

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 401 289**

51 Int. Cl.:

H02M 7/10 (2006.01)

H02M 7/5387 (2007.01)

H01J 37/32 (2006.01)

H01J 37/34 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.03.2006 E 06705364 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.12.2012 EP 1864313**

54 Título: **Generador de plasma en vacío**

30 Prioridad:

24.03.2005 CH 5182005
03.08.2005 CH 12902005

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
18.04.2013

73 Titular/es:

OERLIKON TRADING AG, TRÜBBACH (100.0%)
9477 Trübbach, CH

72 Inventor/es:

TUYMER, GERHARD;
RAMM, JÜRGEN y
LENDI, DANIEL

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 401 289 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

Generador de plasma en vacío.

5 La invención se refiere a un generador de plasma en vacío para la alimentación de una descarga de plasma para el tratamiento de piezas en una cámara de vacío, según el preámbulo de la reivindicación 1.

10 Las unidades de alimentación eléctrica para las operaciones de descargas de gases, o descargas de plasma para procesos de vacío ya son conocidos en muchas variantes. Tales aparatos de alimentación eléctrica son conocidos en la técnica como generadores. En este caso, es importante poder controlar las condiciones de funcionamiento, bien y de manera fiable, debido a que la naturaleza de las descargas de plasma y del proceso de plasma relacionado tiene requisitos particulares. Con procesos de plasma en vacío de este tipo se cubren hoy en día un sinnúmero de aplicaciones diferentes, por ejemplo recubrimientos, limpieza, tratamiento térmico de piezas o de sustratos, etcétera.

15 Los procesos de plasma de este tipo son, por ejemplo, la desintegración catódica, la evaporación de chispas también denominado evaporación por arco, los tratamientos superficiales mediante bombardeo de electrones o iones y procesos de deposición por plasma CVD. Para conseguir resultados especiales con tales procesos de plasma, los procesos de descarga deben ser dominados correspondientemente y controlados selectivamente con ayuda de alimentaciones de corriente apropiadas. En este caso, el campo paramétrico posible de los diferentes modos de funcionamiento de tales descargas de plasma es muy amplio y pueden aparecer siempre resultados novedosos y sorprendentes, por ejemplo en las propiedades de deposición de piezas recubiertas. Desde hace algún tiempo se trata de expandir, adicionalmente, el campo paramétrico mediante descargas de plasma alimentadas de manera pulsante, para poder realizar nuevas posibilidades. En este caso se usan impulsos unipolares o bipolares a diferentes frecuencias, a menudo en el rango del kilohertzio hasta más de 100 kHz y también con diferentes anchos de impulsos y/o formas de impulsos. Con dicha tecnología de impulsos se puede trabajar, por ejemplo, con materiales malos conductores e, incluso, capas aislantes, sin que se produzcan descargas de chispas no deseadas. En particular, en el caso de la aplicación importante de la polarización de sustrato, la técnica de impulsos lleva a resultados positivos, trabajando, por regla general, con una alimentación de corriente pulsada de voltaje estabilizada con la que se pueden realizar también corrientes elevadas. Mediante la técnica por impulsos, para la generación de recubrimientos es posible alimentar desde fuentes de recubrimiento, por ejemplo fuentes de pulverización o fuentes de evaporación de chispas. Para la generación de recubrimientos también es posible alimentar usando la técnica de impulsos las fuentes de recubrimiento, por ejemplo fuentes de atomización o fuentes de pulverización catódica o también fuentes de evaporación de chispas.

20 La tecnología por impulsos es particularmente apta para el control de procesos con materiales nada y poco conductores, por ejemplo procesos reactivos. Sin embargo, la aplicación de esta tecnología conlleva también enormes ventajas en el uso en el proceso de materiales buenos conductores, por ejemplo para el ajuste de la estequiometría de capas, densidad del material de recubrimiento y, además, también para la influenciación de la estructura.

25 Debido a la diversidad de las posibilidades se trabaja hoy día con todo el espectro de tipos de descarga de plasma o modos de operación de plasma conocidos.

30 En el documento US 05.303.139 se aplica una alimentación de corriente bipolar que describe extensas aplicaciones de plasma pulsado en el área de las denominadas descargas luminosas en el campo de las aplicaciones PVD y CVD. Las descargas luminosas trabajan, convencionalmente, a voltajes de menos de 1000 voltios, o sea algunas centenas de voltios, y bajos valores de corriente. Frecuentemente, las descargas luminosas son soportadas, adicionalmente, mediante campos magnéticos especiales. Las fuentes de este tipo se han denominado fuentes con magnetrón. Estas son operadas a unos centenares de voltios y permiten realizar mayores corrientes de descarga que la descarga luminosa sin soporte de campo magnético.

35 Las descargas luminosas anormales, como se describen en el documento US 5.015.493, se operan a voltajes superiores de algunos kilovoltios y a valores de corriente más elevados que las de descargas luminosas o de magnetrón, pero valores de corriente menores comparados con la descarga de chispas.

Los vaporizadores de chispas, también denominados vaporizadores con arco, son operados en el intervalo de algunas decenas de voltios, pero a corrientes muy elevadas de, generalmente, algunos centenares de amperios.

Otra forma de descarga específica se ha dado a conocer mediante el documento US 6.296.742, el denominado sogenannte "High Power Pulsed Sputtering".

40 Este modo operativo se denomina a veces ""diffused discharge", porque se produce un aumento de intensidad difusa marcada del plasma en el sector del blanco. En este caso, la descarga es operada a voltajes de impulsos de 0,35 a 5 kV con potencias de impulso de 10 kW a 1 MW. La duración de impulso se encuentra en el rango de 50 microsegundos a 1 milisegundo y el intervalo entre los impulsos en el rango de 10 milisegundos a 1000 segundos.

45 Los procesos plasmáticos o métodos de tratamiento plasmático mencionados anteriormente representan una carga para la alimentación de corriente, que cubre un espectro de impedancia muy amplio y, por lo tanto, requieren voltajes de alimentación en el rango de algunos voltios hasta el rango de kV y corrientes de arrollamientos de algunos amperios

hasta algunos centenares de amperios a frecuencias de impulsos de kHz hasta algunos centenares de kHz. Hasta ahora, para cada rango de aplicación se debían usar alimentaciones de corriente en función de la carga o del modo de trabajo de plasma respectivo. Si con generadores convencionales se quiere cubrir otro rango de voltajes, resulta la desventaja de que la potencia nominal del generador debe corresponder al producto del máximo voltaje de salida y la máxima corriente de salida, necesitando los procedimientos que requieren voltajes bajos frecuentemente corrientes más elevadas que los procedimientos con voltajes altos, de modo que la potencia nominal resultaría innecesariamente grande.

Otra desventaja de los generadores convencionales son usadas en un rango amplio de voltajes es la disminución relativa de la calidad al operar con voltajes de salida bajos. Por ejemplo, de este modo la resolución decrece al aumentar la ondulación. Otra seria desventaja particular consiste en que la forma de impulsos frecuentemente no es estable y varía durante la operación en función del comportamiento de carga y, en este caso, varían especialmente las pendientes de los flancos de los impulsos o, incluso, se aplanan y no es posible generar flancos de impulsos de pendiente suficientemente pronunciada. Con los procesos plasmáticos llevados a cabo hoy en día para el tratamiento de superficies de piezas, en particular para la deposición de capas, debería ser posible operar en el mismo proceso productivo dentro de la misma instalación de proceso de vacío diferentes modos de operación plasmática, nombrados precedentemente. Ello debería ser posible tanto en disposiciones de fuentes de plasma individuales mediante el control del modo operativo y/o también en múltiples disposiciones de fuentes diferentes que, específicamente, están diseñadas para los diferentes modos operativos, por ejemplo y, preferentemente, una combinación de evaporadores con arco, fuentes de pulverización catódica y ruta de plasma de polarización.

En el documento EP 1 278 294 A1 se describe una alimentación eléctrica de corriente aplicable en particular para el tratamiento de plasma de corriente continua. La alimentación de corriente presentada allí está en condiciones de entregar una potencia eléctrica constante, variable sobre un gran rango, como es el caso en procesos de plasma de corriente continua, sin necesidad de modificar o cambiar el hardware de la alimentación de corriente. En la descripción del estado actual de la técnica se menciona allí una disposición de circuitos en la que un convertidor CC-CC incluye un circuito de puente H con dos transformadores con, cada uno, dos arrollamientos secundarios que, según la necesidad, pueden ser conectados en serie o en paralelo mediante interruptores, para conseguir así una adaptación a la carga. A continuación, como es habitual, la corriente es rectificadora y alisada mediante inductancia y condensador. El perfeccionamiento presentado allí debe reemplazar dichos interruptores. Para ello se propone una disposición de circuito con un puente H en el cual los dos puentes del puente H alimentan cada uno un transformador y los arrollamientos secundarios están conectados con un circuito de rectificador en puente y, de este modo, se juntan los voltajes en una salida de CC común donde está dispuesta, por otra parte, una inductancia y un condensador para el alisado del voltaje de CC. Los dos puentes del puente H son controlados mediante grupos de impulsos que pueden ser operados ajustables recíprocamente con retardo de fase, con lo cual es posible una adaptación de carga de la carga variable aplicada a la salida de CC, en particular formada mediante una descarga de plasma.

La presente invención consiste en eliminar las desventajas, mencionadas anteriormente, del estado actual de la técnica. En particular, el objetivo consiste en realizar un generador de plasma al vacío que cubra un amplio espectro de impedancias de carga para la alimentación de al menos dos modos de operación de plasma diferentes del tipo mencionado anteriormente. Además, el generador debe posibilitar elevadas potencias de impulsos en todos los modos operativos y entregar al plasma un comportamiento de impulsos definido, para poder realizar las propiedades de capa deseadas y lo haga con una gran economía.

El objetivo es conseguido de acuerdo con la invención mediante un generador de plasma en vacío según la reivindicación 1. Las reivindicaciones secundarias definen otras formas de realización ventajosas.

El objetivo es conseguido mediante la invención, porque un generador de plasma en vacío que con una salida del generador para la alimentación de una descarga de plasma para el tratamiento de piezas se encuentra configurado en una cámara de vacío con una conexión a la red de corriente alterna, una disposición de rectificador de red para la conversión de la corriente alterna de red en una corriente continua, un condensador de alisado, una primera etapa como convertidor de voltaje CC-CC sincronizado con elementos para el ajuste de la salida de voltaje CC que forma el voltaje de circuito intermedio e incluye un interruptor de corriente controlado por ancho de impulso, que alimenta el arrollamiento primario de un transformador y cuyo arrollamiento secundario está conectado a un rectificador y un condensador de circuito intermedio conectado aguas abajo y forma un circuito secundario flotante de transformador, estando el mismo conectado con una segunda etapa que forma una etapa de salida de impulsos y estando la misma conectada a la salida del generador, presentando el convertidor de voltaje CC-CC al menos dos circuitos secundarios flotantes de transformador y un dispositivo de conmutación con un control de interruptores para la conmutación opcional en paralelo o en serie de los circuitos transformadores secundarios flotantes.

Mediante el convertidor de voltaje CC-CC conectado aguas arriba, el voltaje que es alimentado a la segunda etapa puede ser ajustado en un amplio intervalo. El convertidor CC-CC está configurado sincronizado y como parte de la red de conmutación, por ejemplo como convertidor boost. En consecuencia, el voltaje de salida puede ser ajustado tanto en menos como en más del voltaje de entrada. Con el dispositivo de conmutación, los circuitos secundarios flotantes de transformador pueden conectarse en serie o en paralelo. De este modo es posible ampliar considerablemente el rango de trabajo para la alimentación de la etapa de salida de impulsos y adaptarse en un amplio

intervalo a diferentes sectores de impedancia de plasma. Mediante el aumento del número de circuitos secundarios de transformador en la primera etapa con los dispositivos de conmutación respectivos puede ampliarse, correspondientemente, el intervalo de voltaje de acuerdo con el campo de aplicación deseado. Por lo tanto, la etapa de salida de impulsos, que alimenta la ruta del plasma, puede ser controlada y operar siempre en el rango de trabajo óptimo, de tal manera que, también con carga elevada respecto de las especificaciones, la forma de impulsos se mantenga y no se deforme ni, incluso, se desmorone de manera descontrolada.

Ahora, la invención es explicada en detalle, a modo de ejemplo, mediante figuras esquematizadas. Muestran:

La figura 1, un generador de plasma en vacío según la invención,

la figura 2, ejemplos de formas de voltajes de salida del generador según la figura 1,

la figura 3, un esquema del principio de un dispositivo de conmutación para la primera etapa del generador,

la figura 4, una variante de un dispositivo de conmutación,

la figura 5a, otra variante de un dispositivo de conmutación con dos etapas sincronizadas de convertidor separadas operadas flotantes,

la figura 5b, corrientes y voltajes con sincronización desfasada de la disposición del convertidor según la figura 5a,

la figura 6a, etapa de conversión CC-CC,

la figura 6b, la curva de los voltajes y corrientes en la etapa de conversión según la figura 6a con mínima duración de impulsos,

la figura 7, curva de los voltajes y corrientes en operación de servicio discontinuo.

El generador de acuerdo con la presente invención dispone de una topología de dos etapas, como se muestra, esquemáticamente, en la figura 1. Por ejemplo, en la conexión de red de voltaje alterno 6a se hace referencia a un voltaje trifásico $3 \times 400 V_{\text{eff}} 50/60 \text{ Hz}$, que en la disposición de rectificador de red 6 es rectificadora a corriente continua y alisada mediante el condensador de alisado 6b. El voltaje continuo generado se lleva a una primera etapa implementada como convertidor de voltaje CC-CC 7 para la generación de un voltaje de circuito intermedio U_z que es alisado mediante un condensador de circuito intermedio 12 o múltiples condensadores de circuito intermedio 12'-12''. El convertidor de voltaje CC-CC 7 tiene el objetivo de poner a disposición un intervalo de voltaje CC, a ser posible amplio, para la alimentación de la segunda etapa conectada aguas abajo, la etapa de salida de impulsos 8. De este modo, la etapa de salida de impulsos 8 puede, por su parte, poner a disposición un amplio intervalo de voltaje de impulso y, por lo tanto, un amplio intervalo de impedancias de carga en los bornes de salida 9, 9' del generador 1 para la alimentación de la ruta de plasma 10 con el voltaje de plasma U_{PI} entre los electrodos 3. Los electrodos 3 están dispuestos en una cámara de vacío 2, o cámara de proceso 2, para poder tratar piezas 5, o sustratos 5, en dicha cámara de proceso. La cámara de vacío 2 es evacuada de la manera convencional por medio de un sistema de bombeo de vacío 4 y el gas de proceso, por ejemplo argón, y, en particular, gases reactivos adicionales deseados son introducidos a la cámara de vacío, de modo que las descargas de plasma puedan ser operadas en un intervalo de presiones de 5×10^{-4} mbar a 10 mbar. Para el funcionamiento, los electrodos 3 están conectados a las salidas 9, 9' del generador 1 mediante los conductores eléctricos 11, 11'. La ruta de plasma 10 puede ser operada de manera flotante pero, si se desea, también puede ser fijada contra la masa de la instalación, como se indica simbólicamente mediante el interruptor de puesta a tierra 5_M mediante el cual uno de los conductores de alimentación 11, 11' es conectado a masa.

Para poder conseguir el amplio rango de trabajo del generador 1 se ha dispuesto, adicionalmente, además del convertidor de voltaje CC-CC 7 controlado por ancho de impulsos, un dispositivo de conmutación 20a, b, c. El convertidor CC-CC 7 tiene para ello una disposición de conmutación 7b con al menos dos circuitos secundarios de transformador 23 que pueden ser conectados, opcionalmente, mediante el dispositivo de conmutación 20 en serie o en paralelo en función de la carga aplicada. De este modo es posible, según el número de circuitos secundarios de transformador 23, duplicar o multiplicar los voltajes y realizar mediante la conexión en paralelo una adaptación al intervalo de voltaje o a la potencia. Mediante dicha adaptación controlada al rango de trabajo, el generador 1 puede trabajar en todo momento en el intervalo de carga óptimo, con lo cual es posible una adaptación de carga óptima y económica para el funcionamiento con diferentes modos de fuente y modos de plasma, por ejemplo descarga luminosa, descarga luminosa anormal, vaporizador de chispas o "diffused discharge". Además, de este modo, la etapa de salida de impulsos 8 en las salidas 9, 9' puede poner a disposición, de manera genuina, las formas de impulsos deseadas, como se muestra, por ejemplo, en la figura 2. Para la deseada conducción flexible del proceso, la etapa de salida de impulsos (8) puede ser implementada como convertidor de voltaje con control de ancho de impulso ajustable adicionalmente para generar impulsos con amplitud de impulso, ancho de impulsos y frecuencia de impulsos especificados. Dichos valores también pueden ser modulados de manera controlada.

Dependiendo de la selección, la topología de dos etapas según la invención puede hacer disponible un voltaje CC puro en las salidas 9, 9', como muestra la figura 2a. Sin embargo, esta topología es aplicable de manera particularmente ventajosa para el funcionamiento por impulsos, como lo muestra la figura 2b como impulso unipolar y en la figura 2c

como impulso bipolar. En este caso, los anchos de impulsos y los intervalos de impulsos pueden ser ajustados dentro de rangos amplios y tampoco es necesario que sean simétricos. Por ejemplo, en la figura 2c se muestra un funcionamiento asimétrico bipolar con un impulso estrecho positivo con intervalo muy largo y con múltiples impulsos negativos asimétricos con intervalos más cortos. Como la alimentación también permite el funcionamiento entre fuentes de plasma o electrodos, como los sustratos, de diferente impedancia se produce una asimetría adicional en la amplitud de impulsos. Ello puede ser influenciado por medio del ajuste del ancho de impulsos.

Como se muestra en la figura 3, el generador estructurado comprende tres transformadores 14a a 14c, siendo posible también cualquier otro número mayor que uno para conseguir la ventaja. También es posible usar un transformador con múltiples arrollamientos secundarios aislados uno de otro. En el lado secundario del transformador se encuentra conectado aguas abajo un rectificador en puente 15' a 15'' separado con inductancias de alisado como condensador 12 de circuito intermedio. Entre los rectificadores y un circuito en serie de condensadores 12 de circuito intermedio se encuentra un dispositivo de conmutación 20. En el rango de voltaje más elevado, el rectificador 15 alimenta un condensador 12. Los interruptores del dispositivo de conmutación 20 se encuentran cerrados y, debido al potencial, los diodos D_1 - D_4 del dispositivo de conmutación están polarizados en sentido inverso debido al potencial en los condensadores 12 conectados en serie y, por lo tanto, sin corriente. En el rango menor de voltaje, todos los rectificadores 15 están conectados en paralelo por medio del dispositivo de conmutación 20. Los interruptores del dispositivo de conmutación están abiertos y el flujo de corriente se produce a través de los diodos D.

En la figura 3 se muestra una forma de realización preferente de un convertidor CC-CC 7 como primera etapa del generador 1. El convertidor CC-CC 7 dispone de un conmutador de potencia 7a de convertidor, que trabaja como inversor, al que se encuentran conectados en paralelo múltiples transformadores 14a a 14c. Por ejemplo, el convertidor de potencia 7a de convertidor está configurado como circuito puente o como puente integral y, como elementos de conmutación electrónico incluye, ventajosamente, transistores IGBT. Los arrollamientos secundarios de los transformadores 14a a 14c está conectados con rectificadores 15, 15'-15'' y forman circuitos secundarios flotantes 23 de transformador aislados uno de otro. En este caso, el convertidor de voltaje CC-CC 7 presenta tres circuitos secundarios flotantes 23 de transformador, como se muestra en la figura 3. En función del rango de voltaje deseado pueden usarse también sólo dos circuitos flotantes o también múltiples circuitos flotantes.

Los circuitos secundarios 23 de transformador están conectados con un dispositivo de conmutación 20a de tal manera que los circuitos secundarios flotantes 23 de transformadores puedan ser conectados, opcionalmente, en serie o en paralelo, con lo cual se produce en los condensadores de circuito intermedio 12' a 12'' conectados en serie al sector de salida un voltaje de circuito intermedio U_z multiplicado correspondientemente. Una configuración ventajosa del dispositivo de conmutación 20a consiste en que, en cada caso, un polo de corriente continua del circuito secundario de transformador 23 es conectado a diodos D_1 a D_4 y el otro polo de corriente continua a los elementos de interrupción 21 activos. Los elementos de conmutación activos pueden estar implementados como interruptores mecánicos o, si es necesario conectar muy rápidamente, también como interruptores electrónicos conectados de manera controlada mediante el control de interruptores 22 de acuerdo con los requerimientos del estado de proceso apropiado. La disposición 7b con transformadores convertidores 14, rectificadores 15 y convertidores de voltaje 20 posibilita, por lo tanto, una expansión considerable del intervalo de ajuste del voltaje del circuito intermedio U_z .

En un generador de plasma en vacío 1 de este tipo se pueden implementar sin problemas potencias nominales de hasta 100 kW y más. Mediante una disposición de convertidor de puente completo, como se muestra en la figura 5, la potencia nominal puede ser aumentada, por ejemplo, a 400 kW. En la figura 5a se muestra un convertidor CC-CC 7 con dos circuitos en puente completo independientes que forman dos circuitos secundarios flotantes 23 de transformador con el dispositivo de conmutación 20c respectivo para la expansión del intervalo de voltaje de trabajo. Para reducir la carga de corriente del condensador de circuito intermedio 12', 12'', los inversores con los transformadores 14a, 14b también pueden sincronizarse desplazados en fase, con lo cual también se mantiene más reducida la ondulación de voltaje del circuito intermedio, como se muestra en la figura 5b con las corrientes y voltajes correspondientes. U_{S1} y U_{S2} indican en este caso los valores de voltaje en los arrollamientos secundarios de los transformadores 14, medidos durante el tiempo t . I_{L1} y I_{L2} son las corrientes de carga para los dos condensadores de circuito intermedio 12', 12'', representando I_c la corriente de carga total.

Otra opción de la realización es la mostrada en la figura 4. Aquí, el dispositivo de conmutación 20b no está conectado entre los rectificadores 15' a 15'' y los condensadores de circuito intermedio 12' a 12'', sino que la disposición de los condensadores 12 conmuta de una conexión en serie en el intervalo de voltaje alto a una conexión en paralelo en el intervalo de voltaje bajo. Para la carga de corriente de los condensadores 12 esta variante es ventajosa, porque la misma permanece invariable para ambos intervalos de voltaje. Comparado con la solución mostrada en la figura 3 resulta la desventaja de que los interruptores 21 en el circuito de los condensadores 12 están conectados y, de este modo, aumentan la inductancia, lo que es menos favorable, en particular en un voltaje de salida pulsado.

El principio puede ser expandido, por ejemplo, con el uso de cuatro conexiones en el lado secundario con cuatro rectificadores 15, de modo que se consiguen tres rangos de voltaje. En el intervalo de voltajes más alto, todos los rectificadores están, por así decirlo, conectados en serie, en el intervalo de voltajes medio están conectados en serie dos rectificadores conectados en serie y en el intervalo de voltajes más bajo prevé la conexión en paralelo de todos los rectificadores.

En lugar de los diodos D1 a D4 mostrados se pueden usar también interruptores electromecánicos o, cuando se requieren grandes velocidades de conmutación, elementos de conmutación semiconductores controlados.

5 Condicionados por los tiempos de retardo al conectar y desconectar los elementos semiconductores, la duración de impulsos mínima t_{pmin} , en la que los interruptores semiconductores están conectados, es limitada. O sea, no es posible generar impulsos cortos arbitrarios. Ello es válido, en particular, para los elementos de conmutación de potencia IGBT en el intervalo de potencia más elevado. La consecuencia es que la carga mínima con la que los condensadores 12 de la salida del convertidor CC-CC son recargados durante un periodo de ciclo es limitada en valor hacia abajo, como se muestra de acuerdo con el esquema de principio según la figura 6a y la curva de voltaje y corriente según la figura 6b. Consecuentemente, en voltajes de salida bajas, el convertidor CC-CC debe ser operado en el así llamado régimen de operación intermitente. Ello significa que el convertidor en algunos periodos no está activo completamente y, consecuentemente, los condensadores de salida 12 no son recargados durante dichos periodos, lo que se muestra en la figura 7. U_p muestra la curva de voltaje de impulso bipolar en el lado primario del transformador 14a, I_C la corriente de carga del condensador de circuito intermedio 12 y U_Z el voltaje de circuito intermedio en el condensador 12. t_{pmin} indica el ancho de impulsos mínimo posible.

15 El generador de plasma en vacío 1 según la invención permite, en este caso, la alimentación de diferentes modos de plasma en el funcionamiento por impulsos, como la descarga luminosa, descarga luminosa anormal, evaporación de chispas o evaporación de arco o "diffused discharge". En este caso, es posible cubrir un amplio rango de voltaje y rango de impedancia para los diferentes tipos de carga. Un intervalo preferente es 0 V a 800 V de voltaje de impulsos, que permite cubrir los tipos de evaporación de chispas con un intervalo de impedancia de 0,05 ohmio a 1,0 ohmio y el modo de "diffused discharge" en un intervalo de impedancia de 0,2 ohmio a 3 ohmios. En caso necesario, también es posible expandir aún más el rango de trabajo, por ejemplo, a un intervalo de impedancia de 10 ohmios a 100 ohmios, que comprende las descargas de chispas y las aplicaciones de pulverización catódica. También es posible incluir, adicionalmente, el intervalo de impedancia de 50 ohmios a 500 ohmios que comprende la descarga de chispas anormal a voltajes altos o, también adicionalmente, expandir de 50 ohmios a 5000 ohmios con valores de voltaje aún más altos para la descarga de plasma. Todos estos sectores de impedancia pueden ser cubiertos de manera individual o combinada entre sí, en función del requerimiento y diseño del generador 1 con el dispositivo de conmutación 20.

Ahora también es posible operar, opcionalmente, con un generador de este tipo con un dispositivo de conmutación en la salida del generador, dos fuentes de plasma, incluso con diferentes impedancias, opcionalmente en la misma instalación. Para continuar aumentando la eficiencia de la instalación del proceso es posible operar, ventajosamente, con un dispositivo de conmutación apropiado incluso varias fuentes de plasma con diferentes impedancias que, en este caso, pueden ser conectados, preferentemente, de manera secuencial con la misma alimentación de corriente, de acuerdo con un ciclo predeterminado, también automatizable. Dependiendo del ajuste del punto de trabajo de la fuente individual o del tipo de fuente conectada se aplica al generador una impedancia de carga diferente que en rangos amplios puede ser controlada mediante el presente generador. Si, por ejemplo, las duraciones de impulso bipolares son diferentes y las amplitudes de impulso se ajustan, apropiadamente, a la impedancia de carga conectada en ese momento, es ventajoso si se pueden variar los anchos de impulsos para poder compensar este comportamiento en función de la capacidad de suministro de línea del generador. En la operación bipolar, la variación de las condiciones de carga puede aparecer diferentes, incluso tanto en la rama de impulsos positiva como en la negativa. Ahora, el generador según la invención permite en total una operación de impedancia controlada sobre un intervalo amplio, incluso controlado de acuerdo con especificaciones nominales.

[0031] En tales procesos de plasma, a menudo es deseable superponer un voltaje de impulsos a una descarga de plasma accionado mediante CC. Para que esto sea posible es necesario un desacoplamiento eléctrico de los equipos. Ello se posibilita gracias a que la salida de generador (9, 9') está conectada a un filtro que, preferentemente, tiene diodos que desacoplan las dos alimentaciones de corriente.

45 El sistema de generador 1 permite dar formas estables de impulso y, especialmente, de impulsos con gran pendiente de flancos. Para los procesos de plasma antes mencionados, es particularmente ventajoso cuando el generador proporciona una pendiente de flancos más pronunciada que 0,1 V/ns, preferentemente más pronunciada que 1,0 V/ns. Un modo particularmente importante de la operación es el uso opcional en la llamada operación de polarización de evaporadores de chispas y / o la operación de una ruta de plasma 10 en la pieza 5. Particularmente en la deposición de capas aislantes, es ventajoso cuando los impulsos bipolares se pueden utilizar con duraciones de impulso desiguales. Debido a la movilidad de los electrones que, en comparación con los iones, es mayor, ya son suficientes duraciones de impulso positivas cortas para la descarga de las cargas positivas aplicadas con los iones durante el crecimiento de la capa. El tiempo necesario para la descarga depende de la densidad de electrones del plasma respectivo. En la mayoría de los casos, son suficientes las duraciones de impulsos positivos de 10% o menos en comparación con las duraciones de impulsos negativos. Es ventajoso usar duraciones de impulsos positivas de menos de 5%, preferentemente incluso menores que 2% de la duración de impulsos negativa. El modo de operación en el que la duración de impulsos es más corta que la mitad de la duración del periodo de la frecuencia de trabajo es denominado también operación discontinua.

Con un generador de este tipo pueden producirse también de manera controlada paquetes de impulsos para realizar aportes de energía al plasma, dosificados específicamente.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Generador de plasma en vacío con una salida del generador (9, 9') para la alimentación de una descarga de plasma (10) para el tratamiento de piezas (5) en una cámara de vacío (2) con una conexión a la red de corriente alterna (6a), una disposición de rectificador de red (6) para la conversión de la corriente alterna de red a una corriente continua, un condensador de alisado (6b), una primera etapa como convertidor de voltaje CC-CC (7) sincronizado con elementos para el ajuste del voltaje CC de salida que forma un voltaje de circuito intermedio (Uz), comprendiendo un conmutador de corriente (7a) controlado que alimenta el arrollamiento primario de un transformador (14), cuyo arrollamiento secundario está conectado a un rectificador (15) y un condensador de circuito intermedio (12) conectado aguas abajo y forma un circuito secundario flotante (23) de transformador, presentando el convertidor de voltaje CC-CC (7) al menos dos circuitos secundarios flotantes (23) de transformador y un dispositivo de conmutación (20) con un control de interruptores (22) para la conmutación opcional en paralelo o en serie de los circuitos secundarios flotantes (23) de transformadores, caracterizado porque los circuitos secundarios de transformador están conectados con una segunda etapa conectada aguas abajo que forma una etapa de salida de impulsos (8) conectada a la salida de generador (9, 9'), estando como medio para el ajuste del voltaje de circuito intermedio (Uz) el conmutador de potencia (78) controlado por ancho de impulsos y el control de interruptores (22) del dispositivo de conmutación diseñado para con los circuitos secundarios de transformador (23) conmutables duplicar o multiplicar, adicionalmente, por etapas, según el requerimiento, para la expansión del intervalo de ajuste de voltaje del convertidor CC-CC.
- 20 2. Generador según la reivindicación 1, caracterizado porque el dispositivo de conmutación (20) incluye diodos de conmutación (D) e interruptores (21) controlados.
3. Generador según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque el dispositivo de conmutación (20) incluye interruptores electrónicos (21) controlados, preferentemente interruptores mecánicos (21).
- 25 4. Generador según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque se han previsto tres circuitos secundarios de transformador (23) con dispositivo de conmutación (20).
5. Generador según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque la etapa de salida de impulsos (8) está implementada como convertidor de voltaje con control de ancho de impulsos ajustable adicionalmente para generar impulsos con amplitud de impulsos, ancho de impulsos y frecuencia de impulsos especificados.
- 30 6. Generador según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque el convertidor de voltaje (7) y/o la etapa de salida de impulsos (8) pueden ser operados mediante impulsos discontinuos.
7. Generador según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque está diseñado para cubrir en la salida del generador (9) múltiples intervalos de impedancias de plasma para la alimentación de diferentes modos de plasma, por ejemplo descarga luminosa, descarga luminosa anormal, evaporación de chispas o "diffused discharge".
- 35 8. Generador según la reivindicación 7, caracterizado porque los intervalos de impedancias de plasma comprenden 0,05 ohmios hasta 1,0 ohmios y 0,2 ohmios hasta 3,0 ohmios.
9. Generador según la reivindicación 8, caracterizado porque los intervalos de impedancias de plasma comprenden, adicionalmente, 10 ohmios hasta 100 ohmios.
10. Generador según una de las reivindicaciones 7 a 9, caracterizado porque los intervalos de impedancias de plasma comprenden, adicionalmente, 50 ohmios hasta 500 ohmios.
- 40 11. Generador según una de las reivindicaciones 7 a 10, caracterizado porque los intervalos de impedancias de plasma comprenden, adicionalmente, 50 ohmios hasta 5000 ohmios.
12. Generador según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque está configurado para conservar en la salida de generador (9) una pendiente de flancos de impulsos más pronunciada que 0,1 voltios por nanosegundo, preferentemente más pronunciada que 1,0 V/ns.
- 45 13. Generador según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque está configurado para entregar en la salida de generador (9, 9') impulsos unipolares y / o impulsos bipolares.

14. Generador según la reivindicación 13, caracterizado porque los impulsos bipolares presentan duraciones de impulsos desiguales, en particular en la conexión a la pieza (5) para la operación de polarización el impulso negativo es más largo que el impulso positivo, preferentemente la duración de impulso del impulso positivo es menor que 5%, preferentemente menor que 2% de la duración de impulso negativo.
- 5 15. Generador según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque la salida de generador (9, 9') está conectado a un dispositivo de conmutación que conecta, opcionalmente, preferentemente de manera secuencial, al menos dos, preferentemente múltiples fuentes de plasma (10).
- 10 16. Generador según la reivindicación 15, caracterizado porque el generador está diseñado de manera que conecta con el dispositivo de conmutación fuentes de plasma (10) con impedancias de plasma diferentes, preferentemente con intervalos de impedancia según las reivindicaciones precedentes 7 a 11.
17. Generador según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque la salida de generador (9, 9') está conectada a un filtro conteniendo, preferentemente, diodos para el desacoplamiento eléctrico del generador (1) de una alimentación de CC superpuesta conectada adicionalmente.
- 15 18. Generador según la reivindicación 13, caracterizado porque las duraciones de impulsos bipolares son diferentes y porque las amplitudes de impulsos de voltaje se ajustan, correspondientemente, a la impedancia de carga conectada y porque los anchos de impulsos pueden ser variados.}

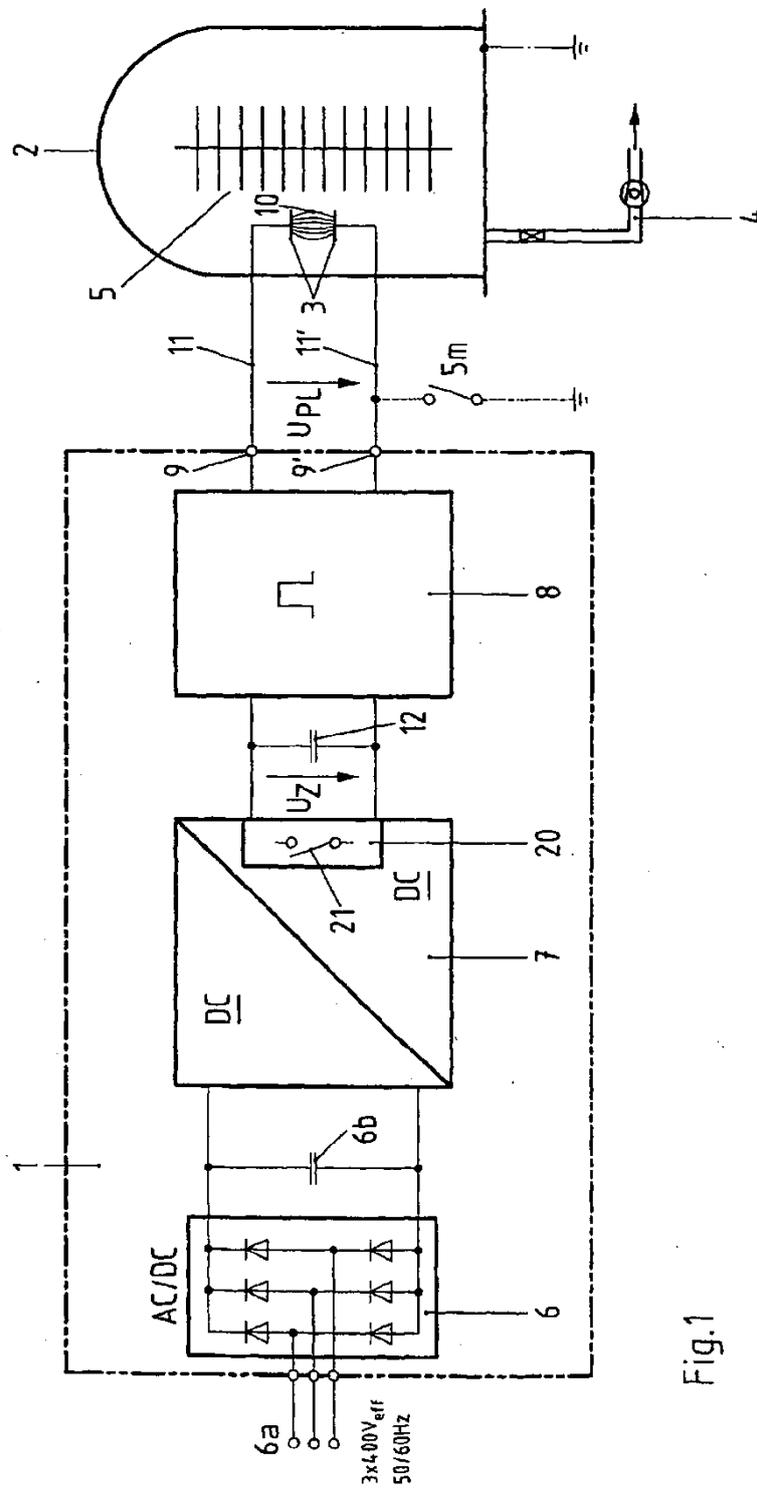


Fig.1

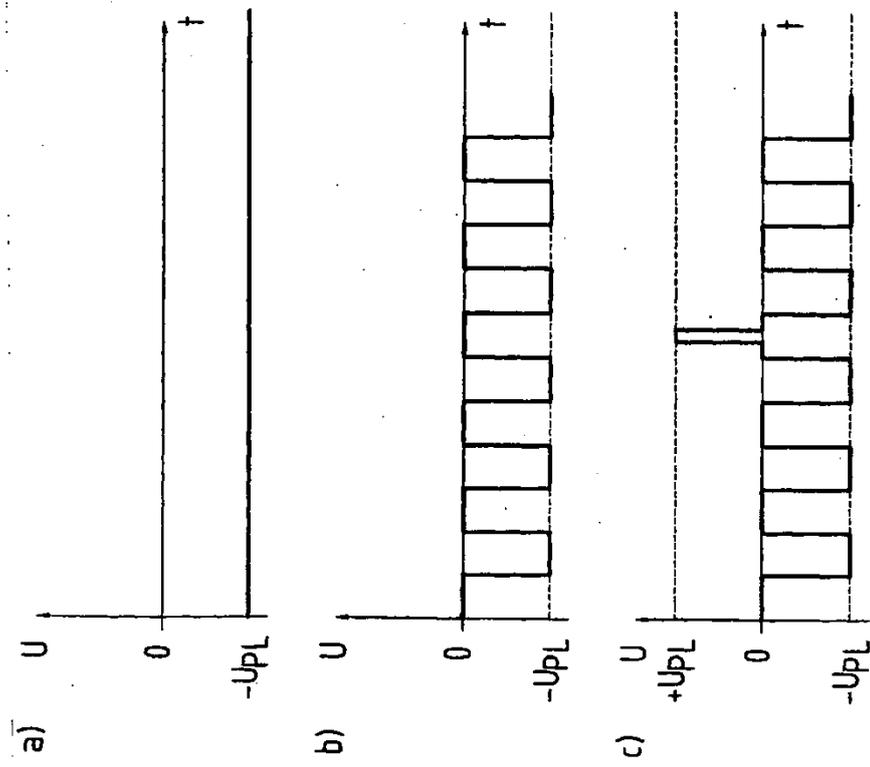


Fig.2

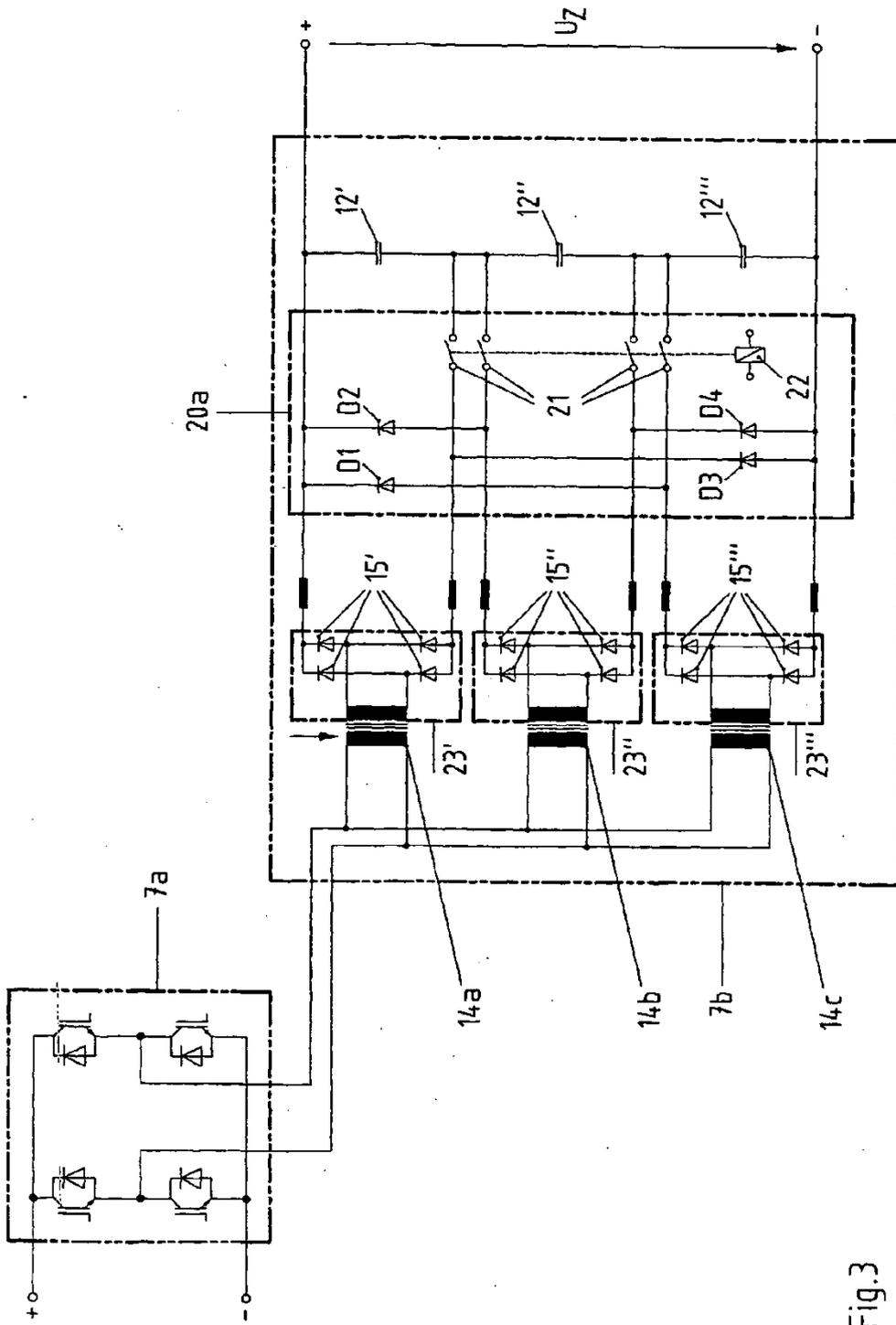


Fig.3

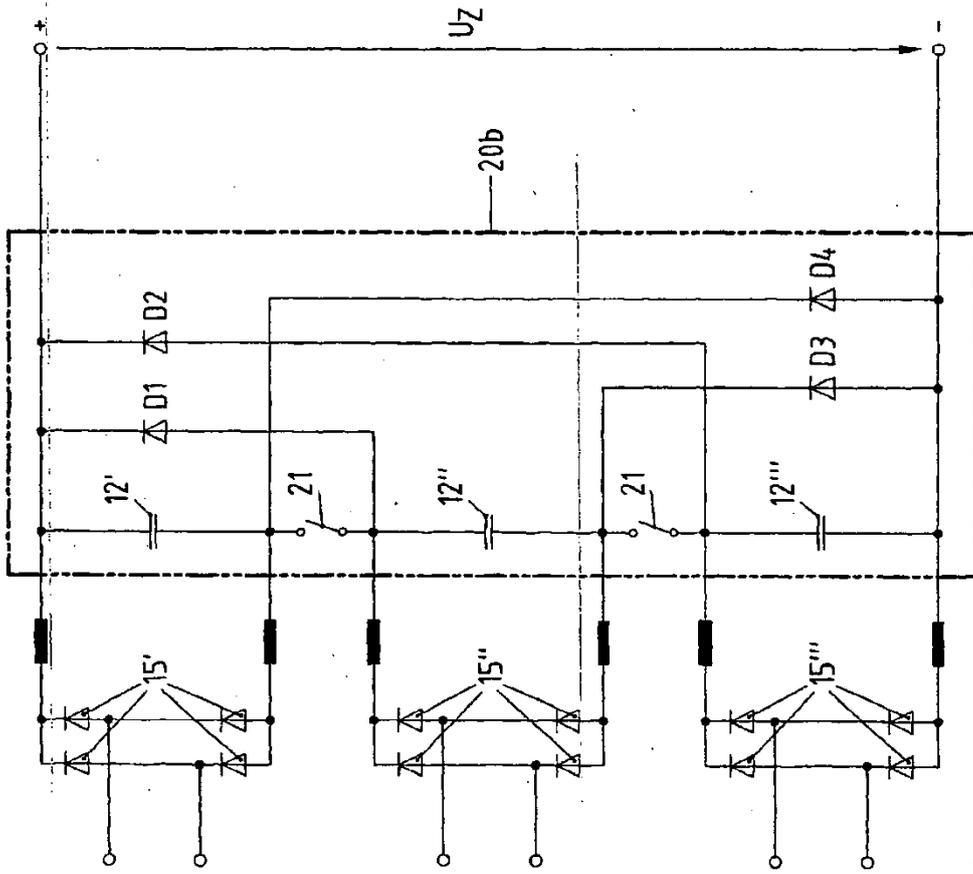


Fig.4

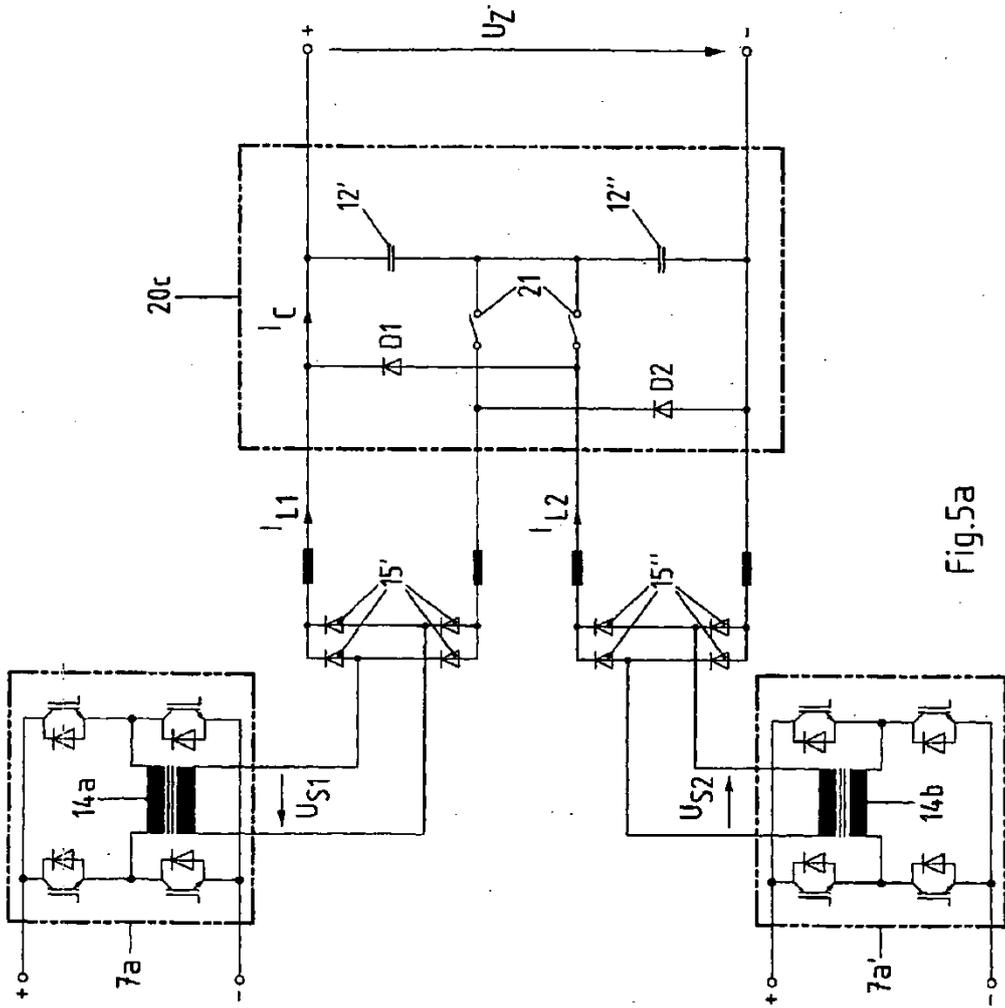


Fig.5a

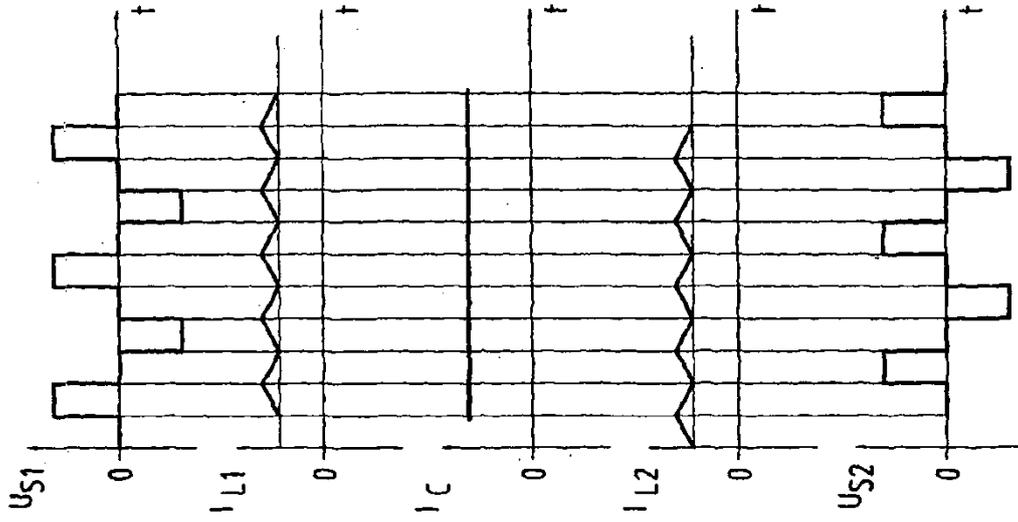


Fig.5b

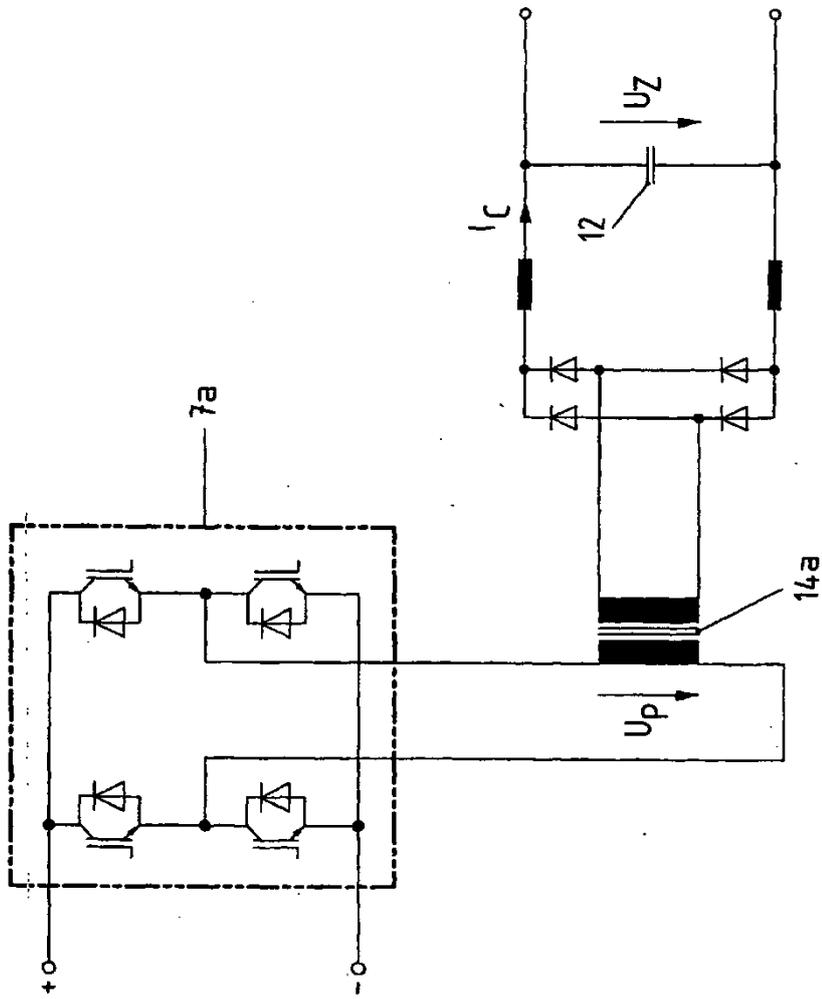


Fig. 6a

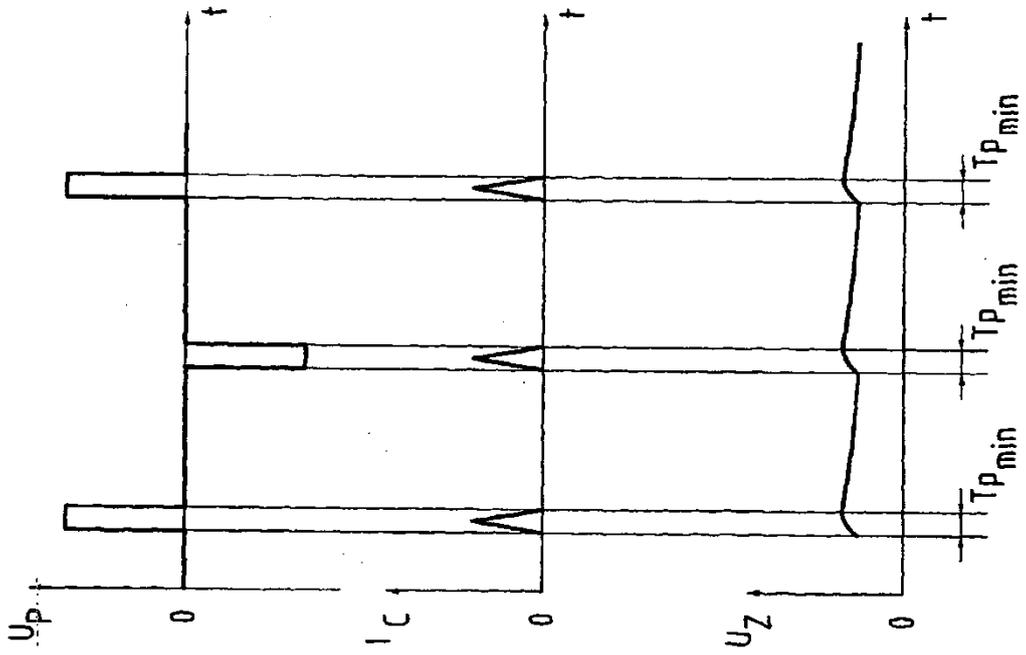


Fig.6b

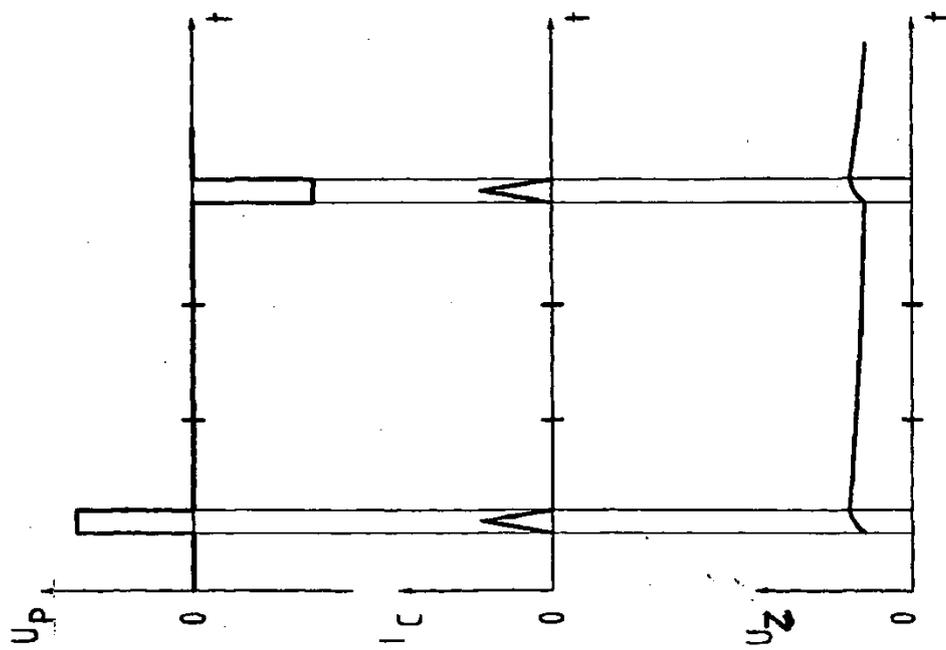


Fig.7