

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 716 109**

51 Int. Cl.:

**H01B 17/28** (2006.01)  
**H01B 17/42** (2006.01)  
**H01B 17/62** (2006.01)  
**H01R 13/53** (2006.01)  
**H02N 2/18** (2006.01)  
**H03K 3/57** (2006.01)  
**H03K 3/53** (2006.01)  
**H03K 3/537** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.03.2016 PCT/EP2016/055593**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **22.09.2016 WO16146635**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.03.2016 E 16711563 (3)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.12.2018 EP 3272010**

54 Título: **Generador de impulsos de alta tensión**

30 Prioridad:

**16.03.2015 FR 1552131**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**10.06.2019**

73 Titular/es:

**COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET  
AUX ÉNERGIES ALTERNATIVES (100.0%)  
25, Rue Leblanc, Bâtiment "Le Ponant D"  
75015 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**LASSALLE, FRANCIS**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

**ES 2 716 109 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 impulsos de alta tensión

**5 Campo técnico**

La presente invención se refiere a la generación de impulsos eléctricos de alta potencia, denominados "altas potencias pulsadas".

10 Se refiere, más particularmente, a un generador de Marx.

**Estado de la técnica anterior**

15 De manera general, un generador de Marx es un circuito eléctrico destinado a producir un impulso de alta tensión.

Un generador de Marx convencional comprende varias fases, cada una de ellas formada por un condensador de almacenamiento de energía y por un conmutador. Los condensadores se cargan, en paralelo, a una tensión de carga y después se descargan en serie por medio de los conmutadores, lo que produce un impulso de alta tensión.

20 Durante la descarga, el generador de Marx entrega su energía a una carga que puede ser resistiva, inductiva, capacitiva o cualquier combinación de estas tres propiedades. A continuación el documento se centrará más particularmente en el caso de una carga resistiva.

25 El volumen ocupado por el generador de Marx está relacionado con la disposición y el dimensionamiento de sus diferentes componentes.

30 El tiempo de ascenso del impulso de descarga es globalmente proporcional a la relación de la suma de la inductancia del generador de Marx y de la inductancia de la carga respecto a la resistencia de la carga. Al ser la inductancia y la resistencia de la carga fijas, un aspecto importante para la optimización del generador de Marx es minimizar su inductancia.

La inductancia del generador de Marx está relacionada con la disposición y el dimensionamiento de los diferentes componentes del generador de Marx.

35 Numerosas aplicaciones necesitan entregar impulsos que presentan un frente de ascenso lo más reducido posible, normalmente inferior a 10 ns. La mayoría de los generadores de Marx conocidos no permiten alcanzar este rendimiento sin la utilización de un dispositivo de intensificación del impulso.

40 Un dispositivo de intensificación conocido es el dispositivo denominado "de *peaking*" que asocia un condensador y un descargador de muy alta tensión, ambos de baja inductancia. El rendimiento y la fiabilidad de un descargador de este tipo pueden verse dificultados, sobre todo cuando se buscan un funcionamiento en modo repetitivo y una duración de vida importante, por ejemplo en números de impulsos.

45 Además, un dispositivo de este tipo presenta un volumen ocupado que aumenta el volumen ocupado del generador de Marx.

50 De manera más precisa, el conmutador de un fase de un generador de Marx es o bien un descargador o bien un conmutador de semiconductor. A continuación el documento se centrará solamente en el caso del descargador. Un descargador está formado por dos electrodos separados por un fluido dieléctrico, que es generalmente un gas o más raramente un líquido. Este aislamiento permite la carga del o de los condensadores de la fase del generador de Marx. Para la descarga, el cierre del descargador se traduce en la formación de un arco eléctrico entre estos dos electrodos. Este cierre puede estar provocado por un cebado automático del arco o desencadenado por un fenómeno exterior, tal como una sobretensión proveniente de una fase de Marx situada aguas arriba, o un fenómeno eléctrico, óptico o de plasma desencadenado.

55 Generalmente, los descargadores funcionan bajo gas a presión y las dimensiones de sus electrodos son grandes con respecto a las del espacio en el que se forma el arco eléctrico. Para soportar estos electrodos y contener este gas a presión, la columna de descargadores puede alojarse en una envuelta dieléctrica aislante. El dimensionamiento de esta columna de descargadores y su posicionamiento con respecto al electrodo de retorno de corriente tienen un efecto importante sobre la inductancia y, por lo tanto, sobre los rendimientos del sistema.

60 Para contribuir a la reducción de la duración del frente de ascenso del impulso entregado por el generador de Marx, se controla la secuenciación del cierre de los descargadores.

65 Para un funcionamiento bajo gas a presión, esta secuenciación mejora si los descargadores están alineados sobre un mismo eje. Esta configuración permite que la radiación ultravioleta generada por el arco con el cierre de un

descargador provoque la fotoionización del intervalo entre electrodos del descargador siguiente. Así, el retardo estadístico de cierre de los descargadores se reduce.

5 Un generador de Marx es alimentado por un circuito de carga. El circuito de carga comprende, de manera general, una alimentación de potencia de tensión baja en relación con la tensión de salida del generador de Marx, un circuito de protección y un conjunto de elementos distribuidos alrededor de las fases para permitir la carga de los condensadores de almacenamiento de energía a partir de la alimentación de potencia.

10 Además, la resistencia mecánica de los diferentes componentes y subsistemas tales como los soportes de fases y el circuito de carga, por ejemplo, se garantiza mediante soportes dieléctricos. Sobre las superficies de estos aislantes sólidos, las distancias entre electrodos metálicos de los diferentes componentes, que se llevan a potenciales diferentes, deben ser suficientes para soportar sin disrupción las tensiones de funcionamiento.

15 El impulso entregado es de forma denominada doble exponencial o amortiguada si cada fase del generador de Marx comprende un condensador. Para obtener un impulso más largo, cada condensador del generador de Marx es reemplazado por una línea de transmisión. En una configuración denominada PFN por "Pulse Forming Network", una fase del generador de Marx está formada por una red de varias células (L,C), donde L designa una inductancia y C designa un condensador.

20 El documento US 4367412 describe un generador de impulsos de tipo Marx.

El documento US5621255 describe la conexión entre los descargadores y las capacidades de alta tensión de un generador de Marx.

## 25 **Exposición de la invención**

La invención pretende resolver los problemas de la técnica anterior proporcionando un generador de impulsos de alta tensión que comprende una pluralidad de fases y un electrodo de retorno de corriente a la masa conectados en serie, comprendiendo cada una de las fases al menos un elemento de almacenamiento de energía conectado en serie con un descargador, caracterizado por que  
30 los descargadores están distribuidos sobre un eje, los elementos de almacenamiento de energía de rango impar están dispuestos a un lado del eje de los descargadores, y los elementos de almacenamiento de energía de rango par están dispuestos a otro lado del eje de los  
35 descargadores, de modo que el circuito formado por la pluralidad de fases y el electrodo de retorno de corriente presenta una inductancia reducida durante una fase de descarga del generador, con respecto a un generador que comprenda los mismos componentes dispuestos según una arquitectura convencional, caracterizado por que una película dieléctrica está dispuesta entre el electrodo de retorno de corriente y el circuito formado por la pluralidad de fases.

40 Esta configuración permite obtener un frente de ascenso de los impulsos más breve que según la técnica anterior. En efecto, esta configuración impone una circulación en zigzag de la corriente en la línea de transmisión formada por las fases del generador. Así, los vectores de inducción magnética son de sentidos opuestos de un descargador a su vecino. El acoplamiento entre dos vectores de inducción magnética antagonistas es fuerte. Esto contribuye a la  
45 reducción de la inductancia.

Además, el electrodo de retorno de corriente está dispuesto lo más cerca posible de las fases, lo que contribuye igualmente a la reducción de la inductancia.

50 La reducción de la inductancia del generador de Marx tiene como efecto reducir la duración del frente de ascenso del impulso de descarga, sin tener que recurrir a un dispositivo de intensificación de impulso aparte del generador de Marx en sí mismo.

55 Esta configuración en zigzag permite igualmente obtener un generador de Marx más compacto que según la técnica anterior.

Según una característica preferida, la salida de un elemento de almacenamiento de energía aguas arriba, el descargador aguas arriba y la entrada de un elemento de almacenamiento de energía aguas abajo están sustancialmente alineados según un eje sensiblemente perpendicular al eje de la columna de descargadores.

60 Esta configuración contribuye a la limitación del volumen ocupado del generador de Marx.

Según una característica preferida, los electrodos de los descargadores están directamente conectados a los electrodos de los elementos de almacenamiento de energía.

65 Según una característica preferida, el conjunto de los componentes del generador se encuentra en un recinto

metálico cerrado que contiene un fluido dieléctrico.

Como variante, los descargadores se encuentran en una envuelta aislante que contiene un fluido dieléctrico.

5 Según una característica preferida, el electrodo de retorno de corriente está formado por el recinto metálico.

Según una característica preferida, el electrodo de retorno de corriente tiene una superficie superior o igual a la superficie formada por el circuito de descarga formado por la pluralidad de fases.

10 Según una característica preferida, la distancia entre el electrodo de retorno de corriente y una fase dada se incrementa con el rango de la fase.

Como variante, la distancia entre el electrodo de retorno de corriente y la última fase es tal que la impedancia para esta fase es igual a la impedancia de la carga.

15 En este caso, el frente de ascenso del impulso es aún más reducido.

Según una característica preferida, un elemento de almacenamiento de energía comprende un condensador.

20 Según una característica preferida, un elemento de almacenamiento de energía comprende una célula formada por un condensador y una inductancia. Cuando cada fase comprende una red de células, cada una formada por un condensador y una inductancia, que forman una línea PFN, es posible generar impulsos de tipo almendra, tanto en modo de un solo golpe como en modo repetitivo.

#### Breve descripción de los dibujos

25 Otras características y ventajas se desprenderán con la lectura de la descripción siguiente de un modo de realización preferido, facilitado a modo de ejemplo no limitativo, descrito en referencia a las figuras en las que:

30 La figura 1 y la figura 2 representan un generador de Marx según un primer modo de realización de la invención,

Las figuras 3a, 3b y 3c representan respectivamente una vista lateral, una vista desde abajo y una vista desde arriba de un generador de Marx según un segundo modo de realización de la invención.

#### Exposición detallada de modos de realización particulares

35 Según un modo de realización preferido representado en la **figura 1** y en la **figura 2**, un generador de Marx comprende N fases, donde N es igual a cuatro a modo de ejemplo. Evidentemente, el número de fases puede ser diferente.

40 La entrada del generador está conectada a la masa. A partir de la entrada, el generador comprende un condensador C1 cuyo electrodo de salida está conectado al electrodo de entrada de un primer descargador E1.

45 El descargador E1 tiene su electrodo de salida conectado al electrodo de entrada de un segundo condensador C2, y así sucesivamente para los descargadores E2, E3 y E4 y para los condensadores C3 y C4.

Como variante, varios condensadores pueden estar conectados en paralelo en una misma fase para reducir la impedancia y aumentar así la corriente entregada.

50 Cabe destacar que los condensadores utilizados son condensadores cerámicos o cualquier otro tipo de condensador.

Un circuito de carga clásico, no representado, alimenta el generador de Marx.

55 En esta configuración, la polaridad del impulso de salida es del mismo signo que la polaridad de la tensión de carga de los condensadores.

60 Como variante, los elementos están dispuestos en un orden diferente. A partir de la entrada conectada a la masa, el generador de Marx comprende un primer descargador, conectado en serie con un primer condensador, conectado a su vez en serie con un segundo descargador, y así sucesivamente. La salida del generador de Marx es la salida del último condensador. En este caso, la polaridad del impulso de salida es de signo opuesto al de la polaridad de la tensión de carga de los condensadores.

Como se ve en la figura 1, los N descargadores están distribuidos sobre un eje Z y forman una columna.

65 Los condensadores de rango impar están dispuestos a un lado del eje de los descargadores, y los condensadores de rango par están dispuestos a otro lado del eje de los descargadores.

Además, la salida de un condensador aguas arriba, el descargador aguas arriba y la entrada de un condensador aguas abajo están sensiblemente alineadas según un eje sensiblemente perpendicular al eje de la columna de descargadores.

5 Los electrodos de los descargadores están directamente fijados a los electrodos de los condensadores. Ningún soporte aislante ni ninguna envuelta aislante se utilizan para la columna de descargadores.

10 Las dimensiones de los electrodos de los descargadores están miniaturizadas de manera que su volumen ocupado según el eje Z sea del mismo orden de magnitud que el volumen ocupado de los electrodos que sirven para la conexión de los condensadores. En la práctica, este volumen ocupado puede estar comprendido normalmente entre 5 y 15 mm.

15 Para cada descargador, los dos electrodos enfrentados pueden ser de geometría esférica, semiesférica, plana o de curvatura definida para obtener una topología de campo eléctrico específica entre electrodos.

Para minimizar la erosión debida a los arcos eléctricos, el material de los electrodos de los descargadores puede ser una aleación tungsteno-cobre. Pueden utilizarse igualmente electrodos metálicos con un inserto de aleación tungsteno-cobre ubicado en la proximidad del arco eléctrico.

20 Para permitir el ajuste del espacio entre electrodos, cada electrodo de descargador está atornillado por el extremo del electrodo conectado al condensador. Un sistema de frenado puede estar previsto al nivel de este enlace atornillado para evitar cualquier desajuste del espacio entre electrodos durante una salva de impulsos.

25 Todos los componentes, concretamente los condensadores y los descargadores, pero también el circuito de carga no representado, están contenidos en un recinto único relleno de un fluido dieléctrico. Puede tratarse de un gas a presión tal como aire seco o SF6 por ejemplo, o de un líquido. El recinto es preferiblemente cilíndrico para optimizar su dimensionamiento al tiempo que se reducen los esfuerzos debidos a la presión interna del gas.

30 Como variante, el medio dieléctrico utilizado para el aislamiento de los descargadores puede ser diferente del utilizado para el aislamiento de los demás elementos del generador de Marx. En este caso, la columna de descargador está alojada en una envuelta aislante que separa estos dos medios.

35 El primer descargador E1 se dispara por una señal externa controlada. Los descargadores siguientes no se disparan por una señal externa. Se cierran en avalancha, es decir en un orden secuencial que sigue el orden de las fases. Como variante, el número de descargadores disparados por una señal exterior puede ser mayor que uno.

40 Para un funcionamiento bajo gas a presión, la radiación ultravioleta estará preferiblemente no enmascarada según el eje Z. La alineación de los descargadores según el eje Z permite que la radiación ultravioleta generada por el arco con el cierre de un descargador provoque la fotoionización del intervalo entre electrodos del descargador siguiente. Así, el retardo estadístico de cierre de los descargadores se reduce y la secuenciación mejora.

45 Como variante, la distancia entre electrodos de los descargadores se ajusta de manera que se incremente con el rango de las fases. Esto permite evitar un eventual cebado automático demasiado temprano de los descargadores de rangos superiores.

50 Para un funcionamiento en modo repetitivo, es decir con ciclos de carga y de descarga recurrentes, un modo de funcionamiento preferido comprende la inhibición de la tensión de carga entre dos ciclos de carga consecutivos. Esta inhibición permite una mejor extinción del arco eléctrico al nivel de cada descargador, lo que permite obtener una tasa de repetitividad más importante.

Para un funcionamiento en modo repetitivo, es igualmente posible realizar al nivel de cada descargador un barrido forzado del gas de aislamiento. Este flujo gaseoso permite una mejor extinción del arco eléctrico lo que permite obtener una tasa de repetitividad más importante.

55 La configuración en zigzag del generador de Marx según la invención hace el generador más compacto que según la técnica anterior. En efecto, si  $z$  es la longitud según el eje Z de un condensador dotado de sus dos electrodos, la longitud según el eje Z del generador de Marx según la presente invención es ligeramente inferior a  $N \cdot z$ . La ganancia frente a la longitud según el eje Z está comprendida entre un 20 % y un 60 % con respecto a un generador convencional, en el que todos los condensadores estén dispuestos según una misma columna y separada por una distancia  $z_i$  necesaria para un aislamiento entre fases y/o para alojar el descargador entre fases. La longitud según el eje Z de un generador convencional es  $N(z+z_i)$ .

65 Esta configuración permite igualmente reducir el acoplamiento capacitivo parásito entre dos fases consecutivas, mejorando así la secuenciación del cierre de los descargadores y el comportamiento eléctrico global del generador de Marx.

Esta configuración permite igualmente reducir el tiempo de ascenso del impulso, optimizando la inductancia  $L_{MARX}$ . La inductancia  $L_{MARX}$  está formada por el bucle de corriente que circula en las N fases del generador de Marx y que retorna hacia la masa, a través de un electrodo ELR, denominado electrodo de retorno de corriente.

5 En efecto, el tiempo de ascenso del impulso es globalmente proporcional a  $L/R$ , donde L es la inductancia que resulta de la suma de la inductancia del generador  $L_{MARX}$  y de la inductancia de la carga  $L_{Carga}$ , y R es la resistencia de la carga.

10 Para una carga dada, los parámetros R y  $L_{Carga}$  son fijos. Se busca por tanto minimizar la inductancia  $L_{MARX}$  para reducir la duración del frente de ascenso del impulso.

15 Cuando las N fases se ponen en serie por el cierre de los N descargadores, la corriente circula sucesivamente, para n oscilando de 1 a N, por el condensador  $C_n$ , por un electrodo de conexión, por el descargador  $E_n$  y después por un segundo electrodo de conexión.

20 El electrodo de retorno de corriente ELR está generalmente formado por el recinto metálico en el que está alojado el generador de Marx. Como variante, el electrodo de retorno de corriente ELR puede ser un componente específico cuya geometría y posición se eligen para optimizar el bucle de corriente formado durante la descarga del generador de Marx.

25 La distancia entre el electrodo de retorno de corriente ELR y el circuito formado por las N fases del generador influye en la inductancia  $L_{MARX}$ . Esta distancia se reduce tanto como sea posible, y la superficie del electrodo de retorno de corriente ELR es igual o superior a la superficie del circuito de descarga formado por las N fases, es decir la superficie equivalente formada por los electrodos, condensadores y descargadores por los que circula la corriente. No obstante, la distancia entre el electrodo de retorno de corriente ELR y las N fases debe ser suficiente para garantizar el aislamiento eléctrico del sistema durante sus diferentes fases de funcionamiento, concretamente la carga y la descarga. Esta distancia de aislamiento depende de un determinado número de parámetros, tales como por ejemplo la naturaleza y la presión del gas dieléctrico, o la naturaleza del líquido dieléctrico, o los campos eléctricos asociados a las geometrías de los componentes y de los electrodos.

30 Como variante, una película dieléctrica puede situarse contra el electrodo de retorno de corriente ELR para reducir la distancia de aislamiento entre este electrodo y las N fases del generador.

35 La inductancia  $L_{MARX}$  del bucle de corriente se calcula utilizando la expresión del flujo  $\Phi$ :

$$\Phi = L_{MARX} I = \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

En la que I es la corriente,  $\vec{B}$  es el vector de inducción magnética y  $d\vec{S}$  es el vector de superficie.

40 La inductancia  $L_{MARX}$  depende por tanto del vector de inducción magnético, del vector de superficie y de la corriente:  $L_{MARX} = \vec{B} \cdot d\vec{S} / I$ .

45 En el generador de Marx según la invención, la corriente de descarga circula en zigzag por las N fases, cuando los descargadores están cerrados.

50 En los descargadores, la corriente circule según un eje perpendicular al eje Z, o sea un eje horizontal en la figura 1. El sentido de la corriente en un descargador es opuesto al sentido de la corriente en un descargador vecino. Los vectores de inducción magnética inducidos respectivamente por el paso de la corriente por un descargador y por un descargador vecino son por tanto de sentidos opuestos, según el eje Z.

Teniendo en cuenta su proximidad, el acoplamiento entre estos dos vectores de inducción magnética antagonistas es fuerte. La inducción magnética al nivel de cada descargador disminuye por tanto mucho. En consecuencia, la inductancia de cada descargador también disminuye mucho.

55 Lo mismo sucede para los electrodos que conectan los descargadores a los condensadores. En consecuencia, la inductancia de estos electrodos también disminuye mucho.

60 Según esta invención, la circulación en zigzag de la corriente de descarga por las N fases se encuentra por tanto en el origen de la disminución de la inductancia  $L_{MARX}$  y permite reducir el tiempo de ascenso del impulso.

Como variante, la distancia de aislamiento entre una fase y el electrodo de retorno de corriente ELR está adaptada al nivel de tensión experimentado por la fase en cuestión. Así, la distancia de aislamiento se incrementa desde la fase de rango 1 que se encuentra en la proximidad de la masa hasta la fase de rango N, que se lleva a una tensión de impulso igual a la tensión de salida del generador de Marx.

La línea de transmisión formada por el circuito de las N fases y por el electrodo de retorno de corriente ELR presenta entonces una impedancia que se incrementa con el rango n.

5 Como variante, la geometría de la línea de transmisión formada por el circuito de las N fases y por el electrodo de retorno de corriente ELR está adaptada para que su impedancia se incremente en función del rango n y alcance al nivel del rango N un valor igual a la impedancia de la carga. Se obtiene entonces un régimen de descarga similar a la descarga teórica de una línea sobre una carga adaptada. El frente de ascenso del impulso entregado tiene entonces una duración aún más reducida.

10 A modo de ejemplo, es posible obtener frentes de ascenso de duración inferior a 10 ns, sin utilización de un dispositivo "de *peaking*".

15 En referencia a las **figuras 3a, 3b y 3c**, un generador de Marx según un segundo modo de realización de la invención está destinado a entregar un impulso en almena, o plano o incluso rectangular. Las figuras 3a, 3b y 3c representan respectivamente el generador de Marx visto de lado, desde abajo y desde arriba.

20 Para obtener un impulso en almena, cada fase del primer modo de realización se modifica para reemplazar el condensador por una red de células (L, C). A modo de ejemplo, el número de fases puede estar comprendido entre 5 y 20, y el número de células de una fase puede estar comprendido entre 4 y 10. Salvo por esto, todas las características expuestas en relación con el primer modo de realización se retoman en el segundo modo de realización.

25 La red de células (L,C) de una fase dada comprende S células CEL conectadas en serie. Cada célula comprende un condensador de capacidad C y una inductancia de valor L. Esta red, igualmente denominada línea PFN, permite obtener una descarga de tipo almena al nivel de cada fase. La amplitud de esta almena se multiplica cuando las N fases están puestas en serie por el cierre casi instantáneo de los descargadores.

30 La línea de células puede ser una línea recta por ejemplo, o una línea curva tal como se representa en las figuras 3a, 3b y 3c, con vistas a amoldarse a la geometría cilíndrica del recinto.

35 Como en el primer modo de realización, los descargadores están distribuidos sobre el eje Z, las fases están dispuestas de manera alterna a ambos lados del eje Z y el electrodo de retorno de corriente ELR puede ser el recinto metálico del generador de Marx.

La duración  $T_p$  del impulso en almena se aproxima mediante la fórmula:

$$T_p = 2.S.\sqrt{LC}$$

40 La impedancia Z de cada fase se aproxima mediante la fórmula:

$$Z = \sqrt{L/C}$$

Tras el cierre de los N descargadores, la impedancia  $Z_N$  del generador de Marx se aproxima mediante la fórmula:

45

$$Z_N = N.\sqrt{L/C}$$

La duración  $T_p$  del impulso en almena puede adaptarse modificando de manera independiente o combinada el número de células S, el valor de la inductancia L y el valor de capacidad C de cada condensador.

50 Como variante, las células (L,C) presentan un valor de inductancia diferente y/o un valor de capacidad diferente con el fin de modificar el perfil del impulso entregado. Estas diferencias pueden aportarse en el seno de una misma fase y/o de una fase a otra.

55 Cabe destacar que tras el cierre de los N descargadores, el circuito de descarga solo hace que intervenga el primero de los S condensadores de cada línea PFN. El primer condensador es el condensador más próximo al descargador.

La optimización del frente de ascenso es por tanto similar a lo que se ha descrito anteriormente.

60 Para cada fase, la línea PFN comprende los S condensadores con su electrodo de entrada respectivo conectado en línea sobre un mismo electrodo, denominado electrodo de entrada de la línea PFN. Los electrodos de salida de dos condensadores adyacentes están conectados a través de una inductancia de valor L.

Como variante, los electrodos de entrada de dos condensadores adyacentes están igualmente conectados a través de una inductancia de valor  $L$ . En este caso, la inductancia equivalente de cada célula ( $L, C$ ) presenta un valor  $2.L$ .

5 Los condensadores son por ejemplo condensadores de tipo cerámico de geometría cilíndrica. Estos condensadores pueden presentar durante su funcionamiento un efecto piezoeléctrico que se traduce por un ligero desplazamiento de sus electrodos. El ensamblaje condensador/inductancia debe presentar por tanto un grado de flexibilidad para que al menos uno de los electrodos no esté limitado mecánicamente por el efecto de este desplazamiento. Así pues, el riesgo de daño y de envejecimiento prematuro de los condensadores es reducido.

10 Pueden utilizarse diferentes tipos de inductancia, por ejemplo inductancia enrollada en espiral sobre un núcleo ferromagnético, inductancia enrollada en espiral, inductancia en cable curvo, inductancia en cable lineal, o inductancia de tipo línea plana.

15 Estos tipos se clasifican por valor de inductancia decreciente.

Por ejemplo, para formar una inductancia de tipo línea plana, el electrodo respectivo de los  $S$  condensadores se conecta sobre un electrodo único, el electrodo respectivo de salida de los  $S$  condensadores se conecta igualmente sobre otro electrodo único. La inductancia queda entonces definida por el volumen magnetizado delimitado por el contorno entre dos condensadores adyacentes y por estos dos electrodos.

20 Como variante, cada línea PFN puede estar formada por una línea de transmisión de tipo línea plana o de tipo línea coaxial. Una línea de transmisión de tipo línea plana comprende dos electrodos separados por un material dieléctrico, sin confinamiento del campo magnético entre los dos electrodos. Una línea de transmisión de tipo línea coaxial comprende dos electrodos separados por un material dieléctrico, con confinamiento del campo magnético entre los dos electrodos.

25 Como variante, varias líneas de transmisión pueden estar conectadas en paralelo en una misma fase para reducir la impedancia y aumentar la corriente entregada.

30 El circuito de carga del generador de Marx comprende un conjunto de elementos que son o bien resistencias o bien inductancias. Estos elementos están distribuidos alrededor de las fases.

35 En el caso de un funcionamiento en modo repetitivo, la utilización de inductancias permite minimizar las pérdidas durante la carga de los condensadores.

Según el modo de realización preferido representado en las figuras 3a, 3b y 3c, el circuito de carga comprende cuatro columnas de inductancia COL. Una columna de inductancia está conectada al electrodo de entrada de los condensadores de rango impar, una columna de inductancia está conectada al electrodo de salida de los condensadores de rango impar, una columna de inductancia está conectada al electrodo de entrada de los condensadores de rango par y una columna de inductancia está conectada al electrodo de salida de los condensadores de rango par.

45 En una misma columna, las inductancias son elementos huecos y rígidos, ensartados y superpuestos sobre una varilla aislante única cuya longitud está adaptada a la longitud del generador de Marx según el eje Z. Cada varilla aislante es un elemento rígido anclado sobre un elemento solidario con el generador de Marx, al nivel de la base de las  $N$  fases.

50 Para cada una de las columnas de condensador de rango par e impar, al menos un electrodo, de entrada o de salida, está conectado mediante un enlace rígido a una inductancia de carga.

55 El ensamblaje de varillas aislantes, columnas de inductancias y columnas de condensadores proporciona una estructura rígida para el conjunto de las  $N$  fases y permite un posicionamiento preciso de cada componente en el seno del generador de Marx. Se trata por tanto de una estructura autoportante que no necesita soporte o dispositivo aislante adicional.

60 Esta estructura autoportante minimiza las superficies de aislantes sólidos sometidos a diferencias de potenciales y que son zonas de fragilidad potenciales por lo que respecta a las pérdidas y los riesgos de disrupciones eléctricas. Cabe destacar que solo las superficies de las varillas aislantes están sometidas a la tensión máxima que es la tensión de salida del generador durante su descarga. Los riesgos de pérdida o de disrupciones eléctricas son por tanto reducidos, teniendo en cuenta la gran longitud de las varillas aislantes. Esta estructura mejora por tanto la fiabilidad y la duración de vida del generador de Marx.

65 Esta estructura autoportante contribuye la compacidad y a la simplicidad mecánica del generador de Marx. Facilita las operaciones de montaje y desmontaje así como las operaciones de mantenimiento.

Permite además minimizar las vibraciones inducidas por el cierre de los descargadores durante una salva de



impulsos, lo que mejora la fiabilidad de funcionamiento.

Finalmente, permite al sistema experimentar aceleraciones y/o vibraciones lo que facilita su transporte y su manipulación. Es posible un funcionamiento en sistema de a bordo, sometido a aceleración y/o vibraciones.

5 Al nivel de estos enlaces rígidos, los electrodos pueden estar hendido con el fin de bloquear la circulación de las corrientes de Foucault inducidas en los electrodos por las inductancias del circuito de carga. Esta configuración permite, durante la descarga del generador de Marx, optimizar el desacoplamiento inductivo entre fases aportado por las columnas de inductancias.

10 Como variante, el circuito de carga comprende de los resistencias a la place de los inductancias.

Evidentemente, la estructura autoportante descrita se aplica a un generador de Marx que comprende tanto un condensador por fase como una línea de células (L,C) por fase.

15 La salida del generador de Marx se conecta a la carga, ya sea directamente, ya sea por medio de un sistema de conexión específico. Preferiblemente, este enlace se realiza mediante una línea de transmisión cuya impedancia está adaptada a la de la carga. Así pues, la duración del frente de ascenso del impulso no aumenta por esta inductancia.

20 La línea de transmisión entre el generador de Marx y la carga es preferiblemente de estructura coaxial. El aislamiento de la línea de transmisión se garantiza por el mismo gas a presión o el mismo líquido dieléctrico que el utilizado para el aislamiento del generador de Marx. No se utiliza ningún soporte o interfaz aislante sólido en la salida del generador ni en el seno de la línea de transmisión. El enlace es por tanto compacto, simple y fiable.

25 Como variante, la línea de transmisión entre el generador de Marx y la carga es un cable coaxial de alta tensión cuya impedancia está adaptada a la de la carga.

30 Gracias a esta adaptación de impedancia, la longitud y la forma de la línea de transmisión tienen poca o ninguna influencia sobre las características de los impulsos entregados por el generador de Marx en la carga. Es así posible trasladar la carga a cierta distancia del generador y/o posicionar el eje de la carga en un eje diferente del del generador de Marx.

Lista de patentes relativas a los generadores de Marx:

- 35
- US 20122001498
  - EP 1 760 884

40

  - US 7989987
  - US 6060791
  - US 5621255

45

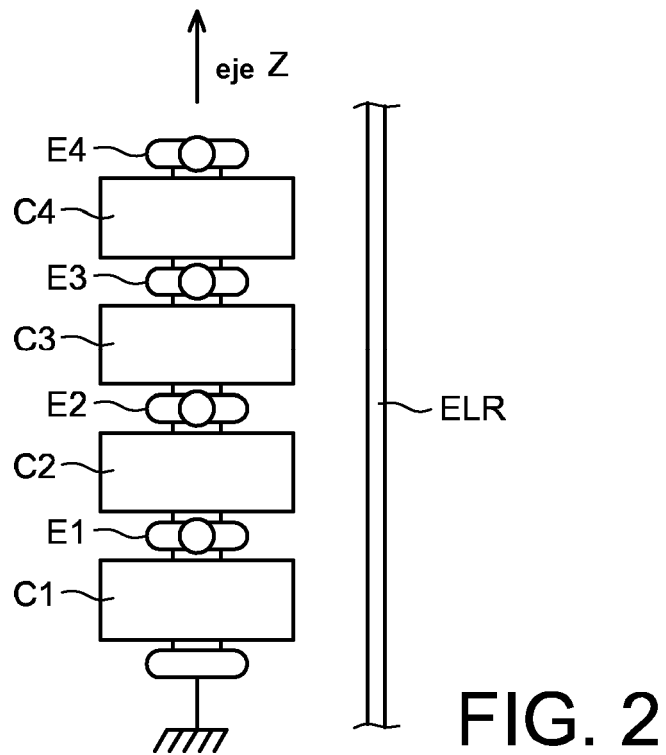
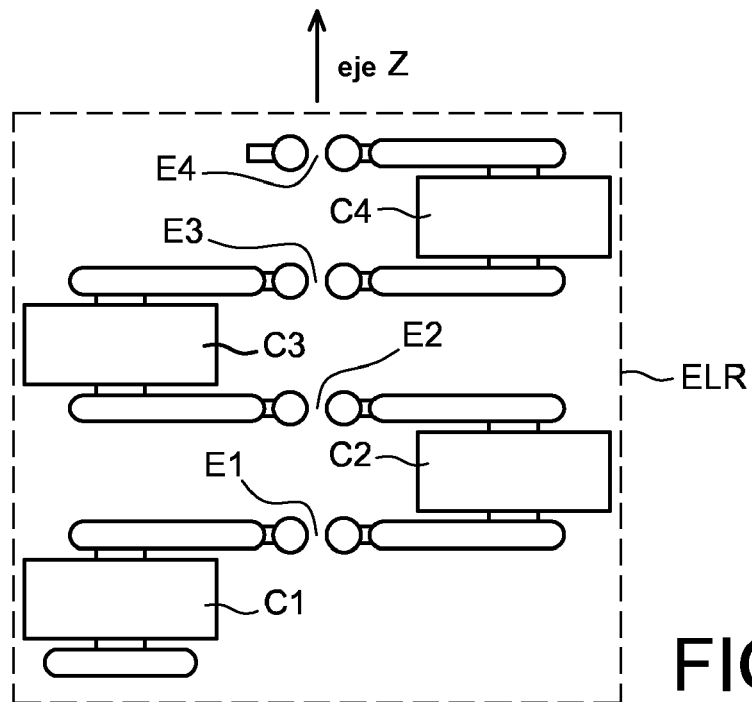
  - US 4900947
  - US 3909624

50

  - US 3863105
  - DE 455 933

REIVINDICACIONES

1. Generador de impulsos de alta tensión que comprende una pluralidad de fases y un electrodo de retorno de corriente a la masa conectados en serie, comprendiendo cada una de las fases al menos un elemento de almacenamiento de energía (C1, C2, C3, C4, CEL) conectado en serie a un descargador (E1, E2, E3, E4), en donde los descargadores están distribuidos sobre un eje (Z),  
 5 los elementos de almacenamiento de energía de rango impar (C1, C3) están dispuestos a un lado del eje de los descargadores, y  
 los elementos de almacenamiento de energía de rango par (C2, C4) están dispuestos a otro lado del eje de los  
 10 descargadores,  
 de modo que el circuito formado por la pluralidad de fases y el electrodo de retorno de corriente presenta una inductancia reducida durante una fase de descarga del generador, con respecto a un generador que comprenda los mismo componentes dispuestos según una arquitectura convencional,  
**caracterizado por que** una película dieléctrica está dispuesta entre el electrodo de retorno de corriente (ELR) y el  
 15 circuito formado por la pluralidad de fases.
2. Generador de impulsos de alta tensión según la reivindicación 1, **caracterizado por que** la salida de un elemento de almacenamiento de energía aguas arriba, el descargador aguas arriba y la entrada de un elemento de almacenamiento de energía aguas abajo están sustancialmente alineados, según un eje sustancialmente perpendicular al eje de la columna de descargadores.  
 20
3. Generador de impulsos de alta tensión según la reivindicación 1, **caracterizado por que** los electrodos de los descargadores están directamente conectados a los electrodos de los elementos de almacenamiento de energía.
- 25 4. Generador de impulsos de alta tensión según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado por que** el conjunto de los componentes del generador se encuentra en un recinto metálico cerrado que contiene un fluido dieléctrico.
- 30 5. Generador de impulsos de alta tensión según la reivindicación 4, **caracterizado por que** el electrodo de retorno de corriente (ELR) está formado por el recinto metálico.
6. Generador de impulsos de alta tensión según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado por que** el electrodo de retorno de corriente (ELR) tiene una superficie superior o igual a la superficie formada por el circuito de descarga formado por la pluralidad de fases.  
 35
7. Generador de impulsos de alta tensión según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado por que** la distancia entre el electrodo de retorno de corriente (ELR) y una fase dada se incrementa con el rango de la fase.
- 40 8. Generador de impulsos de alta tensión según la reivindicación 7, **caracterizado por que** la distancia entre el electrodo de retorno de corriente (ELR) y la última fase es tal que la impedancia para esta fase es igual a la impedancia de la carga.
9. Generador de impulsos de alta tensión según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado por que** un elemento de almacenamiento de energía comprende un condensador (C1, C2, C3, C4).  
 45
10. Generador de impulsos de alta tensión según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado por que** un elemento de almacenamiento de energía comprende una célula (CEL) formada por un condensador y una inductancia.



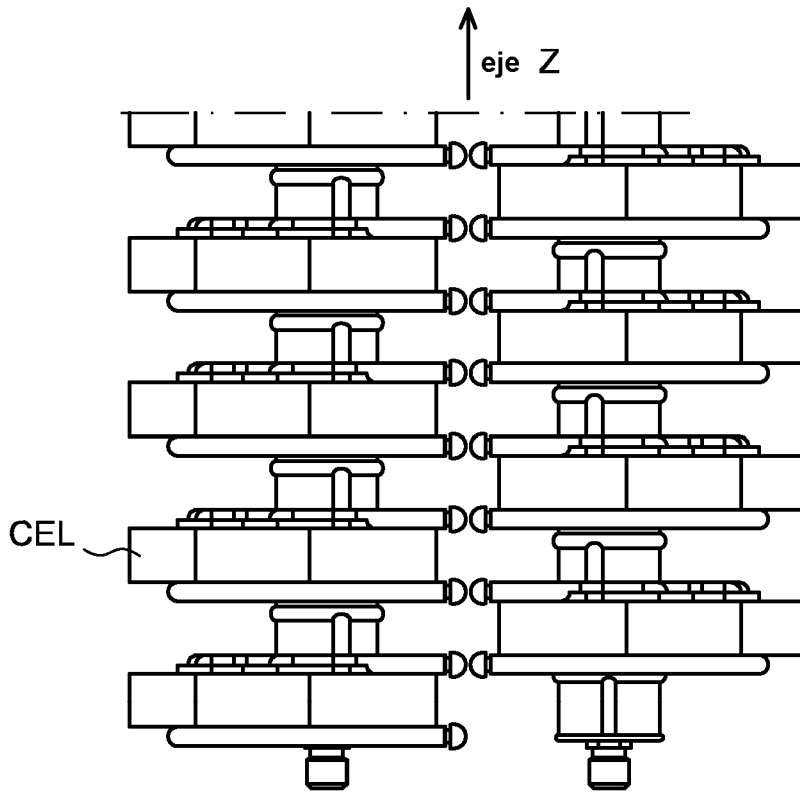


FIG. 3a

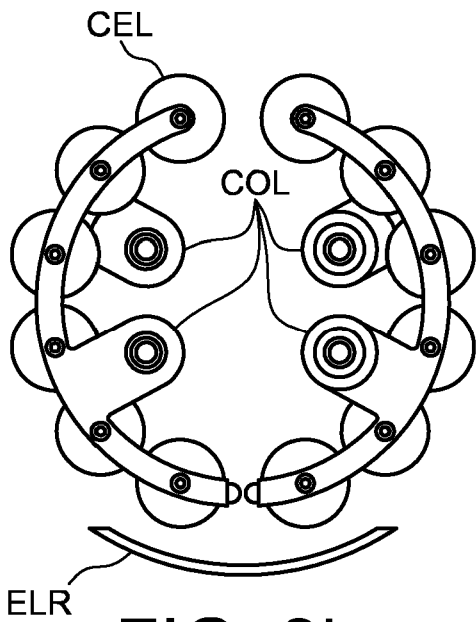


FIG. 3b

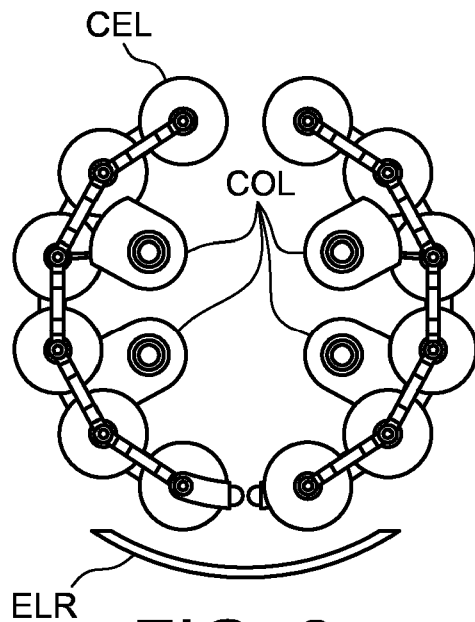


FIG. 3c