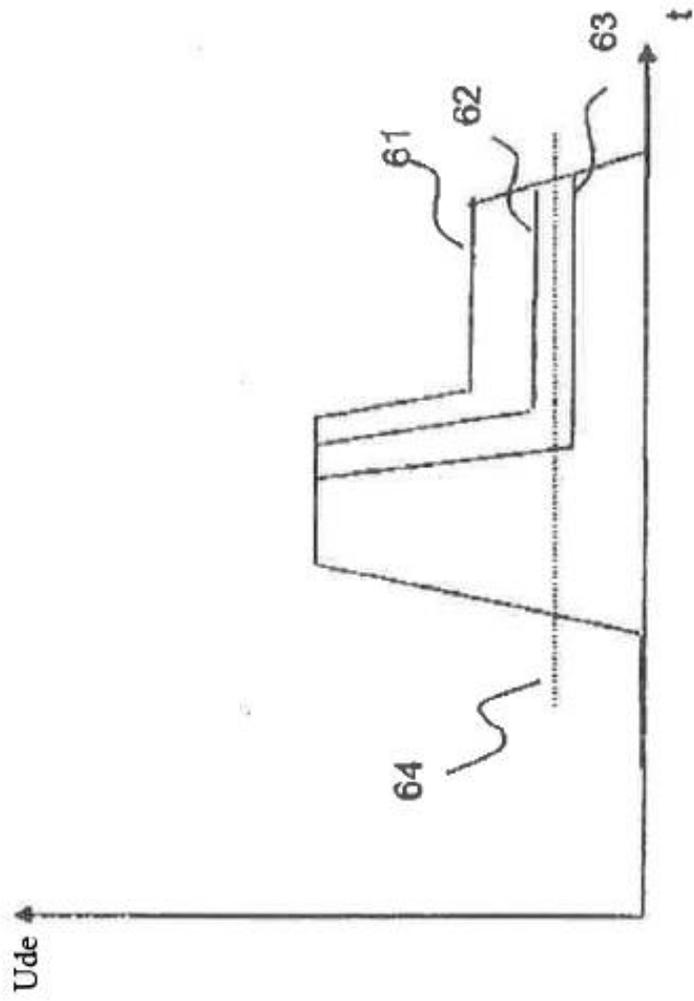
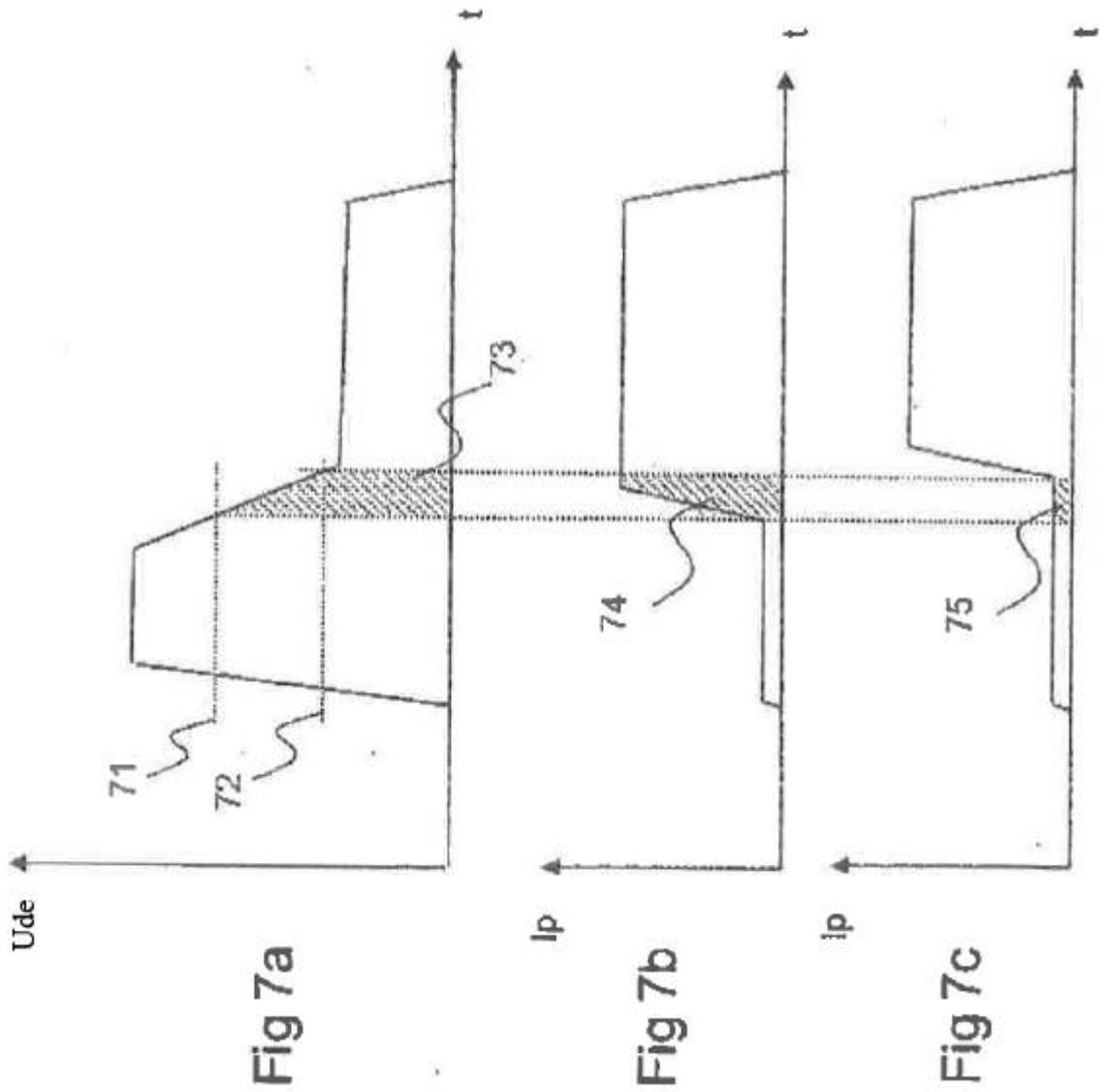


Fig 6



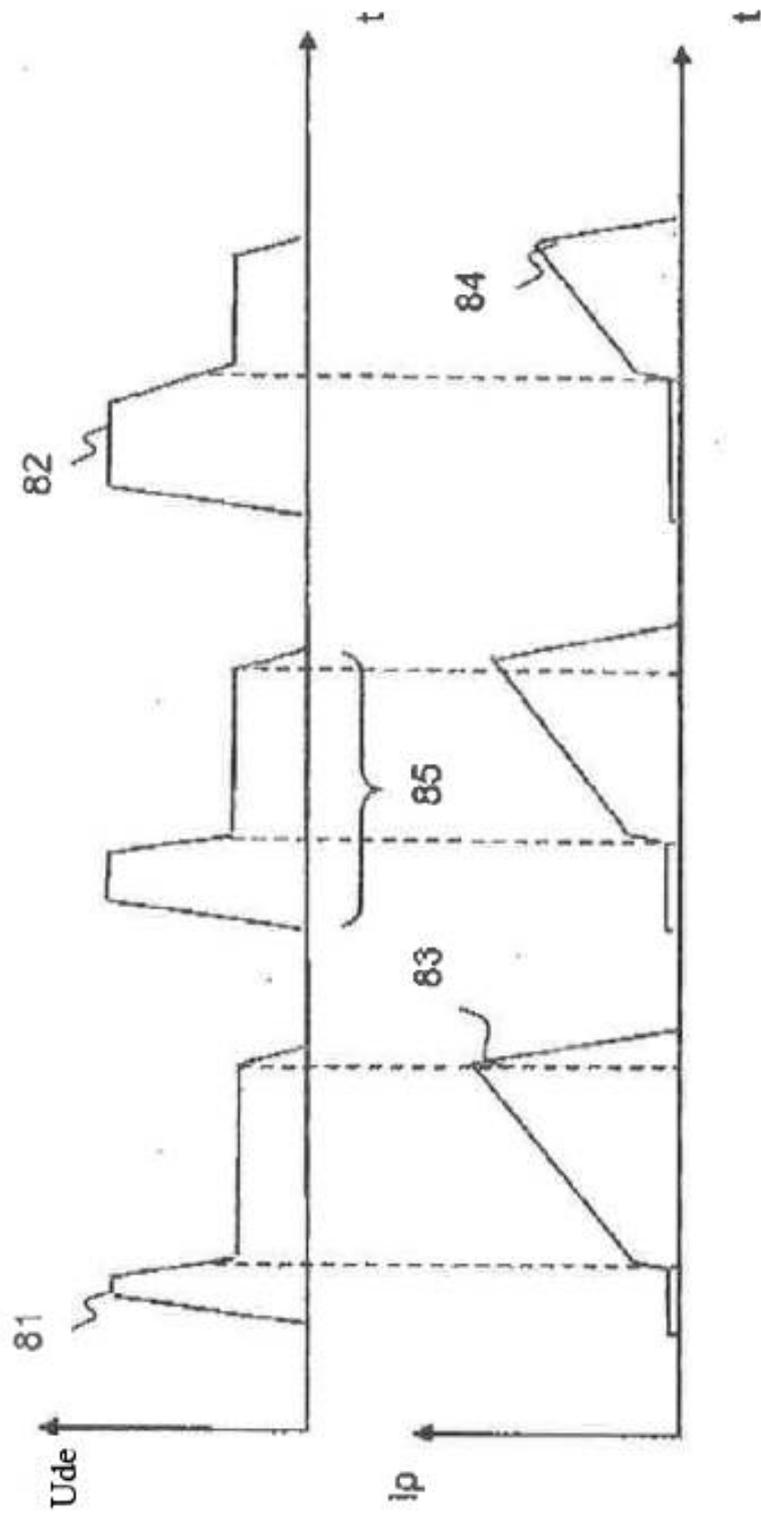


Fig 8

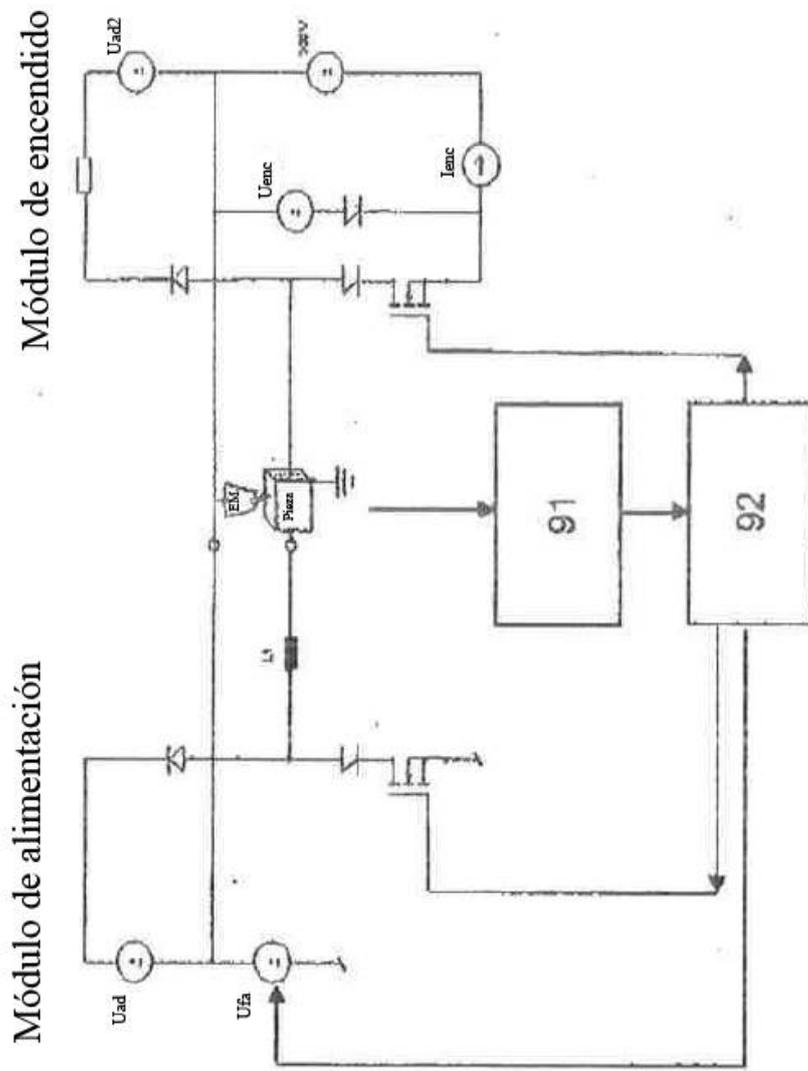


Fig 9

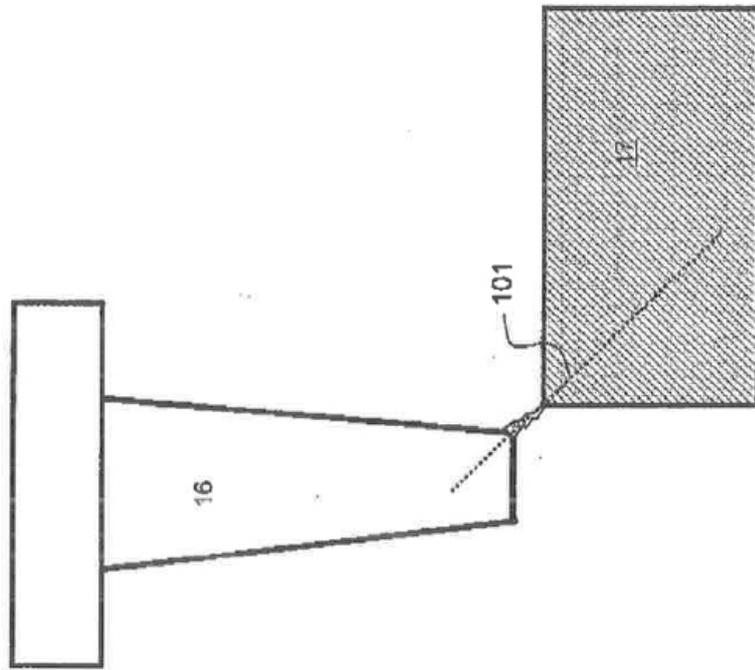


Fig 10