

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 404 085**

51 Int. Cl.:

H03K 3/57

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.07.2009 E 09777002 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.01.2013 EP 2412094**

54 Título: **Disposición de circuitos así como procedimiento para suministrar impulsos de alta tensión a un componente funcional de alta energía**

30 Prioridad:

25.03.2009 DE 102009014297
10.06.2009 DE 102009025030

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
23.05.2013

73 Titular/es:

TRANSTECHNIK GMBH & CO. KG (100.0%)
Ohmstrasse 1
83607 Holzkirchen, DE

72 Inventor/es:

HOHMANN, MAIK;
SCHUMANN, FRANK y
NIEJODEK, REINHARD

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 404 085 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

Disposición de circuitos así como procedimiento para suministrar impulsos de alta tensión a un componente funcional de alta energía.

5 La presente invención se refiere a una disposición de circuitos así como a un procedimiento para suministrar impulsos de alta tensión a un componente funcional de alta energía, en especial, a un klistrón o a un imán Kicker.

10 Para muchos experimentos en la física de alta energía, se requieren aceleradores de partículas como, por ejemplo, anillos de almacenamiento, en los que se llevan partículas elementales a altas energías por medio de una aceleración (en parte hasta cerca de la velocidad de la luz). La energía de esas partículas puede quedar, con ello, en la región de los GeV (gigaelectrones-voltio) o los TeV (teraelectrones-voltio). Para construir tales aceleradores de partículas, se necesitan diversos componentes funcionales de alta energía para acelerar de modo suficientemente elevado las partículas en la dirección deseada. Entre estos componentes funcionales de alta energía cuentan, entre otros, los klistrones con cuya ayuda se generan, entre otras, microondas, que se emplean para acelerar partículas en ciclotrones o aceleradores lineales. Para el funcionamiento de un klistrón, se necesitan actualmente impulsos de tensión cortos de entre 20 y unos 120 kV con corrientes de 10 a unos 50 amperios. Habitualmente, se generan, para ello, impulsos de suficiente alta potencia de unos 100 kV o más en disposiciones de circuitos especiales con una tensión de entrada de unos 10 kV con ayuda de un transformador. Estas disposiciones de circuitos se forman con una multiplicidad de grupos constructivos, que se requieren, entre otras cosas, para formar el necesario impulso de salida. La estructura se adapta, para ello, al respectivo klistrón y la repetitividad del impulso, la altura del impulso y la forma del impulso especialmente necesarias por el mismo. Estas disposiciones de circuitos son además relativamente caras. Otros componentes funcionales de alta energía aplicados en aceleradores de partículas son los llamados "imanes Kicker", que se utilizan para empujar las partículas aceleradas de una haz de partículas y, con ello, dirigirlas, por ejemplo, a otro acelerador. También estos imanes Kicker necesitan impulsos de tensión muy elevados y cortos, para cuya generación se emplean actualmente circuitos relativamente caros.

25 En los documentos EP 0 134 505 A1 y EP 1 553 686 A1, se describen respectivamente suministros de corriente continua de alta tensión, que operan con varios módulos conectados en serie, que se configuran como interruptores periódicos de corriente continua. En los sistemas descritos allí, se trata de disponer de una corriente continua, donde el funcionamiento sea aún seguro, en especial, en el caso de un cortocircuito. Es una misión de esta invención proporcionar una disposición de circuitos mejorada y un procedimiento mejorado para proporcionar tales componentes funcionales de alta energía con impulsos de alta tensión.

30 Esta misión se cumple, por un lado, con una disposición de circuitos según la reivindicación 1 y, por otro, con un procedimiento según la reivindicación 9.

La disposición de circuitos según el invento presenta:

- 40
- dos conexiones de entrada para aplicar una tensión de entrada,
 - dos conexiones de salida para conectar con contactos de conexión de alta tensión de los componentes funcionales de alta energía,
 - una multiplicidad de módulos acumuladores de carga, que contienen respectivamente un elemento capacitivo, y que están conectados en serie mediante por lo menos un primer dispositivo conmutador, el mecanismo conmutador de carga, con las conexiones de entrada y mediante por lo menos un segundo dispositivo conmutador, el mecanismo conmutador de descarga, con la conexiones de salida, y
 - un dispositivo de control para activar los distintos módulos acumuladores de carga y los dispositivos conmutadores primero y segundo.

50 Para ello, los módulos acumuladores de carga y el dispositivo de control se han configurado de tal modo que, en una fase de carga, el primer dispositivo conmutador esté cerrado y los elementos capacitivos de los módulos acumuladores de carga se conecten consecutivamente de modo individual por grupos en serie con una tensión de carga disponible a través de las conexiones de entrada, por ejemplo, con la tensión de entrada para la disposición conmutadora, y por que luego, en una fase de descarga, se abra el primer dispositivo conmutador y, con ello, los módulos acumuladores de carga se desconectan de la tensión de carga y se cierra el segundo dispositivo conmutador y por lo menos una parte de los elementos capacitivos de los módulos acumuladores de carga se descargan generando un impulso de tensión definido con un componente funcional de alta energía conectado de conformidad con las disposiciones a las conexiones de salida.

60 El procedimiento según la invención para activar un componente funcional de alta energía con impulsos de alta tensión comprende, según ello, las siguientes etapas de procedimiento:

- 65
- carga de una multiplicidad de módulos acumuladores de carga, que contienen respectivamente un elemento capacitivo, en una fase de carga, donde los elementos capacitivos de los módulos acumuladores de carga se conectan consecutivamente en serie de modo individual por grupos (es decir, conectados en serie) con una tensión de carga,

- desconexión de los módulos acumuladores de carga cargados de la tensión de carga, y
- descarga de los módulos acumuladores de carga, en una fase de descarga, en forma de un impulso de tensión definido, donde al menos una parte de los elementos capacitivos cargados de los módulos acumuladores de carga se conectan en serie con las conexiones de salida de la disposición de circuitos y, con ello, se conectan los contactos de las conexiones de alta tensión de los componentes funcionales de alta energía.

5
10
15

Por componentes funcionales de alta energía se entienden, en este caso, componentes funcionales, que se requieren, por ejemplo, en laboratorios de física de alta energía como los aceleradores de partículas explicados arriba y que requieren un suministro de alta tensión debidamente pulsante con tensiones de más de 12 kV preferiblemente. Entre ellos, entran, en especial, los mencionados imanes Kicker o klistrones o componentes funcionales, que contengan dispositivos semejantes para acelerar las partículas en el campo de la física de alta energía. Aunque se llama la atención expresamente a que un klistrón, excitado según la invención, también se puede emplear para otros fines, en los cuales se requieran señales correspondientes de alta frecuencia.

Las reivindicaciones subordinadas y la descripción subsiguiente contienen perfeccionamientos y configuraciones especialmente ventajosos de la invención, donde el procedimiento según la invención, también análogamente a las reivindicaciones subordinadas, se puede perfeccionar o al contrario, referido a la disposición de circuitos.

20
25

El dispositivo de control para activar los distintos módulos acumuladores de carga y los módulos acumuladores de carga se han configurado preferiblemente de tal modo que se puedan conectar o desconectar elementos capacitivos de los módulos acumuladores de carga en la fase de carga y/o se puedan controlar, es decir, controladamente, individualmente o por grupos para generar un impulso de tensión definido en la fase de descarga. Por medio de una conexión o desconexión controlada de los distintos elementos capacitivos de los módulos acumuladores de carga o de grupos de elementos capacitivos de los módulos acumuladores de carga durante la generación de impulsos, se puede controlar exactamente la forma de los impulsos. En especial, por medio de una conexión sucesiva de elementos capacitivos de los módulos acumuladores de carga, se puede velar por que durante toda la duración de los impulsos se pueda mantener una tensión sensiblemente constante.

30
35
40

De modo especialmente preferido, una parte de los módulos acumuladores de carga presenta, respectivamente, elementos conmutadores activables separadamente, que se han configurado y dispuesto de tal manera que el elemento capacitivo de un módulo acumulador de carga esté conectado con módulos acumuladores de carga adyacentes dentro del circuito o con un punto final del circuito en serie o que el elemento capacitivo de un módulo acumulador de carga sea puentado en el interior del circuito en serie. Gracias a ello, es posible de manera sencilla una conexión discrecional (es decir, el elemento capacitivo está en la cadena) o una desconexión (es decir, el elemento capacitivo se ha puentado) de los distintos elementos capacitivos de la cadena en serie de los módulos acumuladores de carga sin interrumpir la cadena. Los elementos conmutadores activables se han dispuesto, preferiblemente para ello, de modo que el respectivo elemento capacitivo de los módulos acumuladores de carga pueda ponerse en cortocircuito, dado el caso, mediante una descarga, por ejemplo, una resistencia, para descargarlo controladamente.

Para activar los elementos conmutadores, una parte por lo menos de los módulos acumuladores de carga presenta, en cada caso, unidades de control conectadas con el dispositivo de control.

45
50

De manera especialmente preferida, por lo menos una parte de los módulos acumuladores de carga presenta además, en cada caso, una unidad de medición para medir un valor de medición representativo del estado de carga del elemento capacitivo, por ejemplo, una tensión a través del respectivo elemento capacitivo. Los elementos capacitivos de los módulos acumuladores de carga pueden ser conectados o desconectados, pues, en la fase de carga y/o en la fase de descarga en función de una carga acumulada actualmente en el respectivo elemento capacitivo o bien de la tensión actual. La unidad de medición puede integrarse, preferiblemente, en la respectiva unidad de control del correspondiente módulo acumulador de carga. Aunque también puede realizarse separadamente.

55

Las unidades de control y/o las unidades de medición de los módulos acumuladores de carga se conectan preferiblemente, en cada caso, mediante una conexión no galvánica, preferiblemente, por un cable de fibra óptica, con el dispositivo de control, para desacoplar la alta tensión de los módulos acumuladores de carga entre sí a costados de la línea piloto.

60
65

El primer dispositivo de conmutador y/o el segundo dispositivo conmutador comprenden, preferiblemente, una cadena de disyuntores conectados en serie, preferiblemente tiristores, de modo especialmente preferido una llamada memoria de retención temporal IGCT (IGCT = Integrated Gate Commutated Thyristor). Tales dispositivos conmutadores pueden conmutar también altas potencias de modo especialmente rápido y seguro. También sería posible, dado el caso, un empleo de transistores de potencia apropiados como, por ejemplo, MOSFETS o IGBTs (Insulated Gate Bipolar Transistor).

En un perfeccionamiento preferido de la invención, la disposición de circuitos presenta varios grupos modulares mutuamente conectados en paralelo con respecto a las conexiones de entrada y las conexiones de salida. Estos grupos modulares comprenden respectivamente, a su vez, una pluralidad de módulos acumuladores de carga conectados en serie, que se conectan para la conmutación en paralelo de los grupos modulares por medio de al menos un primer dispositivo conmutador con las conexiones de entrada y respectivamente por medio de un segundo dispositivo conmutador con las conexiones de salida.

Para ello, el dispositivo de control se ha realizado preferiblemente de tal modo que los primeros dispositivos conmutadores y los segundos dispositivos conmutadores de los distintos grupos modulares se conecten de manera que los grupos modulares se encuentren mutuamente decalados en una fase de carga y en una fase de descarga. Es decir, por ejemplo, en una disposición de circuitos con dos grupos modulares conectados en paralelo, se carga alternativamente uno de los grupos modulares, mientras que el otro grupo modular se descarga y viceversa. En el caso de más de dos grupos modulares, pueden cargarse análogamente cíclicamente y volverse a descargar. Aprovechando varios grupos modulares paralelos, que se puedan desconectar individualmente de la tensión de carga por medio de los primeros dispositivos conmutadores y se pueden conectar individualmente por medio de los segundos dispositivos conmutadores con las conexiones de suministro de los componentes funcionales de alta energía, se puede disponer de los impulsos de alta tensión a intervalos de tiempo más cortos, es decir, se puede suministrar, en conjunto, una sucesión de impulsos de alta tensión, cuya relación de impulsos (duty cycle) puede ser notablemente superior que con un solo grupo. En el caso de una cantidad suficientemente elevada de grupos modulares, la relación de impulsos puede elevarse en caso extremo incluso tanto que en la salida exista casi una tensión continua (compuesta de impulsos de alta tensión cortos mutuamente consecutivos de los distintos grupos modulares).

La invención se explica más detalladamente a continuación refiriéndose, otra vez, a las figuras adjuntas a base de ejemplos de realización. Iguales componentes se han provisto respectivamente en las distintas figuras con los mismo números de referencia. Las figuras muestran:

Figura 1 un diagrama de bloques de un ejemplo de realización de una disposición de circuitos según la invención para activar un klistrón,

Figura 2 un esquema ampliado de conexiones de principios de un ejemplo de realización de un módulo acumulador de cargas para una disposición conmutadora según la figura 1,

Figura 3 un diagrama de bloques reducido a algunos componentes de la disposición de circuitos según la figura 1 para explicar el principio operativo,

Figura 4 un diagrama de bloques de una activación de un imán Kicker con una disposición de circuitos según la invención,

Figura 5 un diagrama de bloques de otro ejemplo de realización más de una disposición de circuitos según la invención con varios grupos modulares,

Figura 6 una representación de varios programas de impulsos para explicar una posible forma operativa de la disposición de circuitos según la figura 5, y

Figura 7 un diagrama de impulsos de sumas combinado del programa de impulsos según la figura 6 así como una representación ampliada de un detalle del programa de impulsos de sumas.

El suministro 1 de alta tensión descrito a base de las figuras 1 a 3, también llamado abreviadamente "HSV" 1 en lo sucesivo, sirve para modular klistrones, tal como se aplican en los centros de investigación en relación con aceleradores lineales.

Un ejemplo de realización concreto de un HSV 1 según la invención realizado conforme a las figuras está en la situación de:

- 10 veces por segundo (máx.) un impulso de
- 100 kV de tensión máxima con
- 24 A como máximo de flujo de corriente en un intervalo de tiempo de
- 10 ms (máx.) para mantenimiento.

La potencia eléctrica de salida transformada durante un impulso alcanza, en este caso, un máximo de 2,4 MW con una energía de 24 kWs. La potencia eléctrica media de salida convertida con los datos mencionados queda entonces en un máximo de 240 MW.

Todos los valores mencionados son valores máximos, es decir, datos efectivamente activos, se pueden ajustar en este ejemplo de realización – tal como se explicará a continuación -. Así, pues, la elevación de la tensión es, por ejemplo, seleccionable en amplios límites, por ejemplo, entre 20 y 100 kV. Igualmente, se pueden preseleccionar el tiempo del impulso, la relación de repetición del impulso y la forma del impulso. Pero la invención no se limita por lo demás a estos valores máximos, sino que se pueden realizar sin más disposiciones de circuitos adecuadas con valores máximos sensiblemente más altos o más bajos.

El HSV 1 se suministra del lado de la entrada por sus conexiones E1, E2 de entrada con 11 kV de corriente continua.

5 La figura 1 muestra el diagrama de bloques de HSV 1 con el klistrón 20 conectado por el lado de la salida a los contactos A1, A2 de salida del HSV 1. El klistrón 20 se ha representado en la figura 1 solo esquemáticamente en forma de un esquema equivalente (de resistencia óhmica con diodo pospuesto).

10 Una parte esencial del HSV 1 es un circuito en serie de N módulos M1, M2,...,MN acumuladores de carga. La indicación "N" significa, en este caso, que se podría tratar por principio de un número discrecional de módulos M1, M2,...,MN acumuladores de carga conectados consecutivamente. En el presente caso, se trata de un circuito en serie de 180 módulos M1, M2,...,MN acumuladores de carga. Estos módulos M1, M2,...,MN acumuladores de carga se han realizado aquí de una forma preferida como módulos bipolares con dos conexiones 13, 14. Se designarán, por ello, a continuación también como módulos M1, M2,...,MN bipolares.

15 Cada módulo M1, M2,...,MN bipolar contiene, como parte esencial, un acumulador C de energía capacitivo (condensador), que se puede cargar selectivamente e igualmente también descargarse selectivamente. Para ello, cada módulo M1, M2,...,MN bipolar está dotado de un control 12 modular electrónico propio, que puede reaccionar y consultarse selectivamente por medio de un dispositivo 2 de control descrito más adelante, en este caso en forma de un unidad 2 de control principal central. Alternativamente, un módulo bipolar también podría contener, por lo demás, 20 varios acumuladores de energía, por ejemplo, condensadores conectados en paralelo.

25 Los N módulos M1, M2,...,MN acumuladores de carga se han conectado respectivamente en serie por medio de un primer dispositivo S1 conmutador con las conexiones de entrada y por medio de un segundo dispositivo S2 conmutador con las conexiones de salida. Es decir, la cadena de módulos M1, M2,...,MN de acumuladores de carga está conectada, por un lado, es decir, en un punto extremo de la cadena (en la figura, el circuito superior), por medio de un primer dispositivo S1 conmutador, llamado en lo que sigue conmutador S1 de entrada, con la primera conexión E1 de entrada, y por el otro lado, es decir, en el otro punto extremo de la cadena, (en la figura 1, el circuito inferior) con la segunda conexión E2 de entrada o bien a masa. El conmutador S1 de entrada conecta la tensión de entrada de 11 kV en la conmutación en serie de los módulos M1, M2,...,MN bipolares. El conmutador S1 de entrada es un conmutador electrónico y puede realizarse, por ejemplo, como memoria IGCT (= varios IGCT conectados en serie, según la tensión a conectar). Además, la cadena de módulos M1, M2,...,MN acumuladores de carga se ha conectado, por un lado (en la figura 1, nuevamente el circuito superior), por medio de un segundo dispositivo S2 conmutador, a continuación llamado conmutador S2 de salida, con la primera conexión A1 de salida y, por el otro lado (en la figura 2, nuevamente el circuito inferior), en este caso mediante un conmutador S3 de seguridad, con la segunda conexión A2 de salida para conectar el cátodo del klistrón. El conmutador S2 de salida y el conmutador S3 de seguridad son asimismo conmutadores electrónicos realizados, por ejemplo, como memoria IGCT.

40 Para que del lado de la tensión de 11 kV de entrada y del lado de la tensión de 100 kV de salida no se conecten entre sí, un dispositivo de bloqueo vela por que el conmutador S2 de salida permanezca siempre abierto (= bloqueando), cuando el conmutador S1 de entrada está cerrado (= conduciendo) y cuando el conmutador S1 de entrada está siempre abierto (= bloqueando), cuando el conmutador S2 de salida está cerrado (= conduciendo). El conmutador S3 de seguridad sirve de órgano de no-desconexión para el klistrón, en caso de que el conmutador S2 de salida debiera fallar.

45 La disposición 1 de circuitos contiene como componentes adicionales estranguladores L1, L2 de HF para mejorar las propiedades operativas del HSV 1 en combinación con la modulación del klistrón 20 (represión de los efectos de retorno del klistrón). En el circuito de salida, pospuesto al conmutador S2 de salida, se han dispuesto además un amperímetro 5 (U1) y un voltímetro 4 (U2). Los valores medidos por el voltímetro 4 y el amperímetro 5 pueden digitalizarse en el aparato 4, 5 respectivo mediante un convertidor analógico-digital para desde allí ser transmitido 50 por cable LW de fibra óptica a la unidad 2 de control principal, por ejemplo, en serie.

55 Debido a las altas tensiones incidentes, se transmiten para un desacoplamiento seguro de alta y baja tensión, por lo demás, todas las demás señales de medición y control preferiblemente a través de cables LW de fibra óptica a la unidad 2 de control principal.

60 La unidad 2 de control principal de la figura 1 controla el discurso de la generación de impulsos. Para ello, está conectada con todos los módulos M1, M2,...,MN bipolares, aparatos 4, 5 de medición y conmutadores S1, S2, S3 electrónicos mediante cables LW de fibra óptica. Recibe señales de medición digitales y de estado de los mencionados componentes del HSV 1, los evalúa en su ordenador interior y emite luego las señales de control correspondientes al proceso. La unidad 2 de control principal supervisa además el HSV 1 en seguridad operativa. Para ello, controla el conmutador de seguridad (protección personal) instalado en el aparato y limita las magnitudes operativas incidentes de modo que los valores límite permitidos no sean sobrepasados (protección del klistrón y autoprotección).

La unidad 2 de control principal presenta un ordenador (microprocesador), en el que se implementan una serie de módulos 6, 7, 8, 9, 10, 11 de software. Dichos módulos 6, 7, 8, 9, 10, 11 de software se alimentan de datos a través de entradas respectivas y desencadenan procesos de control a través de salidas respectivas.

5 Uno de los módulos de software es el control (ESS) conmutador de entrada. Recibe señales de servicio así como informaciones de estados de otros componentes del HSV y emite al conmutador S1 de entrada las señales de control resultantes del examen por la rutina de software para abrirlo o cerrarlo. El control 6 conmutador de entrada y, dado el caso, otros módulos de software de la unidad 2 de control principal reciben también informaciones de estados del conmutador S1 de entrada y controlan, por tanto, su funcionamiento.

10 Una adición de los módulos de software es el control 7 (HZS) bipolar principal. Recibe de los módulos M1, M2,...,MN bipolares, como se explicará más adelante, valores de la respectiva tensión de los condensadores así como diversas señales de estado para el régimen operativo. El HZS vincula esos datos y controla en todos los módulos bipolares los elementos MS1, MS2 conmutadores internos, asimismo a explicar más adelante, que a continuación también se designan como conmutador MS1 y MS2 modular.

15 Una adición de los módulos de software es el control 8 (ASS) conmutador de salida. Recibe señales de servicio así como informaciones de estados de otros componentes del HSV y emite las señales de control resultantes del examen mediante rutina del software al conmutador S2 de salida para abrirlo o cerrarlo. El control 8 conmutador de salida y, dado el caso, otros módulos de software de la unidad 2 de control principal reciben también señales de estados del conmutador S2 de salida y controlan, por tanto, su funcionamiento.

20 Una adición de los módulos de software es la medición 9 (StrM) de corriente. Se encarga del valor digital establecido por el voltímetro 5 por receptor de fibra óptica, lo condiciona y lo pone a disposición de las rutinas de software correspondientes.

25 Una adición de los módulos de software es la medición 10 (SpM) de tensión. Se encarga del valor digital establecido por el voltímetro 4 por el receptor de fibra óptica, lo condiciona y lo pone a disposición de las correspondientes rutinas de software.

30 Una adición de los módulos de software es el control 11 (SSS) de seguridad. Recibe informaciones de estados del HSV y emite las señales de control resultantes del examen mediante la rutina de software al conmutador S3 de seguridad para abrirlo o cerrarlo.

35 Por medio de una interfaz 3 del usuario con diversos elementos de servicio y elementos indicativos, la unidad 2 de control principal y, por tanto, toda la disposición 1 de circuitos, puede ser supervisada y controlada por un operador.

40 La figura 2 muestra algo ampliado el circuito en uno de los módulos M1, M2,...,MN bipolares. Se compone de un condensador C así como un circuito de carga y un circuito de descarga para dicho condensador C con dos conmutadores MS1, MS2 modulares conectados en serie. Una resistencia R preferiblemente de pocos ohmios (por ejemplo, de un orden de magnitud de 1 Ohmio) puede, como se muestra en la figura 2, anteponerse al condensador C. Un módulo 2 bipolar acumulador de energía semejante se describe en el artículo "An innovative modular multilevel converter topology suitable for a wide power range" de Lesnicar, A. y Marquardt, R. en los Power Tech Conference Proceedings, 2003, IEEE, Bolonia, volumen 3, edición 23-26 de junio 2003, página(s): 6 pp. Volumen 3, a la que se hace referencia aquí en su contenido.

El modo operativo de un módulo M1, M2,...;MN bipolar semejante es tal como sigue:

50 Se activa en las entradas 13 (+) y 14 (-) una corriente continua de polaridad correcta y se vela por que los conmutadores MS1 y MS2 modulares estén abiertos, de este modo se cargará el condensador C por medio del diodo D1. Si se quita la tensión de carga de las bornas 13, 14 de entrada, queda cargado el condensador C. Tras cerrar el primer conmutador MS1 modular (conmutador de carga), se vuelve a descargar el condensador C a través de las entradas 13 y 14 modulares. Con el segundo conmutador MS2 modular (conmutador de puenteado), se puede cerrar en cortocircuito la entrada del módulo bipolar. El control 12 modular acciona, por indicación de la unidad de control principal, los conmutadores MS1 y MS2 modulares. El control 12 modular opera sin energía auxiliar. Se alimenta por las entradas 13, 14 modulares o bien, en caso de falta de tensión de entrada, a partir del condensador C, siempre que éste esté cargado.

60 Para explicar los principios del modo operativo de toda la disposición de circuitos, se remite a la figura 3. Esta figura muestra únicamente dos módulos M1, M2 bipolares conectados consecutivamente. Es éste el caso más sencillo de una conexión en serie y debe servir para explicar el proceder por principio de una conexión en serie de los módulos M1, M2,...,MN bipolares.

I. Fase de carga (cargar los condensadores C):

El conmutador S1 de entrada está cerrado (EIN) y el conmutador S2 salida está, entonces, abierto (AUS) forzosamente controlado por la unidad 2 de control principal central. La unidad 2 de control principal debe garantizar además el bloqueo del conmutador S1 de entrada y del conmutador S2 de salida.

5 Con la tensión UE de entrada, se cargan ahora los condensadores C de los dos módulos M1, M2 bipolares por medio de los diodos D1. Los módulos M1, M2 bipolares forman, para ello, un divisor de tensión capacitivo. En cada módulo M1, M2 bipolar queda la tensión $\frac{1}{2}$ UE. Tras un tiempo suficientemente largo, cada uno de los condensadores C se carga con la tensión $\frac{1}{2}$ UE. Se cierra el conmutador MS2 de puenteado del módulo M2 bipolar. Con ello, queda ahora toda la tensión UE en el módulo M1 bipolar. El condensador C del módulo M1 bipolar se cargará ahora adicionalmente hasta la tensión UE. Se supone además que los condensadores C son capaces de soportar dicha tensión. Seguidamente, se vuelve a abrir el conmutador MS2 de puenteado del módulo M2 bipolar y se cierra el conmutador MS2 de puenteado del módulo M1 bipolar. Con ello, queda toda la tensión UE ahora en el módulo M2 bipolar. El condensador C del módulo M2 bipolar se carga, por tanto, asimismo hasta la tensión UE. Seguidamente, se vuelve a abrir el conmutador MS2 de puenteado del módulo M1 bipolar. Cada uno de los condensadores C de la conexión en serie está cargado ahora a la tensión UE.

II. Fase de descarga (formación de tensión en la salida y descargar los condensadores C):

La unidad 2 de control principal abre el conmutador S1 de entrada. La entrada de 11 kV está separada, por ello, de la conexión en serie. La unidad 2 de control principal cierra entonces el conmutador MS1 de descarga de los dos módulos M1, M2 bipolares. En la conexión A1 de salida o bien entre las conexiones A1, A2 de salida queda entonces la tensión 2·UE de salida. Tras cerrar el conmutador S2 de salida, se puede descargar entonces la conexión en serie de los condensadores bipolares a través del klistrón.

Por principio, se pueden conmutar así discrecionalmente en serie muchos módulos M1, M2,...,MN bipolares. En una cadena de N módulos M1, M2,...,MN bipolares, tal como aparece en el ejemplo de realización según la invención según la figura 1, resultan, por ello, las siguientes posibilidades:

30 Durante la fase de carga, se pueden cargar por puenteado selectivo de módulos M1, M2,...,MN bipolares tantos condensadores C de modo que no se sobrepase la máxima tensión permisible en el condensador C respectivo.

35 Cuando los condensadores puedan cargarse, por ejemplo, con un máximo de 1.000 V y la tensión de entrada sea de, por ejemplo, 11.000 V, entonces deben cargarse siempre por lo menos 11 condensadores C, siempre que se requiera máxima tensión de salida (si no, bastaría con cargar los condensadores C solo a una tensión de menos de 1.000 V). Si la conexión en serie se compone de, por ejemplo, 180 módulos M1, M2,...,MN bipolares, entonces se pueden puentear durante la carga un máximo de 169 módulos M1, M2,...,MN bipolares por la unidad 2 de control principal. (es decir, el conmutador MS2 de puenteado puede cerrarse en estos módulos M1, M2,...,MN bipolares).

40 Con 180 condensadores C o bien módulos M1, M2,...,MN bipolares en serie, se puede conseguir teóricamente una tensión UA de salida de 180 kV como máximo, siempre que todos los conmutadores MS1 de descarga se cierren en los módulos M1, M2,...,MN bipolares. Pero solo se dispondría de esta tensión al descargar por medio del klistrón 20 para el instante $t = 0$; luego descendería la tensión exponencialmente de acuerdo con la constante RC temporal, que se determina por la capacidad total de todos los condensadores y las resistencias óhmicas existentes en el circuito.

45 Por consiguiente, al descargar no se conectan preferiblemente todos los módulos M1, M2,...,MN bipolares simultáneamente, sino solo individualmente o por grupos paulatinamente. Toda la disposición 1 de circuitos se dimensiona, por eso, por la elección de los condensadores C y el número de módulos M1, M2,...,MN bipolares de modo que la máxima tensión de salida quede por encima de la tensión, que debería tener el impulso de tensión para activar el klistrón 20. Cuando se requiera solo una tensión menor, en el ejemplo mencionado anteriormente de 180 módulos M1, M2,...,MN bipolares, por ejemplo, solo un impulso de salida de 100 kV, entonces, suponiendo que todos los condensadores C del circuito en serie se carguen a 1.000 V, entonces deben conectarse a descarga en el instante $t = 0$ solo 100 de los módulos M1, M2,...,MN bipolares por medio del conmutador MS1 de descarga, y se dispone de 80 módulos M101, M102,...,M180 bipolares más para renovación. Siempre que la alta tensión en la salida haya descendido por debajo de un determinado valor, se la puede volver a aumentar conectando nuevos módulos bipolares "renovados" hasta que se haya "empleado" la reserva de 80 módulos. Con ello, se puede evitar la caída de techo del impulso de salida. Si se comienza por ejemplo con 100 condensadores en serie, de los cuales está cargado cada uno a 1.000 V, la tensión de partida es así de 100.000 V. Tan pronto como la tensión de partida haya bajado a 99.000 V, se conecta en serie un condensador más cargado completamente a 1.000 V. La tensión de partida será nuevamente de 100.000 V para un intervalo de tiempo infinitesimalmente corto para luego caer nuevamente de modo exponencial (con otra constante RC temporal ligeramente diferente, ya que ahora sí quedan 101 condensadores en serie, con lo cual la capacidad total del circuito en serie varía; por lo demás, quedan ahora también 101 resistencias en serie por lo que varía la resistencia total).

65 Las unidades 12 de control modulares presentan respectivamente una unidad de medición integrada, con la cual puede medirse la tensión actual respectiva a través del respectivo condensador C. Este valor de medición puede ser proporcionado por la conducción de control realizada por el cable LW de fibra óptica a la unidad 2 de control

principal. Con ello, se puede velar por que los condensadores C se carguen al valor deseado, en especial, que no se sobrecarguen. No obstante, el conocimiento de la carga actual en la unidad 2 de control principal también es especialmente interesante cuando los módulos M1, M2,...,MN bipolares no se descarguen todos completamente en la fase de descarga. La unidad 2 de control principal puede activar entonces los módulos M1, M2,...,MN bipolares de "manera inteligente" con ayuda de un algoritmo de cálculo apropiado sobre la base de esos valores en la fase de carga subsiguiente de tal modo que sean cargados con el valor de tensión deseado independientemente de su estado de carga residual.

En la figura 4, se ha mostrado esquemáticamente, a grandes rasgos, otro empleo más de una disposición 1 de circuitos según la invención para activar un imán 21 Kicker en una lanza de chorro (no representada). Un imán 21 Kicker semejante se realiza con frecuencia en forma de un electroimán con conductores dispuestos paralelamente al chorro e de partículas a desviar. Con este imán 21 Kicker, se genera un impulso de campo magnético corto que, por lo general, dura solo pocos μ s, por medio del cual se desvía por corto tiempo un haz e de partículas en la lanza de chorro. Según ello, un imán 21 Kicker semejante debería alimentarse con impulsos de tensión con una tensión punta de algunos 10 kV y de pocos μ s de duración. La corriente puede estar, en este caso, en el entorno de algunos kA y la energía necesaria en la región de algunos GeV. Una disposición de circuitos configurada según las figuras 1 a 3, puede satisfacer, sin más, dichas condiciones con el modo operativo descrito arriba. Para conseguir una adaptación suficiente a los componentes funcionales de alta energía a controlar y para generar los impulsos deseados a partir de la tensión UE' de entrada disponible con la tensión UA' de salida adecuada, basta en muchos casos una desprogramación de los componentes de software de la unidad 2 de control principal y/o de los módulos M1, M2,...,MN bipolares. Dado el caso, también puede adaptarse el número y/o la capacidad de los módulos M1, M2,...,MN bipolares y/o el dimensionado de las disposiciones 1, 2, 3 de circuitos.

La figura 5 muestra un ejemplo para una disposición 1' de circuitos con varios grupos MG1, MG2, MG3, MGn modulares mutuamente conectados en paralelo con respecto a las conexiones E1, E2 de entrada y a las conexiones A1, A2 de salida. Cada uno de esos grupos MG1, MG2, MG3, MGn modulares comprende, a su vez, una cadena de módulos M1, M2,...,MN acumuladores de carga conectados en serie. Además, los distintos grupos MG1, MG2, MG3, MGn modulares pueden presentar respectivamente mismo número de módulos M1, M2,...,MN acumuladores de carga y puede tratarse de los mismos tipos de módulos M1, M2,...,MN acumuladores de carga con idénticas capacidades, pero también de diferentes número y tipos.

Los grupos MG1, MG2, MG3, MGn modulares, es decir, las distintas cadenas de módulos M1, M2,...,MN acumuladores de carga de los grupos MG1, MG2; MG3, MGn, modulares están respectivamente, de nuevo a un lado (en la figura 5, el circuito superior respectivamente de cada grupo MG1, MG2, MG3, MGn modular), están conectados con la primera conexión E1 por medio de un primer dispositivo S11, S12, S13. S1n conmutador (o bien un conmutador de entrada asociado) asignado al respectivo grupo MG1, MG2, MG3, MGn modular E1 y, al otro lado (en la figura 5, el circuito inferior respectivamente) conectado respectivamente con la segunda conexión E2 de entrada o bien a masa y, por consiguiente, conectado en paralelo con respecto a las entradas E1 y E2. Además, las cadenas de módulos M1, M2,...,MN acumuladores de carga de los grupos MG1, MG2, MG3, MGn modulares están conectadas, por un lado, (en la figura 5, de nuevo el circuito superior respectivamente) con la primera conexión A1 de salida por medio de un segundo dispositivo S21, S22, S23, S2n conmutador (conmutador de salida) asociado a uno de los respectivos grupos MG1, MG2, MG3, MGn modulares y, por el otro lado, (en la figura 5, de nuevo el circuito inferior respectivamente) con la segunda conexión A2 de salida. Con ello, los grupos MG1, MG2, MG3, MGn modulares están también conectados en paralelo con respecto a las salidas A1, A2, a las que se han conectado los componentes funcionales de alta energía, en este caso, nuevamente un klistrón 20. Como en el ejemplo de realización de las figuras 1 a 4, la conexión se lleva a cabo en la segunda salida A2 nuevamente por medio de un conmutador S3 de seguridad. Además, un conmutador S3 de seguridad basta para todos los grupos MG1, MG2, MG3, MGn modulares, es decir, los grupos MG1, MG2, MG3, MGn modulares están interconectados en paralelo antes del conmutador S3 de seguridad. Pero alternativa o adicionalmente, también puede estar dotado cada grupo MG1, MG2, MG3, MGn modular de un conmutador de seguridad propio. Los conmutadores S11, S12, S13, S1n de entrada, los conmutadores S21, S22, S23, S2n de salida y el conmutados S3 de seguridad se han simbolizado respectivamente en la figura 5 por conmutadores con diodos (para indicar el sentido de paso). Aunque pueden realizarse, como en los ejemplos de realización descritos anteriormente, como conmutadores electrónicos, por ejemplo, como memoria IGCT.

En la figura 5, se ha mostrado un estado de conmutación, en el que el segundo grupo MG2 modular emite precisamente un impulso de alta tensión. Por eso, está abierto el conmutador S12 de entrada correspondiente y está cerrado el conmutador S22 de salida. Los otros grupos MG1, MG3, MGn modulares pueden cargarse en este tiempo, ya que están cerrados los correspondientes conmutadores S11, S13, S1n de entrada y están abiertos los conmutadores S21, S23, S2n de salida.

El dispositivo de control puede realizarse de tal modo que presente una unidad 2 de control principal, la cual presenta para la activación, por ejemplo, módulos de software separados para cada conmutador S11, S12, S13, S1n de entrada y para cada conmutador S21, S22, S23, S2n de salida así como para cada grupo MG1, MG2, MG3, MGn modular. Aunque también son posibles otras estructuras discrecionales de la unidad 2 de control principal, por ejemplo, que para activar todos los conmutadores S11, S12, S13, S1n de entrada y para activar todos los

5 conmutadores S21, S22, S23, S2n de salida se empleen, en cada caso, módulos de software comunes. En especial, también se puede asignar a cada grupo MG1, MG2, MG3, MGn modular una unidad 2 de control principal propia, y las unidades de control principal se coordinan, por ejemplo, por medio de una unidad de control principal maestra, pudiendo asumir una de las unidades de control principales también la función de unidad de control principal maestra.

10 Con esta estructura, es posible cargar, al mismo tiempo, uno de los grupos MG1, MG2, MG3, MGn modulares, mientras que otro grupo MG1, MG2, MG3, MGn modular emite precisamente un impulso. La figura 6 muestra una representación, en la que se han representado posibles diagramas de impulsos superpuestos de impulsos P1, P2, P3, Pn de alta tensión de salida de los grupos MG1, MG2, MG3, MGn modulares según la disposición 1' de circuitos de la figura 5, cuando los grupos Mg1, MG2, MG3, MGn modulares se cargan y descargan cíclicamente consecutivamente. Se ha registrado, en cada caso, la tensión UA de salida a lo largo del tiempo. Para ello, tiene lugar, en este caso, la activación de los grupos MG1, MG2, MG3, MGn modulares de modo que, casi inmediatamente después de una finalización del impulso P1, P2, P3, Pn de un grupo MG1, MG2, MG3, MGn modular precedente, un grupo MG1, MG2, MG3, MGn modular subsiguiente emita un impulso P1, P2, P3, Pn. Los impulsos P1, P2, P3, Pn son preferiblemente lo más rectangulares posible y tienen preferiblemente, en cada caso, la misma altura y longitud t_M .

20 La figura 7 muestra arriba el diagrama de sumas de impulsos combinado de los diagramas de impulsos según la figura 6. El número de los grupos MG1, MG2, MG3, MGn modulares se elige de modo que el primer grupo MG1 modular pueda volver a dar un impulso P1, cuando el último grupo MGn modular haya emitido su impulso Pn, de modo que se junte el primer impulso P1 nuevamente al último impulso Pn. La figura 7 muestra abajo un detalle ampliado del diagrama de sumas de impulsos representado arriba para representar que la distancia Δt entre dos impulsos P1, P2, P3, Pn de alta tensión es mucho menor que la longitud t_M del propio impulso. Es decir, que la relación de pulsaciones de los impulsos emitidos en la salida A1 de la disposición 1' de circuitos es, en este caso, tan elevada que casi existe una corriente continua con solo interrupciones muy cortas en la transición entre dos impulsos P1, P2, P3, Pn rectangulares de alta tensión.

30 Se hace hincapié para terminar, por añadidura, que en la disposición de circuitos descrita precedentemente y en el procedimiento para alimentar un klistrón y un imán Kicker se trata únicamente de ejemplos de realización, que pueden modificarse del modo más dispar por parte del especialista en el marco de las reivindicaciones sin abandonar el campo de la invención. Además, la aplicación del artículo indeterminado "un" o bien "una" no excluye que las características referidas puedan existir también repetidamente.

35

REIVINDICACIONES

1. Disposición (1, 1') de circuitos para suministrar impulsos de alta tensión a un componente (20, 21) funcional de alta energía, cuya disposición comprende:

- dos conexiones (E1, E2) de entrada para aplicar una tensión (UE, UE') de entrada,
- dos conexiones (A1, A2) de salida para conectar a contactos de alta tensión de los componentes (20, 21) funcionales de alta energía,
- una pluralidad de módulos (M1, M2;..., MN) acumuladores de carga, que contienen respectivamente un elemento (C) capacitivo, y que están conectados en serie por al menos un primer dispositivo (S1, S11, S12, S13, S1n) conmutador con las conexiones (E1, E2) de entrada y por al menos un segundo dispositivo (S2, S21, S22, S23,...,S2n) conmutador con las conexiones A1, A2 de salida,
- un dispositivo (2) de control para activar los distintos módulos (M1, M2,...,MN) acumuladores de carga y los dispositivos (S1, S11, S12, S13,...,S1n, S2, S21, S22, S23,...,S2n) conmutadores primero y segundo,

donde los módulos (M1, M2,...,MN) acumuladores de carga se han realizado de tal modo que, en una fase de carga, el primer dispositivo (S1, S11, S12, S13, S1n) conmutador esté cerrado y los elementos (C) capacitivos de los módulos (M1, M2,...,MN) acumuladores de carga se conecten individualmente consecutivamente o en grupos en serie con una tensión de carga, luego, en una fase de descarga, se abre el primer dispositivo (S2, S21, S23, S2n) conmutador y se desconectan de la tensión de carga los módulos (M1, M2,...,MN) acumuladores de carga y se cierra el segundo dispositivo (S2, S21, S22, S23, S2n) conmutador, y por lo menos una parte de los elementos (C) capacitivos de los módulos (M1, M2,...,MN) acumuladores de carga se descargan formando un impulso de tensión con un componente (20, 21) funcional de alta energía conectado de conformidad con las reglas a las conexiones (A1, A2) de salida.

2. Disposición de circuitos según la reivindicación 1, **caracterizada por que** el dispositivo (2) de control para controlar los distintos módulos (M1, M2,...,MN) acumuladores de carga y los módulos (M1, M2,...,MN) acumuladores de carga se han configurado de tal modo que elementos (C) capacitivos de los módulos (M1, M2,...,MN) acumuladores de carga puedan conectarse y/o desconectarse durante la fase de carga y/o la fase de descarga para generar un impulso de tensión definido individualmente o controladamente en grupo.

3. Disposición de circuitos según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizada por que** por lo menos una parte de los módulos (M1, M2,...,MN) acumuladores de carga presentan respectivamente elementos (MS1, MS2) conmutadores activables, que se han realizado y dispuesto de modo que el elemento (C) capacitivo de un módulo (M1, M2,...,MN) acumulador de carga esté conectado con módulos (M1, M2,...,MN) acumuladores de carga adyacentes en el interior del circuito en serie o con un punto final del circuito en serie, o por que el elemento (C) capacitivo de un módulo (M1, M2,...,MN) acumulador de carga se puentee en el interior del circuito en serie.

4. Disposición de circuitos según la reivindicación 3, **caracterizada por que** por lo menos una parte de los módulos (M1, M2,...,MN) acumuladores de carga comprende, en cada caso, unidades (12) de control conectadas con el dispositivo (2) de control para activar los elementos (MS1, MS2) conmutadores.

5. Disposición de circuitos según la reivindicación 4, **caracterizada por que** por lo menos una parte de los módulos (M1, M2,...,MN) acumuladores de carga comprende, en cada caso, una unidad de medición para medir un valor de medición, que representa el estado de carga del elemento (C) capacitivo.

6. Disposición de circuitos según la reivindicación 4 ó 5, **caracterizada por que** las unidades (12) de control y/o las unidades de medición de los módulos M1, M2,...,MN) acumuladores de carga están conectadas respectivamente con el dispositivo (2) de control por medio de una conexión no galvánica, preferiblemente, por medio de un cable (LW) de fibra óptica.

7. Disposición de circuitos según una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizada por** varios grupos (MG1, MG2, MG3, MGn) de módulos mutuamente conectados en paralelo con respecto a las conexiones (E1, E2) de entrada y las conexiones (A1, A2) de salida, los cuales presentan respectivamente una pluralidad de módulos (M1, M2,...,MN) acumuladores de carga conectados en serie, que están conectados respectivamente por medio de al menos un primer dispositivo (S11, S12, S13, S1n) conmutador con las conexiones (E1, E2) de entrada y respectivamente por medio de al menos un segundo dispositivo (S21, S22, S23, S2n) conmutador con las conexiones (A1, A2) de salida.

8. Disposición de circuitos según la reivindicación 7, **caracterizada por que** el dispositivo (2) de control se ha configurado de tal modo que los primeros dispositivos (S11, S12, S13, S1n) conmutadores y los segundos dispositivos (S21, S22, S23, S2n) conmutadores de diferentes grupos (MG1, MG2, MG3, MGn) de módulos se conecten de modo que los grupos (MG1, MG2, MG3, MGn) de módulos se encuentren mutuamente decalados en una fase de carga y una fase de descarga.

9. Disposición de circuitos según una de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizada por que** el primer dispositivo (S1, S11, S12, S13, S1n) conmutador y/o el segundo dispositivo (S2, S21, S22, S23, Sn) conmutador comprenden una cadena de disyuntores conectados consecutivamente en serie, preferiblemente, tiristores.
- 5 10. Disposición de circuitos según una de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizada por que** el componente (20, 21) funcional de alta energía comprende un klistrón (20) o un imán (21) Kicker.
11. Procedimiento para activar un componente (20, 21) funcional de alta energía con las siguientes etapas de procedimiento:
- 10
- carga de una pluralidad de módulos (M1, M2,...,MN) acumuladores de carga, que contienen respectivamente un elemento (C) capacitivo en una fase de carga, donde los elementos (C) capacitivos de los módulos (M1, M2,...,MN) acumuladores de carga se conectan consecutivamente individualmente o en grupos en serie con una tensión de carga,
 - 15 - desconexión de los módulos (M1, M2,...,MN) acumuladores de carga de la tensión de carga,
 - descarga de los módulos (M1, M2,...,MN) acumuladores de carga en una fase de descarga en forma de un impulso de tensión definido, donde por lo menos una parte de los elementos (C) capacitivos de los módulos (M1, M2,...,MN) acumuladores de carga se conmutan en serie con contactos de unión de alta tensión de los componentes (20, 21) funcionales de alta energía.
- 20 12. Procedimiento según la reivindicación 11, **caracterizado por que**, en la fase de carga y/o en la fase de descarga, se conectan o se desconectan elementos (C) capacitivos de los módulos (M1, M2,...,MN) acumuladores de carga de modo controlado ya sea individualmente o por grupos.
- 25 13. Procedimiento según la reivindicación 11 ó 12, **caracterizado por que** los elementos (C) capacitivos de los módulos (M1, M2,...,MN) acumuladores de carga se conectan o se desconectan en la fase de carga y/o en la fase de descarga en función de una carga acumulada actualmente en el respectivo elemento (C) capacitivo.
- 30 14. Procedimiento según una de las reivindicaciones 11 a 13, **caracterizado por que** el componente (20, 21) funcional de alta energía comprende un klistrón (20) o un imán (21) Kicker.
- 35 15. Empleo de una disposición (1, 1') de circuitos, según una de las reivindicaciones 1 a 10, para suministrar impulsos de alta tensión a un componente (20, 21) funcional de alta energía, en especial, a un klistrón (20) o a un imán (21) Kicker.

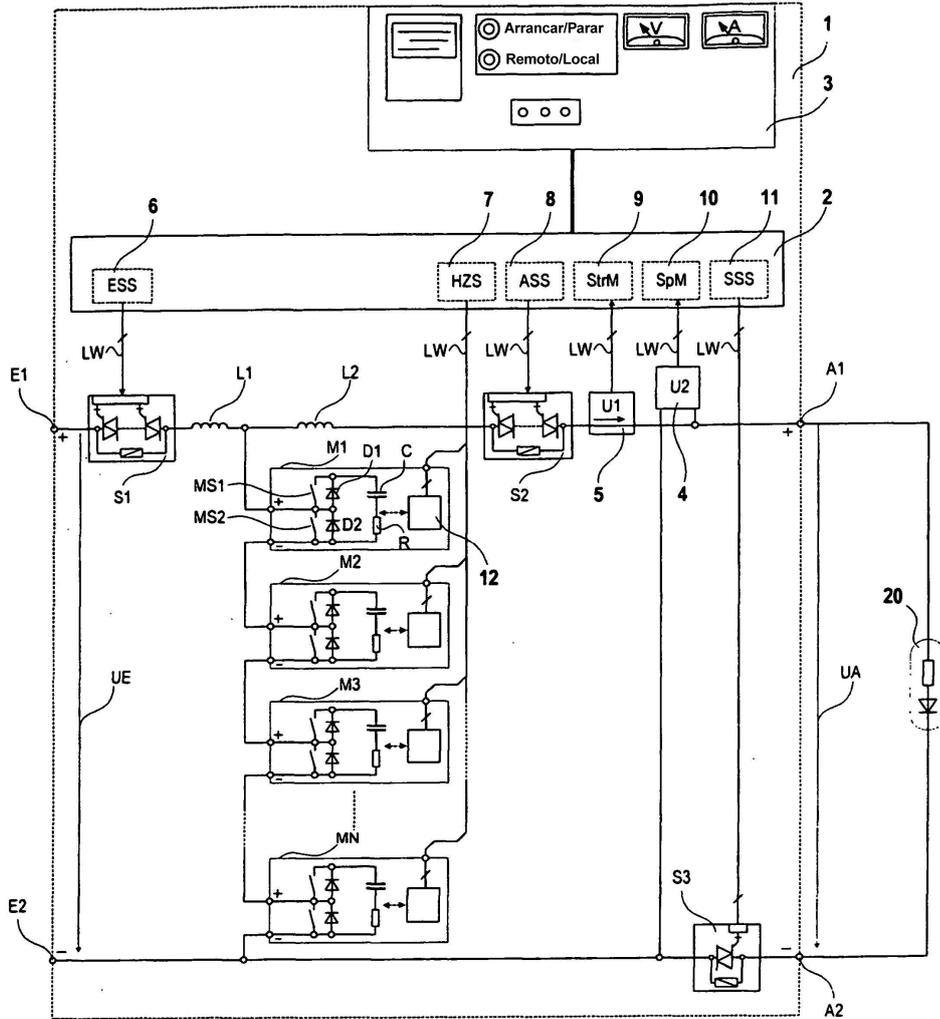


Fig. 1

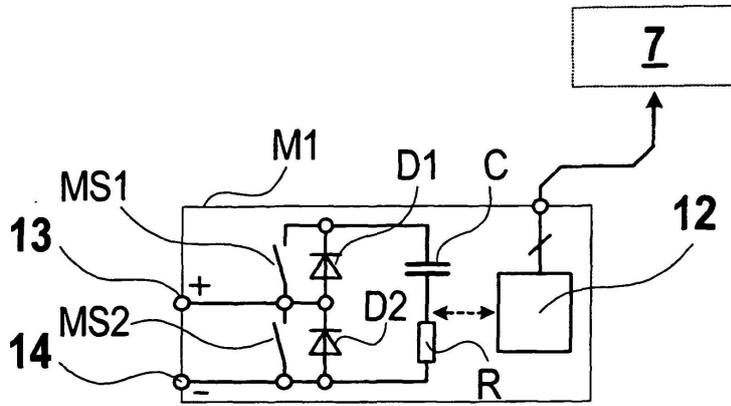


Fig. 2

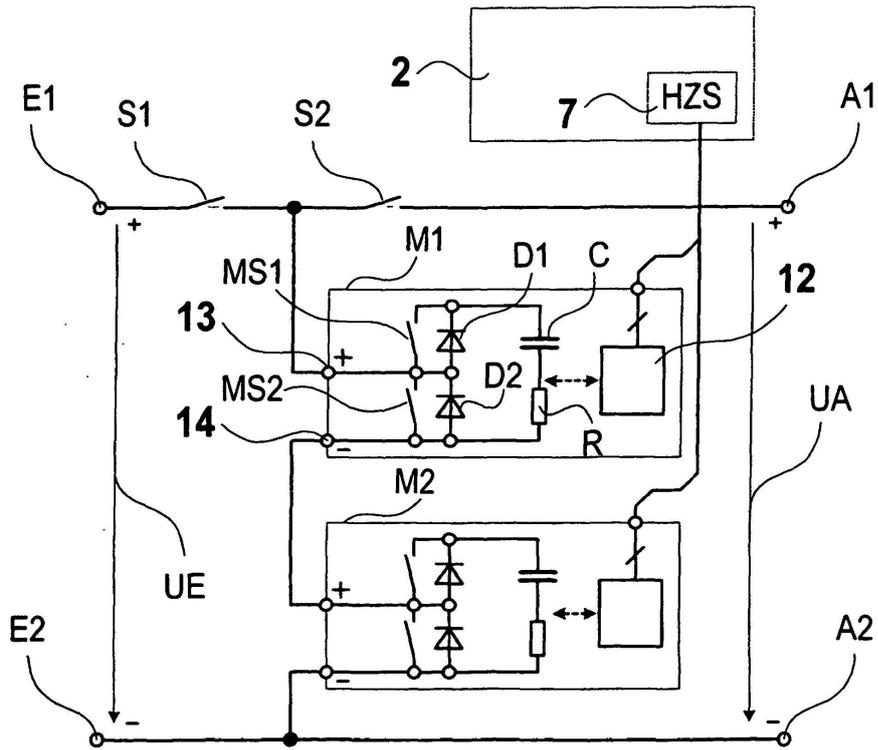


Fig. 3

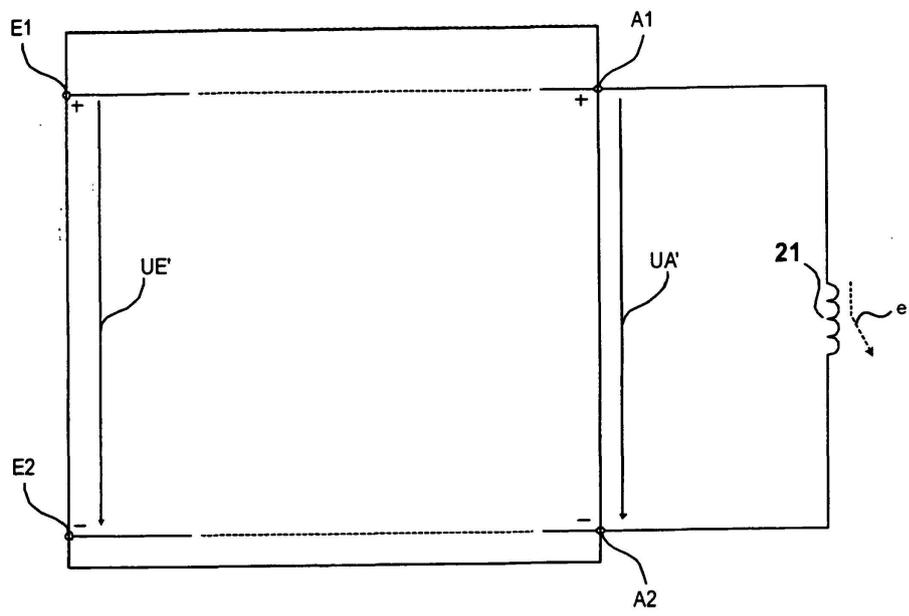


Fig. 4

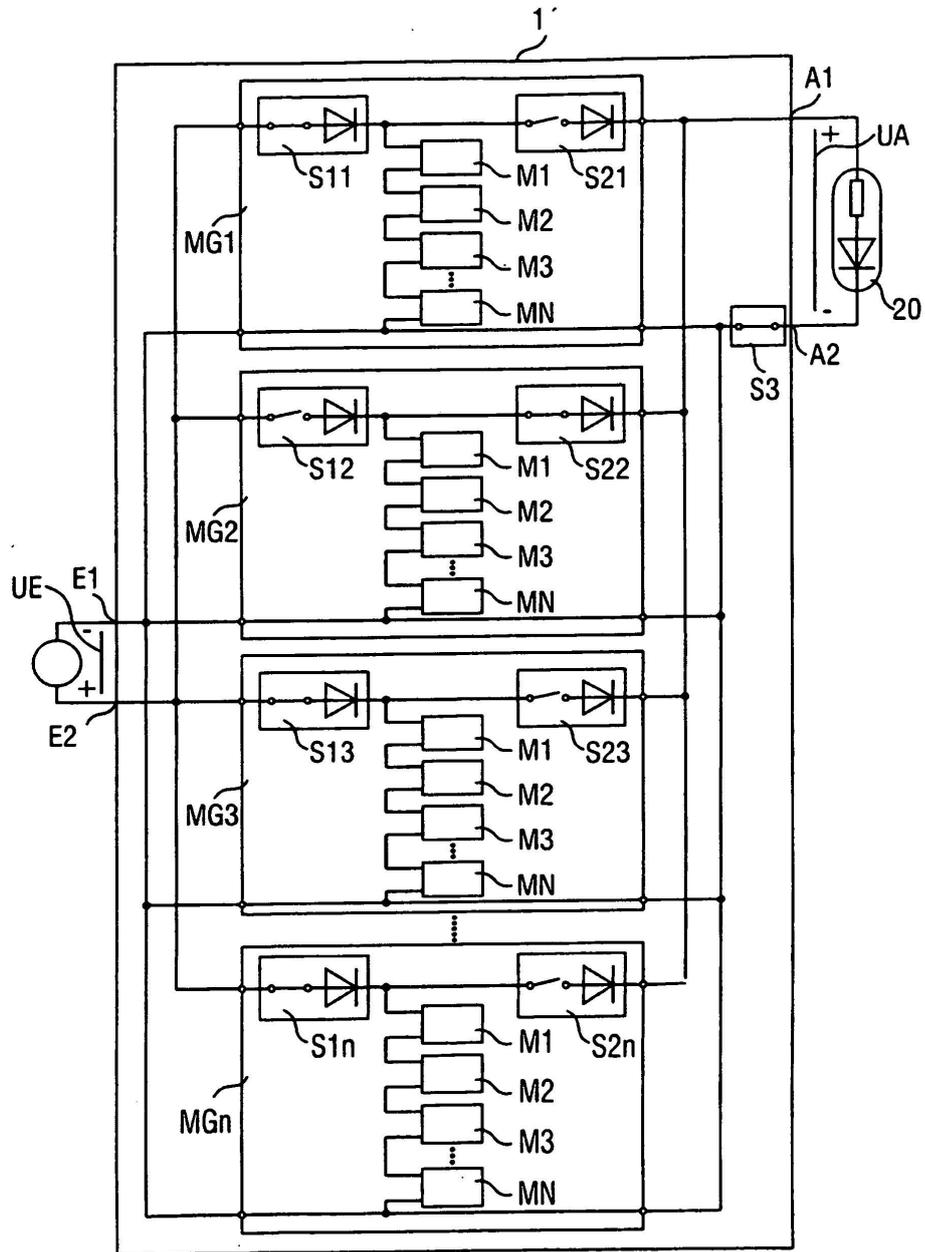


FIG 5

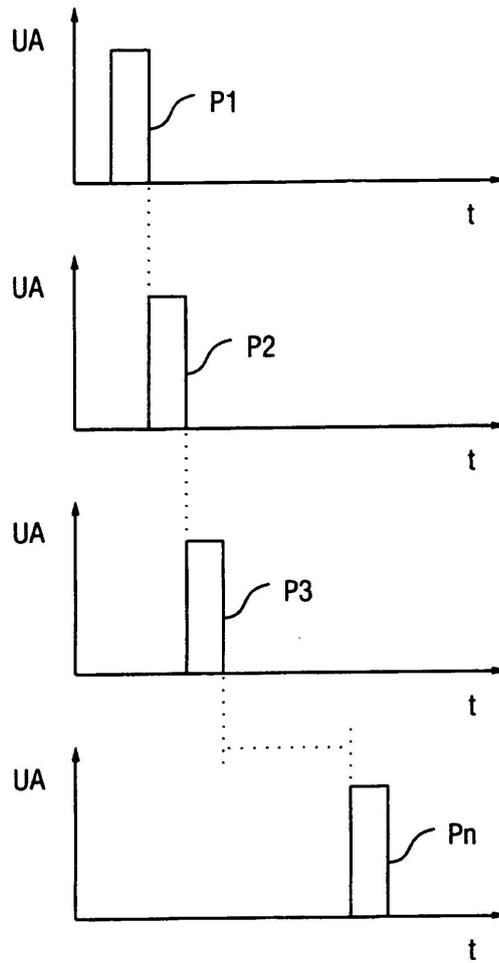


FIG 6

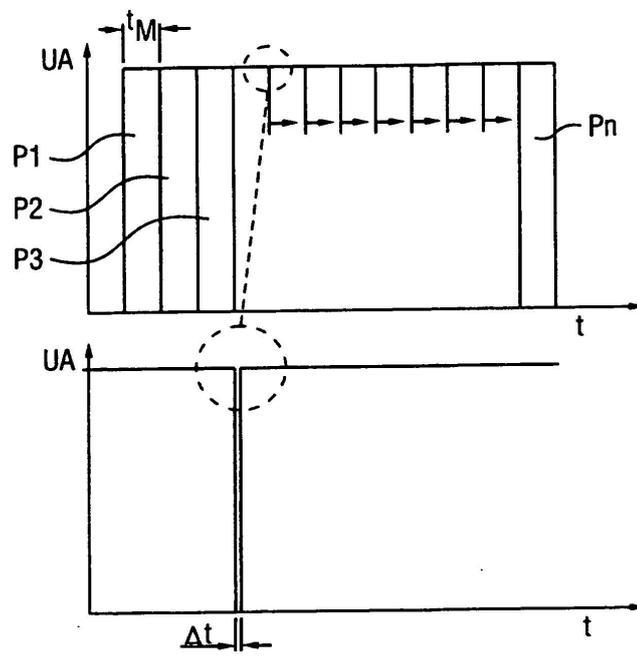


FIG 7