

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 621 023**

51 Int. Cl.:

H03K 3/57

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.09.2006** **PCT/EP2006/066805**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.04.2007** **WO07036542**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.09.2006** **E 06806852 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.12.2016** **EP 1929628**

54 Título: **Procedimiento para generar impulsos de alta tensión intensivos para uso industrial y disposición de circuitos asociada**

30 Prioridad:

28.09.2005 DE 102005046411

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

30.06.2017

73 Titular/es:

**SUDZUCKER AKTIENGESELLSCHAFT
MANNHEIM/OCHSENFURT (100.0%)
MARKTBREITER STRASSE 74
97199 OCHSENFURT, DE**

72 Inventor/es:

HARTMANN, WERNER

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 621 023 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para generar impulsos de alta tensión intensivos para uso industrial y disposición de circuitos asociada

La invención se refiere a un procedimiento para generar impulsos de alta tensión intensivos y para el uso industrial de estos impulsos de alta tensión. Al mismo tiempo la invención se refiere también a la disposición de circuitos asociada para la realización del procedimiento.

Para numerosos procedimientos industriales se emplean impulsos de alta tensión intensivos. Por ejemplo

- en la construcción se ponen a disposición materiales de construcción mediante una desintegración de material electrohidráulica, como p.ej. hormigón o asfalto, para el análisis de calidad o
- se reciclan materiales de construcción como p.ej. hormigón armado, mediante procedimientos basados en ondas de choque, es decir electrohidráulicos.

Otras posibilidades de utilización de impulsos de alta tensión intensivos en el marco de aplicaciones industriales son por ejemplo

- en la biotecnología, en la que a partir de células biológicas se extraen proteínas celulares, ADN u otros constituyentes de contenido celular o de pared celular mediante eletroporación de las paredes celulares, o
- en la tecnología medioambiental, en la que p. ej. se trata previamente lodo de clarificación mediante eletroporación para controlar así mejor los procesos de putrefacción.

Otros posibles campos de utilización para impulsos de alta tensión resultan del tratamiento o esterilización de productos agrícolas, en particular para eliminar daños provocados por animales y hongos mediante la destrucción del compuesto celular debido los elevados campos eléctricos en la piel externa de los productos agrícolas cuando estos se llevan a un intervalo de una intensidad de campo (reactor) eléctrica suficientemente alta.

Las aplicaciones anteriores en la utilización de impulsos de alta tensión se tratan parcialmente en publicaciones de Schultheiss et al. "INDUSTRIAL-SCALE ELECTROPORATION OF PLANT MATERIAL USING HIGH REPETITION RATE MARX GENERATORS", Proceedings IEEE Pulsed Power Conference, 2002 y "OPERATION OF 20 HZ MARX GENERATORS ON A COMMON ELECTROLYTIC LOAD IN AN ELECTROPORATION CHAMBER", Proceedings IEEE Power Modulator Symposium, 2003.

Para tales aplicaciones se requieren normalmente amplitudes de impulso de algunos 100 kV con intensidades de corriente de algunos 10 kA en frecuencias de impulso de varios 10 impulsos por segundo (pps) en el funcionamiento continuo. En procedimientos utilizados industrialmente para la rentabilidad de tales instalaciones es indispensable una vida útil de instalación sin mantenimiento de varios 100 millones de impulsos.

Para la producción de las altas intensidades de campo necesarias – de acuerdo con el estado de la técnica – se utilizan generadores de impulsos de alta tensión según el principio de Marx en el que se cargan condensadores en paralelo para la generación de impulsos, aunque se conectan en serie mediante conmutadores adecuados, lo cual está representado en la figura 1 como estado de la técnica, y se describe con más detalle más adelante.

El problema principal en la generación de impulsos son los conmutadores necesarios en este caso, en la mayoría de los casos son explosores llenados con gas, y su activación encauzada con alta exactitud durante toda la vida útil.

En una solución conocida del problema para los conmutadores se utilizan explosores que están diseñados de manera que van a alcanzar una vida útil de más de 100 millones de impulsos. Concretamente existen primeras soluciones al problema para generadores de Marx con elementos de conmutación electrónicos de acuerdo con la publicación de Kirbie et al. "All-Solid-State Marx Modulator with Digital Pulse-Shape Synthesis", n° de informe. LA-UR-05-0631, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM, USA 2005.

Sin embargo, estas últimas soluciones al problema tampoco logran ninguna corriente lo suficientemente alta para uso industrial.

Los conmutadores de descarga de gas utilizados para generadores de Marx se utilizan según la publicación de Schultheiss et al. "Wear-less Trigger Method for Marx Generators in Repetitive Operation", Proceedings IEEE Power Modulator Symposium, 2003 en el funcionamiento repetido en la mayoría de los casos sin activarse, de tal manera que la distancia de los electrodos de explosor de la primera etapa de generador de Marx presentan una distancia algo menor que los de la otra etapa; por ello la tensión disruptiva de estos explosores es algo menor que la de la siguiente y la primera etapa se enciende como primera. Por ello en el segundo explosor se genera una sobretensión de apenas 100% de la tensión de carga, por lo cual la segunda etapa se enciende igualmente. De manera análoga se encienden a continuación también las etapas siguientes hasta que todo el generador de Marx está preparado y genera un impulso correspondiente en la salida.

Para lograr una corriente global mayor y con ello un rendimiento global más alto a menudo es necesario hacer funcionar varias instalaciones de este tipo en paralelo. Para ello en particular es necesario sincronizar el momento de la generación de impulsos de los generadores de Marx individuales con alta precisión. Esta sincronización es necesaria también para una instalación individual cuando se requiere un buen control de los parámetros de funcionamiento para el proceso deseado. Una sincronización se realiza en general al realizarse el encendido del explosor de la primera etapa no al sobrepasar la tensión de encendido durante la operación de carga sino encendiéndose de manera encauzada este explosor. Para este encendido se facilitan varias posibilidades:

- activación transversal por plasma (trigatrón)
- activación longitudinal por plasma
- activación longitudinal de sobretensión
- activación por láser

Tanto la activación transversal por plasma como la activación longitudinal por plasma no presentan hasta el momento una vida útil lo suficientemente larga. La activación por láser requiere un gasto y costes de aparatos muy altos con una vida útil limitada del explosor, y por lo tanto se utiliza en la mayoría de los casos para el funcionamiento de impulsos individuales en el caso de instalaciones de investigación muy grandes.

La activación longitudinal de sobretensión es el método más idóneo. No obstante, hasta el momento no existe ningún dispositivo orientado a la práctica con propiedades suficientemente buenas y una vida útil suficiente. Por el documento WO 2004/100371 A1 se conocen ya un dispositivo de encendido/activación en un generador de Marx que consta de dos condensadores de etapa y un procedimiento para el funcionamiento correspondiente para este dispositivo. En el procedimiento aplicado allí para generar de impulsos de alta tensión el generador de Marx se activa con impulsos de alta tensión, acoplándose los impulsos de activación de manera inductiva en serie.

La solución anteriormente descrita no proporciona en la práctica ni una calidad de activación lo suficientemente alta ni una vida útil suficiente. Se basa en acoplar inductivamente en la inductancia de carga del lado de tierra de la primera etapa de Marx un impulso de tensión (transformador de impulsos), que en un devanado auxiliar (devanado primario) se genera mediante la interrupción electrónica de una corriente con ayuda de conmutadores semiconductores. En este caso la energía necesaria para la generación de sobretensión y encendido del explosor se almacena temporalmente en el bobinado del lado primario del transformador de impulsos, lo que lleva a criterios de diseño muy desfavorables de esta disposición. Además el elemento de conmutación electrónico de apertura es, en la mayoría de los casos, un IGBT en el momento de la generación de impulsos en el estado abierto, por lo cual es muy sensible ante reacciones del generador de Marx, en particular ante sobretensiones.

Esto último lleva en general a que un circuito de este tipo presente una vida útil limitada, insuficiente para uso industrial. Además la escalabilidad de este principio es extremadamente difícil, dado que han de hacerse fuertes compromisos con respecto a las exigencias contradictorias. Por ejemplo, la facilitación de energías de impulso elevadas para el encendido del explosor seguro requiere una elevada inductividad propia del devanado primario, mientras que la exigencia de una elevada conductancia del impulso generado de esta manera requiere una inductancia lo más baja posible.

El objetivo de la invención es por tanto indicar un procedimiento para la activación de un generador de Marx y crear un generador de Marx adecuado en los que se aumente el rendimiento, de modo que son posibles nuevas aplicaciones industriales. En particular va a crearse un generador de Marx que pueda activarse con un dispositivo para generar y acoplar impulsos de alta tensión en la primera etapa del generador de Marx, que lleve a una activación longitudinal de sobretensión segura del primer explosor del generador de Marx con baja fluctuación (jitter) estadística del momento de encendido con una vida útil de la disposición de más de 200 millones de impulsos.

El objetivo se resuelve según la invención mediante un procedimiento según reivindicación 1. Una disposición adecuada con un generador de Marx es objeto de la reivindicación 8. Perfeccionamientos del procedimiento de acuerdo con la invención, en particular también usos posibles del mismo, y el dispositivo asociado son objeto de las reivindicaciones dependientes.

La invención usa un generador de Marx conocido en el que se realiza un acoplamiento capacitivo en serie del impulso de activación. Esto sorprendentemente provoca un rendimiento mejorado con respecto al acoplamiento inductivo realizado en el documento WO 2004/10.0371 A1. En particular con ello se elimina mejor la fluctuación (*jitter*) por lo demás molesta que en el estado de la técnica.

En la invención, según la invención en la línea de alimentación en el lado de masa de la inductancia de carga en el lado de tierra de la primera etapa de un generador de Marx se integra el lado secundario de un transformador de impulsos T que en su lado primario está conectado con un circuito para la generación de impulsos. El transformador T tiene en la invención una relación de transformación $\ddot{U}$ (número de devanado en el lado secundario/en el lado primario) en el intervalo 8:1 a 20:1, preferiblemente en el intervalo 15:1. En el lado primario solo se utilizan de manera ventajosa unos pocos devanados, preferiblemente solo uno o dos devanados, para mantener baja la inductancia de la disposición y generar por tanto impulsos con duración suficientemente corta.

La inductancia de carga puede dimensionarse en el intervalo de 100 μH a 2 mH, sin influir de manera negativa en la capacidad de funcionamiento del circuito. Puede emplearse la misma inductancia de carga que para todas las demás etapas.

Para el transformador de impulsos T se utiliza preferiblemente un núcleo magnético anular de ferrita o un núcleo de cinta dividida anular amorfo con dimensiones de núcleo en el intervalo de varios cm^2 de sección transversal. Los devanados pueden aplicarse, tanto con cables aislados de alta tensión directamente sobre el núcleo, como sobre un carrete aislante o carretes separados; también es posible la aplicación directa del devanado primario sobre el núcleo y la aplicación del devanado secundario sobre un carrete aislante. La disposición puede aislarse tanto en atmósfera gaseosa aislante como en líquido aislante (aceite, aceite de silicona, etc.). También es posible un sellado con resinas u otros polímeros adecuados.

El circuito en el lado primario para generar el impulso de alta tensión se realiza preferiblemente de manera que un condensador C_p cargado a una tensión predeterminada se descarga con ayuda de un conmutador semiconductor de cierre en el devanado primario del transformador de impulsos. La capacitancia del condensador C_p se selecciona al menos tan grande que se cumple la relación,

$$C_p = \ddot{U}^2 * C_s \quad (1)$$

siendo C_s la capacitancia parásita total del nodo A* en la ilustración 3, es decir en el extremo cercano a tierra del explosor de la primera etapa del generador de Marx. Preferiblemente la capacitancia se selecciona aproximadamente de 3 a 4 veces mayor a fin de facilitar reservas de energía suficientes para el desencadenamiento de una chispa de encendido en el explosor FS1. Las capacitancias parásitas típicas se sitúan en el intervalo de varios 100 pF, normalmente aproximadamente 200 pF, de modo que en el caso de una relación de transformación de $\ddot{U} = 15$ se requiere una capacitancia en el lado primario de al menos

$$C_p = \ddot{U}^2 * C_s = 225 * 200 \text{ pF} = 45 \text{ nF} \quad (2)$$

aunque mejor $C_p = 150 \dots 200 \text{ nF}$.

La tensión de carga del condensador se selecciona al menos tan grande que se cumple la relación;

$$U_{Cp} = U_L / \ddot{U} \quad (3)$$

por ello se genera una sobretensión longitudinal de aproximadamente 100 % de la tensión de carga de Marx U_L en el explosor FS1 de modo que esta enciende con corto tiempo de retraso (*delay*) y baja fluctuación (*jitter*). En el caso de una tensión de etapa U_L del generador de Marx de 60 kV se necesita por tanto una tensión de carga para C_p de

$$U_{Cp} = U_L / \ddot{U} = 60 \text{ kV} / 15 = 4 \text{ kV} \quad (4)$$

Las tensiones de circuito intermedio de aproximadamente 4 kV en corrientes de impulsos de normalmente 500 A de amplitud pueden procesarse sin problemas con semiconductores de potencia disponibles como elemento de conmutación S. Son adecuados p.ej. componentes de tiristor como componentes GTO o IGCT, así como conmutadores de transistor como IGBT con tensiones de estado de "no conducción" por encima de 5 kV.

En la disposición de acuerdo con la invención se emplea de manera ventajosa un semiconductor de cierre. Esto es por tanto especialmente ventajoso, dado que mediante la utilización de componentes de semiconductor comerciales se da debido a ello una larga vida útil y una sensibilidad baja ante reacciones del generador de Marx porque el elemento conmutación semiconductor permanece durante el impulso principal en el estado cerrado. El empleo de la inductancia de carga utilizada en las etapas de Marx más altas es posible también en la primera etapa y es posible, mediante el diseño en el lado de tierra de la generación de impulsos, la utilización de un suministro de corriente a tierra de potencia cualquiera.

En una disposición preferida según la invención el impulso de alta tensión necesario para el encendido de explosor no se acopla de manera inductiva en serie con la inductancia de carga, sino con una capacitancia C_K en serie para el desacoplamiento contra porcentajes de corriente continua y corriente alterna lentos. Para mantener reducida la pérdida de tensión mediante una división de tensión capacitiva en C_K debería cumplirse la condición

$$C_K \gg C_s, \quad \text{aunque al menos } C_K = (5 \dots 10) * C_s \quad (5)$$

En la invención se produce por tanto una escalabilidad excelente con todos los grados de libertad necesarios, no presentándose ninguna limitación para el funcionamiento en cuanto a amplitud de impulso, energía de impulso, o frecuencias de repetición de impulso, así como vida útil.

5 De la siguiente descripción de figuras de ejemplos de realización mediante el dibujo resultan detalles y ventajas adicionales de la invención en conexión con las reivindicaciones. Muestran

la figura 1 un diagrama esquemático de un generador de Marx según el estado de la técnica,
la figura 2 un circuito equivalente de un generador de Marx con un acoplamiento inductivo en serie del
10 impulso de activación en la primera etapa,
la figura 3 un circuito equivalente del circuito para generar de impulsos de alta tensión para la activación del generador de Marx según la figura 2 y
la figura 4 un circuito equivalente de un generador de Marx con acoplamiento capacitivo del impulso de activación en la primera etapa.

15 En la figura 1 se representa el circuito principal de un generador de Marx conocido que está señalado en conjunto con 1. El generador de Marx 1 consta en detalle de una fuente de tensión 2, por ejemplo una fuente con una tensión continua de 50 kV, a la que están conectadas aguas arriba una inductancia 3 y una resistencia óhmica 4. Además está presente una toma de tierra 5.

20 De manera conocida un generador de Marx 1 de este tipo posee un número de etapas individuales, por ejemplo seis etapas de manera correspondiente a la figura 1. Cada etapa i incluye un conmutador S_i , una primera inductancia L_{ik} , una inductancia adicional $L_{ik} + 1$ y una capacitancia C_i , representando i y k índices corrientes. En otras formas de realización en lugar de las inductancias L_{ik} pueden utilizarse resistencias o rectificadores de alta tensión. En lo
25 sucesivo sin embargo únicamente se hablará de inductancias L_{ik} . Por ejemplo la tercera etapa del generador de Marx tiene un conmutador S_3 con explosor, un condensador C_3 , una primera inductancia L_{31} y una segunda inductancia L_{32} .

30 En la figura 1 está indicada una activación directa de los explosores individuales que corresponden a las flechas. Sin embargo este tipo de activación puede utilizarse únicamente en vidas útiles cortas de los conmutadores y en general tampoco es igual en todas las etapas.

35 En la figura 2 a la primera etapa 10 del generador de Marx según la figura 1 está asociado un generador de impulsos de activación 100. El generador de impulsos de activación 100 acopla mediante un transformador 110 un impulso de activación en la primera etapa 10 del generador de Marx. En este caso el acoplamiento se realiza de manera inductiva en serie en la inductancia L_{12} .

40 En la figura 3 se representa una alternativa mejorada a la figura 2. En este caso a través del generador de impulsos de activación 100 y del transformador 110 conectado aguas arriba, así como mediante una capacitancia de acoplamiento 109 se realiza un acoplamiento capacitivo del impulso de activación en la inductancia L_{12} de la primera etapa 10 del generador de Marx 1. Esto tiene la ventaja de que puede reducirse la fluctuación (*jitter*) inevitable en otro modo. Por tanto, se aumenta el rendimiento.

45 En la figura 3 un conmutador S está señalado con 115. El conmutador 115 está configurado, para la aplicación de acuerdo con el uso destinado, como conmutador semiconductor de cierre, por ejemplo como IGCT con una tensión de estado de "no conducción" de al menos 5 kV. Tales conmutadores semiconductores están disponibles comercialmente.

50 Mediante la utilización de componentes semiconductores comerciales se garantiza por un lado una larga vida útil y por otro lado se produce una baja sensibilidad antes reacciones del generador de Marx dado que el elemento conmutación semiconductor durante el impulso principal permanece en el estado cerrado.

55 Mediante la figura 4 se aclara de qué manera se acopla el impulso de activación. El transformador 110 se representa de acuerdo con la figura 2 o la figura 3 que por ejemplo tiene una relación de transformación de 1:15. Está presente una fuente de tensión 102 para por ejemplo 4000 V a la que está conectada aguas arriba una inductancia 103 y una resistencia óhmica 104. La inductancia 103 tiene un valor de por ejemplo $L_{CH} = 1$ mH y la resistencia óhmica 104 un valor de por ejemplo $R_{CH} = 200 \Omega$. Además está presente una capacitancia 106 con un valor $C_P = 0,2 \mu F$, una capacitancia adicional 108 con un valor de $C_s = 0,2$ nF de acuerdo con la capacitancia de carga en el punto A^* de la primera etapa del generador de Marx, y una inductancia adicional 107 con un valor $L_s = 500 \mu H$.

60 Una ventaja especial del acoplamiento de impulsos capacitivo en paralelo consiste en que, mediante el desacoplamiento de porcentajes de tensión continua a través de la capacitancia de acoplamiento C_K , la inductancia parásita del transformador de impulsos T puede mantenerse considerablemente más baja que la inductancia de carga L_{12} paralela asociada. Por tanto pueden generarse flancos de tensión considerablemente más pronunciados
65 en el punto A^* , por lo cual pueden generarse valores de rejilla claramente inferiores. Una ventaja adicional resulta al poder alcanzarse amplitudes de tensión superiores dado que la caída de tensión inductiva se omite a través de L_{12}

en el caso de un acoplamiento inductivo en serie.

Con la disposición de circuitos según la figura 4 mediante el transformador de impulsos 110 se acopla un impulso a través de la inductancia L_{12} a la capacitancia parásita C_s , y concretamente en el punto A* situado entre L_{12} y C_s .

En la disposición de circuitos descrita mediante las figuras 1 a 4 se garantiza mediante la utilización de componentes semiconductores comerciales para el conmutador 115 una larga vida útil. Se produce una baja sensibilidad ante la reacción del generador de Marx, dado que el elemento conmutación semiconductor durante el impulso principal permanece en el estado cerrado.

Mediante la estabilidad del circuito para una duración de funcionamiento ininterrumpido de una instalación de normalmente 100 días puede dominarse una utilización continua de la disposición de circuitos con frecuencias de repetición de impulsos de 10 a 20 Hz y puede alcanzarse una vida útil de instalación sin mantenimiento de más de 100 millones de impulsos.

La disposición de circuitos anteriormente descrita encuentra aplicación por ejemplo en la esterilización de productos agrícolas mediante campos eléctricos intensos. En particular, por esto, pueden conservarse cereales, maíz, lúpulo, tomates y fruta.

Es posible también una utilización en la extracción de sustancias de contenido celular o bloques modulares de envoltura (proteínas) de células en la industria química y farmacéutica. Por ejemplo puede llevarse a cabo una disgregación biológica de sangre.

Además el procedimiento descrito del nuevo generador de Marx para la generación de impulsos de alta tensión es adecuado para la utilización en el tratamiento de aguas y aguas residuales.

Finalmente también es posible un uso en el análisis de materiales para la construcción, en particular de asfalto y hormigón, realizándose una fragmentación y desintegración electrohidráulica de muestras de asfalto o de hormigón. Al mismo tiempo es posible el uso en el reciclaje de materiales para la construcción como hormigón y asfalto mediante la fragmentación electrohidráulica y desintegración siguiente.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para generar impulsos de alta tensión intensivos para uso industrial, en el que se emplean un transformador de impulsos y un transformador, con las siguientes medidas:
 - se emplea un generador de Marx de varias etapas,
 - el generador de Marx se activa en el momento adecuado con impulsos de alta tensión,
 - la generación y acoplamiento de los impulsos de alta tensión se realiza en la primera etapa del generador de Marx,
 - los impulsos de alta tensión llevan a una activación longitudinal de sobretensión del primer explosor del generador de Marx,
 - la generación de los impulsos de alta tensión se realiza mediante la descarga de un acumulador de energía capacitivo (condensador) con ayuda de un conmutador semiconductor de cierre, caracterizado por que
 - para minimizar la fluctuación (*jitter*) los impulsos de activación se acoplan capacitivamente en paralelo.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por el uso en la esterilización de productos agrícolas mediante campos eléctricos intensos, en particular para la conservación de cereales, maíz, lúpulo, tomates y fruta.
3. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por el uso en la extracción de sustancias de contenido celular o elementos constituyentes de envoltura (proteínas) a partir de células en la industria química y farmacéutica.
4. Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado por que se hace circular sangre para la disgregación celular.
5. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por el uso en el análisis de materiales para la construcción, en particular de asfalto y hormigón, mediante fragmentación y desintegración electrohidráulica de muestras de asfalto o de hormigón.
6. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por el uso en el reciclaje de materiales para la construcción como hormigón y asfalto mediante su fragmentación y desintegración electrohidráulicas.
7. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por el uso en el tratamiento de aguas y aguas residuales.
8. Disposición de circuitos para la realización del procedimiento según la reivindicación 1 o una de las reivindicaciones 2 a 7, con un generador de Marx, que presenta un número predeterminado de etapas individuales y medios para la activación del generador de Marx, en la que están presentes medios para generar y acoplar impulsos de alta tensión en la primera etapa (10) del generador de Marx (1) que llevan a una activación longitudinal de sobretensión del primer explosor del generador de Marx (1), y en la que el impulso de alta tensión se realiza mediante la descarga de un acumulador de energía capacitivo en el lado primario de un transformador de alta tensión (110) con un conmutador semiconductor de cierre (115).
9. Disposición según la reivindicación 8, caracterizada por que en la línea en el lado de masa de la inductancia de carga en el lado de tierra (L) de la primera etapa (10) del generador de Marx (1) está integrado el lado secundario (112) de un transformador de impulsos (110), estando conectado el transformador de impulsos (110) en su lado primario (111) con un circuito (100) para la generación de impulsos.
10. Disposición según la reivindicación 9, caracterizada por que el transformador tiene una relación de transformación en el intervalo entre 8:1 a 20:1, preferiblemente en el intervalo de 15:1.
11. Disposición según la reivindicación 10, caracterizada por que el transformador (110) en el lado primario tiene solo unos pocos devanados, preferiblemente uno o dos devanados.
12. Disposición según una de las reivindicaciones 8 a 11, caracterizada por que la inductancia de carga (L_{ik}) está en el intervalo de 100 μ H a 2 mH.
13. Disposición según la reivindicación 12, caracterizada por que la inductancia de carga (L) es igual en todas las etapas (10,..., 60) del generador de Marx (1).
14. Disposición según la reivindicación 13, caracterizada por que el transformador de impulsos (110) tiene un núcleo de ferrita o un núcleo de cinta dividida.
15. Disposición según la reivindicación 14, caracterizada por que las dimensiones de núcleo del transformador de impulsos (110) tienen un intervalo de aproximadamente 10 cm² de sección transversal.
16. Disposición según una de las reivindicaciones 8 a 15, caracterizada por que en el transformador de impulsos (110) los devanados se aplican sobre el núcleo con un alambre aislado de alta tensión.

17. Disposición según una de las reivindicaciones 8 a 16, caracterizada por que en el transformador de impulsos (110) los devanados se aplican sobre un carrete aislante o sobre carretes separados.
- 5 18. Disposición según una de las reivindicaciones 9 a 17, caracterizada por que está presente una atmósfera gaseosa aislante o un líquido aislante con fines de aislamiento
19. Disposición según una de las reivindicaciones 16 a 18, caracterizada por que en el transformador de impulsos (110) hay un sellado con materiales adecuados, en particular resinas u otros polímeros.
- 10 20. Disposición según una de las reivindicaciones 9 a 19, caracterizada por que está presente un circuito en el lado primario para generar de impulsos de alta tensión, que contiene un condensador (104) que puede cargarse a una tensión que puede determinarse y un conmutador semiconductor de cierre (105) en el devanado primario (111) del transformador de impulsos (110).

FIG 1

(Estado de la técnica)

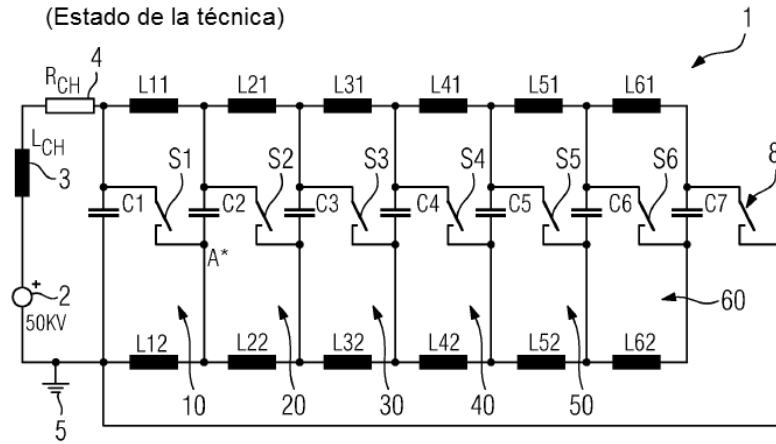


FIG 2

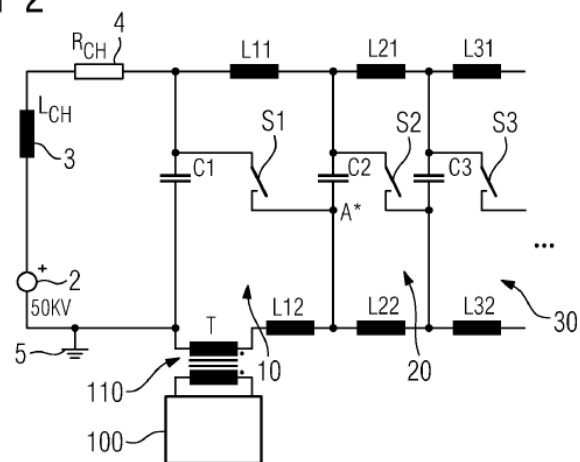


FIG 3

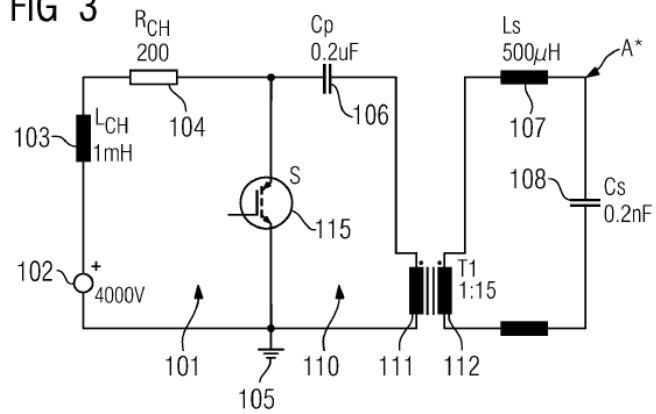


FIG 4

