

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 376 315**

51 Int. Cl.:

**B23H 7/04** (2006.01)

**B23H 1/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **04730452 .2**

96 Fecha de presentación: **30.04.2004**

97 Número de publicación de la solicitud: **1624991**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **15.02.2006**

54 Título: **DISPOSITIVO DE MECANIZADO POR ELECTROEROSIÓN.**

30 Prioridad:  
**22.05.2003 CH 92003**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**12.03.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**12.03.2012**

73 Titular/es:  
**Agie Charmilles SA**  
**Via dei Pioppi 2**  
**6616 Losone, CH**

72 Inventor/es:  
**JAQUES, Fabrice;**  
**DORTHE, Sebastian;**  
**TOGNOLINI, Maurizio;**  
**DEMULE, Guy y**  
**BÜHLER, Ernesto**

74 Agente/Representante:  
**de Elizaburu Márquez, Alberto**

ES 2 376 315 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

Dispositivo de mecanizado por electroerosión

La presente invención se refiere a un dispositivo de mecanizado por electroerosión que comprende un electrodo-herramienta y un electrodo-pieza que constituyen los polos de un espacio de mecanizado, al menos una fuente de tensión/corriente unida por un circuito eléctrico al electrodo-herramienta y al electrodo-pieza y dispuesta para generar impulsos eléctricos y para establecer el cebado de descargas eléctricas entre el electrodo-herramienta y el electrodo-pieza.

En particular, el electrodo-herramienta utilizado puede ser un hilo tensado entre dos guías. En lo que sigue, se tratará principalmente de mecanizados de superacabado por electroerosión con la ayuda de un hilo-electrodo que permite obtener los estados de superficie más finos.

Para recortar una pieza por electroerosión con la ayuda de un hilo, se procede habitualmente en varias pasadas; en primer lugar, la pasada de desbaste abre un paso al hilo; el estado de superficie obtenido es muy rugoso; por otra parte, la cota obtenida resulta sobredimensionada voluntariamente para permitir a las pasadas siguientes, de acabado y de superacabado, aproximarse a la cota final y afinar el estado de superficie.

La mayoría de las máquinas de mecanizado por electroerosión comprenden dos generadores de tensión/corriente; uno destinado a favorecer el cebado de las descargas; el otro más potente destinado a facilitar la energía de las descargas más erosivas. En régimen de superacabado se quiere reducir la rugosidad de las superficies obtenidas por electroerosión, por tanto disminuir la energía de las descargas erosivas. Por consiguiente, se trabaja habitualmente solo con el generador denominado de cebado, permaneciendo abiertos los relés que conectan el generador de potencia a la zona de mecanizado restante.

Se encuentra aquí un problema ligado a las líneas de corriente que unen el generador o los generadores a la pieza y al electrodo-hilo. Estas líneas son habitualmente cables coaxiales cuya propiedad esencial es tener una inductancia baja que permita al generador de desbaste producir impulsos de corriente muy pronunciados del orden de 100 amperios por microsegundo. Sin embargo, esta baja inductancia de las líneas no es una ventaja decisiva durante los regímenes de acabado. Peor todavía, los cables coaxiales comprenden capacidades repartidas importantes que constituyen reservas de energía incompatibles con los regímenes de acabado.

En la técnica, se conoce que el generador de cebado aplica al espacio de mecanizado una tensión suficientemente elevada para provocar el cebado sin poder facilitar una corriente grande, mientras que el generador de desbaste se comporta como una potente fuente de corriente cuando se ceba la descarga. El generador de cebado aplica una tensión, por ejemplo de 80 V a 240 V, durante un tiempo indeterminado hasta que se produzca el fenómeno de avalancha generalmente descrito. En superacabado, la energía total de la descarga no depende solamente del impulso de corriente, por pequeño que éste sea, facilitado por el generador de cebado, sino que, sobre todo, depende de la suma de las energías contenidas en las capacidades repartidas, conectadas a los bornes del espacio de mecanizado, y sometidas a la tensión de cebado, capacidades que vacían sus energías en el canal ionizado cuando se ceba la chispa.

El problema principal del mecanizado en superacabado consiste en localizar las capacidades parásitas que pueden descargar su energía a través del espacio de mecanizado cuando se ceba la chispa, y después en bloquear o atenuar esta energía. La solicitud de patente EP 1 193 016 A2 ilustra algunos supuestos típicos. Especialmente en la figura 1 de este documento, para cada una de las capacidades parásitas representadas, se puede encontrar un bucle de corriente que pasa a través del espacio de mecanizado, bucle de corriente por el cual la energía de la capacidad considerada puede ser transferida a la descarga erosiva cuando ésta se ceba. Abriendo los interruptores dispuestos entre el generador de desbaste y el espacio de mecanizado, se bloquea el efecto de múltiples capacidades parásitas, sobre el mecanizado. El generador de desbaste con sus cables coaxiales queda desconectado. Sólo un segundo generador de acabado, que puede ser el generador de cebado, está conectado al espacio de mecanizado de modo que se reducen al mínimo las capacidades parásitas repartidas atribuidas al conjunto de las líneas. Intercalando una placa aislante entre la pieza que hay que mecanizar y su soporte, se crea una capacidad que atenúa el efecto de una capacidad parásita del hilo electrodo así como de todo el sistema de desenrollado y de evacuación del hilo, con respecto a tierra. Solo la capacidad que figura, la capacidad del propio espacio de mecanizado, entre hilo y pieza no puede ser ni atenuada ni bloqueada. La representación del problema tal como se describe en el documento EP 1 193 016 A2, no hace aparecer las capacidades parásitas repartidas atribuidas a las líneas entre el generador de acabado y el espacio de mecanizado, ni las atribuidas al generador de acabado, supuestas aquí despreciables.

Desgraciadamente, se considera que no puede permitirse ignorar estas capacidades. La presente invención tiene por objetivo poner remedio a estos inconvenientes y crear un dispositivo de mecanizado que permita un mecanizado de acabado o de superacabado de muy baja energía y de gran calidad y fiabilidad. A tal efecto, el dispositivo de mecanizado está caracterizado por el hecho de que comprende al menos un elemento capacitativo, dispuesto en el interior de uno o de los dos cabezales de mecanizado, preferentemente en la proximidad de o en los contactos previstos entre el citado circuito eléctrico y el electrodo-herramienta, conectado en serie entre la fuente y uno de los

polos del espacio de mecanizado y cuyas características son tales que impide que las componentes continuas de los impulsos eléctricos que provienen de la fuente sean aplicadas al espacio de mecanizado y deja pasar las componentes de corriente variable que provienen de la fuente, y que reduce la capacidad total del citado circuito eléctrico con respecto al espacio de mecanizado.

- 5 Gracias a estas características, es posible reducir la energía de las descargas erosivas de modo muy eficaz y simple. Se obtiene así un mecanizado de acabado y superacabado de muy gran calidad. Además, el precio de coste del dispositivo es moderado y su construcción poco complicada.

- 10 Ventajosamente, el dispositivo de mecanizado comprende un primer elemento capacitativo conectado en serie entre un primer polo de la primera fuente y el electrodo-herramienta y un segundo elemento capacitativo conectado en serie entre un segundo polo de la primera fuente y el electrodo-pieza.

La reducción energética es así particularmente importante.

De acuerdo con un modo de ejecución preferido, el elemento capacitativo está dispuesto lo más cerca posible de uno de los polos del espacio de mecanizado, preferentemente en la proximidad de o en los contactos previstos entre el citado circuito eléctrico y el electrodo-herramienta.

- 15 Estas características permiten reducir todavía más la energía de las descargas erosivas con el fin de obtener un excelente mecanizado de superacabado.

Favorablemente, el electrodo-herramienta es un hilo y el elemento capacitativo está constituido por un guiahilos cuya parte en contacto con el hilo es de material aislante y cuya otra parte es de material conductor.

- 20 Puede realizarse así un elemento capacitativo particularmente eficaz y próximo al hilo-electrodo que asegura descargas erosivas de un nivel energético muy bajo.

De manera ventajosa, la primera fuente comprende un dispositivo de puesta en cortocircuito para producir impulsos eléctricos de pendiente de aumento de tensión elevada.

- 25 Esta primera fuente puede estar dispuesta de modo que produzca impulsos eléctricos con una frecuencia comprendida entre 0,1 Mhz y 10 Mhz, con una amplitud de tensión comprendida entre 60 V y 300 V y con una pendiente de aumento positivo o negativo de la tensión comprendida entre 0,2 V/ns y 5 V/ns.

Estas características aseguran un cebado eficaz de las descargas erosivas, a pesar de la presencia de al menos un elemento capacitativo montado en serie en el circuito eléctrico.

De acuerdo con un modo de ejecución preferido, el dispositivo de reducción energética comprende un elemento de autoinductancia conectado galvánicamente a los dos polos del espacio de mecanizado.

- 30 Gracias a estas características, la tensión media medida en los bornes del espacio de mecanizado puede ser mantenida nula. Se evitan así fenómenos de electrolisis perjudiciales.

Ventajosamente, el valor de la inductancia del citado elemento de autoinductancia es elegido de modo que la frecuencia de resonancia del circuito eléctrico sea pequeña con respecto a la frecuencia de los impulsos eléctricos de la primera fuente.

- 35 De acuerdo con un modo de ejecución particularmente favorable, el dispositivo de reducción energética comprende una fuente de tensión continua regulable conectada en serie con el elemento de autoinductancia entre los dos polos del espacio de mecanizado.

Esta fuente permite regular la tensión media medida en los bornes del espacio de mecanizado a un valor predeterminado. Pueden realizarse, así, deposiciones electrolíticas controladas y coloraciones de la pieza recortada.

- 40 Además, se puede mejorar todavía la calidad del mecanizado de superacabado.

Otras ventajas se desprenderán de las características expresadas en las reivindicaciones dependientes y de la descripción que a continuación expone más en detalle la invención con la ayuda de dibujos que representan esquemáticamente y a título de ejemplo modos de ejecución y variantes.

La figura 1 representa un esquema eléctrico de un primer modo de ejecución.

- 45 Las figuras 2a a 2f ilustran simplificaciones progresivas del esquema eléctrico de la figura 1 que combinan progresivamente las capacidades de este esquema.

Las figuras 2g y 2h son esquemas eléctricos parciales de variantes del esquema de la figura 1.

Las figuras 3a y 3b son diagramas de la corriente y de la tensión a la salida del primer generador, que es el generador de cebado.

Las figuras 4a, 4b y 4c representan diagramas de la tensión instantánea, de la corriente y de la tensión media a nivel del espacio de mecanizado G.

5 La figura 5 representa el esquema eléctrico de un segundo modo de ejecución perfeccionado.

La figura 6 ilustra un esquema eléctrico parcial de una variante de este segundo modo de ejecución.

Las figuras 7a y 7b ilustran diagramas de la tensión instantánea y media en los bornes del espacio de mecanizado, para el segundo modo de ejecución.

10 Las figuras 8a, 8b y 8c muestran otros diagramas de la tensión instantánea, de la corriente y de la tensión media en los bornes del espacio de mecanizado, para el segundo modo de ejecución.

El primer modo de ejecución del dispositivo de mecanizado ilustrado en la figura 1 comprende una primera fuente de tensión/corriente U1 integrada en un primer generador de mecanizado G1 unida por un circuito eléctrico E a un electrodo-herramienta F por medio de una primera línea 10 y a un electrodo-pieza P por medio de una segunda línea 11.

15 Una segunda fuente U2 integrada en un segundo generador de mecanizado G2 está unida por medio de una tercera línea 12 al electrodo-herramienta F y por medio de una cuarta línea 13 al electrodo-pieza P.

El primer generador G1 está destinado a provocar el cebado de las descargas entre el electrodo-herramienta F y el electrodo-pieza P y facilita energías menores que el segundo generador G2 que facilita la energía de las descargas más erosivas y entretiene a estas últimas.

20 Dos interruptores SW1 y SW2 dispuestos en las líneas 12 y 13 permiten desconectar el segundo generador G2 del electrodo-herramienta F y del electrodo-pieza P cuando se desee efectuar un mecanizado de acabado o de super-acabado.

25 El electrodo-herramienta es aquí un hilo F desenrollado de una bobina alimentadora no ilustrada y recuperada en un dispositivo de recuperación no ilustrado, pero en si conocido. En una zona de mecanizado 15, existe así un intervalo o espacio de mecanizado G entre el electrodo-hilo y el electrodo-pieza, a través del cual se activan las descargas erosivas. El hilo F está en contacto galvánico con las líneas 10 y 11 gracias a un primero y a un segundo contactos W1 y W2.

Los elementos L1 y L2 representan las autoinductancias de las dos líneas 10 y 11.

30 El electrodo-pieza P está fijado a un soporte T por intermedio de un elemento aislante J, por ejemplo una placa de soporte de material plástico. El hilo F y el soporte T pueden ser desplazados uno respecto del otro para recortar la pieza P por electroerosión según una configuración geométrica dada.

De acuerdo con la invención, el dispositivo de mecanizado comprende un dispositivo de reducción energética RE destinado a reducir la energía de las descargas erosivas para un mecanizado fino.

35 Este dispositivo RE comprende al menos un elemento capacitativo C1 conectado entre el primer generador G1 y el espacio de mecanizado G y cuyas características son tales que impide que las componentes continuas de los impulsos eléctricos que provienen del primer generador G1 sean aplicadas al espacio de mecanizado G y deja pasar a través del espacio de mecanizado las componentes de corriente variable que provienen del primer generador G1. Se reduce así firmemente la capacidad total del circuito eléctrico E con respecto al espacio de mecanizado G.

40 Este elemento capacitativo está constituido en el primer modo de ejecución por un condensador C1 de valor que puede llegar hasta 0,1  $\mu$ F pero comprendido típicamente entre 0,1 nF y 1 nF, dispuesto en la primera línea 10. Un interruptor SW3 permite cortocircuitar el condensador C1 cuando se desee aumentar la energía de las descargas erosivas.

45 Otro elemento capacitativo, en forma de un segundo condensador C5 de bajo valor puede estar dispuesto en la segunda línea 12 para reducir todavía más la energía de las descargas erosivas. Este segundo condensador C5 puede ser cortocircuitado gracias a un interruptor SW4. Su valor está comprendido favorablemente entre 0,1 nF y 1 nF.

El dispositivo de mecanizado presenta así las capacidades parásitas siguientes:

- Las capacidades parásitas ligadas al segundo generador de desbaste G2 y a las líneas 12 y 13 indicadas en su totalidad por C G2, quedando desconectadas estas capacidades C G2 del espacio de mecanizado durante la apertura de los dos interruptores SW1 y SW2;
- 50 - Siendo C2 la capacidad parásita de la primera línea 10 con respecto a tierra Te;

- Siendo C3 la capacidad parásita entre las líneas 10 y 11;
- Siendo C4 la capacidad parásita de la segunda línea 11 con respecto a tierra Te;
- Siendo C6 la capacidad parásita interna del primer generador G1;
- Siendo C7 la capacidad parásita de un primer polo P1 de la primera fuente U1 con respecto a tierra Te;
- 5 - Siendo C8 la capacidad parásita de un segundo polo P2 de la primera fuente U1 con respecto a tierra Te;
- Siendo CW1 la capacidad parásita en la proximidad del primer contacto W1 con respecto a tierra Te;
- Siendo CW2 la capacidad parásita en la proximidad del segundo contacto W2 con respecto a tierra;
- Siendo Cj la capacidad entre el electrodo-pieza P y el soporte T;
- Siendo Cf la capacidad parásita entre el hilo y tierra; y
- 10 - Siendo Cg la capacidad del espacio de mecanizado G entre el electrodo-herramienta F y el electrodo-pieza P.

En la figura 1, el condensador C1 de bajo valor conectado en serie en una de las dos líneas del generador G1 es un medio simple de atenuar el efecto de las capacidades parásitas C3 y C6 sobre el mecanizado. La carga acumulada en C3 participa en el mecanizado siguiendo el camino C3, C1, L1, W1 y W2, F, P, L2, SW4, C3. La capacidad equivalente es

$$C1 \cdot C3 / (C1 + C3) < C1. \text{ El mismo razonamiento es aplicable a la capacidad parásita C6.}$$

Las cargas de las capacidades parásitas CW1 + CW2 + Cf + C2 + C7 podrían sumarse y participar en la descarga erosiva, pero son atenuadas por la capacidad Cj. Debe observarse aquí que Cj y la placa aislante J constituyen el dispositivo más simple que permite limitar el efecto de Cf en particular o sea la capacidad parásita atribuida al hilo, al conjunto de su sistema de desenrollado y de recuperación. En el caso de ciertas máquinas en las que el hilo usado es almacenado directamente en la cuba de mecanizado, Cf puede alcanzar valores importantes.

Si el interruptor SW4 está pasante, entonces las capacidades parásitas C8 + C4 + Cj suman sus cargas que pueden atravesar el espacio de mecanizado encontrando un camino hacia tierra Te a través de la capacidad equivalente a CW1 + CW2 + Cf + C2 + C7. El condensador C5 de bajo valor conectado en serie en la otra línea 11 del generador G1 está previsto para atenuar esta última energía de descarga y será detallado más adelante. La figura 1 representa el condensador C5 cortocircuitado por el conmutador SW4, por tanto inactivo en este ejemplo.

El efecto de las capacidades Cg repartidas en el espacio de mecanizado no puede ser atenuado colocando un condensador cualquiera en el circuito de descarga porque sus cargas atraviesan el espacio de mecanizado por el camino más corto posible. El único medio que permite influir en el valor de estas capacidades repartidas sería utilizar otro líquido dieléctrico, por ejemplo aceite en lugar de agua, o también modificar la geometría del entrehierro o del espacio de mecanizado.

Las figuras 2a, 2b, 2c, 2d, 2e y 2f van a permitir distinguir cómo cada una de las capacidades de la figura 1 se combinan con las otras con respecto al espacio de mecanizado G.

La figura 2a es una primera simplificación de la figura 1, en la cual solamente están representados el espacio de mecanizado, los diferentes grupos de capacidades susceptibles de participar en el mecanizado y sus conexiones a tierra.

La figura 2b lleva las conexiones a tierra en un punto único Te y permite ver la respectiva función de las capacidades Cj, C1 y C5 utilizadas para atenuar la energía del conjunto de las capacidades parásitas repartidas.

La figura 2c ilustra un simple cambio de variable.

- 40 A = C1
- B = CW1 + CW2 + Cf
- C = C2 + C7
- D = C3 + C6
- E = C4 + C8
- 45 F = Cj

$$G = C5$$

La figura 2d ilustra el paso de la configuración de las capacidades en triángulo hacia la configuración de las capacidades en estrella para el grupo de capacidades ABC y el grupo de capacidades EFG, con las igualdades siguientes:

$$H = (A*B+A*C+B*C) / C$$

$$I = (A*B+A*C+B*C) / B$$

$$J = (A*B+A*C+B*C) / A$$

$$K = (E*F+E*G+F*G) / G$$

$$L = (E*F+E*G+F*G) / F$$

$$M = (E*F+E*G+F*G) / E$$

10 De acuerdo con la figura 2e, aparece que

$$1 / N = (1 / H) + (1 / M)$$

$$1 / O = (1 / I) + (1 / D) + (1 / L)$$

$$1 / P = (1 / J) + (1 / K)$$

15 Y según la figura 2f, la capacidad equivalente global  $C_{eq}$  de todos los dispositivos de mecanizado se determina por la ecuación

$$C_{eq} = C_g + (N + O + P) / (O*N + P*N)$$

20 Los condensadores C1 y C5 completan la atenuación producida por la capacidad  $C_j$ . Para apreciar la respectiva función de C1, C5 y  $C_j$ , se van a considerar ahora los valores numéricos habituales de las diferentes capacidades parásitas que deben tenerse en cuenta. Las autoinductancias de L1 y L2 de las líneas 10, 11 de aproximadamente 500 nH no son consideradas durante esta evaluación, la cual utiliza los valores numéricos siguientes:

C1 o C5: 0,5 nF

$C_j$ : 0,1 nF a 10 nF según las dimensiones de la pieza que haya que mecanizar

C2 + C7: 5 nF

C4 + C8: 5 nF

25 C3 + C8: 100 nF

CW1 + CW2 + Cf: de 1 nF a 5 nF

Cg: 0,5 nF

Variable de utilización del circuito	C1	C5	$C_j$	$C_{eq}$ (Fig. 2f)
1.	0,5 nF	0,5 nF	10 nF	4,10 nF
2.	0,5 nF	cortocircuito	10 nF	4,98 nF
3.	0,5 nF	0,5 nF	cortocircuito	5,97 nF
4.	0,5 nF	cortocircuito	cortocircuito	6,00 nF
5.	cortocircuito	0,5 nF	10 nF	6,94 nF
6.	cortocircuito	0,5 nF	cortocircuito	15,71 nF
7.	cortocircuito	cortocircuito	10 nF	106,5 nF
8.	cortocircuito	cortocircuito	cortocircuito	110,5 nF

Los cálculos han sido efectuados para los valores  $C_j = 10$  nF y  $CW1+CW2+Cf = 5$  nF.

De acuerdo con la línea 7 de la tabla anterior comparada con la línea 8, se ve que la introducción solamente de una placa aislante J entre la pieza P y su soporte T no aporta una mejora sustancial, en comparación con la línea 4, en la que solo aparece el efecto sorprendente del condensador C1; la capacidad equivalente aplicada al espacio de mecanizado se encuentra dividida por 18, véanse las líneas 4 y 8.

5 La línea 6 muestra que el condensador C5 solo, es menos eficaz que el condensador C1 solo (véase la figura 4), la capacidad equivalente se encuentra aquí dividida por 7.

El efecto del condensador C1 es tanto más determinante cuanto más elevado es el valor de las capacidades parásitas C3 + C6, véanse a continuación otras ocho variantes de utilización del circuito con C3 + C6 = 20 nF en lugar de 100 nF de la tabla precedente.

Variante	C1	C5	Cj	Ceq (Fig. 2f)
1a	0,5 nF	0,5 nF	10 nF	4,10 nF
2a	0,5 nF	cortocircuito	10 nF	4,91 nF
3a	0,5 nF	0,5 nF	cortocircuito	5,97 nF
4a	0,5 nF	cortocircuito	cortocircuito	6,00 nF
5a	cortocircuito	0,5 nF	10 nF	6,74 nF
6a	cortocircuito	0,5 nF	cortocircuito	14,81 nF
7a	cortocircuito	cortocircuito	10 nF	26,5 nF
8a	cortocircuito	cortocircuito	cortocircuito	30,5 nF

10 La comparación de las líneas 4a y 7a confirma no obstante la mejor eficacia del condensador C1 solo con respecto a la de la capacidad Cj sola, tanto más cuanto que en ciertos casos será difícil disminuir el valor de la capacidad Cj en razón de las dimensiones de la pieza que haya que mecanizar. Naturalmente, se pueden prolongar todo lo que se quiera los cálculos comparativos aplicando el método detallado anteriormente.

15 En presencia de una alta capacidad parásita del hilo electrodo Cf (por ejemplo más de 20 nF) se encontrará un interés en introducir la capacidad Cj asociada al condensador C1 y no este último solo.

20 Para claridad de la figura 1, los condensadores C1 y C5, así como los conmutadores asociados SW3, SW4, han sido representados en el centro de esta figura 1 y en cada una de las dos líneas que unen el primer generador al espacio de mecanizado G. Tras la demostración anterior, aparecerá claramente que estos dos condensadores C1 y C5 ganarán en eficacia si se puede instalarles lo más cerca posible de la zona de mecanizado 15, es decir el condensador C1 lo más cerca posible de los contactos de mecanizado W1, W2 y el condensador C5 lo más cerca posible de la pieza que hay que mecanizar P.

25 El condensador C1 puede instalarse por ejemplo entre CW1 y W1 en el interior del cabezal de mecanizado superior (véase la figura 2g), estando el contacto de mecanizado W2 en el interior del cabezal de mecanizado inferior en posición retraída, ya no hace contacto con el hilo. De este modo, la energía contenida en las capacidades parásitas CW1 y CW2 se encontrará igualmente atenuada.

30 Si se fuerza el principio expuesto anteriormente hasta su límite, la eficacia máxima del condensador C1 es obtenida reemplazando el contacto W1 por un manguito cilíndrico de material aislante que hará la función de capacidad conectada en serie en una línea que va del primer generador G1 al espacio de mecanizado G. En el interior del manguito cilíndrico el hilo-electrodo F se encuentra guiado. La figura 2h representa el hilo-electrodo F guiado en el interior de un cilindro de cerámica aislante WG que está sobremontado por un cono para facilitar la entrada del hilo. El exterior del citado cilindro está recubierto por una superficie conductora, por ejemplo de cobre, unida galvánicamente a uno de los polos del generador G1. El contacto de mecanizado inferior W2 en posición retraída no hace contacto con el hilo. En este último modo de ejecución, la capacidad C1 de forma cilíndrica está situada alrededor del hilo-electrodo F.

35 Los fabricantes de componentes electrónicos utilizan habitualmente cerámicas industriales cuya rigidez dieléctrica es de 20 KV / mm a 25 °C y a una frecuencia de 1 Mhz. La constante dieléctrica  $\epsilon_r$  de estas cerámicas puede ir habitualmente de 20 a 100. Para aplicaciones especiales se encuentran  $\epsilon_r$  superiores a 100 y hasta 12.000 por ejemplo con cerámicas a base de titanatos de estroncio, de bario, etc, que tienen valores de rigidez de 50 V / mm a 300 V / mm.

Para un hilo-electrodo de diámetro 0,250 mm, se puede concebir por ejemplo una guía cilíndrica aislante de diámetro interior 0,260 mm con una cerámica de constante dieléctrica  $\epsilon_r = 100$ . Con un espesor de cerámica de 0,1 mm, una guía cilíndrica de este tipo de aproximadamente 50 mm de longitud daría una capacidad de 0,5 nF y soportaría una sobretensión de 2 KV.

5 En este tipo de elemento capacitativo, este último se dispone lo más cerca posible de uno de los polos del espacio de mecanizado G, preferentemente en la proximidad de o en los contactos W1 o W2 previstos entre el circuito eléctrico E y el electrodo-herramienta. Este elemento capacitativo puede estar constituido por un guiahilos WG del cual una parte en contacto con el hilo F es de material aislante y cuya otra parte unida al circuito eléctrico es de material conductor.

10 Así pues, en resumen, la introducción de capacidad C1 y (o) C5 en serie en las líneas 10, 11 de descarga del generador G1 y esto lo más próximo posible al espacio de mecanizado G, permite reducir la energía de las descargas en superacabado en comparación con una solución en la que se introdujera únicamente una placa aislante entre la pieza y su soporte y en la cual se desconectarán las líneas de llegada de corriente del generador de desbaste G2, como se describe en el documento EP 1 193 016 A2.

15 Sin embargo, haciendo esto resulta necesario tener en cuenta el hecho de que la presencia de las capacidades C1 o C5 de bajo valor en serie en el circuito eléctrico implica la desaparición a nivel del espacio de mecanizado de la componente continua de tensión facilitada por el generador de cebado G1. Se deduce que la probabilidad de cebar se encentra considerablemente reducida, de donde una disminución del rendimiento de mecanizado en acabado.

20 Para corregir esta particularidad, la invención propone modificar el funcionamiento del generador de cebado G1. Tradicionalmente, el generador de cebado aplica una tensión suficientemente elevada durante un tiempo relativamente largo hasta que el cebado se produzca. Sin embargo, la experiencia ha demostrado que en electroerosión, el cebado puede ser provocado también por un aumento muy rápido del campo eléctrico en los bornes del espacio de mecanizado. En el presente caso de mecanizado, aumentos positivos o negativos de tensión aplicados a los bornes del espacio de mecanizado de algunos V / nS, es decir de 0,1 V / nS a 5 V / nS aproximadamente, dan una buena probabilidad de activar una descarga erosiva habida cuenta del carácter estocástico del fenómeno de cebado.

De acuerdo con la presente invención, para aprovecharse del citado fenómeno de cebado activado por aumentos rápidos de tensión, el generador G1 deberá producir impulsos buscos de tensión/corriente eligiendo preferentemente una frecuencia de repetición en la gama de 0,1 Mhz a 10 Mhz. En el caso ilustrado por las figuras 3a y 3b se ha tomado el valor de 1 Mhz a título de ejemplo.

30 La figura 3a es un diagrama de la corriente  $i_1$  a la salida del generador G1 en función del tiempo (nS). La figura 3b es un diagrama de tensión V a la salida del generador G1 y aplicada a las capacidades parásitas repartidas de la línea, simbolizadas por C2, C3, C4 (véase la figura 1), en lo sucesivo las capacidades de línea.

El generador G1 es capaz de facilitar señales de amplitud de 60 V a 300 V, por ejemplo 200 V en el ejemplo ilustrado aquí.

35 Como puede verse en las figuras 3a y 3b, al inicio de la señal la tensión es nula en los bornes de las capacidades de línea. La señal se inicia con un escalón de corriente de 4 A que comienza a cargar estas capacidades de línea. En tanto que la tensión de salida del generador G1 sea inferior a 200 V, la corriente es mantenida en 4 A. Cuando la tensión a la salida se hace superior a 200 V, la corriente cesa, para ser activada de nuevo de modo que se mantenga una tensión de 200 V. Después de una primera duración predeterminada a contar desde el inicio, aquí después de 400 nS, las capacidades de línea son puestas en cortocircuito a través de una resistencia óhmica de 20 Ohmios en este ejemplo, de donde la aparición de una punta de corriente negativa de 10 A que descargará bruscamente las capacidades de línea. El dispositivo de puesta en cortocircuito no representado en la figura 1 está constituido en el modo de ejecución descrito por un puente de 4 transistores Mos-Fet IRFP 22N 50A del fabricante "Internacional Rectifier".

45 Las capacidades de línea se descargan así rápidamente y al inicio de la señal siguiente se facilita de nuevo una corriente de +4A, después de un segundo período predeterminado que aquí es de 1000 nS.

Las características corriente/tensión descritas aquí, se dan únicamente a título de ejemplo. Naturalmente, pueden concebirse otros dispositivos que permitan generar en los bornes del espacio de mecanizado aumentos rápidos de tensión.

50 Este modo de excitación, como muestran las figuras 4a, 4b, 4c, produce en el espacio de mecanizado G descargas breves no calibradas de aproximadamente 100 nS, provocadas por los transitorios rápidos de la señal de corriente/tensión facilitados por el generador G1. La figura 4a representa la tensión instantánea  $U_g$  (Voltios) en los bornes del espacio de mecanizado en función del tiempo (nS). La figura 4b es la corriente  $i_2$  a través del espacio de mecanizado G. Los cebados coinciden aquí con los picos de corriente  $i_2$  superiores a 1 A e inferiores a -1 A aproximadamente.

- Habiendo sido colocado un condensador C1 en serie en el circuito de descarga, se deduce que la media de la corriente  $i_2$  (véase la figura 4b) facilitada al espacio de mecanizado es nula. Por consiguiente, si el espacio de mecanizado pudiera ser reducido a una simple impedancia óhmica la tensión media en sus bornes sería igualmente nula. Éste no es el caso como muestra la figura 4c correspondiente calibrada en Voltios, habiéndose efectuado la medición con un filtro RC de 10  $\mu$ s. En la figura 4c se distingue que la tensión media  $U_m$  fluctúa por ejemplo de +2 V a -6 V en este caso particular en razón de la irregularidad de los cebados.
- Siendo el cebado aleatorio, como se ve, la tensión media puede variar en una gama de + o - 8 voltios aproximadamente, por ejemplo aquí en un intervalo de menos de 10 períodos. Se trata aquí de otra particularidad ligada a la presencia de un condensador en serie en el circuito de descarga del generador G1. Esto significa que ya no es posible imponer una tensión media nula en los bornes del espacio de mecanizado como se puede practicar actualmente de modo corriente en las máquinas de electroerosión por hilo.
- Las fluctuaciones de la tensión media  $U_m$  pueden generar fenómenos de electrolisis bien conocidos por los especialistas en la materia. La integridad cristalina de ciertos metales o aleaciones de la pieza que hay que mecanizar puede ser alterada cuando la tensión media no es mantenida próxima a cero voltios en los bornes del espacio de mecanizado. Éste es particularmente el caso de las variedades de carburo de tungsteno que pueden desmoronarse bajo el efecto de las corrientes de electrolisis.
- La presente invención propone un medio de eliminar el inconveniente descrito anteriormente refiriéndose al modo de ejecución ilustrado en la figura 5. La solución consiste en conectar a los bornes del espacio de mecanizado un elemento de autoinducción  $L_m$ , por ejemplo en forma de una bobina de inductancia de alto valor, en serie con una fuente de tensión continua regulable  $S_m$ .
- El modo de ejecución de la figura 5 es en las otras características idéntico al de la figura 1. Los mismos componentes y elementos están por tanto designados por las mismas cifras de referencia.
- Los elementos nuevos son la bobina de inductancia  $L_m$  en serie con la fuente de tensión continua regulable  $S_m$  conectada a los bornes del espacio de mecanizado, a saber a los contactos de mecanizado  $W_1$ ,  $W_2$  y a la pieza P, así como a un interruptor  $SW_5$  que permite desconectar la bobina de inductancia  $L_m$  y la fuente de tensión  $S_m$  del espacio de mecanizado de modo que la tensión media  $U_m$  en los bornes del espacio de mecanizado fluctúe libremente.
- El soporte T está unido a tierra mientras que la pieza P se encuentra a un potencial flotante en razón de la placa aislante J, la cual genera una capacidad  $C_j$  entre la pieza y el soporte. Este detalle carece de importancia en relación con la invención. Esté la pieza P unida o no a tierra, es decir esté presente o no la placa aislante J, la bobina de inductancia  $L_m$  en serie con la fuente de tensión  $S_m$  deben estar unidas galvánicamente, por una parte, a la pieza P y, por otra, al electrodo-herramienta o a los contactos de mecanizado  $W_1$ ,  $W_2$  para imponer una tensión media  $U_m$  constante en los bornes del espacio de mecanizado. La misma observación se aplica igualmente al dispositivo ilustrado en la figura 2h en la que la capacidad C1 se encuentra alrededor del hilo en forma de una guía de material aislante. Si en este último supuesto, la bobina  $L_m$  en serie con la fuente de tensión  $S_m$  tuvieran que estar conectadas, entonces el contacto  $W_2$  representado en posición retraída en la figura 2h debería contactar de nuevo con el hilo-electrodo F, pero este contacto  $W_2$  no debería estar unido entonces a la línea 10, sino a la pieza P por intermedio de los elementos  $L_m$ ,  $S_m$  y  $SW_5$ , como está ilustrado en la figura 6.
- El elemento de autoinductancia  $L_m$  debe ser de un valor suficientemente grande para que la frecuencia de resonancia del circuito eléctrico:
- $$F_o = 1 / 2\pi \cdot (L_m \cdot C_{eq})^{1/2}$$
- sea pequeña con respecto a la frecuencia de excitación de los impulsos eléctricos del generador de cebado G1, típicamente 100 veces más pequeña.
- El valor de este elemento de autoinductancia  $L_m$  es elegido de modo que la relación entre la frecuencia de excitación del generador G1 y la frecuencia del circuito eléctrico esté comprendida entre 10 y 500, preferentemente entre 50 y 150.
- Por ejemplo, con una frecuencia de excitación de 1 Mhz del generador G1 como la elegida anteriormente y  $C_{eq} = 5$  nF, la frecuencia de resonancia sería obtenida con una inductancia de 5  $\mu$ H. En este caso se aconseja, por tanto, utilizar una autoinductancia de valor 500  $\mu$ H mínima y hasta 10 mH.
- El valor relativamente elevado de la bobina de inductancia  $L_m$  hace que la tensión media en los bornes del espacio de mecanizado no pueda variar demasiado rápidamente. Si la bobina de inductancia  $L_m$  comprende una impedancia óhmica pequeña con respecto a la del espacio de mecanizado, con  $L_m = 5$  mH y  $C_{eq} = 5$  nF por ejemplo, la tensión de la fuente continua regulable  $S_m$  impondrá su tensión en los bornes del espacio de mecanizado después de un retardo de aproximadamente 30  $\mu$ s a partir de la activación de la citada bobina  $L_m$  sobre el espacio de mecanizado G. A continuación, si las condiciones de mecanizado cambian bruscamente, por ejemplo a consecuencia de las

variaciones de la frecuencia de cebado o de la resistencia del espacio de mecanizado, la tensión media acusará una fluctuación breve, es decir una duración inferior a 30  $\mu$ s, para encontrar el valor de la tensión  $U_m$  (Voltios) de la fuente de tensión continua regulable  $S_m$ .

5 Las figuras 7a y 7b muestran la tensión instantánea  $U_g$  y media  $U_m$  con  $S_m$  regulada a -4 V. En los bornes del espacio de mecanizado se mantiene una tensión media próxima a -4 V a pesar de los cebados esporádicos.

10 Es importante observar que la bobina de inductancia  $L_m$  en los bornes del espacio de mecanizado no altera los transitorios rápidos de tensión que permiten el cebado de las descargas erosivas. Con este dispositivo, se pueden considerar tratamientos de superficies según los materiales de los electrodos en presencia aplicando tensiones medias en los bornes del espacio de mecanizado  $G$  de algunos voltios, positivos o negativos. La superficie de la pieza  $P$  podrá así ser revestida de una delgada capa metálica por electrolisis y podrá ser tratada por coloración.

15 La solución anterior es particularmente simple. Imagínese, por ejemplo, reemplazar la bobina de inductancia  $L_m$  por una resistencia de gran valor del orden de 10 Kohmios. Con la resistencia del espacio de mecanizado de 0,5 Kohmios a 2 Kohmios, se crea un divisor resistivo que transmite una fracción de la tensión  $U_m$  en los bornes del espacio de mecanizado. El inconveniente de un dispositivo de este tipo es que debería instalarse aquí un bucle de regulación: es decir, medir en continuo la tensión en los bornes del espacio de mecanizado y gobernar la tensión de salida de la fuente  $S_m$  en función de las fluctuaciones inopinadas del mecanizado. Por oposición, la bobina de inducción  $L_m$  no necesita ningún bucle de regulación.

20 Para desconectar este dispositivo de regulación de la tensión media  $U_m$  se abre el conmutador  $SW5$ . Esto permite volver a un funcionamiento en el que la tensión media en los bornes del espacio de mecanizado puede ser dejada libre de fluctuar.

Finalmente, no controlar la tensión media en los bornes del espacio de mecanizado implica la imposibilidad de prever en qué polaridad van a iniciarse las descargas; positiva o negativa. Ahora bien, es todavía posible a energía constante, mejorar el estado de superficie si se favorece el cebado en polaridad positiva o al menos si se puede reducir la energía de las descargas que se ceban en polaridad negativa.

25 La fuente de tensión regulable  $S_m$  asociada al elemento de autoinducción  $L_m$  permite igualmente según las aplicaciones, en particular cuando no se temen fenómenos de electrolisis, aumentar firmemente la probabilidad de cebar en positivo o en negativo, como muestran las figuras 8a, 8b y 8c. En este ejemplo particular se ha elegido polarizar el espacio de mecanizado  $G$  en positivo regulando la fuente  $S_m$  a una tensión continua  $U_m$  de + 20 Voltios (véase la figura 8c). En el diagrama de la corriente  $i_2$  (véase la figura 8b) que atraviesa el espacio de mecanizado, se reconozca la preponderancia de los cebados positivos en las puntas de corriente superiores a +1 A aproximadamente, las cuales corresponden a los cebados visibles en la figura 8a.

Cuando se activa la fuente de tensión continua  $S_m$  o se regula esta última a cero, la tensión media  $U_m$  en los bornes del espacio de mecanizado  $P$  es igual a cero.

35 De acuerdo con una variante simplificada de modo de ejecución ilustrada en las figuras 5 y 6, la fuente de tensión continua  $S_m$  podrá ser suprimida. La tensión media  $U_m$  en los bornes del espacio de mecanizado  $G$  permanecerá entonces constante y cero debido a la presencia de la bobina de inductancia  $L_m$ , pero esta tensión no podrá ser regulada para obtener tratamientos de superficie, coloraciones o para mejorar el estado de superficie, como es posible gracias a la fuente  $S_m$ .

40 Naturalmente, los modos de realización descritos anteriormente no presentan ningún carácter limitativo y estos pueden recibir todas las modificaciones deseables en el interior del marco tal como está definido por la reivindicación 1. En particular, el dispositivo de reducción energética  $RE$  podrá comprender únicamente el elemento capacitativo  $C1$  dispuesto en la conexión eléctrica que va del primer polo  $P1$  del primer generador  $G1$  al electrodo-herramienta  $F$  que forma un primer polo del espacio de mecanizado  $G$ .

45 El dispositivo de reducción energética  $RE$  podrá alternativamente comprender únicamente el elemento capacitativo  $C5$  dispuesto en la conexión eléctrica que va del segundo polo  $P2$  del primer generador  $G1$  al electrodo-pieza  $P$  que forma el segundo polo del espacio de mecanizado  $G$ .

El dispositivo de reducción energética  $RE$  podrá igualmente estar provisto de dos elementos capacitativos  $C1$  y  $C5$  en las líneas 10 y 11.

50 Estos elementos capacitativos  $C1$  y  $C5$  podrían ser de cualquier naturaleza, condensadores, armaduras capacitativas integradas en los contactos  $W1$  y/o  $W2$ , guiahilos que forman elementos capacitativos, por ejemplo en forma de un conductor metálico revestido de material aislante, por ejemplo de cerámica, o de guiahilos de formas particulares, en embudos, tales como las representadas en la figura 6.

El dispositivo de reducción energética  $RE$  podrá ser completado facultativamente por un elemento de autoinductancia, tal como la bobina de inductancia  $L_m$ , unida galvánicamente a los dos polos del espacio de mecanizado, a saber

al electrodo-herramienta y al electrodo-pieza, para evitar fluctuaciones y derivas de la tensión media  $U_m$  en los bornes del espacio de mecanizado.

Además, una fuente de tensión continua regulable  $S_m$  podrá estar conectada facultativamente en serie con la bobina de inductancia  $L_m$  entre los polos del espacio de mecanizado.

5 La primera fuente de tensión/corriente  $U_1$  podrá ser de cualquier naturaleza, pero deberá permitir pendientes de aumento de la corriente  $dI/dt$  de valor elevado comprendido favorablemente entre 0,1 V/ns y 5 V/ns.

El elemento aislante dispuesto entre el electrodo-pieza  $P$  y su soporte, tal como la placa aislante  $J$ , podrá ser suprimido en ciertas aplicaciones.

10 El electrodo-herramienta  $F$  podrá estar constituido por otro tipo de herramienta distinto a un hilo, por ejemplo un vástago hueco o no, rotatorio o fijo, una pieza metálica de penetración.

Las dos fuentes de tensión/corriente  $U_1$  y  $U_2$  para el cebado y para el entretenimiento de las descargas erosivas podrán estar integradas en un solo generador de tensión y/o corriente que permita dos modos de funcionamiento diferentes.

15

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Dispositivo de mecanizado por electroerosión que comprende electrodo-herramienta (F) y un electrodo-pieza (P) que constituyen los polos de un espacio de mecanizado (G), al menos una fuente (U1) de tensión/corriente unida por un circuito eléctrico (E) al electrodo-herramienta (F) y al electrodo-pieza (P) y dispuesta para generar impulsos eléctricos y para establecer el cebado de descargas eléctricas entre el electrodo-herramienta (F) y el electrodo-pieza (P), caracterizado por el hecho de que comprende al menos un elemento capacitativo (C1), dispuesto en el interior de uno o de los dos cabezales de mecanizado, preferentemente en la proximidad de o en los contactos (W1, W2) previstos entre el citado circuito eléctrico (E) y el electrodo-herramienta (F), conectado en serie entre la fuente (U1) y uno de los polos del espacio de mecanizado (G) y cuyas características son tales que impide que las componentes continuas de los impulsos eléctricos que provienen de la fuente (U1) sean aplicadas al espacio de mecanizado (G) y deje pasar las componentes de corriente variable que provienen de la fuente (U1) y, que reduce la capacidad total (Ceq) del citado circuito eléctrico (E) con respecto al espacio de mecanizado (G).
- 10 2. Dispositivo de mecanizado de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que comprende un segundo elemento capacitativo (C5) conectado en serie entre un segundo polo (P2) de la primera fuente (U1) y dispuesto en la proximidad del electrodo-pieza (P).
- 15 3. Dispositivo de mecanizado de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, caracterizado por el hecho de que el electrodo-pieza (P) está montado en un soporte (T) por intermedio de un aislante (J).
- 20 4. Dispositivo de mecanizado de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, caracterizado por el hecho de que comprende al menos un interruptor (SW3, SW4) dispuesto en los bornes del elemento capacitativo o de los elementos capacitativos (C1, C5) y destinado a cortocircuitar o a hacer activo el elemento capacitativo en cuyos bornes está dispuesto.
- 25 5. Dispositivo de mecanizado de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que el electrodo-herramienta es un hilo (F) y por el hecho de que el elemento capacitativo (C1) está constituido por un guiahilos (WG) del cual una parte en contacto con el hilo (F) es de material aislante y la otra parte es de material conductor.
- 30 6. Dispositivo de mecanizado de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por el hecho de que la fuente (U1) comprende un dispositivo de puesta en cortocircuito para producir impulsos eléctricos de pendiente de aumento de tensión elevada.
- 35 7. Dispositivo de mecanizado de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por el hecho de que la fuente (U1) está dispuesta de modo que produce impulsos eléctricos con una frecuencia comprendida entre 0,1 Mhz y 10 Mhz, con una amplitud de tensión comprendida entre 60 V y 300 V y con una pendiente de aumento positivo o negativo de la tensión comprendida entre 0,1 V/ns y 5 V/ns.
- 40 8. Dispositivo de mecanizado de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por un elemento de autoinductancia (Lm) conectado galvánicamente a los dos polos del espacio de mecanizado (G).
- 45 9. Dispositivo de mecanizado de acuerdo con la reivindicación 8, caracterizado por el hecho de que el valor de la inductancia del citado elemento de autoinductancia (Lm) es elegido de modo que la frecuencia de resonancia (Fo) del citado circuito eléctrico sea pequeña con respecto a la frecuencia de los impulsos eléctricos de la primera fuente (U1).
10. Dispositivo de mecanizado de acuerdo con la reivindicación 9, caracterizado por el hecho de que el valor de la citada inductancia (Lm) es elegido de modo que la relación entre la frecuencia de los impulsos eléctricos y la frecuencia de resonancia (Fo) está comprendida entre 10 y 500, preferentemente entre 50 y 150.
11. Dispositivo de mecanizado de acuerdo con la reivindicación 10, caracterizado por una fuente de tensión continua regulable (Sm) conectada en serie con el elemento de autoinductancia (Lm) entre los dos polos del espacio de mecanizado (G).
12. Dispositivo de mecanizado de acuerdo con las reivindicaciones 10 u 11, caracterizado por un interruptor (SW5) conectado en serie con el elemento de autoinductancia (Lm) entre los dos polos del espacio de mecanizado (G).

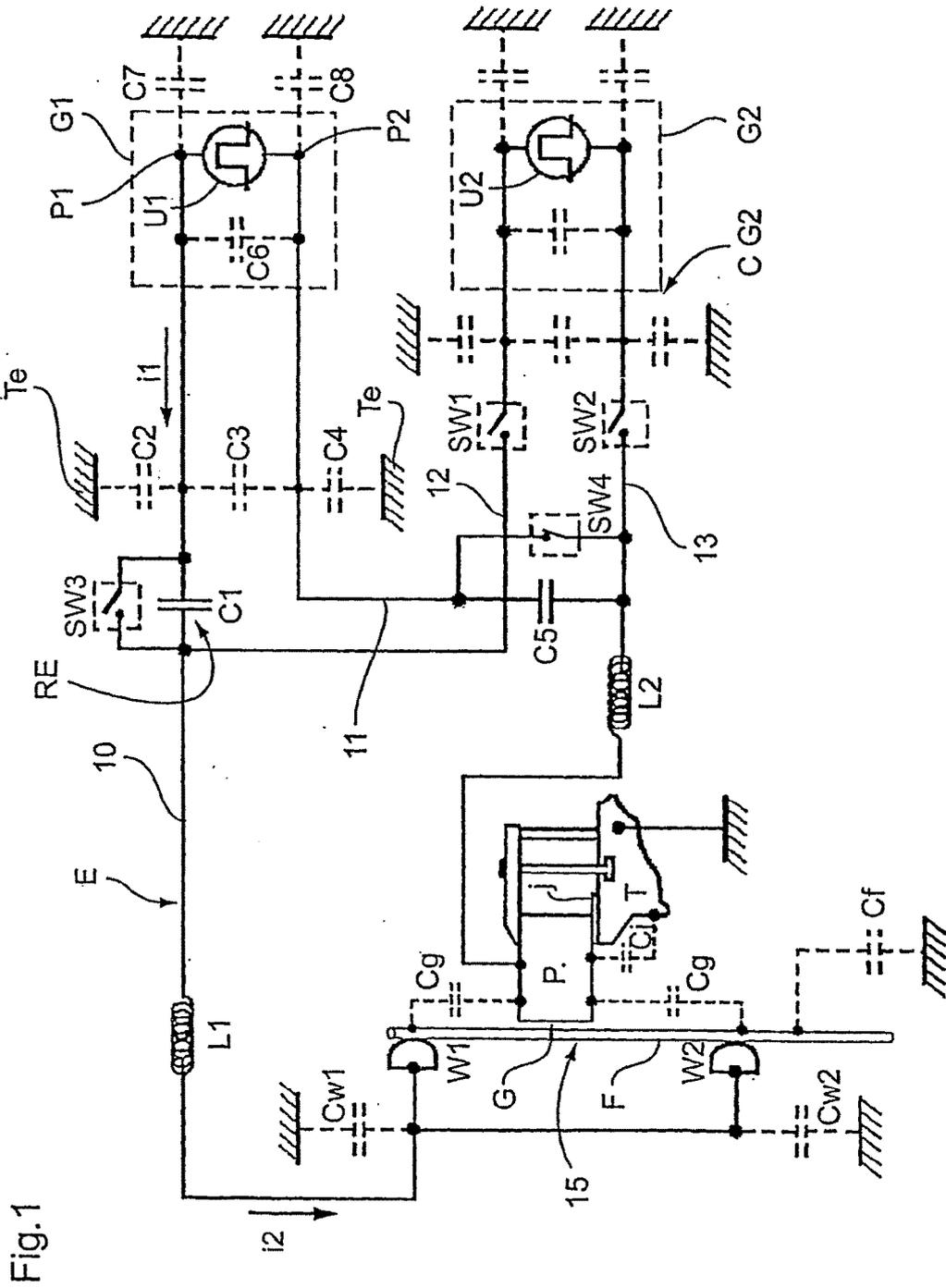


Fig.1

Fig.2a

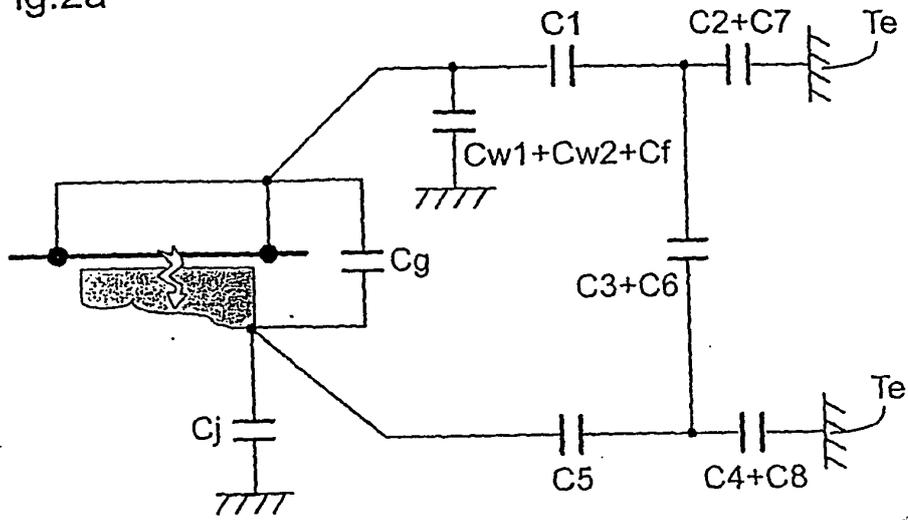


Fig.2b

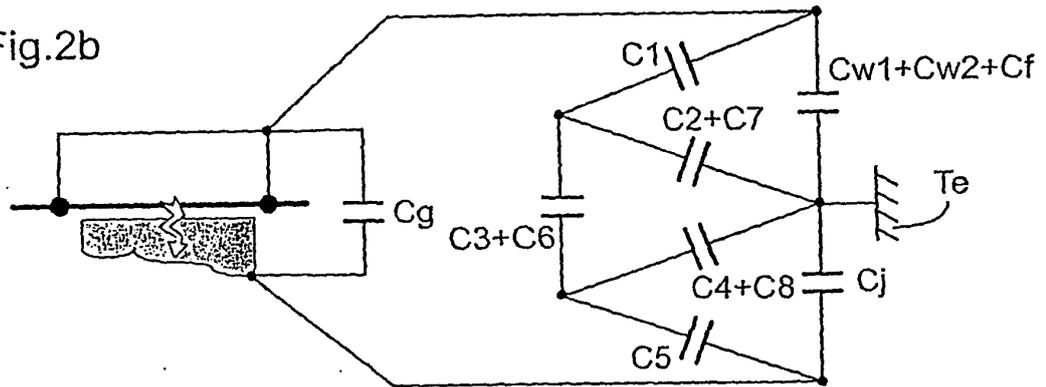


Fig.2c

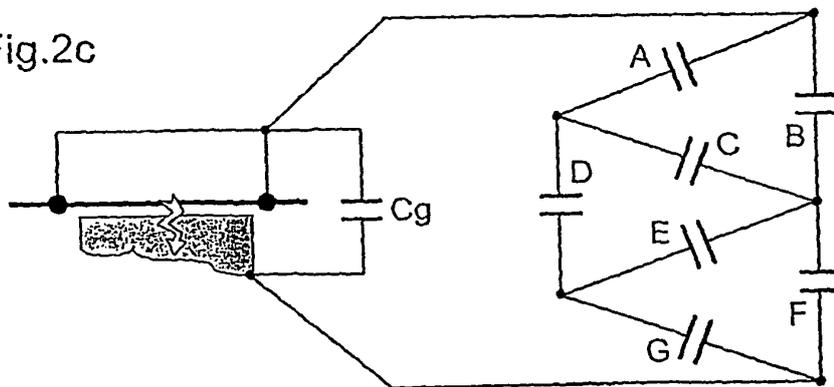


Fig.2d

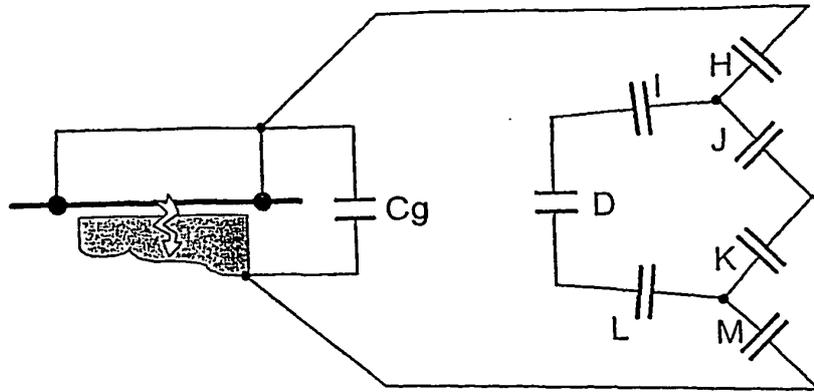


Fig.2e

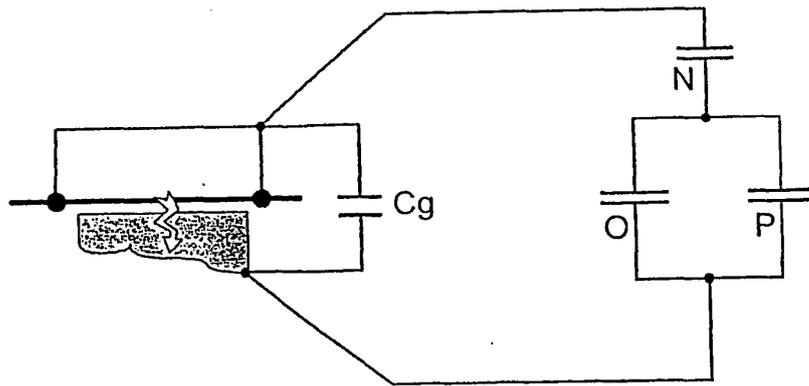


Fig.2f

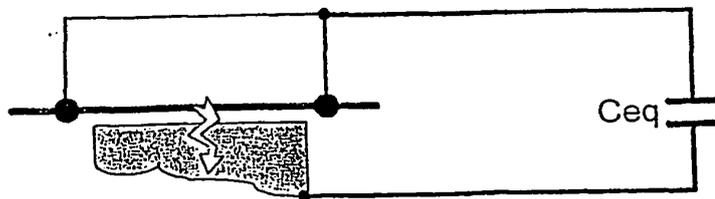


Fig.2g

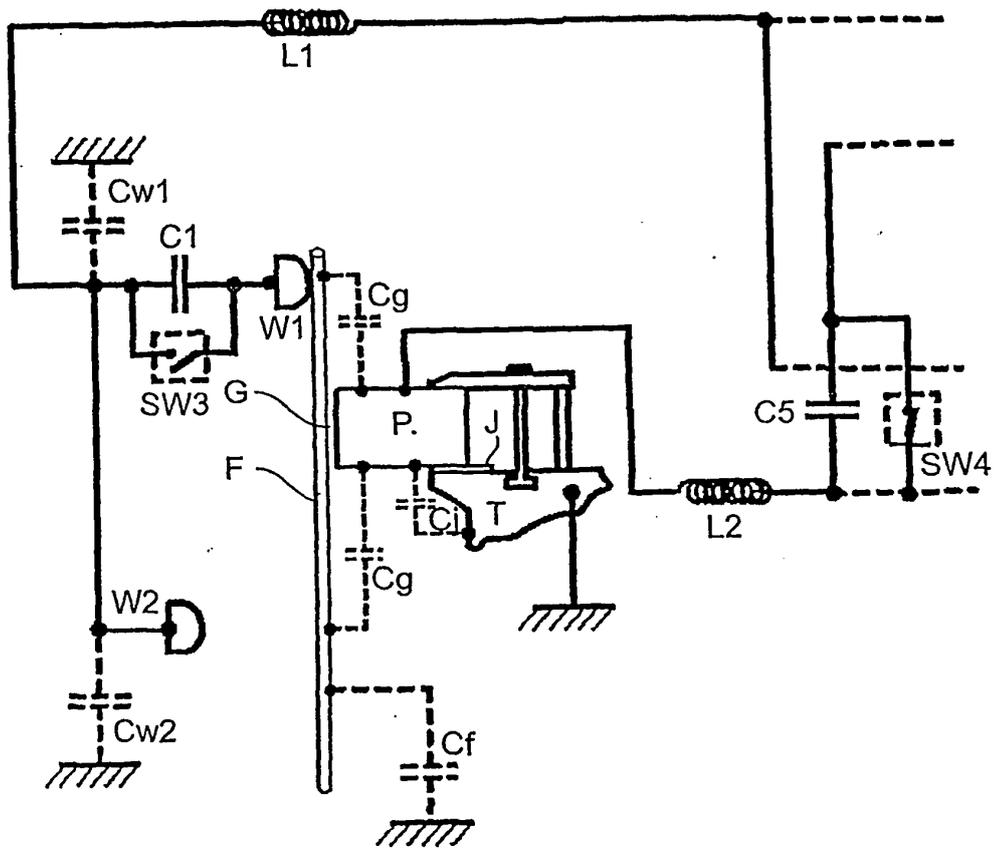


Fig.2h

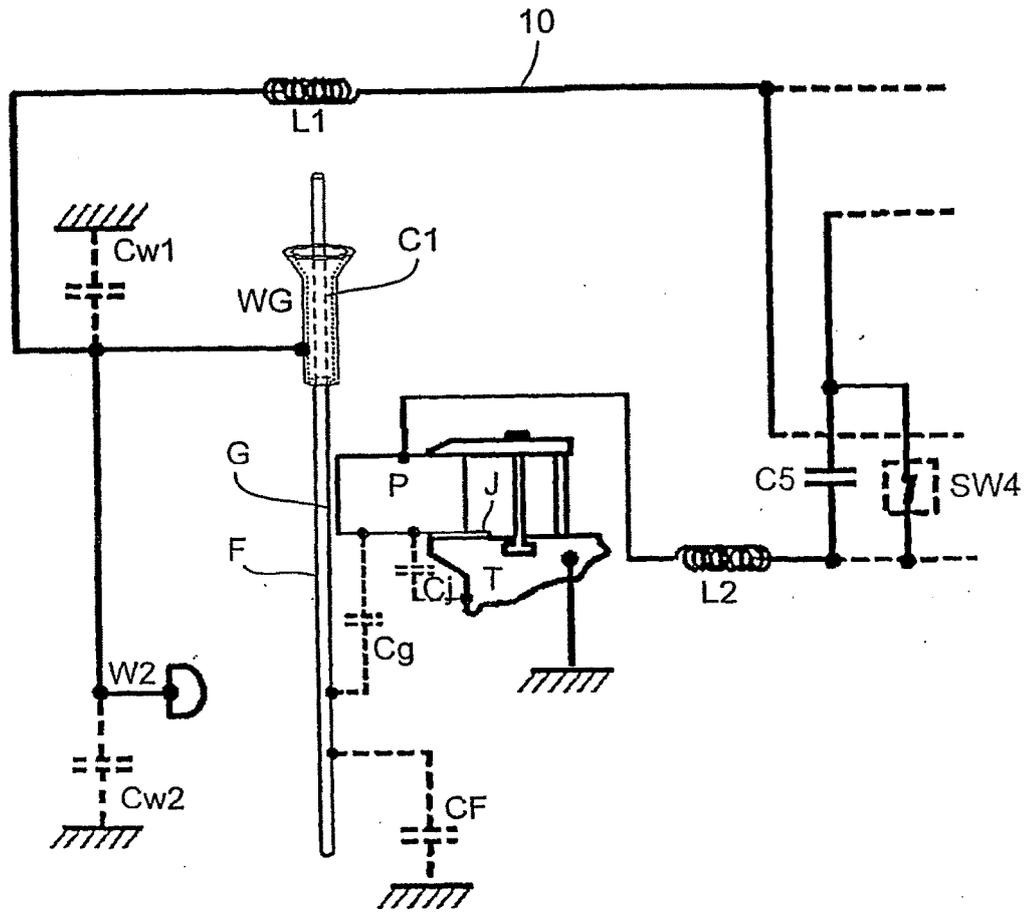


Fig.3a

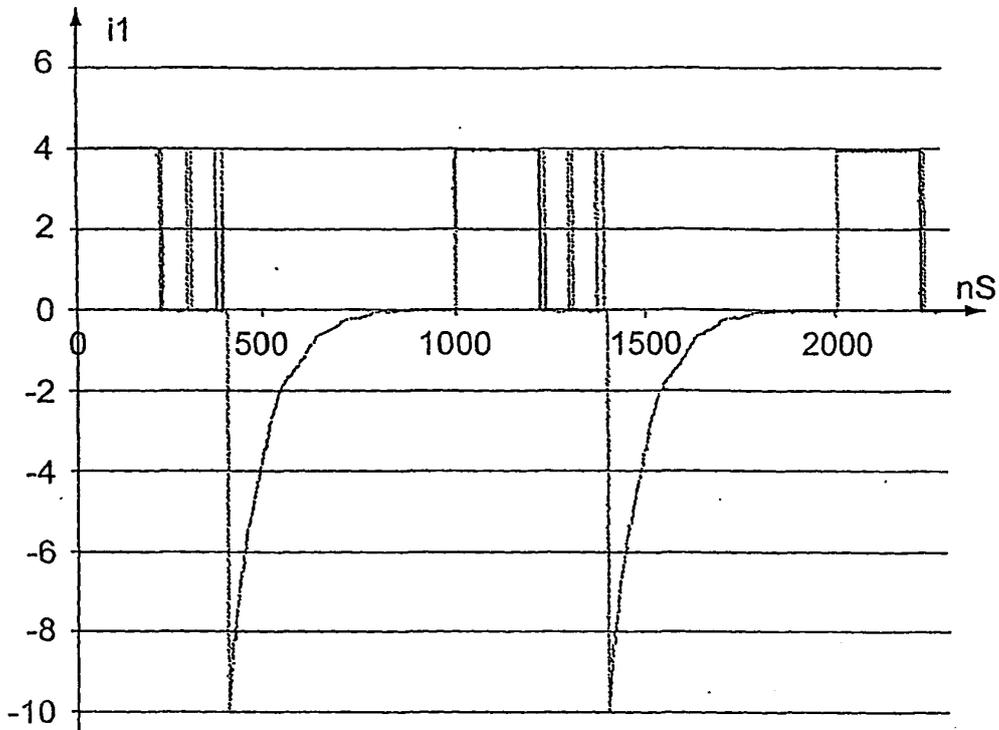


Fig.3b

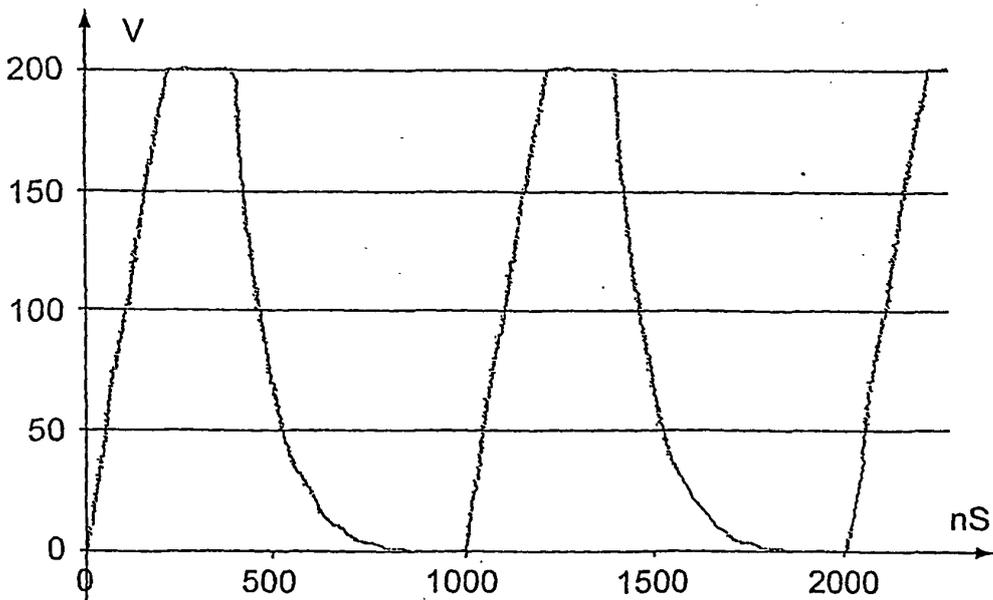


Fig.4a

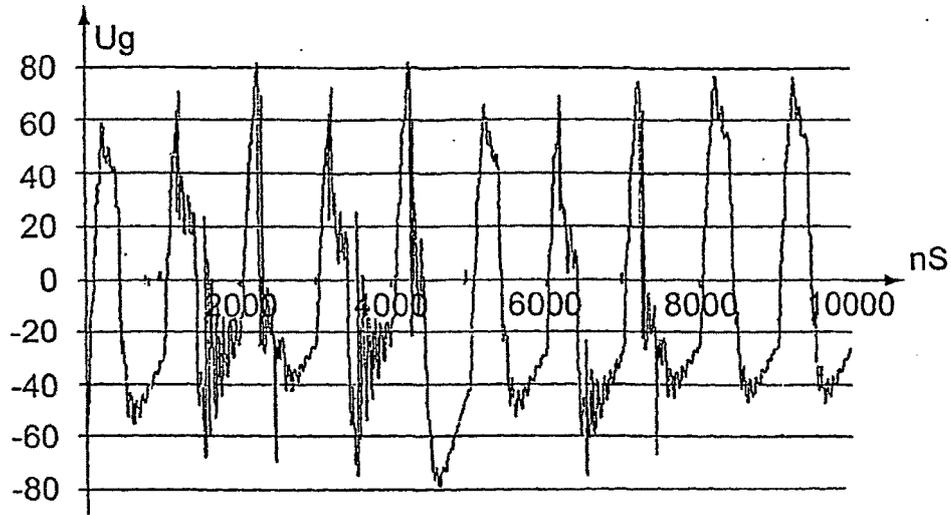


Fig.4b

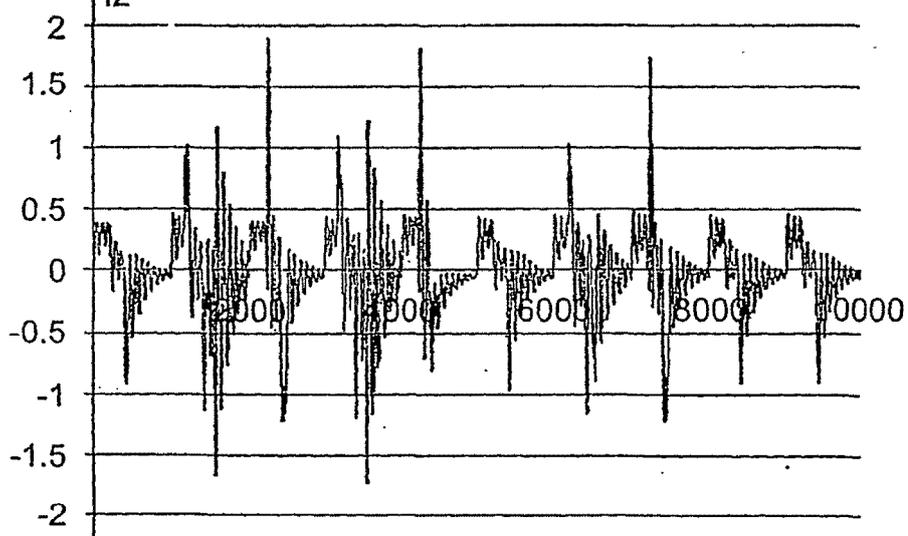
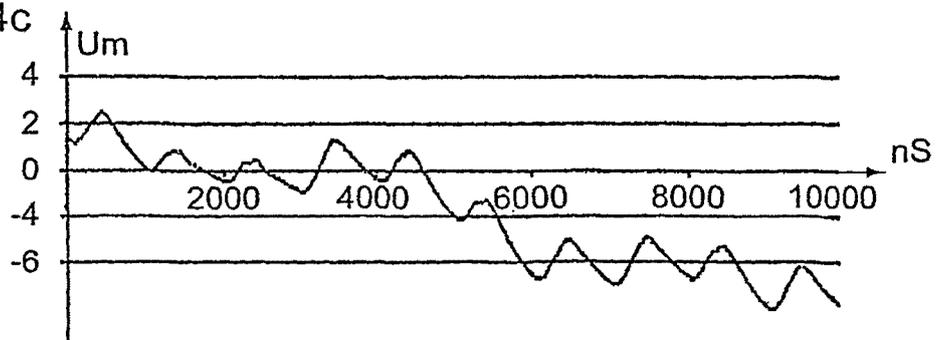


Fig.4c



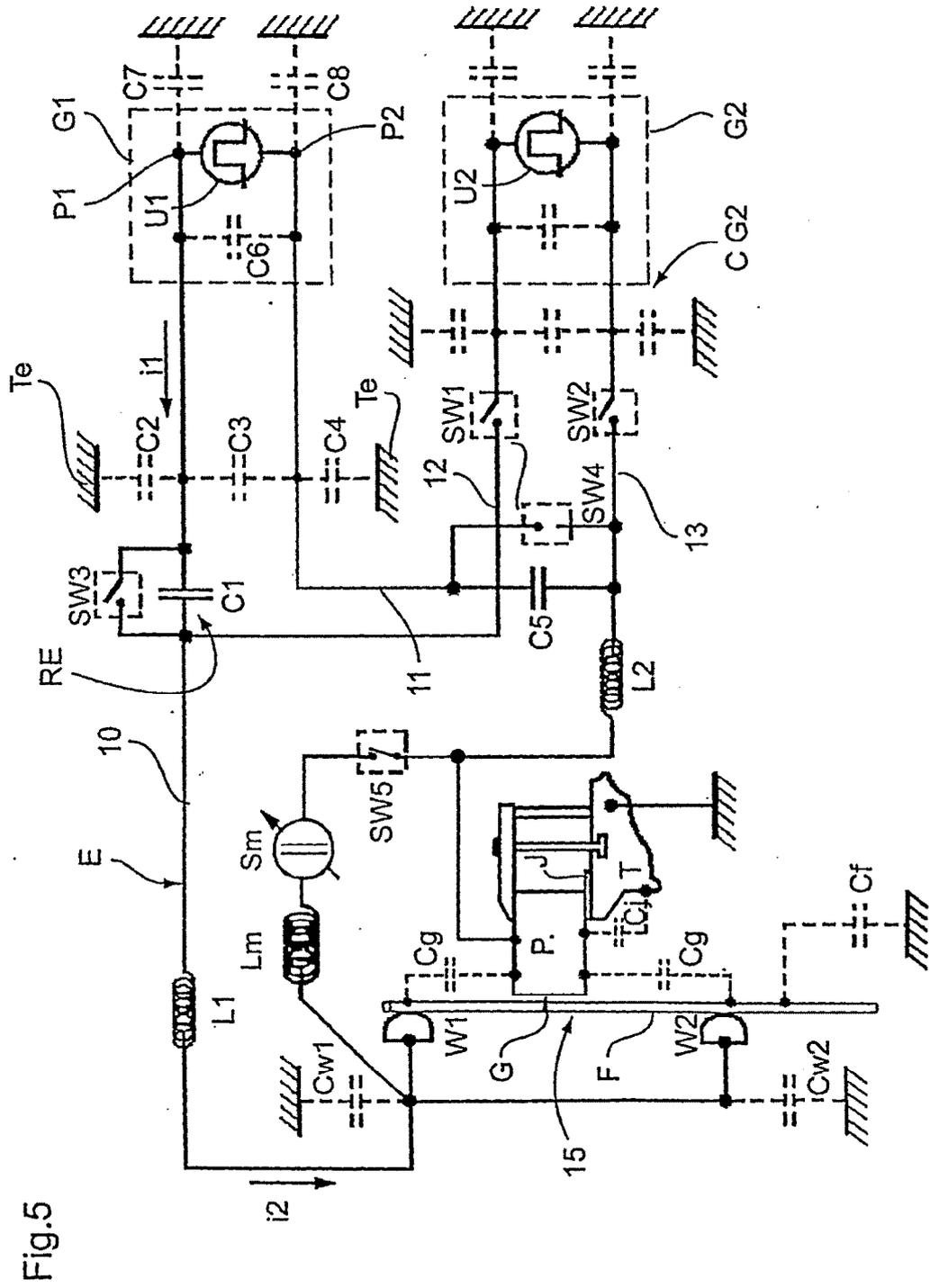


Fig.5

Fig.6

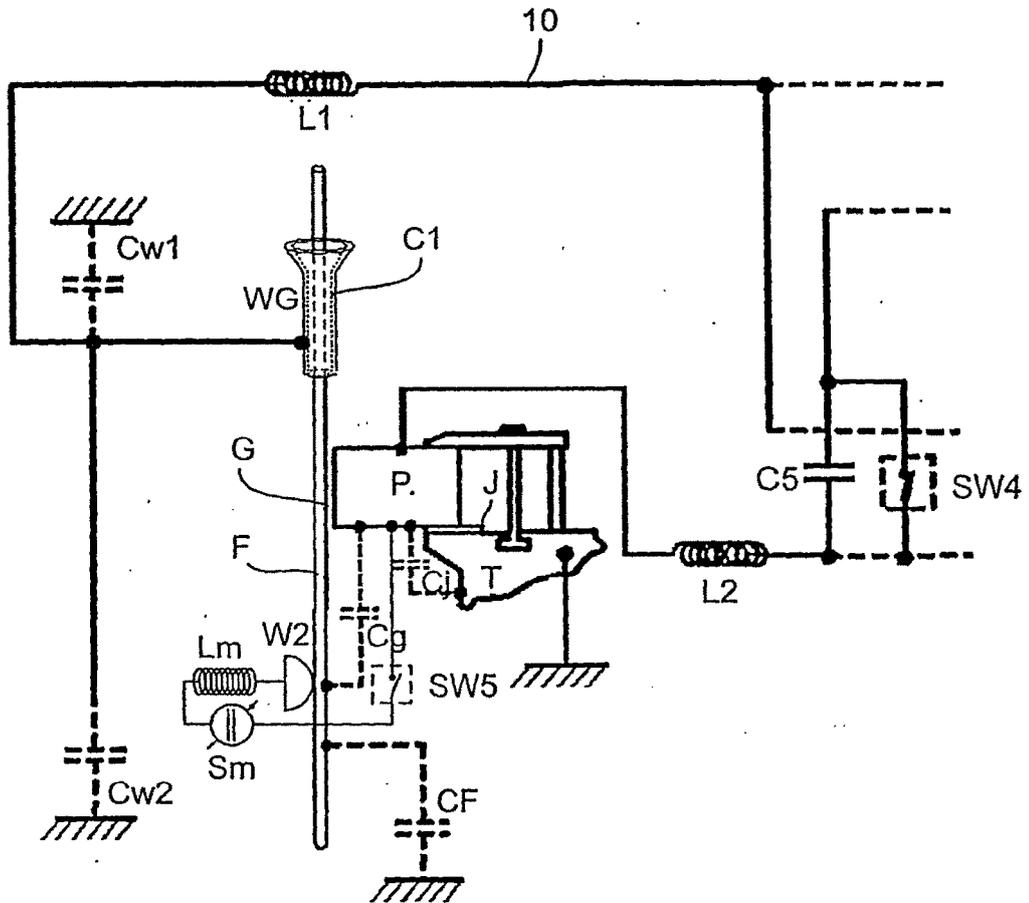


Fig.7a

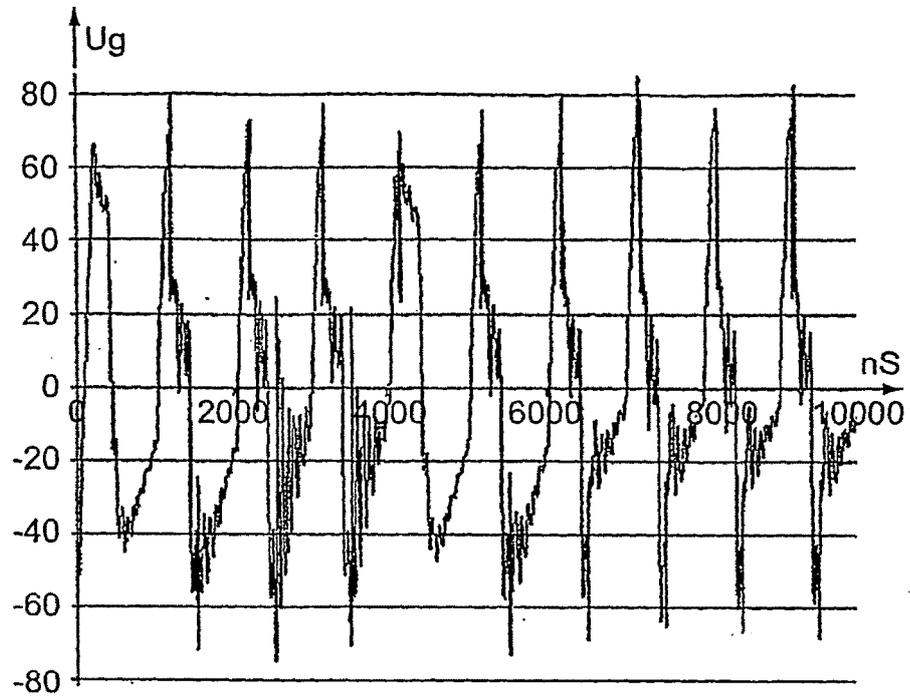


Fig.7b

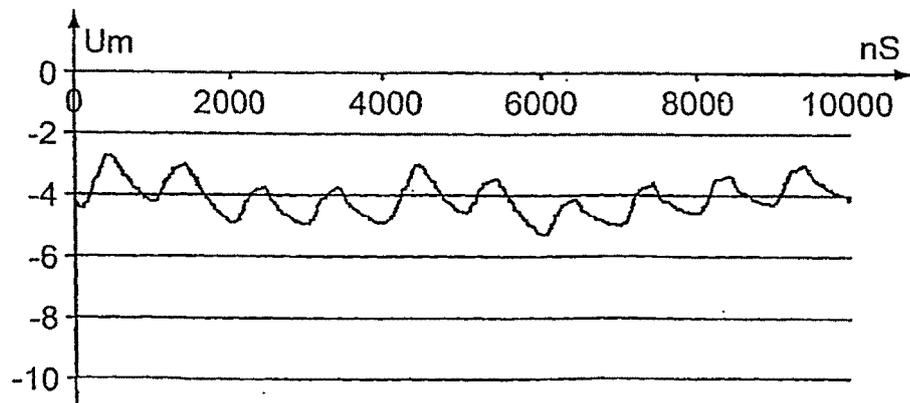


Fig.8a

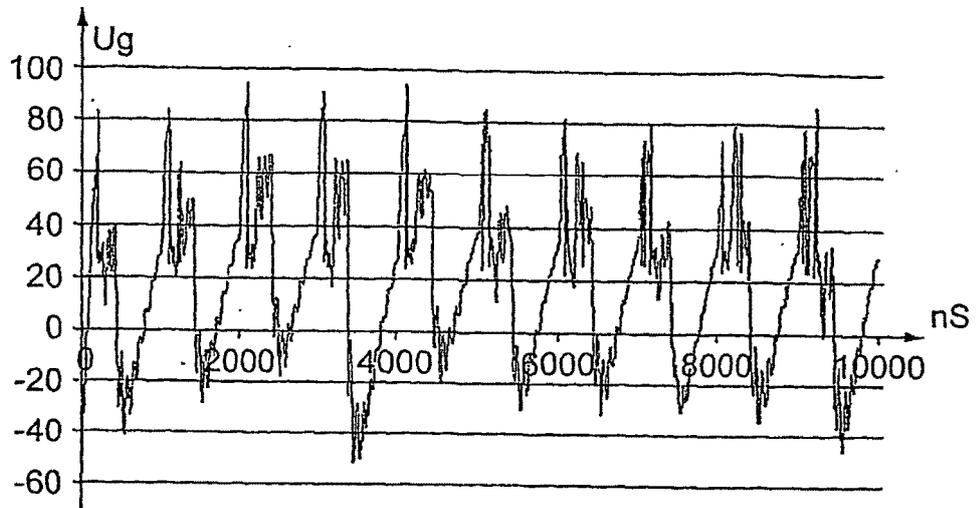


Fig.8b

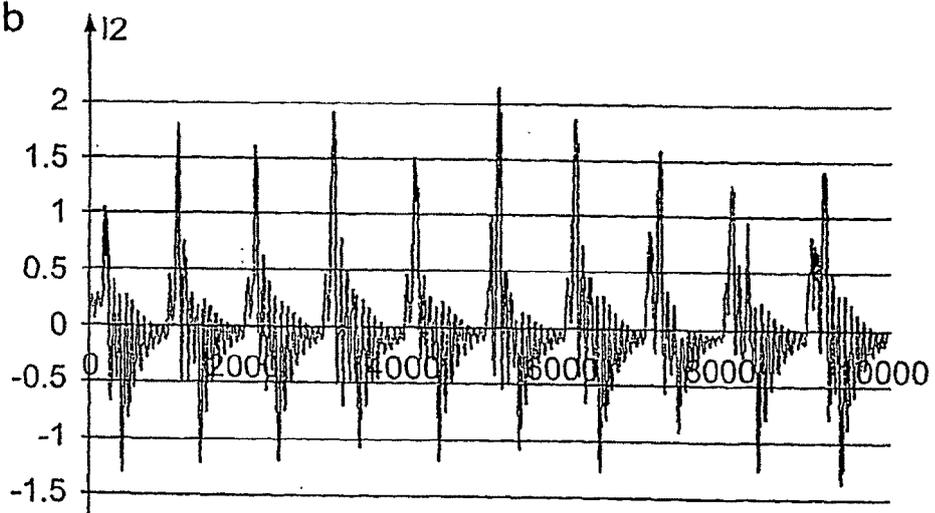


Fig.8c

