

DESCRIPCIÓN

Sistema electrónico de potencia con control digital reconfigurable para máquinas de electroerosión.

5 La presente invención es una aportación a la técnica industrial de electroerosión, que es un proceso electrotérmico de mecanizado de piezas metálicas que utiliza un electrodo situado a una pequeña distancia sobre la pieza a mecanizar, ambos sumergidos en un fluido dieléctrico. Una fuente de alimentación de corriente continua produce pulsos de tensión entre el electrodo y la pieza, generando descargas eléctricas, es decir, conducción de corriente en el espacio entre electrodo y pieza (gap). Cada descarga consigue el suficiente calentamiento local para fundir una pequeña porción
10 superficial de la pieza. (Fig. 1).

En concreto, la invención es una innovación sobre las fuentes de alimentación para sistemas de electroerosión. Esta invención utiliza técnicas de convertidores electrónicos resonantes e incluye un sistema digital de control que permite evaluar la calidad de cada descarga eléctrica; discriminando si es efectiva para el mecanizado, o si se ha generado una
15 situación que se corrige en cada impulso.

Antecedentes de la invención

El mecanizado por descarga eléctrica, electroerosión, es conocido en inglés como “Electrical Discharge Machining (EDM)” es un proceso electrotérmico que utiliza un electrodo situado a una pequeña distancia fija sobre una pieza
20 metálica a mecanizar ambos sumergidos en un fluido dieléctrico. Una fuente de alimentación eléctrica de corriente continua produce pulsos de tensión entre el electrodo y la pieza generando descargas eléctricas, es decir, conducción de corriente en el espacio entre electrodo y pieza (gap). Cada descarga consigue el suficiente calentamiento local como para fundir una pequeña porción superficial de la pieza. (Fig. 1).

25 En esencia, un sistema EDM está formado por los siguientes elementos [8],[9]:

- Pieza a mecanizar
- 30 - Electrodo
- Fluido dieléctrico.
- Fuente de alimentación eléctrica de corriente continua.
- 35 - Servomecanismos para mantener la distancia de gap constante.

En España no se encuentran patentes registradas con referencia la fuente de alimentación para sistemas de electroerosión, sí por el contrario, sobre procedimientos o mejoras del proceso “aguas a fuera” de la etapa de potencia.

40 Las patentes extranjeras, más significativas, que aportan soluciones sobre el mismo ámbito de actuación que la presente invención son las referencias [1-6].

Se refieren a diferentes diseños de la fuente de alimentación y a la actuación frente a arcos eléctricos y situaciones de sobretensión.

Los fundamentos teóricos de esa invención están, en parte, basados en las referencias [7-11] que aportan definiciones y normas sobre la electroerosión y fundamentos sobre el diseño de convertidores resonantes.

50 La referencia [12] aporta datos sobre el material que se utiliza para la construcción de los electrodos.

Bibliografía

55 [1] EP 1116541 *Power Supply for Electrodischarge Machining and Method of Electrodischarge Machining*. Jul. 2001.

[2] US4634827 *Electrical discharge machining apparatus including gap condition detection circuitry*. Ene. 1987.

[3] US4719327 *Electrical discharge machining power supply*. Ene. 1988.

60 [4] GB1432045 *Pulse Generating Circuit for Machining by Intermittent Electrical Discharges*. Abr. 1976.

[5] US5336864 *Pulses generator for electrodischarge machining*. Agos. 1994.

65 [6] US4713516 *Pulse generator for spark erosive metal working*. Dic. 1987.

[7] SN 237 550/1 *Swiss Norm. Electrical Discharge Machining*. Part 1 Definitions and terminology. 1980.

[8] G. **Boothroyd**, W. A. **Knight**, *Fundamentals of Machining and Machine Tools*. 2nd Edition. New York: Marcel Dekker, 1989.

[9] E. **Bud Guitrau**, *The EDM Handbook*. Hanser Gardner Publications, 1997.

[10] R. L. Steigerwald. "A Comparison of Half-Bridge Resonant Converter Topologies", *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 3, No. 2, April 1988, pp. 174-182.

[11] Marian K. **Kazimierzuk**, Dariusz **Czarkowski**, *Resonant Power Converters*. New York: Wiley Interscience Publication, 1995.

[12] POCO's EDM Technical Manual. Poco Graphite, Inc.

Descripción de la invención

Según la figura 3 el sistema que configura la invención se divide en ocho bloques, siendo su objetivo obtener descargas óptimas (ver figura 2) entre un electrodo y una pieza dispuestas según se indica en la figura 1.

A continuación se describen los 8 bloques o elementos que contiene la invención:

- 1) Red de alimentación
- 2) Convertidor electrónico ca/cc
- 3) Convertidor electrónico cc/ca de alta frecuencia
- 4) Transformador
- 5) Rectificador ca/cc de alta velocidad
- 6) Sensor y adaptador de señal entre electrodo y pieza
- 7) Circuito de control de la fuente de impulsos y del servomecanismo que sitúa el electrodo sobre la pieza
- 8) Servomecanismo.

1) Red de alimentación: red de alimentación universal.

2) Convertidor electrónico ca/cc corrector de factor de potencia, que tiene como misión obtener una tensión de salida constante y regulada para que sea estable al valor deseado. Este convertidor debe conseguir cumplir con la normativa de contenidos de armónicos en la red IEC 1000 3-2 que se aplique para los equipos de electroerosión. Con esta solución la invención permite cumplir con la norma IEC 1000 3-2 pese a ser un equipo que demanda intensidad pulsante.

3) Convertidor electrónico cc/ca de alta frecuencia denominado Inversor Resonante LCC que conmuta a la frecuencia f_0 , muy superior a la frecuencia de mecanizado, donde su comportamiento es de fuente de corriente. Es decir, la invención ofrece como solución para generar la descarga, la acumulación de energía en una red resonante donde, a determinada frecuencia f_0 , la ganancia en tensión es idealmente infinita, consiguiendo el control de corriente tras la descarga por el comportamiento inherente del circuito, a la frecuencia f_0 , como fuente de corriente alterna constante, proporcional a la tensión de alimentación.

4) Transformador que obtiene el valor de intensidad en el secundario especificado para la carga. El transformador es un elemento esencial en la invención puesto que permite que el nivel de intensidad en el bloque 3 sea razonablemente pequeño, proporciona aislamiento galvánico, y por tanto permite elegir la polaridad entre electrodo y pieza así como la conexión de diversas fuentes para aumentar la potencia. El transformador está diseñado para que se le aplique corriente alterna a la frecuencia f_0 y para soportar la sobretensión de inicio de la descarga.

5) Convertidor ca/cc que rectifica la intensidad del secundario del transformador, obteniendo la tensión e intensidad final aplicada a la carga, continua con un rizado de frecuencia $2f_0$. Para esta aplicación se adopta la configuración bifásica de media onda con diodos o transistores de baja resistencia en conducción, alta velocidad de conmutación y capacidad de soportar la sobretensión de ruptura del dieléctrico.

6) Sensor adaptador que toma muestras de la forma de onda de tensión entre el electrodo y la pieza, las filtra para eliminar la componente de frecuencia $2f_0$ y las confiere el nivel adecuado para compararse con las tensiones de referencia que identificarán las situaciones descritas en la figura 2: a) circuito abierto, b) descarga óptima, c) arco y d) cortocircuito. La invención ofrece, por tanto, como solución para la identificación de las situaciones generadas entre electrodo y pieza, tomar la muestra de la tensión de cada impulso filtrando la componente $2f_0$ y la comparación

simultánea con las referencias que identifican las cuatro situaciones posibles cuya detección se realiza dentro del propio impulso.

7) Circuito de control digital que recibe la información sobre el impulso de mecanizado y genera la actuación correspondiente. Véase el sistema de decisión en la figura 4 que se resume en: Actuación ante el reconocimiento de diferentes situaciones: Sobre la fuente de potencia, la actuación se produce en cada impulso de mecanizado: a) Descarga deseada $\Rightarrow$ el sistema mantiene su situación o bien aumenta el ancho de pulso de la descarga para acelerar el mecanizado o corte, b) Circuito abierto $\Rightarrow$ se interrumpe el intento de descarga, c) Cortocircuito $\Rightarrow$ se interrumpe el intento de descarga, d) Arco eléctrico $\Rightarrow$ se reduce el ancho de pulso de la descarga para aumentar el tiempo efectivo de limpieza entre electrodo y pieza.

Sobre el motor paso a paso la actuación se produce a la frecuencia de los pulsos que generan el cambio de paso: a) Descarga deseada $\Rightarrow$ el electrodo mantiene su situación, b) Circuito abierto $\Rightarrow$ se produce la indicación de acercamiento del electrodo a la pieza, c) Cortocircuito $\Rightarrow$ se produce la indicación de alejamiento del electrodo a la pieza, d) Arco eléctrico $\Rightarrow$ el electrodo mantiene su situación.

El circuito de control permite que el sistema de actuación sobre el motor pueda pasar de modo automático a manual (teleoperado) para resolver por decisión del operario cualquier situación.

Véase el esquema de implementación de los bloques 6 y 7 en la figura 5.

La invención aporta la solución de un control digital reconfigurable para adaptar los parámetros de cada operación. El sistema de control es genérico y útil para diversas situaciones: diferentes metales, electrodos etc., pero al mismo tiempo admite modificaciones para adaptarse a cambios no contemplados inicialmente consecuencia de cualquier peculiaridad de la operación. Se ofrece como solución para optimizar el rendimiento de la operación, que el circuito valore en tiempo real, cada impulso de mecanizado, pudiéndose readaptar los parámetros en el propio impulso para utilizarse en el siguiente.

8) Servomecanismo. Recibe los comandos del circuito digital y es el sistema que dirige al motor y el propio motor que sitúa el electrodo a la distancia adecuada de la pieza. La invención utiliza un motor paso a paso por su mejor adaptación a un control digital y el control preciso del incremento de posición.

Ventajas que ofrece la invención

- a) Tamaño y peso reducidos de la etapa de potencia de los componentes reactivos (inductancia, condensadores y transformador) ya que se trata de un convertidor de alta frecuencia.
- b) Tamaño y peso reducidos, ya que al utilizar convertidor de alto rendimiento y monitorizar la efectividad de cada impulso el tamaño de los disipadores de calor es pequeño.
- c) Elevado rendimiento, eficiencia de conversión de la energía eléctrica en el convertidor de potencia y en la transformación en calor para la operación de electroerosión sobre la pieza. Necesidad de menor potencia eléctrica.
- d) Diseños de bajo coste ya que la necesidad de menor potencia para la operación permite utilizar dispositivos de conmutación de bajas prestaciones. e) Determina la calidad de cada impulso de mecanizado que se produce a decenas de kHz.
- f) Sistema de potencia mínima escalable: El comportamiento inherente del convertidor de potencia como fuente de corriente con aislamiento galvánico permite conectar en paralelo las etapas de potencia que requiera la operación.
- g) Eliminación de filtros de potencia que incide en la reducción de tamaño, peso y coste. La etapa de potencia no requiere filtros de salida ya que el rizado es de alta frecuencia (doble de la frecuencia de conmutación), el cable de conexión entre la salida de la etapa de potencia y el electrodo actúa de inductancia que reduce el rizado de la intensidad de salida. En caso de requerirse mayores prestaciones de reducción de rizado y mayor potencia, la solución es la mera conexión en paralelo de varias etapas desfasando el control un ángulo Π/n radianes siendo n el número de etapas de potencia en paralelo. La reducción del rizado puede tener interés para obtener mejoras en el acabado de la pieza.
- h) La operación de electroerosión se realiza de forma automática ya que el propio sistema decide la posición más óptima entre electrodo y pieza, así la intervención de operarios es mínima una vez se inicia la operación.
- i) El sistema permite realizar la operación de electroerosión bajo el agua sin características especiales (agua del grifo, agua desionizada, etc.). El agua del grifo actuando como dieléctrico es un elemento, en principio, inadecuado para este tipo de operaciones ya que es polar y disuelve iones con facilidad. El agua del grifo, por tanto, aumenta la posibilidad de generación de arcos eléctricos no deseados. La detección y corrección en tiempo real de las situaciones no deseadas entre electrodo y pieza permite corregir las malas propiedades del agua como dieléctrico.

- j) La reducción de tamaño y peso hace que el sistema sea transportable y muy adecuado para operaciones *in situ*.
- k) El bajo coste de la solución, su fácil transporte y su capacidad de operar bajo agua lo hacen muy apropiado para desarrollar trabajos de corte de piezas metálicas en el interior de vasijas de centrales nucleares donde quizás el sistema deba ser desechado tras la operación por quedar contaminado.
- l) La utilización de este sistema en mecanizados permite sustituir aceites de refrigeración por agua convencional. La utilización del sistema para tareas de corte o eliminación de piezas permite obtener mejoras sustanciales del acabado de la operación y mejores rendimientos energéticos.

Descripción de las figuras

Figura 1: Elementos fundamentales en un proceso de electroerosión

Figura 2: Formas de onda teóricas de tensión e intensidad entre el electrodo y la pieza a mecanizar indicándose las cuatro situaciones contempladas en la operación: 1) circuito abierto que corresponde a una distancia excesiva entre electrodo y pieza, 2) descarga normal que es el objetivo deseado, 3) arco eléctrico que indica que no se produce un campo eléctrico uniforme entre electrodo y pieza, usualmente por falta de limpieza adecuada y 4) cortocircuito que indica contacto entre electrodo y pieza.

Figura 3: Diagrama de bloques del circuito electrónico de potencia que constituye la fuente de impulsos en el que aparecen los siguientes elementos: 1) Fuente de alimentación de red, 2) Convertidor electrónico ca/cc de baja frecuencia 3) convertidor electrónico cc/ca de alta frecuencia 4) transformador de alta frecuencia 5) rectificador ca/cc de alta velocidad 6) sensor y adaptador de señal entre electrodo y pieza, 7) circuito de control de la fuente de impulsos y del servomecanismo que sitúa el electrodo sobre la pieza, 8) Servomecanismo que sitúa el electrodo frente a la pieza

Figura 4: Diagrama de flujo del circuito de control

Figura 5: Ejemplo de implementación del circuito de control mediante un circuito digital, aprovechando la concurrencia de acciones de control sobre la fuente y el servomecanismo.

Figura 6: Ejemplo de especificaciones teóricas de las formas de onda de tensión en intensidad entre electrodo y pieza en una descarga.

Figura 7: (a) Esquema eléctrico del convertidor cc/ca inversor resonante LCC (b) circuito de aproximación fundamental utilizado para el análisis del inversor resonante.

Figura 8: Intensidad normalizada a través de la resistencia equivalente R_i en función de la frecuencia de conmutación y diferentes factores de calidad Q_p . Se aprecia el comportamiento como fuente de corriente a la frecuencia ω_o .

Figura 9: Intensidad de salida en situación de cortocircuito.

Figura 10: Situación de circuito abierto: sobretensión y actuación de la protección dentro del ciclo de impulso.

Figura 11: Tensión e intensidad entre electrodo y pieza en una situación de descarga efectiva.

Un modo de realización

Especificaciones técnicas a resolver.

En la tabla I se presentan las condiciones de mecanizado.

ES 2 206 058 B2

TABLA I

Condiciones de mecanizado

Condiciones de mecanizado	
Electrodo	0.8 mm Ø Grafito
Pieza	Acero al Carbono
Operación	Desbaste
Fluido dieléctrico	Agua
Tipo de inyección	Presión externa
Condiciones del Generador	
Polaridad del electrodo	Negativa
Ancho del impulso	50 μ s
Ciclo de trabajo	50%

Especificaciones eléctricas a generar por el sistema según figura 6

La solución propuesta siguiendo el esquema de la figura 3 se conecta a la red de alimentación bloque 1, en este caso 220V, 50Hz el bloque 2 es un rectificador o con una etapa correctora de factor de potencia adecuada para cumplir la normativa IEC 1000-3-2 sobre armónicos en la red el bloque 3 es un convertidor resonante LCC puente completo conmutado a 200 kHz utilizado como fuente de corriente. La secuencia de diseño del convertidor LCC está orientada a conseguir la ruptura del dieléctrico y la estabilización de la corriente consiguiendo que las máximas solicitaciones a que estén sometidos los componentes y dispositivos del sistema estén limitados por diseño, obteniendo así máxima robustez.

La figura 7 (a) muestra el esquema del inversor resonante puente completo (bloque 3). La conmutación de los cuatro transistores en puente consigue aplicar una tensión cuadrada, V_{AB} , a la red LCC resonante.

Las formas de onda en el circuito resonante son prácticamente senoidales por lo que se aplicará la aproximación fundamental para el análisis del diseño véase la figura 7(b).

TABLA II

Principales parámetros de construcción del ejemplo

N	$\hat{V}_{Ri}$ (V)	$R_i(\Omega)$	$R_0(\Omega)$	$\hat{I}_{Ri}$ (A)	C_p (nF)	f(kHz)	A	C_s (nF)	$L(\mu H)$
7	300	150	3,3	2	4,7	205	0,25	20	157

La figura 9 muestra la corriente de salida bajo condiciones de cortocircuito, verificándose la protección inherente del circuito en el caso de contacto entre electrodo y pieza.

La condición de circuito abierto se muestra en la figura 10 verificándose que la actuación inmediata de la protección aborta el periodo de impulso, evitándose por un lado una situación de exceso de tensión y por otro lado se mantiene la funcionalidad ya que existirá un nuevo intento de generar la descarga en el siguiente periodo de impulso.

La figura 11 muestra las formas de onda de tensión e intensidad en una descarga real entre electrodo y pieza.

REIVINDICACIONES

1. Sistema electrónico de potencia con control electrónico digital reconfigurable para máquinas de electroerosión compuesto por una red de alimentación, un convertidor electrónico ca/cc, un convertidor electrónico cc/ca de alta frecuencia, un transformador, un rectificador ca/cc de alta velocidad, un sensor y adaptador de señal entre electrodo y pieza, un circuito de control de la fuente de impulsos y un servomecanismo que sitúa el electrodo sobre la pieza.

2. Sistema electrónico de potencia con control electrónico digital reconfigurable para máquinas de electroerosión, según la reivindicación anterior, **caracterizado** por utilizar un convertidor electrónico cc/ca de alta frecuencia denominado Inversor Resonante LCC, generando la descarga mediante la acumulación de energía en una red resonante donde, a determinada frecuencia f_0 , la ganancia en tensión es idealmente infinita, consiguiendo el control de corriente tras la descarga por comportamiento inherente del circuito, a la frecuencia f_0 , como fuente de corriente alterna constante proporcional a la tensión de alimentación.

3. Sistema electrónico de potencia con control electrónico digital reconfigurable para máquinas de electroerosión, según las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por utilizar un transformador de corriente de alta frecuencia para dotar al sistema de aislamiento galvánico, permitiendo elegir la polaridad entre electrodo y pieza y la conexión de varias fuentes para aumentar la potencia del sistema.

4. Sistema electrónico de potencia con control electrónico digital reconfigurable para máquinas de electroerosión, según las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por utilizar un sensor adaptador para tomar muestras de la forma de onda de tensión entre el electrodo y la pieza identificando las situaciones: circuito abierto, descarga óptima, arco y cortocircuito, dentro del propio impulso.

5.- Sistema electrónico de potencia con control electrónico digital reconfigurable para máquinas de electroerosión, según las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por utilizar un circuito de control digital que genera una actuación concreta en cada impulso ante al detección de diferentes situaciones: Descarga deseada, el sistema mantiene su situación o bien aumenta el ancho de pulso de la descarga para acelerar el mecanizado o corte; Circuito abierto, se interrumpe el intento de descarga y se produce la indicación de acercamiento del electrodo a la pieza; Cortocircuito, se interrumpe el intento de descarga y se produce la indicación de alejamiento del electrodo a la pieza; Arco eléctrico, se reduce el ancho de pulso de la descarga para aumentar el tiempo efectivo de limpieza entre electrodo y pieza.

6. Sistema electrónico de potencia con control electrónico digital reconfigurable para máquinas de electroerosión, según las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por utilizar un circuito de control digital que es reconfigurable según las especificaciones de cada operación y el número de fuentes conectadas en paralelo.

7. Sistema electrónico de potencia con control electrónico digital reconfigurable para máquinas de electroerosión, según las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por mecanizar sumergido en agua o fuera del agua, utilizando agua convencional o bien agua desionizada como dieléctrico debido a que permite readaptar las condiciones de la descarga en cada impulso.

8. Sistema electrónico de potencia con control electrónico digital reconfigurable para máquinas de electroerosión, según las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por no utilizar filtro en la salida de corriente continua conectada entre electrodo y pieza, utilizando el cable de conexión entre la fuente de impulsos y la carga como filtro.

9. Sistema electrónico de potencia con control electrónico digital reconfigurable para máquinas de electroerosión, según las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por escalar la potencia máxima disponible conectando en paralelo tantas fuentes como sean necesarias, ya que su comportamiento es de fuente de corriente con aislamiento galvánico. El desfase del control de las fuentes conectadas en paralelo es un ángulo Π/n radianes, siendo n la suma de todas las etapas de potencia de la fuente de impulsos.

10. Sistema electrónico de potencia con control electrónico digital reconfigurable para máquinas de electroerosión, según las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por utilizar una etapa de potencia que se conecta a un corrector de factor de potencia y este a la red de alimentación cumpliendo las normas aplicables sobre contenidos de armónicos en la red eléctrica pese a que el sistema genera corriente pulsante.

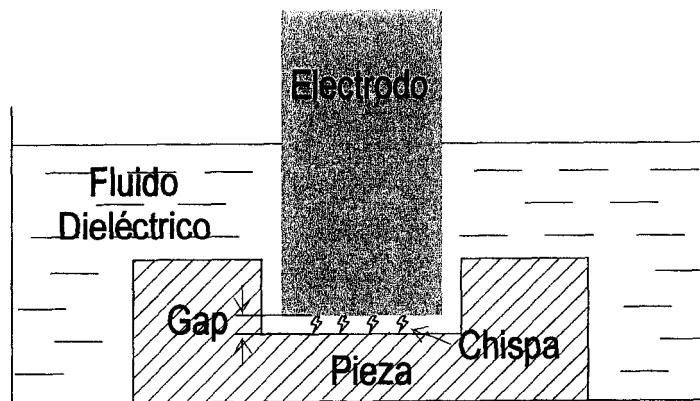


Figura 1

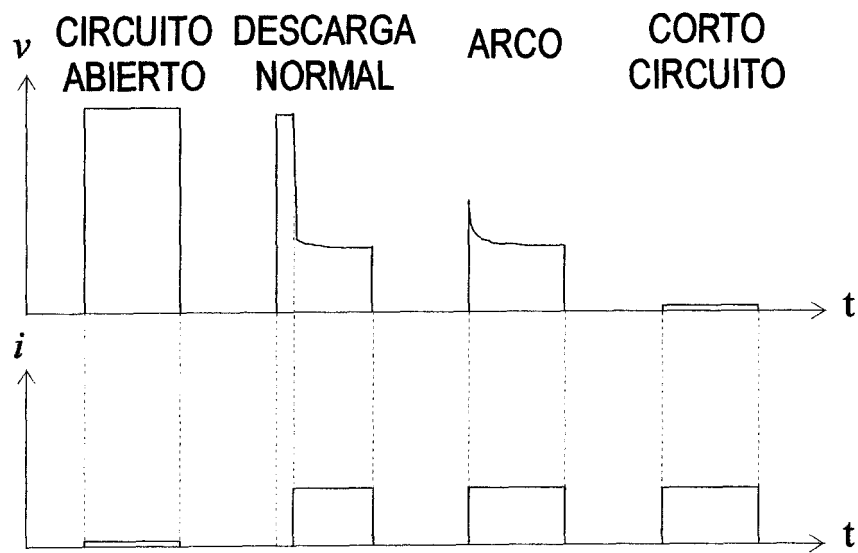


Figura 2

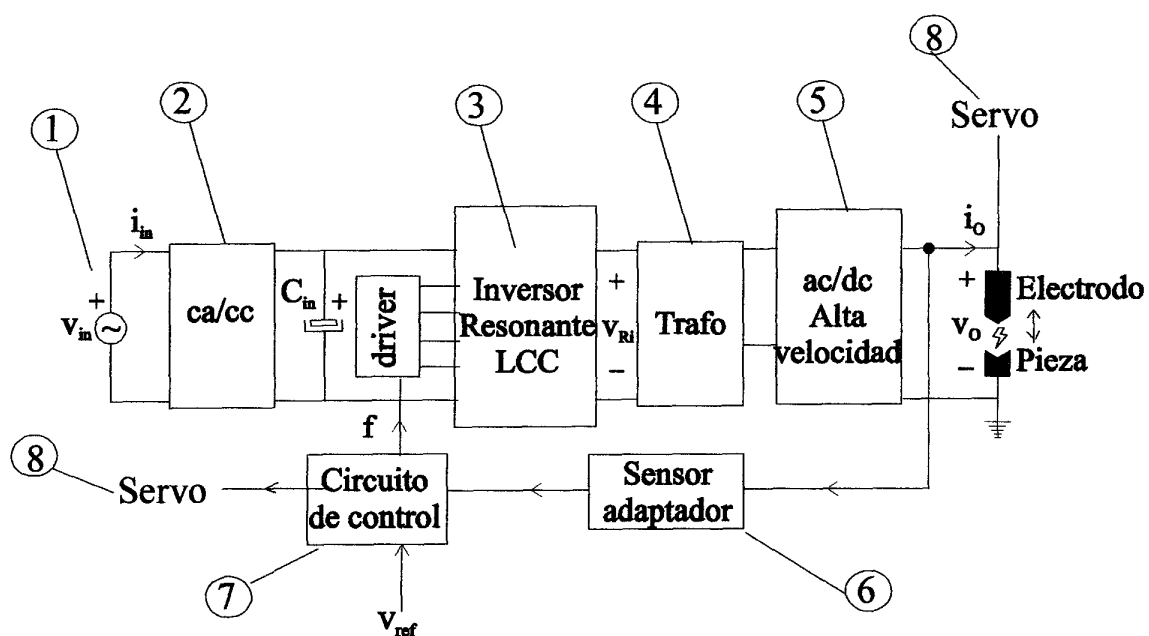


Figura 3

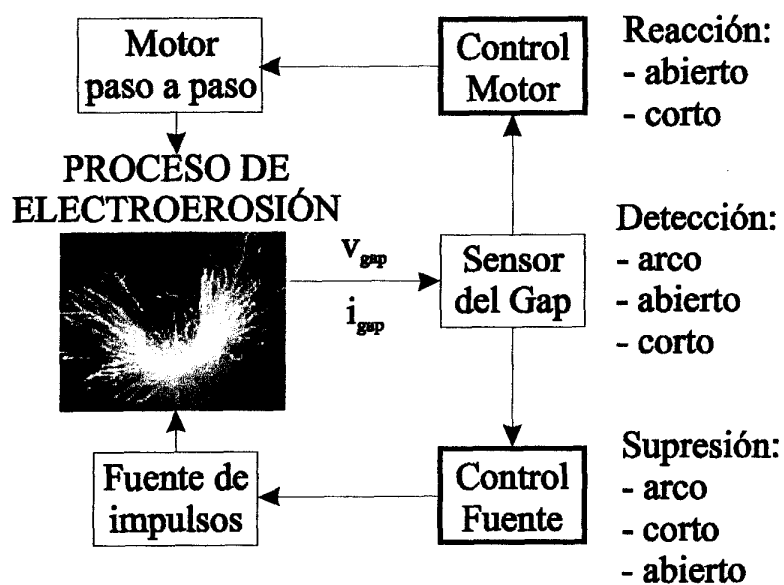


Figura 4

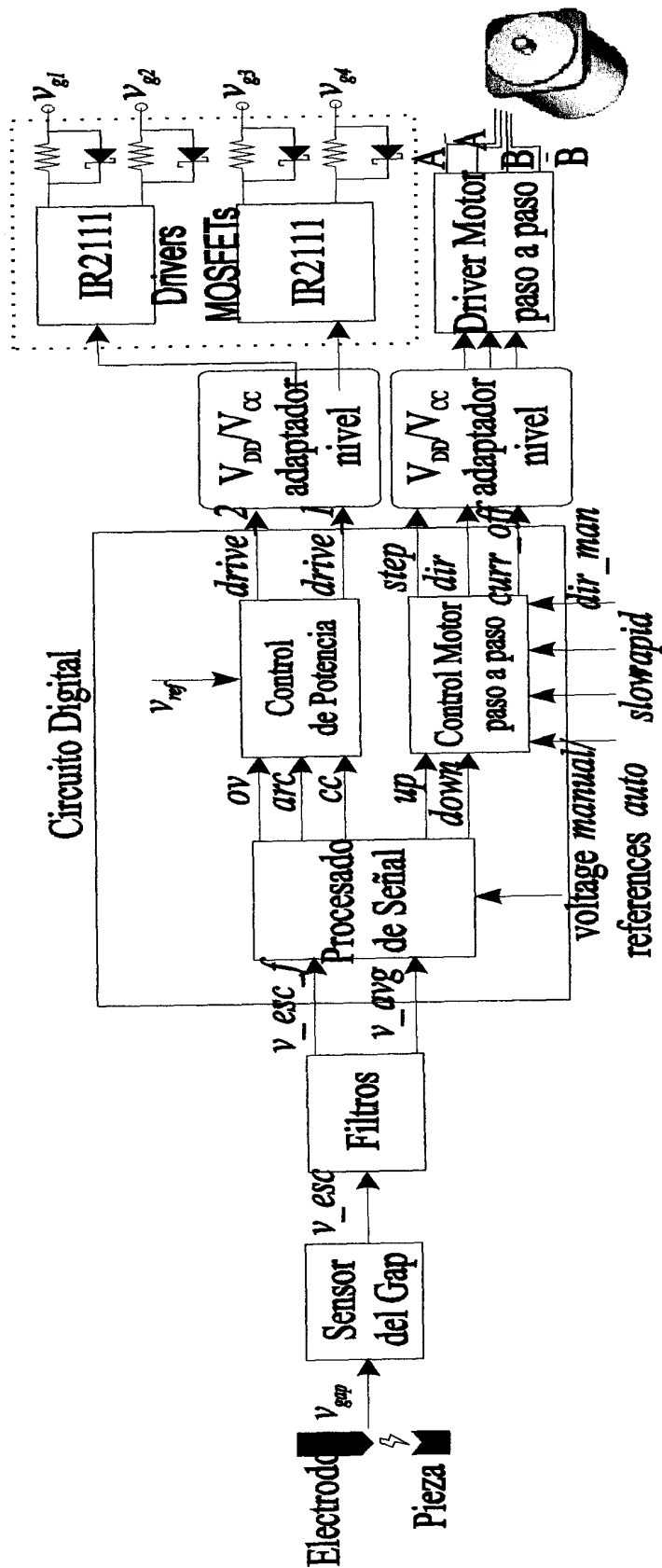


Figura 5

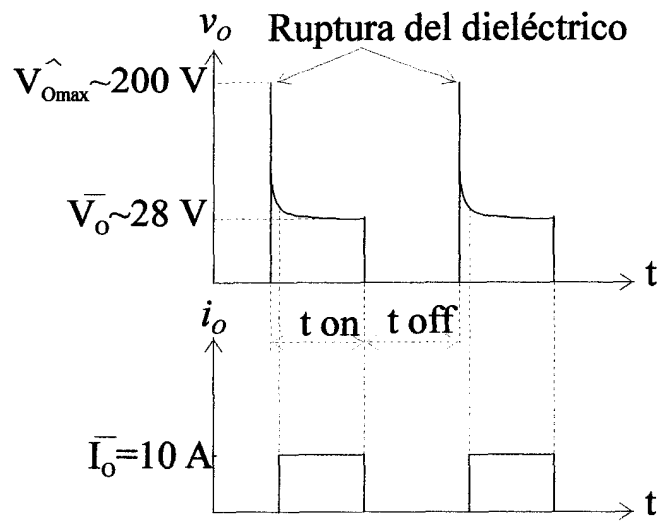
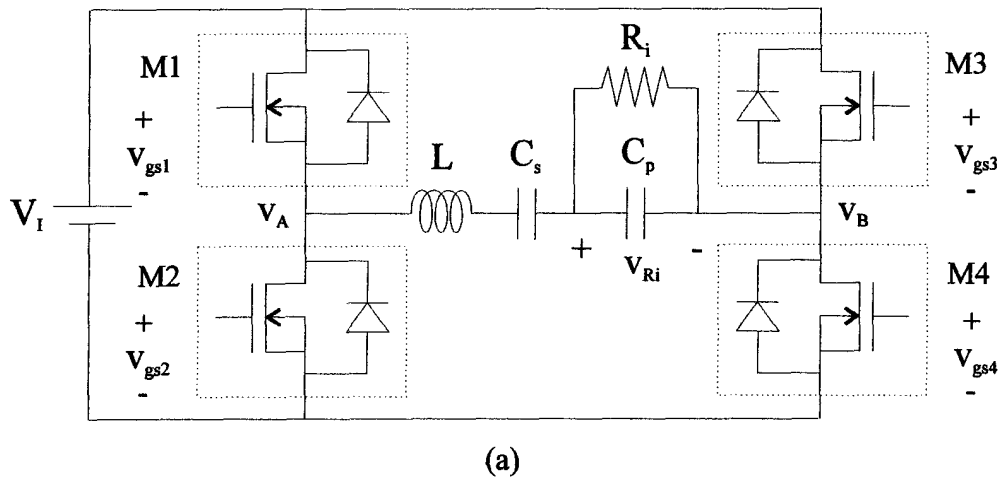
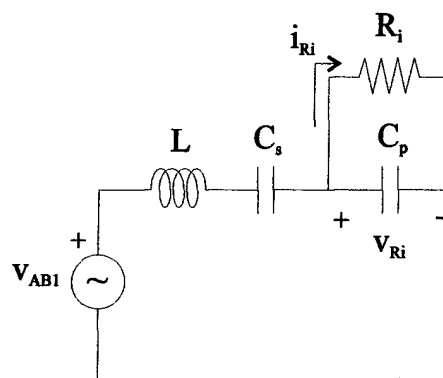


Figura 6



(a)



(b)

Figura 7

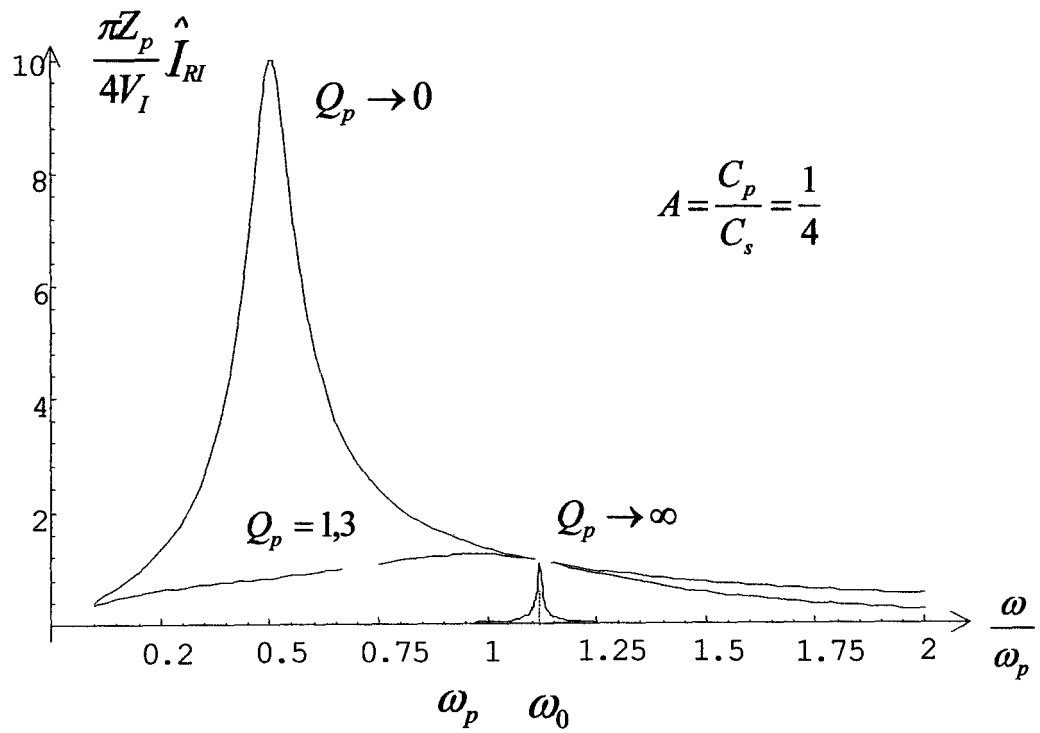


Figura 8

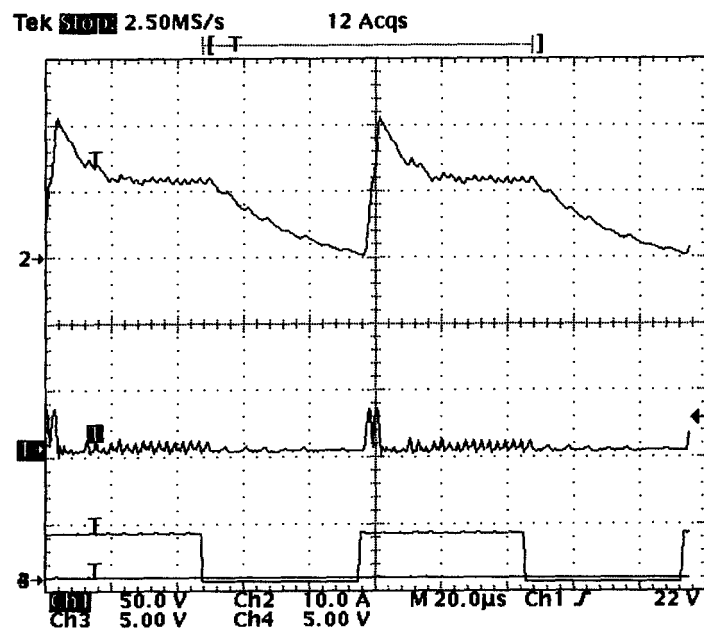


Figura 9

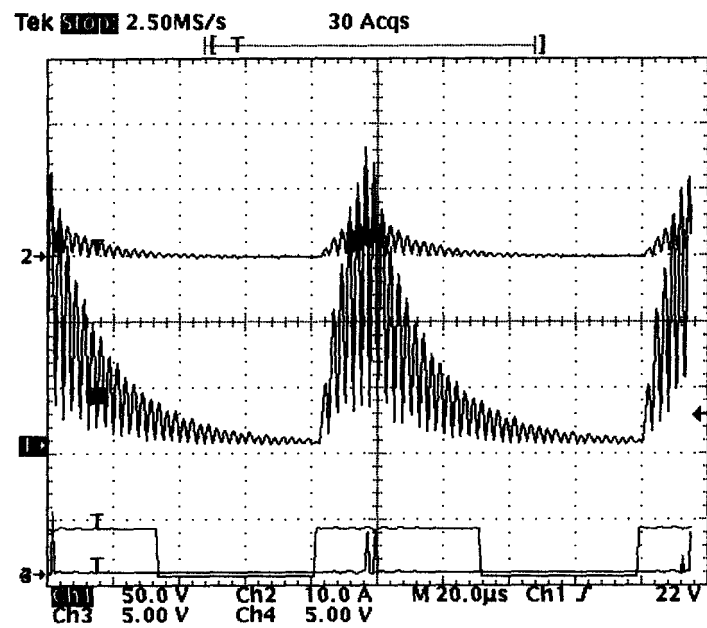


Figura 10

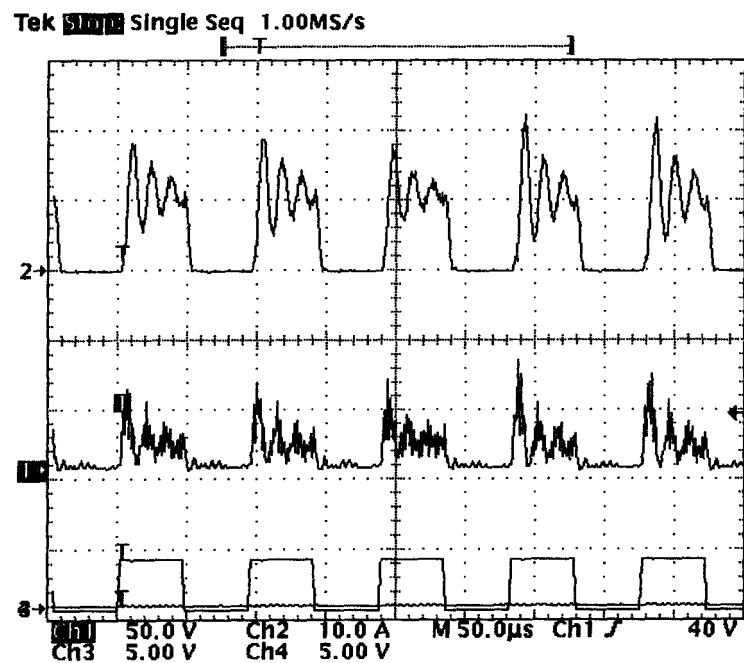


Figura 11



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ ES 2 206 058

⑫ Nº de solicitud: 200202481

⑬ Fecha de presentación de la solicitud: 28.10.2002

⑭ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑮ Int. Cl.7: B23H 1/02

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	US 3749876 A (KAUFFMAN) 31.07.1973, todo el documento.	1,3-8
A	US 5336864 A (MARTIN) 09.08.1994, reivindicaciones; figuras 2,5-7.	1-4,7,8
A	US 5162631 A (HACHISUKA et al.) 10.11.1992, todo el documento.	1,4-7
A	EP 1116541 A1 (SODICK CO, LTD) 18.07.2001, todo el documento.	1,4-7
A	ES 2085869 T3 (SODICK CO, LTD) 16.06.1996, todo el documento.	4-9
A	US 4713516 A (BÜHLER et al.) 15.12.1987, columna 2, línea 34 - columna 6, línea 15; figuras.	1-4,7
A	EP 0747158 A (SODICK CO, LTD) 11.12.1996, columna 5, línea 58 - columna 12, línea 12; figuras.	1,3,7

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe

10.11.2003

Examinador

P. Pérez Fernández

Página

1/1