



①9



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

①1 Número de publicación: **2 325 597**

⑤1 Int. Cl.:

B23H 1/02 (2006.01)

B23H 7/04 (2006.01)

B23H 7/18 (2006.01)

①2

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

⑨6 Número de solicitud europea: **06023034 .9**

⑨6 Fecha de presentación : **06.11.2006**

⑨7 Número de publicación de la solicitud: **1918054**

⑨7 Fecha de publicación de la solicitud: **07.05.2008**

⑤4 Título: **Procedimiento y dispositivo para mecanizar por electroerosión.**

④5 Fecha de publicación de la mención BOPI:
09.09.2009

④5 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
09.09.2009

⑦3 Titular/es: **AGIE SA.**
Via dei Pioppi 2
6616 Losone, CH

⑦2 Inventor/es: **Boccardo, Marco y**
Bonini, Stefano

⑦4 Agente: **Sugrañes Moliné, Pedro**

ES 2 325 597 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 y dispositivo para mecanizar por electroerosión.

5 La invención se refiere a un procedimiento y dispositivo de mecanizado electroerosivo (EDM, por sus siglas en inglés) y, en particular, a un procedimiento y dispositivo para generar impulsos de mecanizado para tal EDM para mejorar la productividad de los sistemas EDM.

10 En EDM se aplica un tren de impulsos de mecanizado al hueco de trabajo entre la pieza de trabajo y el electrodo. Para controlar el proceso se detecta el perfil de la tensión y de la corriente a través del hueco de trabajo con el tiempo. A partir del perfil de tensión de impulso del impulso de mecanizado aplicado al hueco de trabajo en el tiempo se obtienen valores característicos, tales como la tensión de encendido, la tensión de funcionamiento, el tiempo de retardo de encendido, el tiempo de caída desde la tensión de encendido hasta la tensión de funcionamiento, la componente de alta frecuencia de la tensión de funcionamiento, etc. Estos valores obtenidos se comparan con valores de referencia correspondientes para mostrar cualquier degeneración en el proceso. Dependiendo del resultado de la comparación se realizan acciones determinadas tales como interrumpir el impulso de mecanizado actual, implementar un movimiento de salto, aumentar el tiempo de pausa entre los impulsos de mecanizado, etc. para eliminar tales degeneraciones del proceso.

20 En particular, el creciente uso de electrodos de grafito permite acelerar el proceso reduciendo a la vez los costes de mecanizado pero, por otro lado, comprende una mayor susceptibilidad de arco que requiere controlar el proceso para garantizar que no se produzca una degeneración del mismo sin tener que sacrificar ni la velocidad de mecanizado ni el desgaste de los electrodos.

25 El problema del procedimiento descrito anteriormente radica en establecer los valores de referencia, no siendo posible definir valores umbrales que puedan aplicarse de manera genérica debido a que el número de aplicaciones y el intervalo de corrientes y tensiones de los impulsos de mecanizado utilizados son tan grandes que sólo los errores de detección requieren una modificación de los valores de referencia. Puesto que, en particular, es imposible detectar la tensión de impulso de manera precisa en el hueco de trabajo, aumentan los errores en la detección de la tensión de impulso, dando como resultado una detección de tensión poco fiable. Por tanto, por ejemplo, la caída de tensión debida a la impedancia de un electrodo acanalado de 40 mm de longitud para una corriente de descarga de 40 A es de 3 a 4 V aproximadamente, requiriendo la detección fiable de la tensión de impulso una resolución de al menos 1 V. Los valores de referencia se obtienen en función de las prioridades de mecanizado, del emparejamiento de los materiales, de los parámetros de configuración del generador, etc. Además, la diversidad de condiciones de mecanizado en el transcurso del mecanizado requiere modificar los valores de referencia debido a las variaciones de la geometría micro y macroscópica y de las condiciones de evacuación. Esta es la razón por la que es difícil obtener buenos resultados con valores de referencia predeterminados y fijos que puedan aplicarse para la duración completa del mecanizado.

40 Por el documento genérico SI 20253 A se conoce el adaptar los valores de referencia en cada impulso de mecanizado a lo largo de todo el tiempo de mecanizado. Sin embargo, el inconveniente en este caso es que como las condiciones de mecanizado en el hueco de trabajo se deterioran, los valores de referencia también tienden a deteriorarse, de manera que al final no puede detectarse de manera fiable la degeneración del proceso.

45 La invención se basa en el objeto de detectar de manera más fiable degeneraciones de proceso en EDM.

La invención consigue este objeto con el contenido de las reivindicaciones independientes 1 y 10. Realizaciones preferidas se describen en las reivindicaciones dependientes.

50 Por lo tanto, en el procedimiento genérico y en el dispositivo genérico es ventajoso que los valores de referencia sólo se obtengan ahora a partir de impulsos de mecanizado “ideales”. Tales impulsos consiguen mejores resultados en lo que respecta a la erosión, desgaste y seguridad del proceso. Tales impulsos de mecanizado ideales se producen con toda probabilidad después de un movimiento de salto, ya que una conductividad óptima del hueco de trabajo favorece el proceso, pero también después de un mayor tiempo de pausa entre dos impulsos de mecanizado. Dicho de otro modo, la invención implica detectar los valores de referencia sólo durante intervalos de detección en los que tales impulsos de mecanizado “ideales” se produzcan con mayor frecuencia, tal como después de un movimiento de salto y/o de tiempos de pausa ampliados.

A continuación se describirán realizaciones preferidas de la invención con referencia a los dibujos adjuntos, en los que

60 la fig. 1 es un diagrama de bloques de una máquina de electroerosión de fresado de matrices conocida;

las figs. 2a a 2f son representaciones gráficas de un impulso de mecanizado típico y de algunos ejemplos de impulsos de mecanizado degenerados;

65 la fig. 3 es una representación gráfica de enmascaramiento del impulso;

la fig. 4 es una representación gráfica de un primer intervalo de detección T2 después de un movimiento de salto;

la fig. 5 es una representación gráfica de un segundo intervalo de detección T2 después de la aplicación de un impulso de mecanizado con un tiempo de pausa ampliado;

la fig. 6 es un diagrama de bloques de un circuito discriminador de impulsos preferidos que captura y guarda los valores característicos de los impulsos de mecanizado; y

la fig. 7 es un circuito de enmascaramiento/comparador preferido.

Descripción de realizaciones preferidas de la invención

Haciendo ahora referencia a la fig. 1, se ilustra un diagrama de bloques que muestra el diseño de una máquina de electroerosión de fresado de matrices según la presente invención. La máquina de electroerosión de fresado de matrices comprende uno o más módulos de accionamiento (mecanismo accionador), un control numérico (HW IPO) y un generador de impulsos de mecanizado, comprendiendo éste último un módulo generador (Gen), un controlador (Contr.), un módulo de control generador (Control gen), un módulo de control de hueco (Control de hueco) y un módulo detector de hueco (Det. de hueco). Los elementos restantes de la máquina de electroerosión de fresado de matrices, tales como los componentes mecánicos y el conjunto dieléctrico, etc. están agrupados formando un bloque (mecanizado).

El controlador (Contr.) puede ser un circuito impreso industrial y/o un microcontrolador. Los tres módulos pueden implementarse como matrices de puertas programables por campo (FPGA, *Field Programmable Gate Arrays*) que, como alternativa, pueden sustituirse también por una única FPGA más compleja. El control numérico es un interpolador altamente dinámico cuya configuración concreta se detalla en las patentes DE 36 40 987 y DE 36 44 952, cuya descripción se incluye en la presente descripción como referencia. El valor prefijado del interpolador se suministra a los mecanismos accionadores, normalmente con el fin de controlar los ejes X-, Y-, Z- y C- (siendo posible ejes adicionales).

El control generador (Control gen) genera los trenes de impulsos que el generador (Gen) convertirá en impulsos de corriente. El módulo de control de hueco (Control de hueco) mostrado en mayor detalle en la fig. 7, implementa protecciones seguras para eliminar o evitar degeneraciones en el proceso. El módulo detector de hueco (Det. de hueco) mostrado en mayor detalle en la fig. 6, detecta la tensión del hueco y la corriente del hueco. El microcontrolador trata algunas funciones del módulo detector de hueco, del módulo de control de hueco, del control generador y del interpolador implementado en hardware. Para un mejor entendimiento de la invención, sólo se muestran en las figuras los circuitos relevantes de los módulos, es decir, se omiten los circuitos menos relevantes, tales como el circuito de escalada de la tensión de impulso, etc.

El procedimiento y el dispositivo según la invención están relacionados con el sector mostrado por la línea discontinua de la fig. 1.

Haciendo ahora referencia a la fig. 2a, se ilustra el perfil de tensión de un impulso de erosión ideal en función del tiempo en una máquina de electroerosión de fresado de matrices con un electrodo de mecanizado con polarización anódica, caracterizado porque

- en el inicio del impulso, la tensión de reposo U_i se consigue y se mantiene durante un tiempo mínimo (tiempo de retardo de encendido t_d) (10),
- después del encendido, la tensión de reposo U_i cae suavemente hasta la tensión de funcionamiento U_e (11)
- la tensión de funcionamiento U_e (12) no es demasiado baja y comprende una componente de alta frecuencia,
- el tiempo de caída t_{bd} de la tensión de funcionamiento no es demasiado brusco (es decir, la tensión de funcionamiento no debe caer demasiado rápido)
- en el tiempo de pausa, la tensión U_0 (13) no es demasiado baja.

Un impulso de mecanizado que se desvía de un impulso ideal de este tipo se denomina impulso degenerado, indicando por tanto una degeneración en el proceso. Para detectar tales impulsos de mecanizado desviados se examinan valores característicos (criterios) del impulso de mecanizado. Se conocen varios de dichos criterios para proteger de manera efectiva a la electroerosión de fresado de matrices contra las degeneraciones de proceso. En el documento "Arc detection in Electro-Discharge Machining", conferencia del decimotercer ISEM, vol. 1, páginas 125 a 140, BEHRENS, explica los criterios más utilizados, tal y como se muestra en las figs. 2b a 2f:

- el tiempo de retardo de encendido es demasiado corto (particularmente con un tren de descargas del mismo) (fig. 2b),
- el gradiente de la tensión de impulso sin carga es demasiado abrupta, es decir, el tiempo de caída t_{bd} desde la tensión de reposo U_i hasta la tensión de funcionamiento U_e es demasiado corto (fig. 2c),

ES 2 325 597 T3

- no se obtiene la tensión de reposo U_i (fig. 2d),
- falta la componente de alta frecuencia de la tensión de funcionamiento U_e (fig. 2e) y
- la tensión de funcionamiento U_e es demasiado baja (fig. 2f).

Cuando se detectan tales impulsos degenerados a partir de estos criterios, se implementa preferentemente al menos una de las siguientes acciones correctoras:

- se interrumpen los impulsos implicados (véase la fig. 3),
- se provoca un movimiento de salto (véase, por ejemplo, el documento EP 0 252 239, cuya descripción se incluye en la presente solicitud como referencia),
- se aumentan los tiempos de pausa entre los impulsos de mecanizado (véase, por ejemplo, el documento EP 0 252 239).

La lista anterior no está completa ya que, por ejemplo, una acción correctora conocida a partir de la técnica anterior es adaptar un valor prefijado de servomecanismo o realizar otras adaptaciones de los parámetros, acciones que pueden incluirse también en el alcance de la invención descrita en este documento.

Por tanto, si un valor detectado no puede obtener un valor de referencia, se implementa una acción correctora. Si una o más características del impulso no se corresponden con las del impulso ideal, se realizan acciones para mantener alta la productividad del proceso.

Una acción de este tipo puede implicar enmascarar un impulso tal y como se muestra en la fig. 3. El ejemplo muestra un impulso de mecanizado cuya tensión de funcionamiento U_e es demasiado baja, interrumpiéndose la corriente de mecanizado I_e tan rápido como sea posible.

Durante el mecanizado, es ventajoso implementar movimientos de salto periódicos del electrodo de mecanizado para retirar los desechos de erosión del hueco de trabajo, lo cual requiere separar rápidamente el electrodo de mecanizado de la pieza de trabajo en una distancia fijada y después colocarlo de nuevo en el hueco de trabajo. La fig. 4 muestra el avance $V(x, z, y, c)$ del electrodo de mecanizado en función del tiempo para el mecanizado después de un movimiento de salto. El movimiento de salto se produce al principio del perfil de avance, tal y como se muestra en la fig. 4, durante el lapso de tiempo de segmentos bruscos del movimiento de avance. La fig. 4 muestra en una parte inferior un tren de impulsos de descarga, no produciéndose ninguna descarga durante el movimiento de salto. Después, el avance $V(x, z, y, c)$ cambia lentamente en el transcurso de la electroerosión. Durante un lapso de tiempo predeterminado T_1 , el proceso de descarga se estabiliza después del movimiento de salto y después, durante un lapso de tiempo T_2 , (preferentemente una longitud de 100 a 2000 impulsos de descarga y, en particular, preferentemente mayor que el lapso de tiempo T_1) se detectan también los valores característicos de una pluralidad de impulsos de mecanizado con los tiempos de pausa ampliados. El lapso de tiempo T_1 sirve por tanto como un ciclo transitorio para obtener una condición estable de la distancia disruptiva. Después del movimiento de salto, la distancia disruptiva está muy despejada de manera que después de algunas descargas (ciclos transitorios) existen condiciones ideales para la eficacia óptima del proceso. Este es el momento ideal para detectar los valores característicos de una pluralidad de impulsos de mecanizado. Se descartan algunos impulsos de mecanizado "malos" y los valores característicos detectados de los impulsos buenos se guardan como valores de referencia. En el intervalo de tiempo posterior en el que no se realiza tal detección, estos valores de referencia se mantienen sustancialmente invariables (como mucho, ligeramente adaptados a los requisitos de descarga modificados).

La fase de detección comienza preferentemente 50 a 200 ms después del movimiento de salto (T_1) y/o con la primera descarga después de un movimiento de salto, y dura preferentemente de 50 a 100 ms (T_2). Puede implementarse después de cada movimiento de salto o con menos frecuencia, dependiendo de la frecuencia del movimiento de salto y del tipo de mecanizado implicado.

Cuando el mecanizado no permite un movimiento de salto, los impulsos se separan mediante tiempos de pausa mayores antes y durante la detección, tal y como se muestra en la fig. 5. La fig. 5 también muestra un movimiento $V(x, z, y, c)$ del electrodo de mecanizado en función del tiempo para el mecanizado sin movimiento de salto, mostrando también la fig. 5 en la parte inferior un tren de impulsos de descarga que dan como resultado el movimiento $V(x, z, y, c)$ mencionado anteriormente. Los lapsos de tiempo T_1 y T_2 son mayores en este caso ya que el hueco aumenta para conseguir una conductividad ideal; dependiendo de la geometría del electrodo de mecanizado, T_1 puede durar algunos segundos. T_2 debe ser lo bastante largo como para detectar de 100 a 2000 impulsos. El tiempo T_1 puede optimizarse esperando hasta que la conductividad del hueco tenga un valor inferior al valor umbral predeterminado. La conductividad puede obtenerse detectando la tensión en los tiempos de pausa U_0 (véase, por ejemplo, el documento CH 650 433, Vasiliev, Otto, Levit, 1981).

Durante la detección se inhabilitan las protecciones de seguridad o al menos se disminuyen para no interferir en la detección.

ES 2 325 597 T3

Haciendo referencia ahora a la fig. 6, se ilustra una realización de un módulo detector de hueco que obtiene la tensión de impulso para cada impulso de mecanizado detectado a través del hueco de trabajo en los siguientes cuatro valores característicos y los guarda en el microcontrolador (Contr.):

- tensión de funcionamiento U_e ,
- componente de alta frecuencia de la tensión de funcionamiento U_e ,
- tiempo de caída t_{bd} y
- tensión de pausa U_0 .

Este dispositivo también totaliza el número de descargas teóricamente posibles con un intervalo de tiempo determinado y el número y la duración de las descargas reales.

Para este fin, el módulo detector de hueco compara la tensión de impulso detectada y escalada sobre el hueco de trabajo en tres comparadores 21, 22, 23 con la tensión umbral L1, L2 y L3, respectivamente. Cuando la tensión de impulso 20 cae por debajo de L1 y L2, los comparadores 21 y 22 generan los impulsos 37 y 38, respectivamente. Estos impulsos 37 y 38 activan un biestable RS 24 que genera una señal 26 que representa el tiempo de caída T_{bd} . Esta señal 26 se suministra al microcontrolador 50 (Contr. en la fig. 1), usándose para este fin, por ejemplo, un microcontrolador XC167. El XC167 incluye varias entradas "de comparación" con las que puede totalizarse el ancho de impulso, ahorrando por tanto el lapso de tiempo de la señal 26 en el controlador 50. A partir de la comparación con el valor umbral L3, el comparador 23 suministra una señal que señala una descarga producida durante el impulso de mecanizado. Esta señal se suministra junto con una señal OCP a una puerta AND 25. La señal OCP es alta durante la permanencia del impulso de mecanizado y baja durante la permanencia de la pausa. Una alta intensidad de la señal de salida 32 en la puerta AND 25 cierra un interruptor analógico 27 durante la permanencia de la tensión de funcionamiento U_e , conectando de ese modo un filtro paso bajo 29 a la tensión de impulso escalada. El filtro paso bajo 29 suaviza el valor de la señal 33 que representa la tensión de funcionamiento U_e del impulso y mantiene este valor estable con la misma hasta su captura en el microcontrolador 50.

La alta intensidad de la señal de salida 32 también cierra el interruptor analógico 28 conectando por tanto un filtro paso alto 30 a la tensión de impulso escalada para transmitir la componente de alta frecuencia de la tensión de funcionamiento U_e . Conectado en serie con el filtro paso alto 30 hay un filtro paso bajo 37, el cual a su vez tiene la función de mantener el valor de la componente de alta frecuencia de la tensión de funcionamiento, es decir, mantener estable la señal 34 hasta su captura.

Una señal OCPN complementaria a la señal OCP cierra un conmutador analógico 35 durante el tiempo de pausa, por lo que, en este intervalo de tiempo, la tensión detectada a través del hueco de trabajo se suministra al controlador 50, es decir, la información relacionada con la conductividad del hueco de trabajo. Un filtro paso bajo 31 sirve asimismo para estabilizar la señal 36 durante la captura de la misma. Durante el tiempo de pausa, una fuente de tensión débil (por ejemplo, de 20 V) que implica una resistencia conmuta al hueco de trabajo, cuya tensión varía en función de la conductividad del hueco. Puesto que este procedimiento pertenece la técnica anterior, no se describirá en el presente documento.

Cada convertidor analógico-digital contenido en el controlador 50 (por ejemplo, el XC167 incluye 16 convertidores analógico-digital con una resolución de 10 bits y un tiempo de conversión de $2,85 \mu s$) convierte las correspondientes señales de salida mantenidas estables 33, 34 y 36 en señales digitales para un procesamiento adicional.

Durante la fase de detección, el microcontrolador 50 guarda las características relevantes de cada impulso de mecanizado. La señal OCP y la señal 32 son capturadas por el microprocesador 50 en tiempo real y sirven para totalizar, por un lado, el número de descargas teóricamente posibles en un intervalo de tiempo determinado (señal OCP) y el número y la duración de las descargas (señal 32) que se han producido realmente en este intervalo de tiempo. Estas señales OCP y 32 son contabilizadas por el contador correspondiente contenido en el controlador 50.

Un medidor de tiempo GPT1 contenido también dentro del controlador 50 calcula a partir de la señal 32 la duración de las descargas, es decir, la duración de la corriente de impulso, durante las cuales la tensión U_e y la corriente I_e se aplican simultáneamente al hueco disruptivo, es decir, la potencia $u_e \cdot i_e$, la cual, al haberse totalizado con el tiempo, es igual a la potencia $u_e \cdot i_e \cdot t_e$, siendo la extracción de material proporcional a la misma. Puesto que la I_e (fuente de corriente) y la tensión de funcionamiento U_e (determinada por el emparejamiento de los materiales) son constantes, detectar la duración de las descargas permite estimar la extracción de material.

La duración de la descarga de cada impulso, integrada en los diversos impulsos de mecanizado y multiplicada por los coeficientes obtenidos a partir de los parámetros de mecanizado, proporciona la extracción de material total. El número de impulsos por unidad de tiempo durante la condición ideal (durante la fase de detección) es además un criterio para la calidad del mecanizado. Si el número de descargas que se produce realmente en este intervalo de tiempo es muy pequeño, esto es una indicación de condiciones de mecanizado muy difíciles, de manera que el control del ancho del hueco no puede garantizar una alta eficacia del proceso. Esto implica circuitos abiertos y cortocircuitos. En este caso, el microcontrolador 50 producirá un movimiento de salto mediante, por ejemplo, el módulo HW IPO.

La comparación de estos valores permite obtener información importante relacionada con la eficacia del proceso. Cuando se mecaniza con un electrodo de polaridad negativa y con impulsos muy cortos (de $1\ \mu\text{s}$ o menos) como es habitual en el micromecanizado, el número de descargas reales en un intervalo de tiempo es un criterio de la eficacia del proceso. Por otro lado, la detección en una duración de impulso muy corta es muy poco fiable. La frecuencia de impulso real también se utiliza preferentemente para realizar movimientos de salto. Por tanto, la frecuencia de impulso real es igual, en particular, al número de descargas que se producen realmente por unidad de tiempo, es decir, cuando la frecuencia de impulso real es menor que un valor de seguridad durante la fase de detección, también se inicia el movimiento de vaciado.

Tal y como se ha mencionado anteriormente, las correlaciones, por ejemplo, entre el desgaste y el tiempo de caída t_{bd} no son lineales y el cálculo del valor medio omitiría información importante (véase el documento de D. Dauw: "On-line identification and optimization of electro-discharge machining", tesis KUL Leuven, 1985; páginas 3 a 48). La relación entre la tensión de funcionamiento U_e y el riesgo de formación de arco es también no lineal, no significando lo mismo una caída en la tensión de funcionamiento de 30V a 29V que una modificación en la tensión de 24V a 23V; en el último caso, el riesgo de formación de arco es muy alto, pero no en el primero.

Para no omitir las correlaciones no lineales, los valores guardados al final de la fase de detección se clasifican preferentemente mediante el procedimiento de distribución estadística, o dicho de otro modo, el microcontrolador 50 identifica la mayoría de valores producidos como el valor de referencia. La siguiente tabla ilustra un caso, a modo de ejemplo, en el que de los 100 impulsos de mecanizado aplicados, 83 dieron como resultado una descarga, cuyos valores de tensión de funcionamiento U_e se distribuyen de la siguiente manera:

Tensión de funcionamiento U_e [V]	19	20	21	22	23	24	25	26
Número de impulsos	5	7	20	15	16	12	5	3

En este caso, el microcontrolador 50 seleccionaría 21 V como el valor de referencia para la tensión de funcionamiento. Otros procedimientos estadísticos pueden usarse en este caso para identificar, por un lado, valores atípicos y, por otro lado, las propiedades relevantes del grupo de impulsos. Se da preferencia a este procedimiento en comparación con el simple cálculo del valor medio ya que todos los valores detectados tienen una característica no lineal.

Características adicionales, tales como el tiempo de retardo de encendido t_d , la tensión de impulso, la corriente de impulso, pueden extraerse y guardarse de manera similar.

Los valores de referencia calculados de este modo pueden adaptarse de manera que cuando, por ejemplo, la prioridad de mecanizado sea minimizar el desgaste del electrodo, el valor de referencia de la tensión de funcionamiento U_e , establecida por el procedimiento anterior de distribución estadística, se reducirá ligeramente en un momento posterior y el valor de referencia del tiempo de caída t_{bd} aumentará ligeramente. Además, al principio de la electroerosión los valores de referencia pueden adaptarse para permitir impulsos de mecanizado menos óptimos ya que el proceso en este caso especial tiene una baja eficacia y la probabilidad de impulsos de mecanizado no óptimos es elevada. Una vez que se haya establecido el mecanizado, los valores de referencia pueden modificarse para obtener impulsos de mecanizado óptimos.

Haciendo referencia ahora a la fig. 7, se ilustra una realización de un comparador que compara los valores reales con los prefijados (valores de referencia) y que enmascara impulsos degenerados. El controlador 50 transmite los valores de referencia para la tensión de funcionamiento 40 y para la componente de alta frecuencia 41 mediante dos convertidores digital/analógico (DAC, *digital/analog converters*) a dos comparadores. Los comparadores comparan estos valores prefijados con los valores reales 33 (tensión de funcionamiento U_e , véase la fig. 6) y 34 (componente de alta frecuencia, véase la fig. 6) y suministra las señales de salida 42 y 43. Para comparar el tiempo de caída t_{bd} de los impulsos, el microcontrolador 50 carga un contador binario 44 con el valor prefijado de tiempo de caída 51 del controlador 50 calculado en la fase de detección. Cuando se obtiene el valor prefijado, el contador binario 44 suministra una señal de transferencia 49 que activa un biestable D 47, cuya entrada proporciona el valor real de tiempo de caída 26, de manera que su señal de salida 45 (y la señal de salida 48 de una puerta AND posterior) indica si el impulso necesita deshabilitarse debido a que su tiempo de caída actual se desvía del tiempo de caída de referencia. Una puerta OR 49 forma a partir de las señales de entrada 42, 43 y 48 una señal de salida 46 que se suministra al módulo de control de generador (Control gen), tal y como se muestra en la fig. 1. Esta señal de salida 46 deshabilita el impulso de mecanizado clasificado como degenerado directamente durante la aplicación, garantizando de ese modo que el proceso de descarga eléctrica se realice solamente con los impulsos eficaces.

Los circuitos descritos anteriormente deben entenderse como ejemplos no limitativos. Todos los circuitos digitales están integrados preferentemente en un único módulo FPGA y descritos mediante un lenguaje de programación adecuado tal como, por ejemplo, VHDL.

Cuando un mecanizado permite un movimiento de salto, éste se realiza mediante el microcontrolador 50 ya sea en un ciclo fijo y/o cuando las condiciones de mecanizado se deterioren según se señalice, entre otras cosas, por una tensión de pausa baja U_0 , caso en el que el microcontrolador 50 utiliza la señal 31 comparándola con el valor de

referencia para la conductividad. Si la señal 31 es mucho más pequeña, se produce un movimiento de salto, siendo éste también el caso cuando la frecuencia de impulso real es mucho más baja que el valor de referencia correspondiente guardado en la fase de detección o cuando el número y la duración de las descargas reales (por ejemplo debido a los impulsos enmascarados) son muchos más bajos que los valores de referencia correspondientes guardados en la fase de detección.

Cuando un mecanizado no permite un movimiento de salto, el microcontrolador 50 deshabilita los impulsos mediante pausas moderadamente largas durante la fase de detección. Normalmente, las pausas vienen a ser del 10 al 200% de la duración de los impulsos, dependiendo del material del electrodo, del emparejamiento de los materiales, de las condiciones de mecanizado requeridas, etc. En el caso citado, las pausas aumentan, en comparación con las pausas "normales", en un factor de 2 a 4. Aumentar la pausa debería bastar para detectar de 100 a 2000 impulsos de mecanizado. Para impulsos con una duración de $100\ \mu\text{s}$ y una duración de pausa de $50\ \mu\text{s}$, la fase de detección asciende por tanto a $100\ (\text{ó } 2000) * (100 + 50\ \mu\text{s}) = 15\ (\text{ó } 300)\ \text{ms}$. Por lo demás, el procedimiento descrito anteriormente puede utilizarse de la misma manera.

Las fases de detección se realizan en ciclos mediante el microcontrolador 50, particularmente en los siguientes casos:

- en intervalos regulares,
- la tensión de pausa U_0 es demasiado baja,
- la frecuencia de impulso real es mucho menor que el valor de referencia correspondiente guardado en la fase de detección (similar al movimiento de salto producido),
- el número y la duración de las descargas reales son mucho menores que los valores de referencia correspondientes guardados en la fase de detección.

En resumen, las ventajas de este procedimiento son que los valores de referencia en un contexto dado siempre se corresponden con las mejores condiciones de mecanizado posibles (como después de un movimiento de salto) requiriendo que todos los impulsos se aproximen a tales valores. Por ejemplo, durante el mecanizado con un electrodo acanalado, capturar los valores de referencia después de un movimiento de salto es particularmente ventajoso ya que en la mayoría de los casos, las descargas tienen lugar sólo en la superficie delantera del electrodo. Estos impulsos muestran una tensión de funcionamiento U_e particularmente alta ya que el electrodo provoca una caída de tensión a través de toda la longitud. Los impulsos que se descargan en las superficies laterales del electrodo tienen una tensión de funcionamiento U_e menor ya que su caída de tensión es menor. Por tanto, cuando los impulsos que se descargan a través de la superficie delantera se toman como modelo para el mecanizado posterior, las chispas laterales pueden eliminarse en mayor grado de manera que el hueco lateral se hace muy pequeño. Por tanto, el efecto bomba de los movimientos de salto se maximiza.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para mecanizado electroerosivo (EDM) de una pieza de trabajo mediante un tren de impulsos de mecanizado, en el que los impulsos de mecanizado se aplican al hueco de trabajo entre la pieza de trabajo y el electrodo durante el tiempo de mecanizado, detectándose un parámetro eléctrico del impulso de mecanizado actual aplicado al hueco de trabajo, a partir del cual se obtiene al menos un valor característico y se compara con un valor de referencia, y dependiendo del resultado de la comparación se inician acciones, en el que el valor de referencia se captura basándose en al menos un impulso de mecanizado anterior, **caracterizado** porque el tiempo de mecanizado se divide en intervalos de detección durante los cuales los valores de referencia se capturan a partir de los impulsos de mecanizado aplicados y en intervalos de mecanizado durante los cuales no se captura ningún valor de referencia a partir de los impulsos de mecanizado aplicados, comprendiendo los intervalos de detección primeros intervalos de detección después de la implementación de un movimiento de salto del electrodo en el hueco de trabajo y/o segundos intervalos de detección después de la aplicación de impulsos de mecanizado con un tiempo de pausa ampliado.
2. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que los primeros intervalos de detección se inician después de un primer tiempo de espera predeterminado (T1) y/o después de la primera descarga de un impulso de mecanizado después de implementar el movimiento de salto durante un primer lapso de tiempo (T2).
3. El procedimiento según la reivindicación 2, en el que durante el primer tiempo de espera predeterminado (T1) y/o el primer lapso de tiempo (T2) se amplía el tiempo de pausa entre los impulsos de mecanizado.
4. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los segundos intervalos de detección se inician después de un segundo lapso de tiempo predeterminado (T2) después de la aplicación de los impulsos de mecanizado con el tiempo de pausa ampliado durante un segundo lapso de tiempo (T2).
5. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que durante los intervalos de detección se obtienen y se guardan los parámetros característicos de cada impulso de mecanizado, y los valores de referencia capturados a partir de los parámetros característicos salvados asociados se usan sustancialmente sin modificar durante el siguiente intervalo de mecanizado.
6. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los valores característicos del impulso de mecanizado comprenden la tensión de funcionamiento (U_e), la componente de alta frecuencia de la tensión de funcionamiento (U_e), el tiempo de caída (t_{bd}) desde la tensión de reposo hasta la tensión de funcionamiento (U_e), la tensión de pausa (U_0) y/o el número y la duración de las descargas producidas realmente durante un intervalo de tiempo predeterminado.
7. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que durante los intervalos de detección las acciones de seguridad que protegen contra la degradación del proceso disminuyen o se deshabilitan.
8. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que durante los intervalos de detección los valores característicos se capturan y se guardan, y los valores que se producen con mayor frecuencia en el intervalo de detección se usan como valores de referencia para el siguiente intervalo de mecanizado.
9. El procedimiento según la reivindicación 8, en el que los valores de referencia están adaptados en un pequeño intervalo a un requisito de mecanizado.
10. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el impulso de mecanizado actual se deshabilita instantáneamente cuando al menos un valor característico se desvía de su valor de referencia correspondiente.
11. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la tensión de pausa (U_0), la frecuencia de impulso real o el número y la duración de las descargas se capturan como valores característicos, y en el que se implementa un movimiento de salto cuando se detecta una desviación con respecto al valor de referencia asociado.
12. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la tensión de pausa (U_0), la frecuencia de impulso real o el número y la duración de las descargas se capturan como valores característicos, y en el que los tiempos de pausa entre los impulsos de mecanizado durante un tercer lapso de tiempo predeterminado se amplían cuando se detecta una desviación con respecto al valor de referencia asociado.
13. Un dispositivo para mecanizado electroerosivo (EDM) de una pieza de trabajo mediante un tren de impulsos de mecanizado, que comprende un generador de impulsos de mecanizado que está diseñado para
 - aplicar impulsos de mecanizado al hueco de trabajo entre una pieza de trabajo y un electrodo durante el tiempo de mecanizado,
 - detectar un parámetro eléctrico del impulso de mecanizado actual aplicado al hueco de trabajo,

ES 2 325 597 T3

- obtener al menos un valor característico,
- comparar este valor con un valor de referencia,
- 5 - iniciar acciones dependiendo del resultado de la comparación
- en el que el valor de referencia se captura basándose en al menos un impulso de mecanizado anterior,

caracterizado porque el generador de impulsos de mecanizado está diseñado además para

- 10 - dividir el tiempo de mecanizado en intervalos de detección durante los cuales se capturan valores de referencia a partir de los impulsos de mecanizado aplicados y en intervalos de mecanizado durante los cuales no se captura ningún valor de referencia a partir de los impulsos de mecanizado aplicados, comprendiendo los intervalos de detección primeros intervalos de mecanizado después de la implementación de un movimiento de salto del electrodo en el hueco de trabajo y/o segundos intervalos de mecanizado después de la aplicación de impulsos de mecanizado con un tiempo de pausa ampliado.

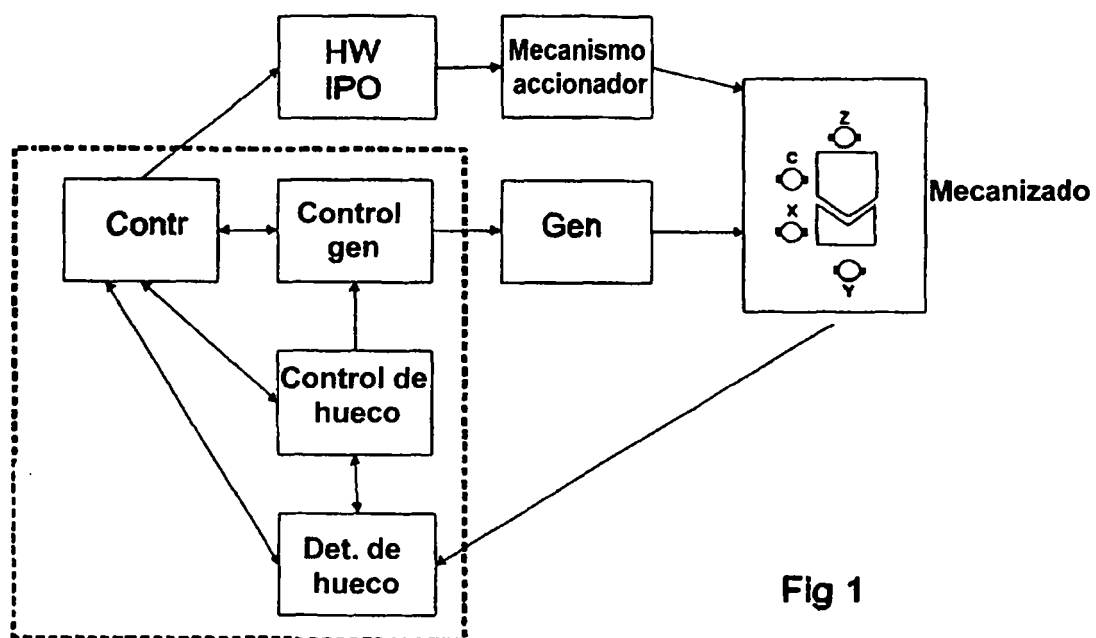


Fig 1



Fig 2a

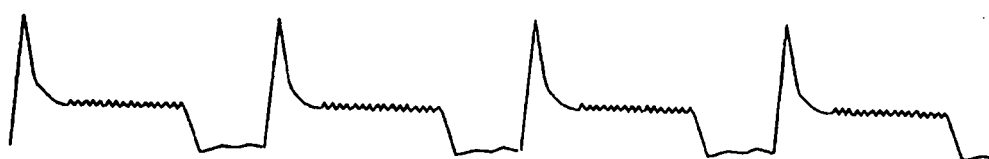


Fig 2b



Fig 2c



Fig 2d

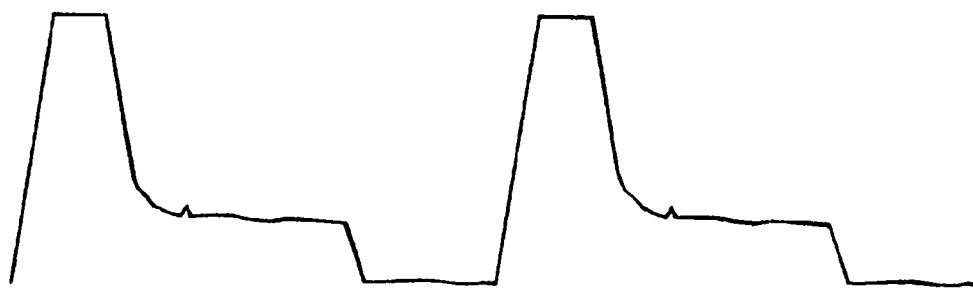


Fig 2e

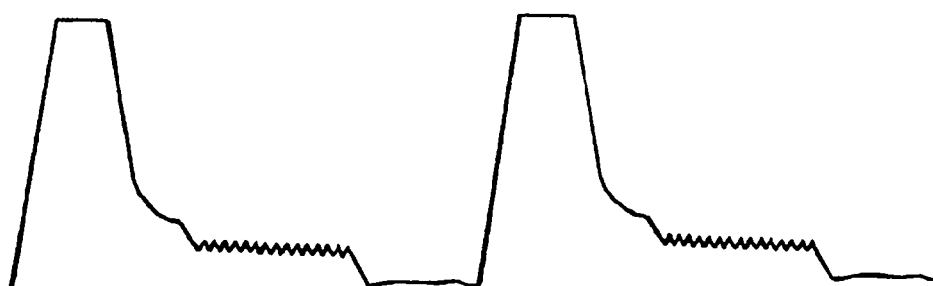


Fig 2f

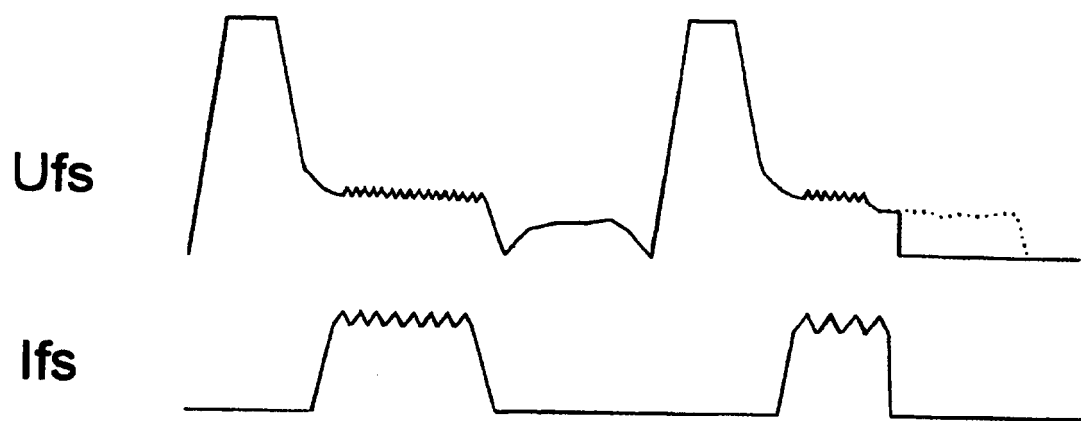
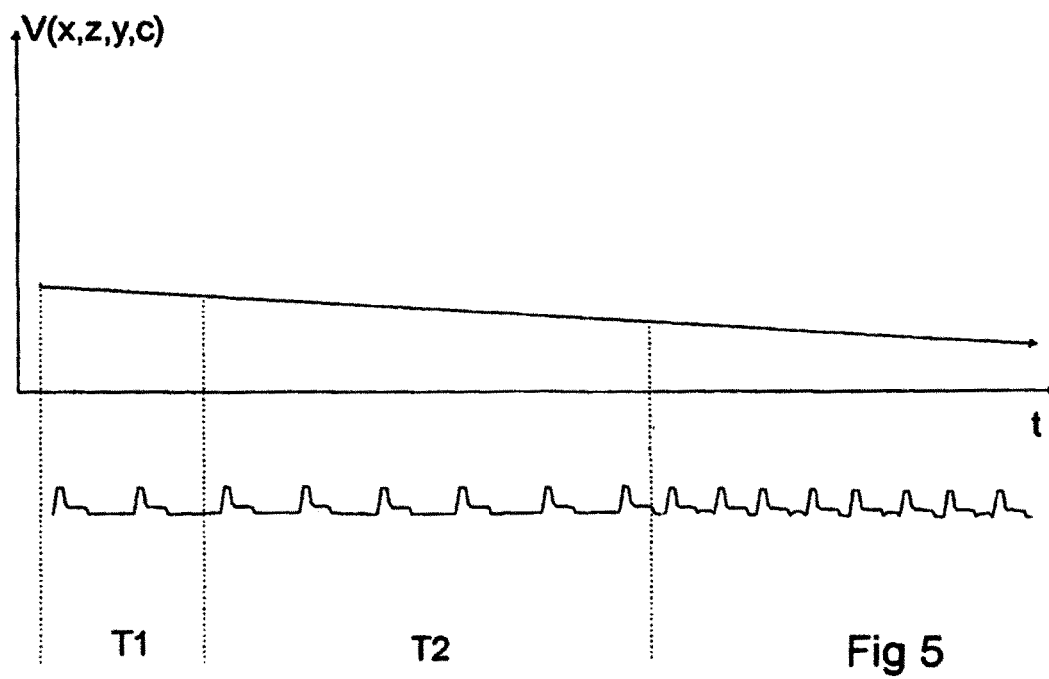
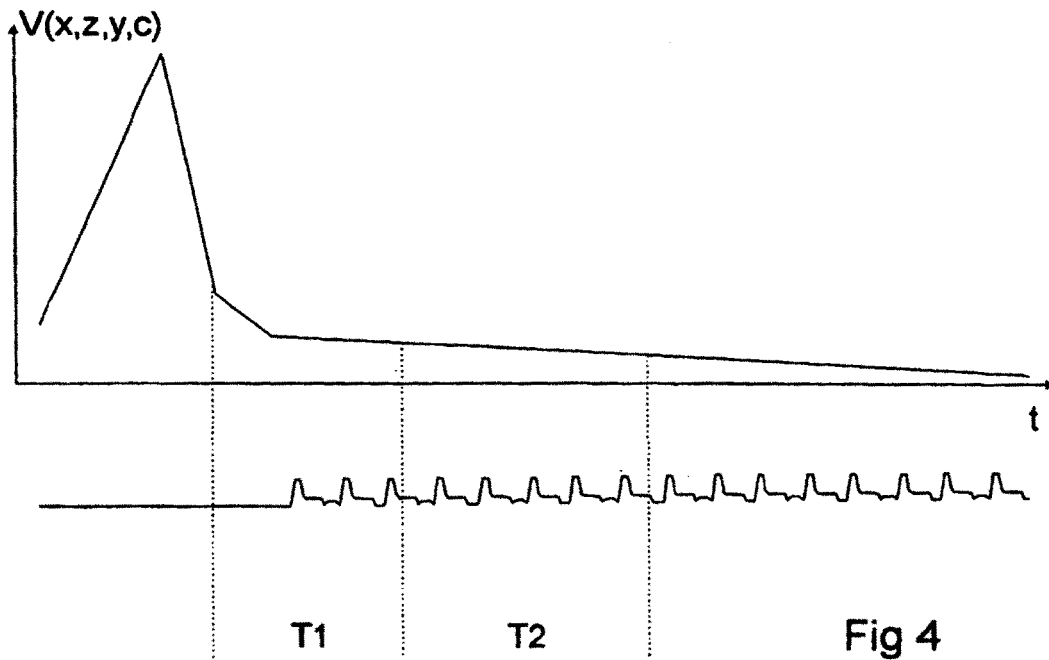


Fig 3



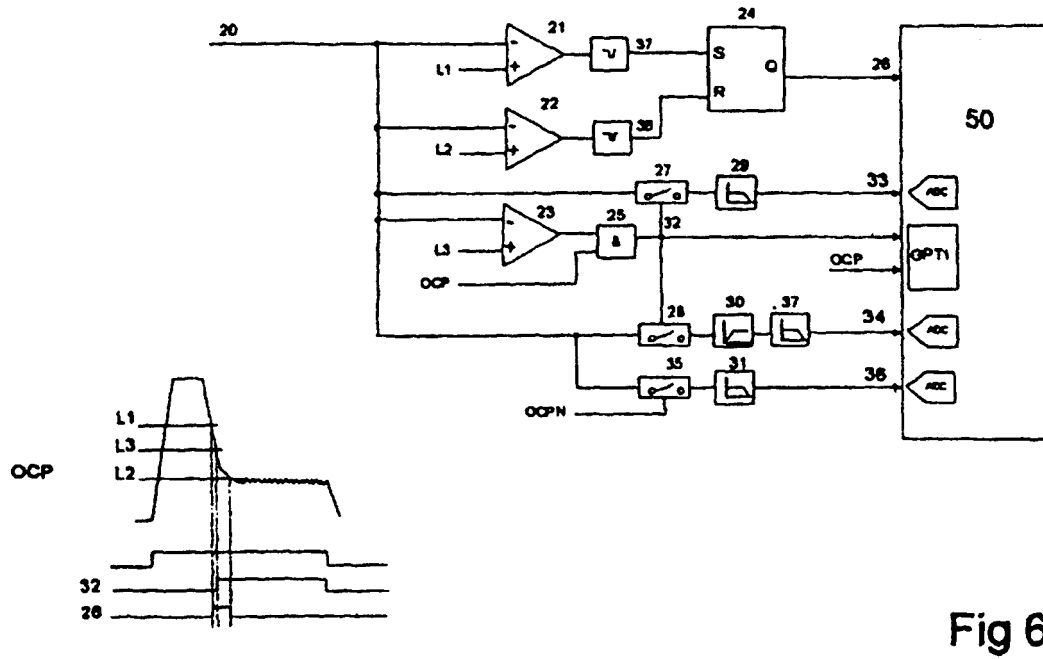


Fig 6

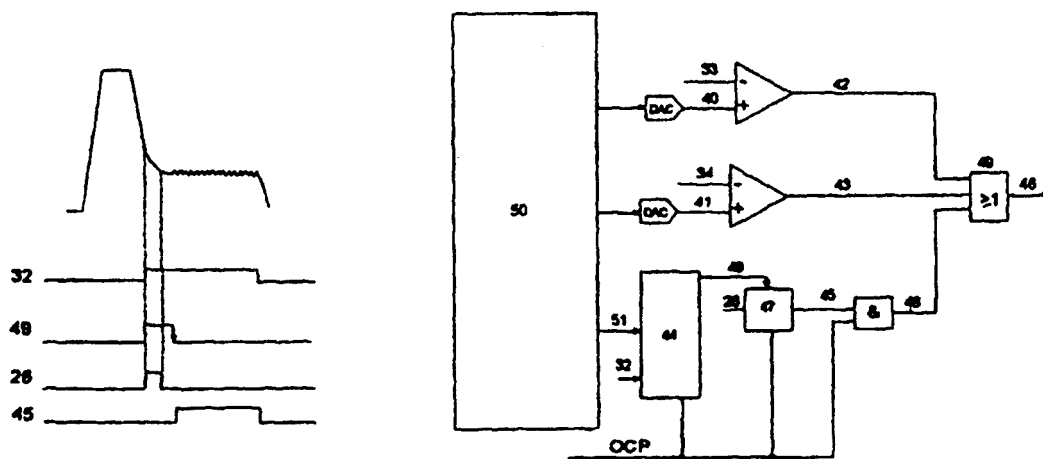


Fig 7