

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 676 048**

51 Int. Cl.:

**H01H 33/59** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.06.2015 PCT/SE2015/050756**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.01.2016 WO16003357**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.06.2015 E 15739695 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.04.2018 EP 3161846**

54 Título: **Disposición, sistema y método de interrupción de corriente**

30 Prioridad:

**30.06.2014 US 201462018707 P**

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

**16.07.2018**

73 Titular/es:

**SCIBREAK AB (100.0%)  
Åsundavägen 26  
745 71 Enköping, SE**

72 Inventor/es:

**ÄNGQUIST, LENNART y  
NORRGA, STAFFAN**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**ES 2 676 048 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, sistema y método de interrupción de corriente

**Campo técnico**

5 La presente invención se refiere de manera general a interrupción de corriente en sistemas de potencia y se refiere particularmente a disyuntores que emplean una corriente de oscilación auxiliar añadida para interrumpir la corriente principal. La presente invención también se refiere a un sistema y a un método de interrupción de corriente.

**Antecedentes de la técnica**

10 El uso de disyuntores u otros medios de interrupción de corriente está bien establecido en sistemas eléctricos en general, tales como en sistemas de distribución o transmisión de energía eléctrica, especialmente como medios para proteger, aislar y/o controlar la operación de diferentes componentes en el sistema de potencia particularmente bajo condiciones de fallo, por ejemplo, fallos de cortocircuito, o condiciones de sobrecorriente, etc. Los disyuntores también se usan para aislar partes del sistema de potencia durante reparaciones y/o mantenimiento sobre componentes o secciones específicas del sistema de potencia. Además, los disyuntores se usan frecuentemente para conectar distintas cargas, como motores u otras cargas industriales, a la red.

15 Se han usado diferentes tipos de disyuntores como interruptores de corriente dependiendo de los niveles de corriente o tensión del sistema de potencia. Más comúnmente se usan disyuntores mecánicos por lo que los actuadores, usados para separar los contactos, pueden usar motores, muelles, disposiciones neumáticas o algunos otros medios. Interruptores de corriente alternativos pueden usar dispositivos semiconductores.

20 La mayoría de las aplicaciones requieren, no menos por razones de seguridad, que el interruptor de corriente realice la separación física entre los dos lados del disyuntor y, en consecuencia, hay una necesidad de un conmutador mecánico incluso si se usa un interruptor de corriente de estado sólido. Los conmutadores mecánicos también se pueden usar en paralelo con interruptores de corriente de estado sólido con el fin de eliminar las pérdidas en los dispositivos semiconductores, que pueden ser significativas cuando se usan en aplicaciones de alta tensión que requieren conexión en serie de muchos dispositivos con el fin de lograr la capacidad de resistir la tensión necesaria.

25 Cuando se interrumpe una corriente que fluye en un circuito eléctrico mediante separación de contactos, se genera, en general, un arco eléctrico entre los contactos. En alta tensión, es necesario que la corriente que fluye en el arco eléctrico sea forzada a hacer un cruce por cero, de forma natural o por medios artificiales, con el fin de extinguirse. En sistemas de potencia AC, el cero de corriente está ocurriendo de manera natural una vez cada medio ciclo de la frecuencia del sistema y, por lo tanto, la realización de disposiciones simples para los disyuntores AC es bastante común y está bien establecida. Sin embargo, en algunas aplicaciones se desea interrumpir la corriente en un sistema AC a un ritmo mucho más rápido que el ritmo ofrecido por el cruce por cero de la corriente que ocurre de manera natural con el fin de evitar que la corriente de fallo alcance niveles altos o proteger equipos sensibles.

30 Los sistemas DC, por otra parte, carecen de este cruce por cero natural de la corriente y, en consecuencia, ha habido muchos intentos de realizar un disyuntor DC rápido para interrumpir la corriente de fallo en los sistemas de potencia DC. Este problema se ha resuelto en la técnica anterior introduciendo un circuito de resonancia que superpone una corriente AC sobre la corriente a ser interrumpida para causar un cruce por cero. En la publicación PCT WO 2014/166528 A1, se describe una disposición de disyuntor DC que usa un interruptor de corriente mecánico en paralelo con un circuito de resonancia que incluye al menos un condensador, al menos un inductor y al menos un elemento conmutador. El circuito de resonancia está hecho para generar una corriente de superposición de corriente de resonancia de cualquier arco eléctrico generado en el interruptor de corriente, cerrando el elemento conmutador. Esta disposición tiene el inconveniente de que la corriente de oscilación es excitada básicamente por la tensión de arco eléctrico. Para superar este inconveniente, la disposición descrita está provista además con una unidad de fuente de alimentación auxiliar que puede, si se necesita, transportar potencia para cargar el condensador. Esta disposición requiere un proceso de carga elaborado y necesita ser adaptada específicamente para cada aplicación.

35 El documento US 4.805.062 describe una solución al problema usando un condensador cargado para forzar un cero de corriente. Para hacer esto, describe un disyuntor DC que comprende un condensador de conmutación con un extremo conectado al bus positivo de una línea DC y el otro extremo a un bus negativo de la línea DC a través de un resistor de carga, y un circuito en serie, incluyendo una bobina repulsiva magnética y un segundo conmutador, conectado en paralelo al condensador de conmutación, en el que el condensador de conmutación se carga directamente desde la línea DC positiva. Cuando la unidad de disyuntor comienza a abrirse, el segundo conmutador se enciende con el fin de invertir la polaridad del condensador de conmutación cargado de modo que cause una corriente de descarga inversa a través de la unidad de disyuntor simultáneamente a medida que se abre la unidad de disyuntor. Esta invención tiene el inconveniente de una capacidad de control muy limitada y, por lo tanto, es difícil lograr un comportamiento de conmutación óptimo. Además, la solución es menos adecuada en aplicaciones de alta tensión, que presentan limitaciones en el mecanismo de carga propuesto.

Una disposición de disyuntor adaptada para línea de transmisión de corriente continua se describe en el documento WO2014/154260 A1. La disposición de disyuntor comprende una unidad de interruptor de corriente mecánico adaptada, cuando se acciona, para interrumpir la corriente en la línea de transmisión y dos circuitos de resonancia en donde cada uno del circuito de resonancia está adaptado, tras la actuación de la unidad de interruptor de corriente, para generar una corriente de superposición de la corriente de resonancia de cualquier arco eléctrico generado en la unidad de interruptor de corriente, y donde la corriente de resonancia que se ha generado por el primer circuito de resonancia fluye a la unidad de interruptor de corriente desde una dirección diferente a la corriente de resonancia generada por el segundo circuito de resonancia. Esta solución propuesta sufre de la desventaja de tener dos circuitos resonantes con complejidad añadida del control para los dos conmutadores que conectan los circuitos resonantes.

Los documentos JP H04 259719 A y JP 2013 041674 A describen otras disposiciones de disyuntores.

Ejemplos de disposiciones de la técnica anterior para interrumpir corriente se muestran en las Fig. 1-3.

### Compendio de la invención

Un objeto de la presente invención es superar los problemas y desventajas de la técnica anterior y describir una capacidad superior de interrupción de corriente independientemente del tipo de corriente a ser interrumpida.

Según un primer aspecto de la invención, este objeto se realiza mediante una disposición para interrumpir corriente que comprende un primer y un segundo terminal, al menos una primera, una segunda y una tercera ramas de circuito en paralelo dispuestas entre el primer y segundo terminales, estando la disposición adaptada para conectar eléctricamente dos secciones de un sistema de potencia, la primera rama de circuito en paralelo que comprende un disyuntor principal mecánico, la segunda rama de circuito en paralelo que comprende un dispositivo de absorción de energía, y la tercera rama de circuito en paralelo que comprende un circuito resonante y unos medios de control de tensión dispuestos en serie con el circuito resonante, estando la disposición caracterizada por que los medios de control de tensión son controlables en uso para inyectar energía en el circuito resonante para forzar un aumento rápido de una corriente alterna, en donde la corriente alterna que está fluyendo en un bucle que contiene la primera y la tercera rama de circuito en paralelo a medida que el disyuntor principal mecánico está siendo controlado para abrirse para interrumpir una corriente principal, y por lo cual el cruce por cero de la corriente a través del disyuntor principal mecánico se realiza en la medida que la amplitud de la corriente alterna excede la amplitud de la corriente principal.

En una realización preferida, la disposición comprende al menos un conmutador de desconexión dispuesto en conexión en serie con al menos uno del primer y segundo terminales, y siendo controlable en uso para proporcionar una separación física de las dichas dos redes de potencia.

En una realización preferida, los medios de control de tensión son un convertidor de fuente de tensión estático.

En una realización preferida, el circuito resonante comprende al menos un condensador y al menos un reactor dispuestos en serie.

En una realización preferida, el al menos un condensador del circuito resonante está provisto con unos medios de descarga.

En una realización preferida, el circuito resonante comprende una inductancia en serie distribuida y condensador de derivación distribuido, preferiblemente una disposición de cable.

En una realización preferida, el disyuntor mecánico comprende un conmutador de vacío.

En una realización preferida, el disyuntor mecánico comprende un contacto adaptado para moverse durante el proceso de apertura del disyuntor mecánico, y en donde el disyuntor mecánico comprende al menos un sensor. En una realización, el sensor está adaptado en uso para determinar al menos una de la posición y la velocidad del contacto durante el proceso de apertura del disyuntor mecánico. El sensor puede estar adaptado adicional o alternativamente para detectar una cantidad física, preferiblemente al menos uno de la aparición de caída de tensión de arco eléctrico, fenómenos acústicos y radiación electromagnética o ruido, tal como radiación óptica, térmica o de rayos X.

En una realización preferida, el dispositivo de absorción de energía es un dispositivo de absorción de energía limitador de tensión, tal como una resistencia dependiente de tensión no lineal, preferiblemente un Varistor de Óxido Metálico (MOV).

En una realización preferida, la primera rama de circuito en paralelo comprende además un reactor saturable dispuesto en serie con el disyuntor mecánico para ayudar a reducir la tasa de cambio de corriente en la proximidad del cruce por cero de la corriente a través del disyuntor mecánico.

En una realización preferida, la disposición comprende además una cuarta rama de circuito en paralelo dispuesta en paralelo con dichas primera, segunda y tercera ramas de circuito, estando dicha cuarta rama de circuito en paralelo

provista con medios de control para proporcionar, durante una interrupción de corriente, una ruta alternativa para la corriente inversa lejos del disyuntor mecánico. Los medios de control comprenden preferiblemente dos tiristores dispuestos en antiparalelo para controlar el flujo de corriente a través de dichos dos tiristores en direcciones opuestas.

- 5 En una realización preferida, la primera rama de circuito en paralelo comprende además un conmutador de semiconductor de baja tensión dispuesto en serie con el disyuntor mecánico, siendo el semiconductor de baja tensión controlable en uso para ayudar a desviar la corriente del disyuntor mecánico principal a la cuarta rama del circuito en paralelo.

En una realización preferida, la disposición para interrumpir corriente es un disyuntor DC.

- 10 En una realización preferida, el circuito resonante es un circuito resonante pasivo.

Según un segundo aspecto de la invención, se proporciona un sistema para interrumpir corriente comprendiendo al menos dos disposiciones para interrumpir corriente según la invención, en donde dichas al menos dos disposiciones para interrumpir corriente están conectadas en serie.

- 15 Según un tercer aspecto de la invención, se proporciona un método de interrupción de corriente en un sistema de potencia usando una disposición para interrumpir corriente según la invención, comprendiendo el método los pasos de: abrir el disyuntor mecánico para facilitar la separación de los contactos del disyuntor mecánico y para interrumpir una corriente principal que tiene una amplitud, y controlar los medios de control de tensión para excitar una corriente de oscilación que tiene una amplitud máxima mayor que la amplitud de la corriente principal interrumpida, para causar un cruce por cero de corriente.

- 20 En una realización preferida, los pasos de abrir el disyuntor mecánico y controlar los medios de control de tensión se realizan simultáneamente y en coordinación.

En una realización preferida, el método de interrupción de corriente comprende además uno o más de los pasos de abrir el conmutador de desconexión, operar los medios de control para permitir la conducción en la dirección inversa relativa a la corriente principal a través del disyuntor mecánico, y controlar el conmutador de semiconductor para abrir cuando la corriente total a través del disyuntor mecánico atraviesa un cruce por cero.

- 25 En una realización preferida, la secuencia de la ejecución de los pasos está predefinida de manera que los cruces por cero en la corriente que pasa a través del disyuntor mecánico ocurren en instantes de tiempo óptimos con respecto a la resistencia de aislamiento dieléctrico que se acumula en el disyuntor, cuando los contactos se separan uno de otro.

- 30 En una realización preferida, la secuencia de pasos se ejecuta con retardos de tiempo predefinidos entre los pasos consecutivos, y en donde los retardos de tiempo son constantes o varían dependiendo de la amplitud de la corriente principal a ser interrumpida.

En una realización preferida, los retardos de tiempo predefinidos entre pasos consecutivos se optimizan de modo que la distancia de separación de contactos del disyuntor mecánico sea suficiente para resistir el límite de tensión del dispositivo de absorción de energía de la segunda rama en paralelo en un tiempo total mínimo.

- 35 En una realización preferida, se usa un sensor para determinar los retardos de tiempo entre los pasos.

En una realización preferida, la ejecución de uno o varios de los pasos es condicional, de modo que una corriente de oscilación, que tiene tal amplitud que ocurren cruces por cero en la corriente que fluye a través del disyuntor mecánico, se excita y mantiene, hasta que se tome una decisión, o bien para ejecutar la secuencia de pasos completa para interrumpir corriente principal o bien para no completar la interrupción, en cuyo caso se suprimirá la corriente de oscilación.

- 40

### Breve descripción de los dibujos

La invención se describe ahora, a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

Las Fig. 1-3 muestran disposiciones de la técnica anterior para interrumpir corriente;

- 45 La Fig. 4 muestra un diagrama de una realización general de una disposición para interrumpir corriente según la invención;

La Fig. 5 muestra un diagrama de tiempo de interrupción por limitación de corriente.

La Fig. 6 muestra una disposición similar a la de la Fig. 4 pero con un seccionador.

Las Fig. 7a-e muestran diferentes implementaciones de un convertidor electrónico de potencia;

- 50 Las Fig. 8a-b muestran ejemplos de disposiciones de protección para un convertidor electrónico de potencia;

La Fig. 9 muestra una realización alternativa de una disposición para interrumpir corriente que comprende un circuito de resonancia que contiene un condensador e inductor.

Las Fig. 10a-c muestran diferentes configuraciones de un circuito resonante;

Las Fig. 11a-c muestran diferentes medios para descargar un condensador;

- 5 La Fig. 12 muestra una realización alternativa de una disposición para interrumpir corriente comprendiendo un circuito de resonancia que contiene una línea de transmisión de Heaviside.

La Fig. 13 muestra formas de onda producidas por la disposición de la Fig. 12;

Las Fig. 14a-d muestran estructuras con capacitancia e inductancia distribuidas;

Las Fig. 15a-c muestran implementaciones de un dispositivo de absorción de energía, limitador de tensión;

- 10 La Fig. 16 muestra una realización alternativa de una disposición para interrumpir corriente que tiene una rama para corriente inversa;

Las Fig. 17a-c muestran una realización alternativa de una disposición para interrumpir corriente que tiene un reactor saturable;

- 15 La Fig. 18 muestra una realización alternativa de una disposición para interrumpir corriente que comprende un conmutador de semiconductor de conmutación de baja tensión;

La Fig. 19 muestra un sistema para interrumpir corriente según la invención, comprendiendo varias disposiciones para interrumpir corriente;

La Fig. 20 muestra el principio de acumulación de amplitud de corriente de oscilación en un circuito resonante;

La Fig. 21 muestra las formas de onda principales en interrupción de corriente;

- 20 La Fig. 22 ilustra cruce por cero de corriente frente a capacidad de resistir tensión.

Las Fig. 23 y 24 ilustran algunos ejemplos de control de señal;

Las Fig. 25 y 26a-b muestran diferentes configuraciones de red comprendiendo una o más disposiciones para interrumpir corriente; y

- 25 Las Fig. 27a-b muestran configuraciones alternativas de una rama de una disposición para interrumpir corriente según la invención.

### Descripción de realizaciones

A continuación, se dará una descripción detallada de una disposición, un sistema y un método para interrumpir corriente según la invención.

- 30 La forma general de la invención en la reivindicación 1 se esboza en la Fig. 4, donde dos nodos 11, 12 eléctricos en un sistema de potencia están conectados eléctricamente a través de una disposición que contiene tres ramas en paralelo, comprendiendo la primera 15 un disyuntor 1 mecánico, comprendiendo la segunda 16 un dispositivo 2 de absorción de energía, limitador de tensión y comprendiendo la tercera una fuente 4 de tensión controlable conectada en serie con un circuito 3 resonante pasivo, designadas conjuntamente 17. La conexión eléctrica entre las secciones 100 y 200 en el sistema de potencia sirve al propósito de transferir energía eléctrica entre dichas secciones, en cuyo
- 35 caso una corriente I principal fluye a través del disyuntor 1 mecánico. Las secciones 100 y 200 pueden ser subsistemas de un sistema de potencia común o sistemas de transmisión de energía eléctrica separados que usan DC o AC. Alternativamente, las secciones pueden representar un sistema de potencia eléctrica alimentando una carga, por ejemplo, un motor 200 conectado a una fuente 100 de potencia.

- 40 En la separación de contactos en el disyuntor mecánico se establecerá un arco eléctrico interno entre los contactos y la corriente I principal continuará fluyendo a través del arco eléctrico. Si el conmutador mecánico opera a alta tensión, el arco eléctrico solamente se extinguirá si ocurre un cruce por cero de corriente, natural o forzado por medios artificiales.

- 45 En los sistemas AC, la corriente I principal tiene cruces por cero naturales y se extinguirá el arco eléctrico en tal cruce por cero, tan pronto como la separación de contactos sea suficiente para presentar una capacidad de resistir la tensión que exceda la tensión que aparece después de la extinción de corriente. En cortocircuitos, la corriente típicamente primero aumenta hacia un valor pico muy alto antes de que se acerque a cualquier cruce por cero. Entonces puede ser deseable realizar una interrupción instantánea antes de que la corriente haya alcanzado su valor pico sin esperar el cruce por cero. Este planteamiento, conocido como interrupción por limitación de corriente de la corriente principal, se dilucida en la Fig. 5.

Cuando el sistema de transmisión de potencia utiliza tensión directa, como los sistemas HVDC, la corriente no presenta ningún cruce por cero natural. La corriente aumenta bastante hacia un valor muy alto en fallos en uno o ambos de los sistemas 100, 200 interconectados. Entonces se requiere una intervención rápida de un sistema de interrupción de corriente con el fin de evitar un colapso total del sistema de potencia interconectado.

- 5 Desde una perspectiva del disyuntor, la interrupción instantánea por limitación de corriente en un sistema AC es equivalente a interrumpir la corriente continua en un sistema DC debido a que en ambos casos se desea interrumpir la corriente a través del disyuntor 1 mecánico en ausencia de cualquier cruce por cero natural.

10 La invención presenta un aparato y un método para realizar una interrupción rápida de la corriente I principal a través del disyuntor 1 mecánico. Cuando este último está siendo controlado para operar con el fin de interrumpir una corriente I principal, la fuente 4 de tensión controlable se usa para inyectar energía en el circuito 3 resonante, forzando por ello un aumento rápido de la amplitud  $A_{lo}$  de una corriente alterna  $I_{lo}$  que fluye en un bucle que contiene la primera 15 y la tercera 17 ramas de circuito en paralelo, por lo cual se desarrolla un cruce por cero de la corriente  $I_{sw}$  a través del disyuntor 1 mecánico principal, cuando la amplitud de corriente alterna  $A_{lo}$  excede la amplitud  $A_I$  de corriente principal.

15 La corriente I principal se transferirá temporalmente a la rama 17, una vez que la corriente  $I_{sw}$  a través del conmutador 1 mecánico se haya extinguido en su cruce por cero, y finalmente conmutará a la rama 16, comprendiendo el dispositivo 2 de absorción de energía, limitador de tensión. La tensión de protección del dispositivo 2 debe superar la tensión de accionamiento más alta en las secciones 100, 200 interconectadas, con el fin de eliminar la corriente I principal. La rama 17, conectada en paralelo con el dispositivo 2, debe resistir la tensión de protección completa de este último dispositivo. En la medida que la fuente 4 de tensión solamente proporciona una tensión de salida baja, el circuito 3 resonante pasivo incluye preferiblemente un condensador en serie que tiene la capacidad de resistir la alta tensión requerida.

20 La fuente 4 de tensión se controla para inyectar energía en el circuito 3 resonante con el fin de forzar un aumento rápido de una corriente alterna  $I_{lo}$  mientras que la corriente fluye a través del conmutador 1 principal. En un primer planteamiento de control para la fuente 4 de tensión se explota una realimentación positiva de la dirección de corriente medida a través del enlace 3 resonante. La fuente 4 de tensión aparece entonces como una resistencia negativa artificial insertada en el circuito. El valor de la resistencia negativa se puede seleccionar deliberadamente por diseño. En un segundo planteamiento de control para excitar el circuito 3 resonante inyectando energía, la fuente 4 de tensión se controla para producir una tensión de salida con una frecuencia próxima a la frecuencia de resonancia. La frecuencia se puede variar con el fin de controlar la tasa de aumento de la amplitud  $A_{lo}$  de la corriente  $I_{lo}$  de oscilación. Se pueden usar otros métodos de control para la corriente  $I_{lo}$  de oscilación. Además, debido al uso de una fuente 4 de tensión controlable, la inyección de energía en el circuito 3 resonante se puede iniciar antes de que haya ocurrido la separación de contactos en el disyuntor 1 principal.

25 En una realización alternativa de una disposición para interrumpir corriente, un conmutador 5 de desconexión está conectado en serie con la disposición 10 de interrupción descrita con referencia a la Fig. 4. Esta disposición se muestra en la Fig. 6. Cuando la corriente I principal ha sido interrumpida por la disposición 10, el dispositivo 2 de absorción de energía, limitador de tensión, no conduce ninguna corriente en la medida que la tensión entre los terminales 11, 12 es menor que su tensión de protección. En consecuencia, las secciones 100, 200 permanecen conectadas solamente a través de la rama que consta del circuito 3 resonante en serie con la fuente 4 de tensión. Esta rama contiene un condensador en serie pequeño y por lo tanto el conmutador 5 de desconexión se puede abrir sin ningún arco eléctrico sostenido. Cuando está abierto, el conmutador 5 de desconexión proporciona una separación física en la conexión eléctrica entre las secciones 100, 200 del sistema de potencia.

30 En un esquema para operar la conexión entre las secciones 100, 200 del sistema de potencia, el seccionador 5 se usa para cerrar la conexión. En este caso, el circuito 3 resonante se puede descargar una vez que se ha abierto el seccionador 5, y el conmutador 1 principal entonces se puede cerrar sin ningún pulso de descarga. La disposición 10 por ello llega a estar lista para realizar la interrupción de corriente inmediatamente en el reenganche del seccionador 5.

35 En otro esquema para operar la conexión entre las secciones 100, 200 del sistema de potencia, el conmutador 5 de desconexión se cierra antes que el conmutador 1 principal mecánico. El primero entonces se debe diseñar para permitir que ocurra el impulso de corriente que carga el condensador del circuito resonante, cuando se cierra. Además, en este caso, el conmutador 1 principal debe resistir el impulso de descarga que aparece cuando se cierra.

40 La fuente 4 de tensión controlable es preferentemente un convertidor de fuente de tensión estático. Se puede implementar de muchas formas usando diferentes tipos de semiconductores. Las Fig. 7a-e representan una serie de posibles diseños de convertidor como ejemplos de topologías de circuitos útiles. Típicamente, tal convertidor utiliza al menos un enlace 41 (o 41a, 41b) DC, que típicamente consta de un banco de condensadores DC. Este último se puede complementar con baterías o cualquier otra fuente de tensión DC. El enlace DC se puede alimentar por cualquier fuente de alimentación auxiliar aislada, dispositivo de generación DC local como, por ejemplo, pilas de combustible, células fotovoltaicas o almacenamiento de energía de cualquier tipo. La frecuencia de la tensión de salida del convertidor aparece preferiblemente en el rango de 5-25 kHz. La tensión de enlace DC, que determina la

- clasificación de tensión de los semiconductores en el convertidor, es solamente una fracción de la tensión de protección del dispositivo 2 de absorción de energía. Obsérvese que la conexión en serie de varios puentes con enlaces DC separados se puede utilizar con el fin de lograr alta tensión de salida sin la necesidad de usar cadenas con conexión en serie directa de dispositivos semiconductores. Los semiconductores y el enlace DC se deben diseñar para resistir altas corrientes de descarga o sobretensiones o ser equipados con medios de protección adecuados.
- Los circuitos en las Fig. 7a-f usan una o dos etapas de fase de medio puente. En las Fig. 7a y 7c, solamente se usa un medio puente. Se puede obtener una tensión de salida simétrica (con ambas polaridades), si los puntos medios de la etapa de fase y del enlace DC se usan respectivamente como terminales de salida como se muestra en la Fig. 7a, mientras que la tensión unipolar y la tensión cero estarán disponibles cuando el punto medio de la etapa de fase y uno los carriles de enlace DC sirven como terminales de salida como en la Fig. 7c. Si el convertidor está configurado como un puente en H usando dos etapas de fase como en las Fig. 7b, 7d y 7e, puede producir tensiones de salida con cualquiera de las dos polaridades así como tensión cero. En las topologías mostradas en las Fig. 7b-e, la corriente  $i_o$  de oscilación desvía totalmente el enlace DC cuando la tensión de salida es cero.
- Si los puentes semiconductores están bloqueados, es decir, no se encienden los dispositivos semiconductores activos, la corriente  $i_o$  de oscilación pasará a través de los diodos en los brazos del convertidor, cargando el enlace DC. Como resultado, la corriente de oscilación será suprimida por la tensión opuesta, cuya amplitud está determinada por la tensión en el enlace 41 (o 41a, 41b) DC.
- Ejemplos de disposiciones de protección destinadas a proteger el convertidor electrónico de potencia (semiconductor y enlace DC) contra sobrecorrientes y sobretensiones se muestran en la Fig. 8a y la Fig. 8b, respectivamente.
- En las Fig. 7a-e, se han indicado semiconductores de tipo MOSFET, IGBT, IGCT/GTO y tiristores. Las tres primeras familias de semiconductores tienen capacidad de extinción de corriente inherente y se pueden conmutar cerca del cruce por cero de la corriente  $i_o$  de oscilación. El encendido del tiristor, por otra parte, se debe retrasar después del cruce por cero de la corriente  $i_o$  de oscilación con el fin de permitir que su tiristor complementario de etapa de fase se recupere después de la conducción.
- Preferiblemente, el circuito 3 resonante comprende solamente elementos pasivos. Principalmente, los componentes son lineales, sin embargo, algunas veces también se pueden incluir dispositivos no lineales, por ejemplo, varistores que limitan el esfuerzo de tensión sobre componentes como condensadores o reactores.
- La fuente 4 de tensión controlable tiene una capacidad de manejo de tensión muy limitada, muy por debajo de la tensión de protección en el dispositivo 2 de absorción de energía. Por lo tanto, es necesario que el circuito 3 resonante conectado en serie resista una alta tensión a corriente cero. Este requisito se cumple, si el circuito 3 resonante comprende al menos un condensador 31 conectado en serie, como se muestra en la realización de la Fig. 9. El condensador se debe clasificar para resistir la tensión de protección que ocurre a través del dispositivo 2 de absorción de energía limitador de tensión. Además, el circuito se revela resonante, si al menos un inductor 32 está conectado en serie con el condensador.
- El circuito 3 resonante puede adoptar muchas configuraciones diferentes, algunas de las cuales se muestran en las Fig. 10 a-c.
- La corriente  $i_o$  de oscilación solamente existe durante períodos transitorios mientras que su amplitud  $A_{io}$  aumenta para exceder la magnitud  $A_I$  de la corriente  $I$  principal. Es adecuado si la tensión del condensador en cualquier otro momento se adapta a su valor promedio, que se determina por la tensión a través del conmutador 1 principal y la fuente 4 de tensión. Esta condición se logrará automáticamente, si el condensador 31 está equipado con unos medios de descarga, por ejemplo, con un resistor 33 lineal o no lineal conectado en paralelo, véase la Fig. 9. Aunque el tiempo de descarga debería ser sustancialmente más largo que el tiempo necesario para la excitación de  $i_o$ , todavía puede ser bastante corto, en el intervalo de hasta cinco milisegundos. La disposición es específicamente ventajosa, cuando la disposición de interrupción de corriente incluye un conmutador 5 de desconexión. En este caso, el condensador se descargará completamente de modo que el conmutador 1 principal pueda reengancharse sin ninguna corriente de descarga, haciendo por ello que el conmutador 1 principal esté listo para interrumpir la corriente  $I$  inmediatamente, cuando el conmutador 5 de desconexión se cierre.
- Las configuraciones de medios alternativos para descargar un condensador se muestran en las Fig. 11a-c.
- El circuito 3 resonante pasivo en la Fig. 9 se puede implementar como una conexión en serie simple de un condensador 31 y un inductor 32. Sin embargo, como se ha indicado anteriormente, realizaciones adicionales de una disposición según la invención pueden usar otras estructuras para implementar el circuito 3 resonante, véanse las Fig. 10a-c.
- La propiedad requerida de la corriente  $i_o$  de oscilación es que su amplitud sobrepasa la amplitud de la corriente  $I$  principal, de modo que se crean cruces por cero artificiales en la corriente  $i_{sw}$  que pasa a través del conmutador 1 principal. La corriente de oscilación ideal es, de esta manera, una onda cuadrada, cuya amplitud apenas excede la

amplitud de la corriente  $I$  principal. Esta forma de onda ideal se puede crear si el circuito LC en serie pasivo se sustituye por una estructura 9 como la línea de transmisión de Heaviside, es decir, con un circuito que contiene inductancia en serie distribuida,  $l$  [H/km] y capacitancia de derivación distribuida,  $c$  [F/km]. La estructura se ilustra en la Fig.12. Se caracteriza por su impedancia,

$$z_0 = \sqrt{\frac{l}{c}}$$

5

[ $\Omega$ ] y su velocidad de fase,

$$v_p = \frac{1}{\sqrt{lc}}$$

[km/s]. Un condensador se inserta en serie con la fuente 4 de tensión con el fin de recoger la tensión a través del conmutador 1 principal, cuando está abierto.

10 La Fig. 12 muestra también cómo se puede controlar la fuente 4 de tensión con el fin de obtener la forma de onda de onda cuadrada deseada. La corriente  $i_0$  en el extremo alejado se mide mediante un sensor 90 y un controlador 91 detecta su signo y controla la fuente 4 de tensión para que esté en oposición de fase con la corriente medida. Esta disposición crea una corriente de oscilación de tipo onda cuadrada cuya frecuencia se determina por la longitud,  $L$  [km], de la estructura según la fórmula

$$f_{osc} = \frac{v_p}{2\pi L}$$

15

[Hz] La relación entre la tensión y la corriente se ilustra en la Fig. 13.

Existen varias estructuras que tienen inductancia y capacitancia distribuidas. Algunas de ellas están representadas en las Fig. 14a-d. Las estructuras pueden ser coaxiales o planas. Los cables normales tienen una estructura coaxial y típicamente presentan una impedancia característica  $z_0$  en el rango de 20-30  $\Omega$  y una velocidad de fase alrededor de la mitad de la velocidad de la luz. Se requerirán, de esta manera, longitudes de cable de 1 km para obtener una frecuencia de oscilación de alrededor de 10-20 kHz. Tal longitud puede hacer que el uso de cables no sea económico y entonces se pueden utilizar circuitos que se aproximen al comportamiento de la línea de transmisión de Heaviside usando capacitancia e inductancia agrupadas. Tales aproximaciones típicamente contienen uno o varios enlaces  $\pi$  como se muestra en la Fig. 14d.

20

25 El conmutador 1 principal debería tener un sistema de accionamiento mecánico rápido que haga posible lograr la separación de contactos en milisegundos. Preferiblemente, se usan conmutadores de vacío, o bien un conmutador único o bien una cadena de dispositivos conectados en serie. Debido a la física de su mecanismo de conducción, pueden extinguirse muy rápido (rango de microsegundos o más rápido) en o incluso antes del cruce por cero de corriente. Además, la carrera mecánica requerida es corta y la masa del contacto móvil es pequeña, cuando se compara con otros tipos de interruptores mecánicos.

30

También se puede utilizar una conexión en serie de un conmutador de vacío de media tensión y un disyuntor de alta tensión de otro tipo. El conmutador principal también se puede conectar en serie con un conmutador electrónico de potencia de baja tensión.

Además, el conmutador 1 principal se puede implementar mediante varios conmutadores mecánicos conectados en serie, que se operan de modo que los instantes de separación de contactos de los conmutadores individuales se distribuyan en el tiempo. Este procedimiento se puede usar para salvaguardar que se haya alcanzado suficiente capacidad de resistir tensión en al menos un conmutador mecánico individual, cuando la corriente a través de la cadena de conmutadores cruza por cero.

35

La fuente 4 de tensión controlable se manipulará para controlar la amplitud de la corriente  $i_0$  de oscilación y para hacer que los cruces por cero en la corriente a través del conmutador 1 principal aparezcan en instantes de tiempo adecuados, es decir, cuando la separación de contactos sea suficiente para proporcionar suficiente capacidad de manejo de tensión. Una buena estimación de la separación de contactos como función del tiempo se puede lograr si se proporcionan uno o más sensores para la posición y/o velocidad instantáneas.

40

Una separación de contactos de detección de sensor en el conmutador 1 principal puede contribuir con información adecuada al sistema de control y monitorización para la fuente 4 de tensión controlable. Preferiblemente, tal detector

45



se puede basar en la observación de cualquier cantidad física que esté relacionada con la separación de contactos. Tales fenómenos son la aparición de caída de tensión de arco eléctrico, fenómenos acústicos, óptico, térmico, de rayos X o cualquier otro tipo de radiación electromagnética o ruido.

5 Preferiblemente, el dispositivo 2 de absorción de energía es un Varistor de Óxido Metálico (MOV), pero alternativamente se pueden usar otros dispositivos que presentan resistencia con una dependencia de tensión fuertemente no lineal o una disposición limitadora de tensión similar. Opcionalmente, se puede usar un circuito de sujeción, que consiste en un condensador cargado conectado a través de diodos. Diversas implementaciones del dispositivo 2 de absorción de energía se muestran en las Fig. 15a-c.

10 En una realización alternativa de una disposición para interrumpir corriente según la invención, se ha añadido una cuarta rama 18 a las tres ramas 15, 16, 17 en la disposición 10 de interrupción, véase la Fig. 16a. El propósito de la rama añadida es ofrecer una ruta conductora para la corriente inversa, que surge cuando las corrientes I e lo tienen el mismo signo y la amplitud de la corriente de oscilación  $I_{lo}$  excede la de la corriente principal  $I_l$ . El sistema de control actúa para hacer esta ruta conductora, en la dirección opuesta a la corriente  $I_l$  principal, cuando se excita la corriente  $I_{lo}$  de oscilación. La corriente inversa entonces conmuta a la rama 18 cuando está presente la separación de contactos y por consiguiente la corriente cero pasa a través del conmutador 1 mecánico, que entonces restablece su capacidad de resistir la tensión dieléctrica. Cuando la corriente  $I_{lo}$  de oscilación oscila hacia atrás, y la corriente a través de la rama 18 de nuevo cruza por cero, la rama 17 que comprende el circuito 3 resonante y la fuente 4 de tensión controlable será la única ruta que permanece abierta para la corriente  $I_l$  principal. La corriente  $I_l$  principal carga el condensador 31 hasta que la tensión alcanza el nivel donde el dispositivo 2 de absorción de energía limitador de tensión comienza a conducir. La tensión de protección del dispositivo 2, que excede la diferencia de tensión entre las fuentes en las secciones 100,200 del sistema de potencia, entonces fuerza la corriente  $I_l$  principal a cero.

15 La rama 18 puede comprender una disposición 6 de circuito constituida por dos válvulas 61, 62 unidireccionales conectadas en antiparalelo, véase la Fig. 16a. Cada válvula unidireccional comprende al menos un tiristor. En algunas aplicaciones, la interrupción de corriente solamente se requiere para corrientes  $I_l$  que tienen una dirección determinada. En tales casos, podría ser posible implementar solamente la válvula de tiristor con la dirección de conducción opuesta a la corriente  $I_l$  principal.

20 En una realización alternativa de una disposición para interrumpir corriente según la invención, la rama que comprende el conmutador 1 principal incluye un reactor 8 saturable conectado en serie como se muestra en las Fig. 17a-b. El propósito es reducir la derivada de corriente en el cruce por cero, lo cual es beneficioso para ciertos disyuntores mecánicos con respecto a su capacidad de manejo de tensión inmediatamente después de la interrupción de corriente. El principio se aclara en la figura. El reactor 8 saturable puede tomar la forma de un núcleo magnético con espacio de aire hecho de hierro o ferrita que encierra un conductor principal como se muestra en el esquema en la Fig. 17c.

25 Con el fin de asegurar que la corriente inversa mencionada en la sección precedente realmente conmuta a la cuarta rama 18, se puede conectar un conmutador 7 de semiconductor de baja tensión en serie con el conmutador 1 mecánico, véase la Fig. 18. El conmutador 7 de baja tensión se puede controlar solamente para permitir una corriente dirigida como la corriente de bloqueo de la corriente  $I_l$  principal en la dirección inversa. Se debería controlar en coordinación con el control de las válvulas 61, 62 en la rama 18.

30 Varias disposiciones 10 de interrupción de corriente, descritas anteriormente, pueden estar dispuestas en serie entre las secciones 100, 200 en el sistema de potencia como se muestra en la Fig. 19. Cerrando/abriendo los conmutadores 1 principales en las disposiciones 10, un número variable de dispositivos 2 de absorción de energía limitadores de tensión se pueden insertar en la conexión entre las secciones 100, 200 del sistema de potencia, con el fin de limitar la corriente de fallo que fluye a través de la interconexión. En la medida que se acumularán grandes cantidades de energía en estos dispositivos, solamente es posible mantener tales condiciones operativas durante un corto período de tiempo, máximo decenas de milisegundos. Esta vez, sin embargo, puede ser suficiente limitar la corriente de cortocircuito en una red durante el tiempo requerido para determinar qué disyuntores en el sistema operarán en una perturbación específica.

35 Se describirá ahora un método para controlar la disposición 10 de interrupción descrita anteriormente. Para ejecutar este método, se requiere un sistema de control para coordinar la apertura del conmutador 1 mecánico y la excitación de la corriente de oscilación controlando la fuente 4 de tensión.

40 La apertura del conmutador 1 mecánico simplemente comienza dando el comando "ABRIR" al actuador mecánico, que comienza a transferir el contacto móvil lejos del contacto fijo de modo que ocurre una separación de contactos. El tiempo de retardo mecánico,  $t_{mec}$ , es decir, el tiempo que transcurre desde que el comando "ABRIR" se da hasta que se haya establecido la separación de contactos, normalmente se conoce con buena precisión y se puede usar por el sistema de control. Aunque el tiempo de retardo mecánico, en el rango de 1-5 ms, parece ser muy corto desde el punto de vista mecánico, es bastante largo desde una perspectiva de electrónica de potencia. Obsérvese, por ejemplo, que se completarán diez ciclos completos a 10 kHz durante un milisegundo, véanse las Fig. 20a-b, que muestran el principio de la acumulación de la amplitud de corriente de oscilación en el circuito 3 resonante por la

acción de la fuente 4 de tensión de electrónica de potencia controlable rápida. Consideremos el circuito LC ilustrado en la Fig. 20a. El circuito se caracteriza por su frecuencia de resonancia

$$f_{osc} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{osc}C_{osc}}}$$

y su reactancia

$$x_0 = \sqrt{\frac{L_{osc}}{C_{osc}}}$$

(a la frecuencia de resonancia). El circuito se excita por una fuente de tensión que se puede suponer que produce tensión de ambas polaridades. La amplitud de la tensión aplicada es  $U_{osc}$  y su dirección se controla por medios de electrónica de potencia para seguir la dirección de la corriente  $I_o$ . La relación entre la amplitud de tensión  $U_{osc}$  aplicada y la reactancia característica  $x_0$  define una corriente unitaria, que se puede denotar como  $I_{osc}$

$$I_{osc} = \frac{U_{osc}}{x_0}$$

Inicialmente, la fuente 4 de tensión produce una tensión de salida constante  $-U_{osc}$ , que se bloquea por el condensador 31 en serie. Cuando se activa la excitación, una tensión de salida inversa se realizará y, en consecuencia, se aplica un escalón de tensión con amplitud  $2xU_{osc}$  en el circuito de resonancia. Siguiendo esta primera inversa de la tensión de salida se creará un medio ciclo de corriente sinusoidal con amplitud  $2xI_{osc}$  si se desprecian las pérdidas. Su pico ocurre después de un cuarto de ciclo de la frecuencia de resonancia. Cuando la corriente cruza por cero después de un medio ciclo completo, se impone una nueva inversión y la amplitud de la corriente de oscilación aumenta a  $4xI_{osc}$ . De manera similar, en cada cruce por cero de la corriente de oscilación, su amplitud aumenta con  $2xI_{osc}$ . Por consiguiente, un cuarto de ciclo después de  $N$  inversiones (medios ciclos), la amplitud de la corriente de oscilación idealmente es  $2xNxI_{osc}$ . Después de tres ciclos y un cuarto, es decir, después de siete inversiones, la amplitud de la corriente de oscilación idealmente es  $14xI_{osc}$ .

Obsérvese que se obtiene un aumento sustancial de la amplitud de corriente de oscilación en muy poco tiempo. Consideremos, por ejemplo, un caso donde una corriente de 10 kA se interrumpirá con una tensión de protección de 100 kV. Un circuito LC con reactancia característica de  $x_0 = 5 \Omega$  puede ser adecuado en tal caso. Tomando en consideración las pérdidas la amplitud de la corriente de oscilación después de cuatro ciclos es de alrededor de  $14xI_{osc}$  y excederá de 10 kA con 10% si  $I_{osc} = 1,1x10/14 = 0,79$  kA. La tensión de enlace DC requerida es  $U_{osc} = x_0xI_{osc} = 5x0,79 = 3,9$  kV, que es solamente el 3,9% de la tensión de protección. Además, el tiempo para alcanzar esta amplitud es de solamente cuatro ciclos, es decir, 333  $\mu$ s a 12 kHz, que es sustancialmente más corto que el tiempo de retardo mecánico,  $t_{mec}$ . La clasificación de tensión de los semiconductores en el convertidor electrónico de potencia llega a ser  $2xU_{osc}$ , es decir, 7,8% de la tensión de protección.

Este ejemplo indica que la disposición 10 de interrupción de corriente según esta invención permite una reducción sustancial de la cantidad de dispositivos semiconductores cuando se compara con otras disposiciones conocidas, que típicamente requieren que se deberían usar semiconductores clasificados para la tensión de protección completa con ambas polaridades.

La Fig. 21 muestra el curso de la operación de interrupción de corriente como se ha descrito anteriormente. Típicamente, la interrupción de corriente ocurre cuando la corriente  $I_o$  de oscilación tiene la misma dirección que la corriente  $I$  principal y la amplitud de la corriente  $I_o$  de oscilación pasa la amplitud de la corriente  $I$  principal. Entonces la tensión a través del conmutador 1 principal experimenta un cambio de tensión lineal, cuando la corriente  $I$  principal carga el condensador 31 hasta que la tensión a través del dispositivo 2 de absorción de energía limitador de tensión alcanza la tensión de protección de este último y asume la corriente principal.

Cuando la disposición 10 de interrupción de corriente incluye una cuarta rama 17, que contiene medios para llevar la corriente "inversa", es decir, una corriente de exceso  $I_{sw} = I_o - I$  que ocurre cuando, durante la operación de interrupción, la corriente  $I_o$  de oscilación y la corriente  $I$  principal tienen la misma dirección y la amplitud de la corriente de oscilación excede la amplitud de la corriente  $I$  principal. La interrupción de corriente ocurre entonces cuando la amplitud de la corriente de oscilación disminuye. Un aumento lineal de la tensión del condensador resulta hasta que la tensión ha alcanzado la tensión de protección en el dispositivo 2 de absorción de energía.

Preferiblemente, se proporciona un control coordinado de la apertura del conmutador 1 mecánico y la excitación de la corriente  $I_o$  de oscilación con el fin de realizar una interrupción de corriente exitosa de la corriente  $I$  principal.

Cuando la disposición 10 de interrupción de corriente incluye un conmutador 5 de desconexión, medios 6 de conducción inversa, o un conmutador 7 auxiliar de baja tensión que ayuda a la conmutación de la corriente I principal a los medios 61, 62 de conducción inversa, el control de los conmutadores correspondientes se podría incluir preferiblemente en el esquema de control coordinado.

- 5 La secuencia de la ejecución de los pasos está predefinida preferiblemente de manera que los cruces por cero en la corriente  $I_{sw}$ , que pasan a través del disyuntor mecánico, ocurren cuando suficiente intensidad de aislamiento dieléctrico para resistir el límite de tensión del dispositivo de absorción de energía de la segunda rama en paralelo se ha acumulado en el disyuntor después de la separación de contactos.

- 10 La coordinación de los pasos de control aspira a asegurar que se haya establecido una separación de contactos suficiente con el fin de proporcionar suficiente capacidad de resistencia de tensión en el conmutador 1 mecánico, cuando se crea el cruce por cero en la corriente que pasa a través del conmutador 1 mecánico por la corriente  $I_o$  de oscilación, como se ilustra en la Fig. 22.

- 15 A menudo, el tiempo de retardo mecánico está bien definido y es conocido, y el curso de la excitación de la corriente de oscilación está bien controlado. Si este es el caso, las señales dadas a los conmutadores se dan preferiblemente en una secuencia de tiempo definida basada en retardos de tiempo con referencia al comando para abrir el conmutador 1 mecánico, como se muestra en la Fig. 23. El retardo de tiempo se puede variar en dependencia del valor medido de la corriente I principal.

- 20 Preferiblemente, las señales dadas a los conmutadores se determinan en dependencia de las señales de cualquier sensor que detecte que ha ocurrido la separación de contactos o que indique la posición de contacto móvil durante la operación de apertura. Opcionalmente se pueden usar retardos de tiempo fijos o retardos de tiempo variables que dependen de los valores medidos de la corriente I principal y/o la corriente  $I_o$  de oscilación o el valor detectado de la velocidad de contacto móvil. Algunos ejemplos se muestran en la Fig. 24.

- 25 Si el tiempo para excitar la amplitud  $A_{I_o}$  de corriente de oscilación para exceder el nivel de corriente principal  $A_I$  es más largo que el tiempo de retardo mecánico,  $t_{mec}$ , puede ser ventajoso iniciar la excitación tan pronto como la corriente I principal exceda un nivel inferior que el nivel de disparo normal, manteniendo la amplitud de la corriente de oscilación cerca de la amplitud de la corriente I principal esperando la decisión final de ejecutar la interrupción de corriente, en cuyo caso se ordena que el conmutador mecánico opere y la amplitud de la corriente de oscilación se controla para exceder la amplitud  $A_I$  de corriente principal, o no completar la interrupción de corriente, en cuyo caso se inhibirá la excitación de la corriente de oscilación. La amplitud de la corriente de oscilación se puede mantener en un nivel más o menos constante inhibiendo las conmutaciones seleccionadas en la fuente 4 de tensión controlada.

- 30 Ocurren situaciones donde se han conectado varias disposiciones 10 de interrupción de corriente en serie con el objetivo de limitar la corriente I principal que pasa entre las secciones 100, 200 en el sistema de potencia. Típicamente, tales instalaciones pueden ser de interés en redes DC que interconectan varias estaciones de HVDC. Tales redes DC pueden contener una serie de disyuntores DC y es importante que, en caso de fallo en la red, solamente se opere el disyuntor DC pertinente. La selección adecuada puede requerir algún tiempo, del orden de unos pocos milisegundos. Durante ese tiempo, la inserción de un número controlable de disposiciones 10 de interrupción de corriente hace posible evitar un aumento adicional de la corriente I principal.

- 35 La disposición para interrumpir corriente según la invención se puede usar en diferentes configuraciones de red de potencia, de las cuales tres se ilustran en la Fig. 25, mostrando una red de potencia AC, y las Fig. 16a-b, mostrando redes de potencia DC.

- 40 También son concebibles otras realizaciones con respecto a la tercera rama 17 de circuito. Por ejemplo, puede ser preferible usar varias ramas conectadas en paralelo que consisten en unos medios 4 de control de tensión y un circuito 3 resonante como se muestra en la Fig. 27a. De esta forma se puede lograr una amplitud  $A_{I_o}$  de corriente resonante mayor, por lo que una corriente con mayor amplitud  $A_I$  se puede interrumpir por el disyuntor. En caso de que se use tal disposición, preferiblemente los diferentes medios 4 de control de tensión deberían proporcionar aproximadamente la misma tensión, por lo que se minimizan las corrientes que circulan entre estas ramas en paralelo y se puede maximizar la corriente  $I_o$  resonante total.

- 45 Una realización adicional, mostrada en la Fig. 27b, implica una conexión en paralelo de varias ramas que consisten en unos medios 4 de control de tensión en serie con un inductor 32. Esta entidad conectada en paralelo está conectada en serie con al menos un condensador 31 formando de esta manera la tercera rama 17 de circuito de la disposición para interrumpir corriente 10. Los inductores junto con el condensador forman circuitos resonantes que se pueden excitar por los medios de control de tensión. A condición de que los diferentes medios 4 de control de tensión proporcionen aproximadamente la misma tensión, las corrientes resonantes que fluyen a través de cada una de las ramas conectadas en paralelo estarán en fase y sumando juntas, de esta manera, para formar una corriente  $I_o$  resonante total con una amplitud  $A_{I_o}$  mayor que permita la interrupción de las corrientes con mayor amplitud  $A_I$  que sería posible con un medio de control de tensión único.

Las realizaciones mostradas en las Fig. 27a y 27b ambas ofrecen un cierto grado de modularidad por lo que se pueden diseñar disyuntores con diferente capacidad de interrupción de corriente usando diferentes números de

ramas en paralelo que contienen los medios de control de tensión. Por ello, necesitan ser diseñados y suministrados menos tipos de medios de control de tensión, lo que puede ofrecer ahorros de costes.

5 Se han dado realizaciones preferidas de una disposición, un sistema y un método para interrumpir corriente según la invención. Se apreciará que éstas se pueden variar dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas sin apartarse de la idea inventiva.

**REIVINDICACIONES**

1. Una disposición para interrumpir corriente (10) comprendiendo un primer y un segundo terminal (11, 12), al menos una primera (15), una segunda (16), y una tercera (17) ramas de circuito en paralelo dispuestas entre el primer y segundo terminales, estando la disposición (10) adaptada para conectar eléctricamente dos secciones (100, 200) de un sistema de potencia,
- comprendiendo la primera rama (15) de circuito en paralelo un disyuntor (1) principal mecánico,
  - comprendiendo la segunda rama (16) de circuito en paralelo un dispositivo (2) de absorción de energía, y
  - comprendiendo la tercera rama (17) de circuito en paralelo un circuito (3) resonante y unos medios (4) de control de tensión dispuestos en serie con el circuito resonante,
- caracterizada por que
- los medios (4) de control de tensión siendo controlables en uso para inyectar energía al circuito resonante para forzar un aumento rápido de una corriente (I<sub>o</sub>) alterna, en donde la corriente alterna que está fluyendo en un bucle que contiene la primera y la tercera rama de circuito en paralelo en la medida que el disyuntor (1) principal mecánico está siendo controlado para abrirse para interrumpir una corriente (I) principal, y por lo cual se realiza un cruce por cero de la corriente a través del disyuntor (1) principal mecánico en la medida que la amplitud de corriente alterna excede la amplitud de corriente principal.
2. La disposición para interrumpir corriente según la reivindicación 1, comprendiendo además al menos un conmutador (5) de desconexión dispuesto en conexión en serie con al menos uno del primer y segundo terminales (11, 12), y siendo controlable en uso para proporcionar una separación física de las dichas dos redes de potencia.
3. La disposición para interrumpir corriente según la reivindicación 1 o 2, en donde los medios (4) de control de tensión son un convertidor de fuente de tensión estático.
4. La disposición para interrumpir corriente según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el circuito (3) resonante comprende al menos un condensador (31) y al menos un reactor (32) dispuestos en serie.
5. La disposición para interrumpir corriente según la reivindicación 4, en donde al menos un condensador (31) del circuito (3) resonante está provisto con unos medios (33) de descarga.
6. La disposición para interrumpir corriente según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el circuito (3) resonante comprende inductancia en serie distribuida y capacitancia en derivación distribuida, preferiblemente una disposición de cable.
7. La disposición para interrumpir corriente según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el disyuntor (1) mecánico comprende un conmutador de vacío.
8. La disposición para interrumpir corriente según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el disyuntor (1) mecánico comprende un contacto adaptado para moverse durante el proceso de apertura del disyuntor mecánico, y en donde el disyuntor (1) mecánico comprende al menos un sensor.
9. La disposición para interrumpir corriente según la reivindicación 8, en donde dicho al menos un sensor se adapta en uso para determinar al menos una de la posición y la velocidad del contacto durante el proceso de apertura del disyuntor mecánico.
10. La disposición para interrumpir corriente según la reivindicación 8 o 9, en donde dicho al menos un sensor está adaptado para detectar una cantidad física, preferiblemente al menos uno de aparición de caída de tensión de arco eléctrico, fenómenos acústicos y radiación electromagnética o ruido, tales como radiación óptica, térmica o de rayos X.
11. La disposición para interrumpir corriente según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el dispositivo (2) de absorción de energía es un dispositivo (2) de absorción de energía, limitador de tensión.
12. La disposición para interrumpir corriente según la reivindicación 11, en donde el dispositivo (2) de absorción de energía es una resistencia dependiente de tensión no lineal, preferiblemente un Varistor de Óxido Metálico (MOV).
13. La disposición para interrumpir corriente según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la primera rama (15) de circuito en paralelo comprende además un reactor (8) saturable dispuesto en serie con el disyuntor (1) mecánico para ayudar a reducir la tasa de cambio de corriente en la proximidad del cruce por cero de la corriente a través del disyuntor mecánico.
14. La disposición para interrumpir corriente según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además una cuarta rama (18) de circuito en paralelo dispuesta en paralelo con dichas primera (15), segunda (16) y

tercera (17) ramas de circuito en paralelo, estando dicha cuarta rama (18) de circuito en paralelo provista con medios (6) de control para, durante una interrupción de corriente, proporcionar una ruta alternativa para la corriente inversa (I<sub>o</sub>-I) lejos del disyuntor (1) mecánico.

5 15. La disposición para interrumpir corriente según la reivindicación 14, en donde los medios (6) de control comprenden dos tiristores (61, 62) dispuestos en antiparalelo para controlar el flujo de corriente a través de dichos dos tiristores en direcciones opuestas.

10 16. La disposición para interrumpir corriente según las reivindicaciones 14 o 15, en donde la primera rama de circuito en paralelo (15) comprende además un conmutador (7) de semiconductor de baja tensión dispuesto en serie con el disyuntor (1) mecánico, siendo el semiconductor de baja tensión controlable en uso para ayudar a desviar la corriente del disyuntor (1) mecánico principal a la cuarta rama (18) de circuito en paralelo.

17. La disposición para interrumpir corriente según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la disposición para interrumpir corriente es un disyuntor DC.

18. La disposición para interrumpir corriente según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el circuito resonante es un circuito (3) resonante pasivo.

15 19. Un sistema para interrumpir corriente comprendiendo al menos dos disposiciones para interrumpir corriente (10) según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde dichas al menos dos disposiciones para interrumpir corriente (10) están conectadas en serie.

20. Un método para interrumpir corriente en un sistema de potencia usando una disposición para interrumpir corriente (10) según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, comprendiendo el método los pasos de:

20 - abrir el disyuntor (1) mecánico para facilitar la separación de los contactos del disyuntor mecánico y para interrumpir una corriente (I) principal que tiene una amplitud (AI), y

- controlar los medios (4) de control de tensión para excitar una corriente (I<sub>o</sub>) de oscilación que tiene una amplitud (A<sub>lo</sub>) máxima mayor que la amplitud (AI) de la corriente (I) principal interrumpida, para causar un cruce por cero de corriente.

25 21. El método de interrupción de corriente según la reivindicación 20, en donde los pasos de abrir el disyuntor mecánico y controlar los medios de control de tensión se realizan concurrentemente y en coordinación.

22. El método de interrupción de corriente según la reivindicación 20, comprendiendo además uno o más de los pasos de

- abrir el conmutador (5) de desconexión,

30 - operar los medios (6) de control para permitir la conducción en la dirección inversa relativa a la corriente principal a través del disyuntor mecánico, y

- controlar el conmutador (7) de semiconductor para abrir cuando la corriente total a través del disyuntor mecánico atraviesa un cruce por cero.

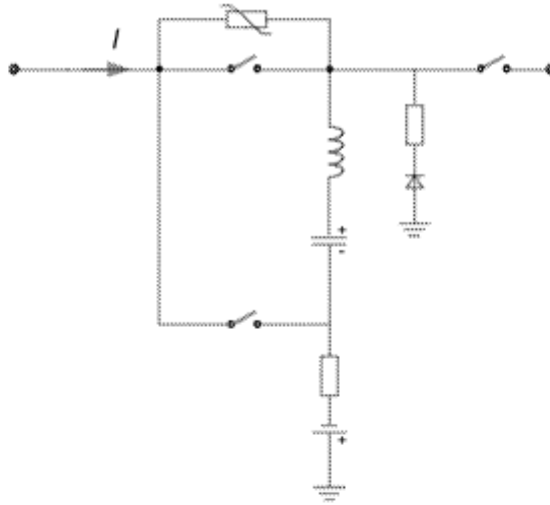
35 23. El método de interrupción de corriente según cualquiera de las reivindicaciones 20-22, en donde la secuencia de la ejecución de los pasos está predefinida de manera que los cruces por cero en la corriente que pasa a través del disyuntor mecánico ocurren en instantes de tiempo óptimos con respecto a la resistencia de aislamiento dieléctrico que se acumula en el disyuntor, cuando los contactos se separan uno de otro.

40 24. El método de interrupción de corriente según la reivindicación 22, donde la secuencia de pasos se ejecuta con retardos de tiempo predefinidos entre los pasos consecutivos, y en donde los retardos de tiempo son constantes o varían dependiendo de la amplitud de la corriente principal a ser interrumpida.

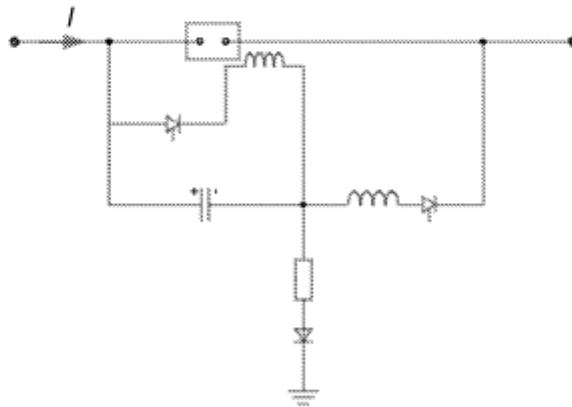
25. El método de interrupción de corriente según la reivindicación 24, en donde los retardos de tiempo predefinidos entre pasos consecutivos se optimizan de modo que la distancia de separación de contactos del disyuntor mecánico sea suficiente para resistir el límite de tensión del dispositivo de absorción de energía de la segunda rama en paralelo en un tiempo total mínimo.

45 26. El método de interrupción de corriente según cualquiera de las reivindicaciones 23 a 25, en donde se usa un sensor para determinar los retardos de tiempo entre los pasos.

50 27. El método de interrupción de corriente según cualquiera de las reivindicaciones 20-26, en donde la ejecución de uno o varios de los pasos es condicional, de modo que una corriente de oscilación, que tiene tal amplitud que ocurren cruces por cero en la corriente (I<sub>sw</sub>) que fluye a través del interruptor (1) mecánico, se excita y mantiene, hasta que se toma una decisión, o bien para ejecutar la secuencia completa de pasos para interrumpir la corriente (1) principal, o bien para no completar la interrupción, en cuyo caso se suprimirá la corriente de oscilación.



**FIG. 1**  
(TÉCNICA ANTERIOR)



**FIG. 2**  
(TÉCNICA ANTERIOR)

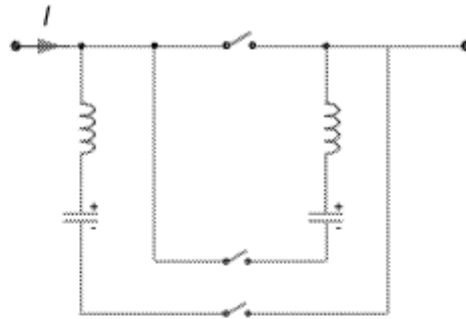


FIG. 3

(TÉCNICA ANTERIOR)

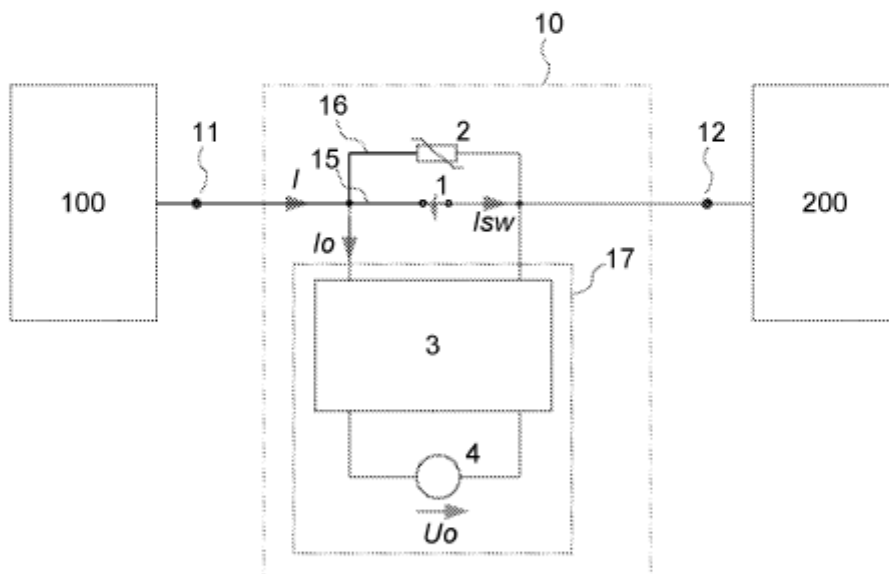


FIG. 4



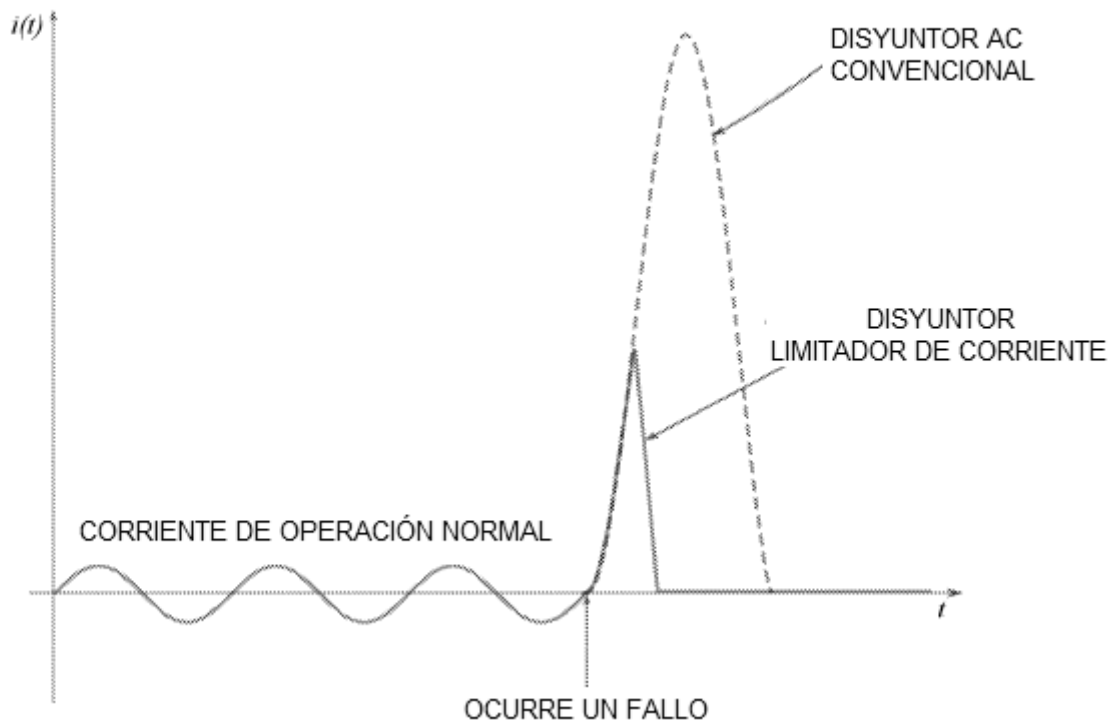


FIG.5

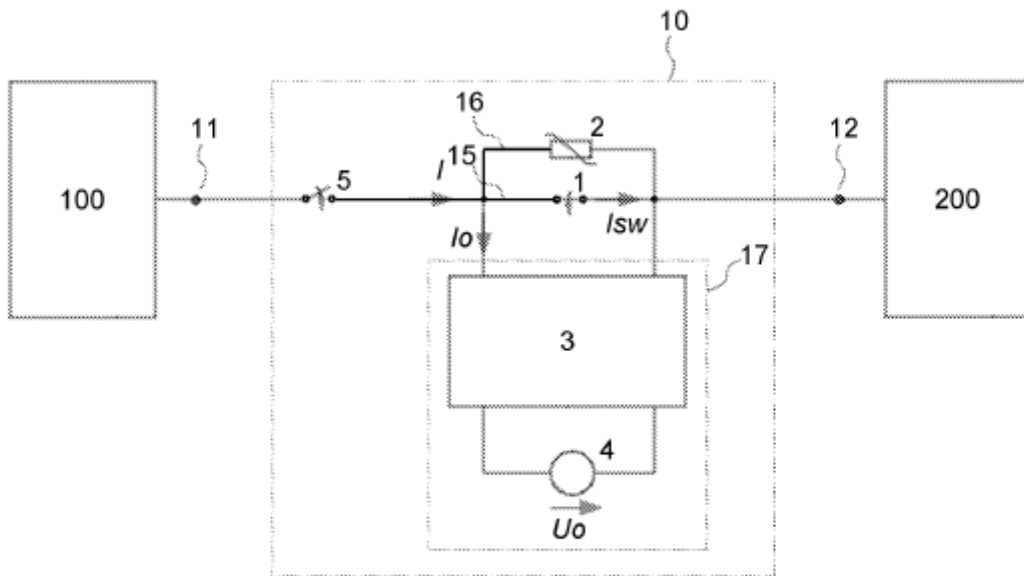


FIG.6

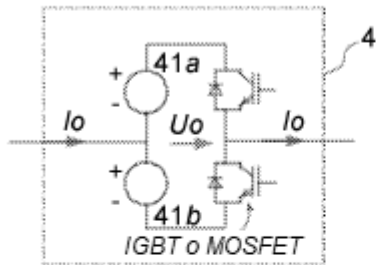


FIG. 7a

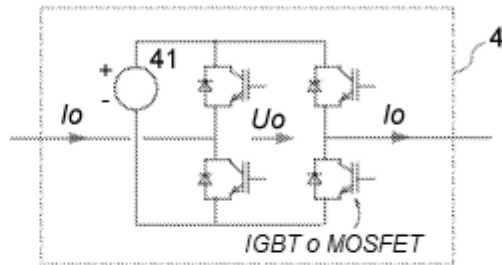


FIG. 7b

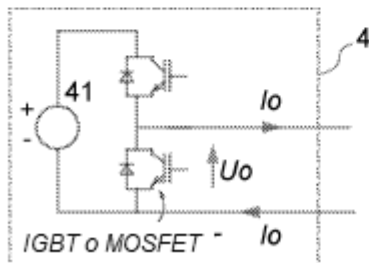


FIG. 7c

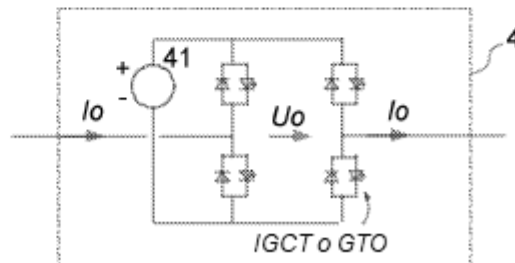


FIG. 7d

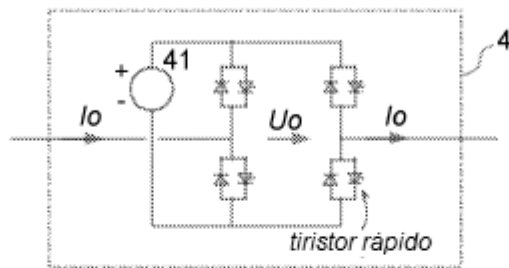


FIG. 7e

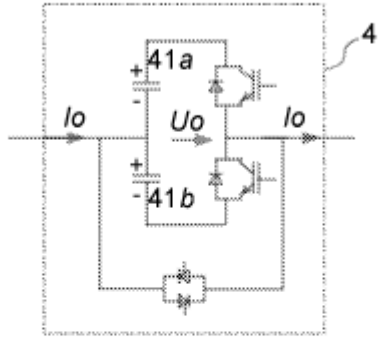


FIG. 8a

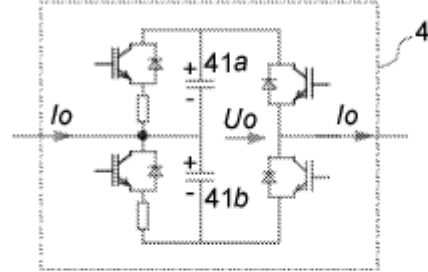


FIG. 8b

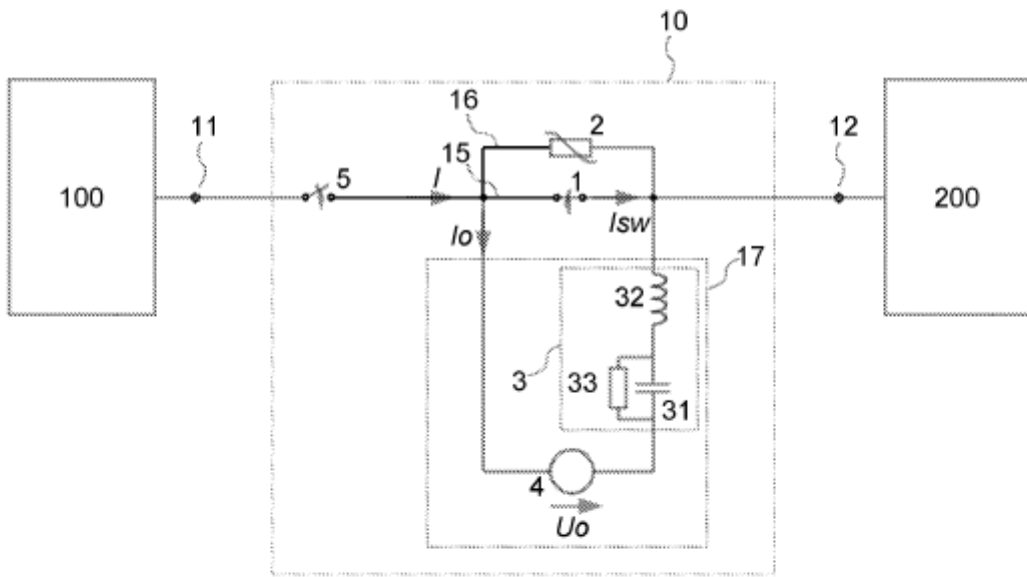


FIG. 9

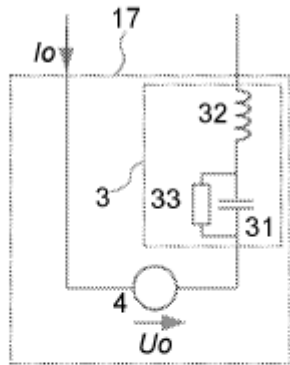


FIG. 10a

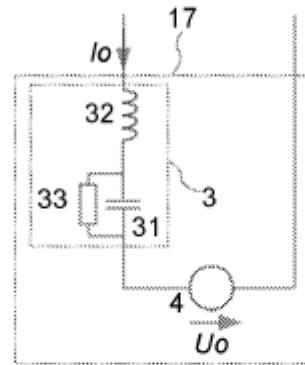


FIG. 10b

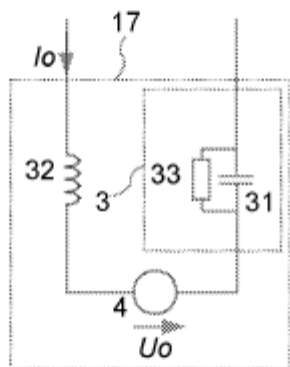


FIG. 10c

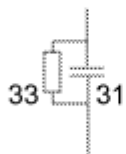


FIG. 11a

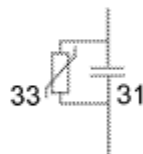


FIG. 11b

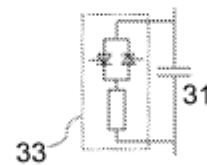


FIG. 11c

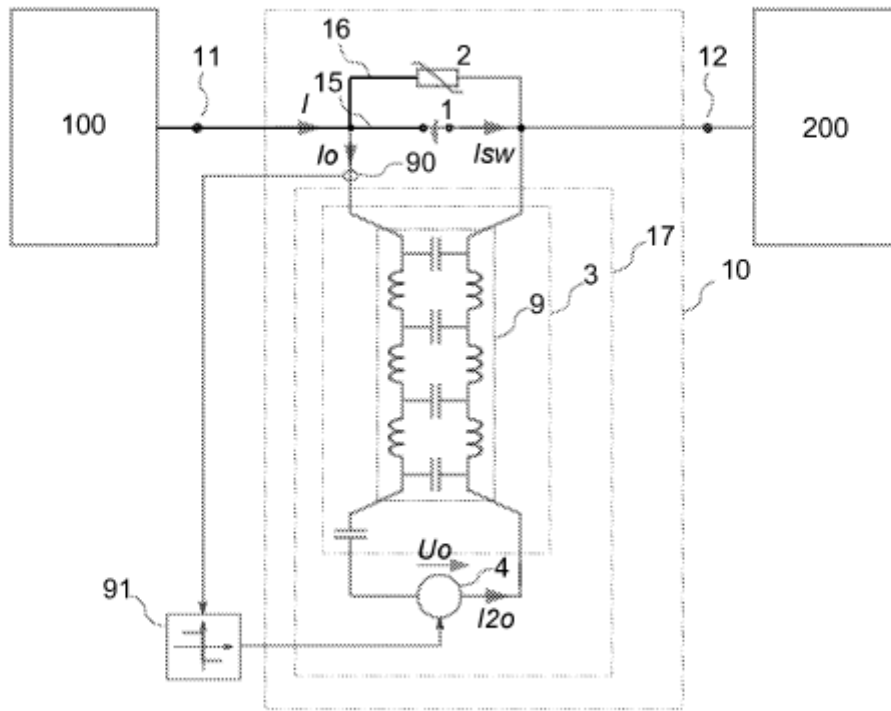


FIG. 12

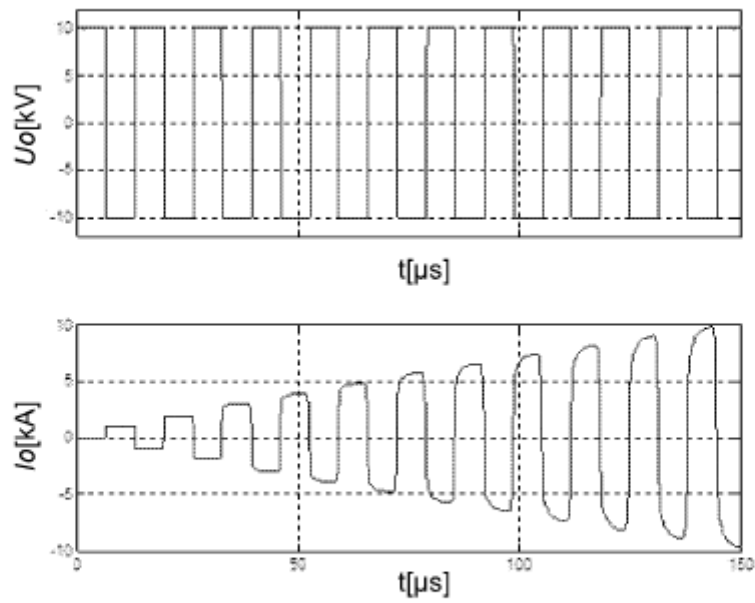


FIG. 13

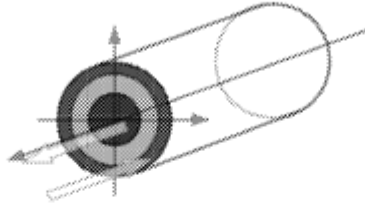


FIG. 14a

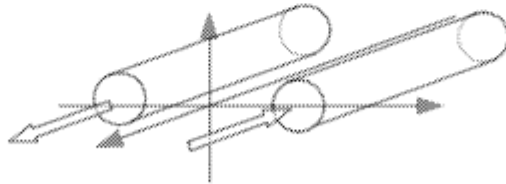


FIG. 14b

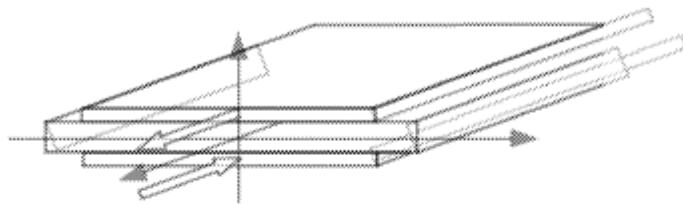


FIG. 14c

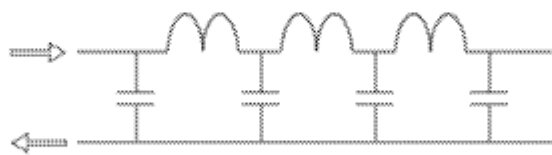


FIG. 14d



FIG. 15a

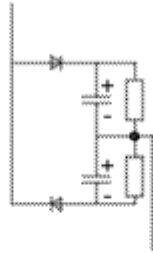


FIG. 15b



FIG. 15c

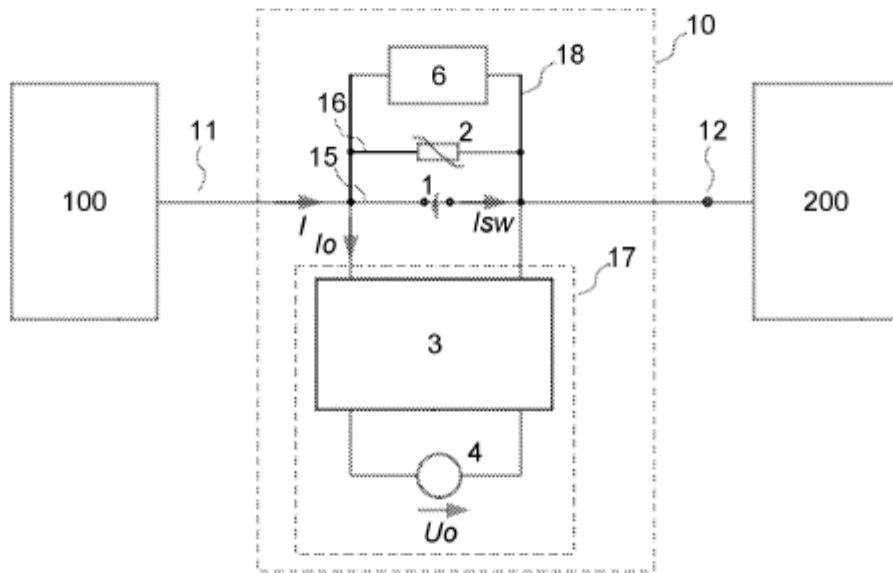


FIG. 16a

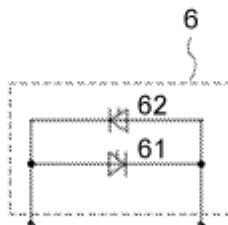


FIG. 16b

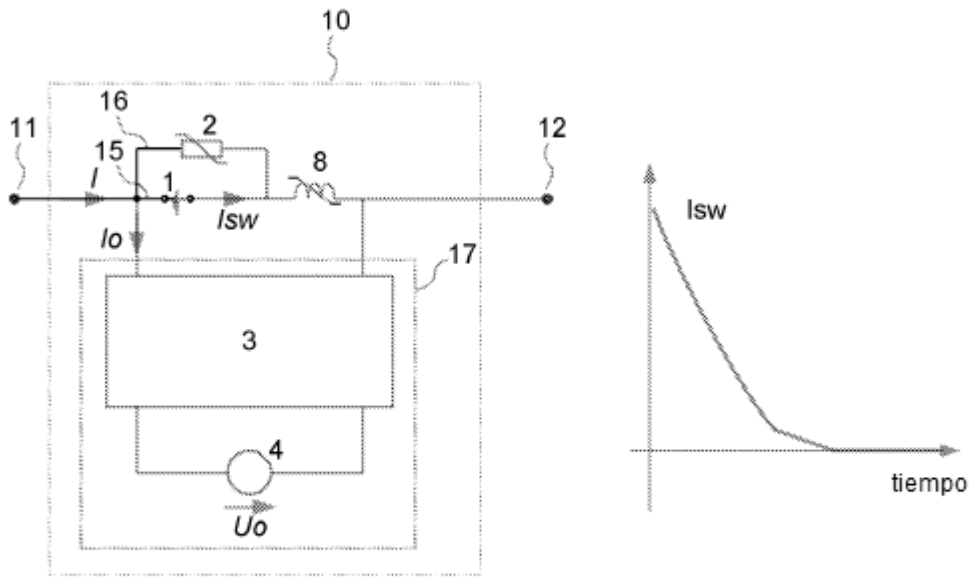


FIG. 17a

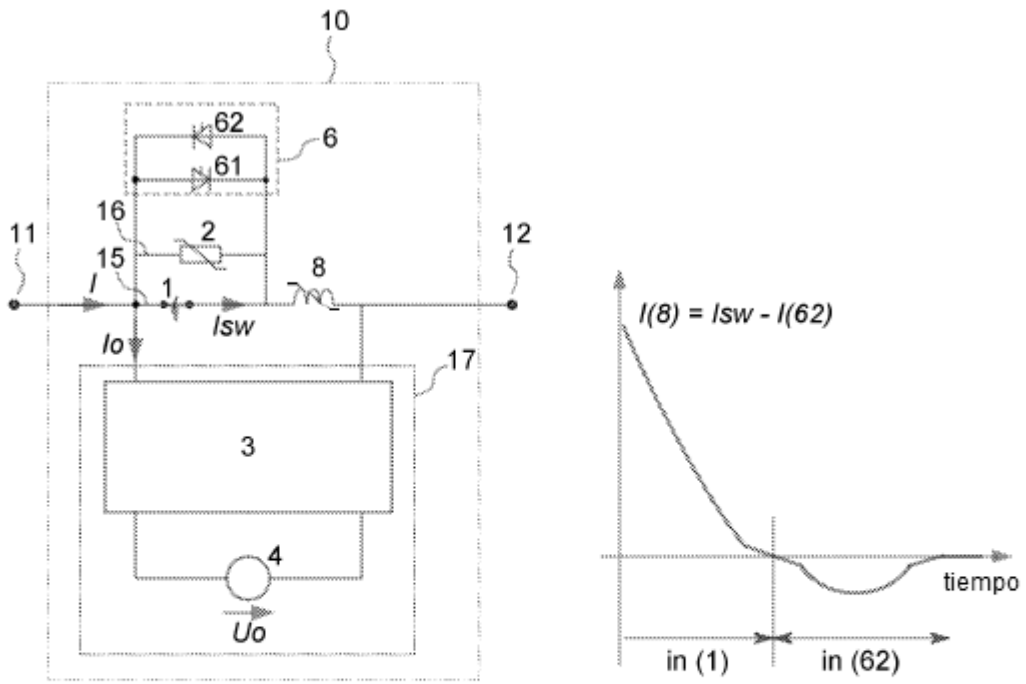


FIG. 17b



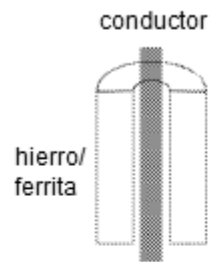


FIG. 17c

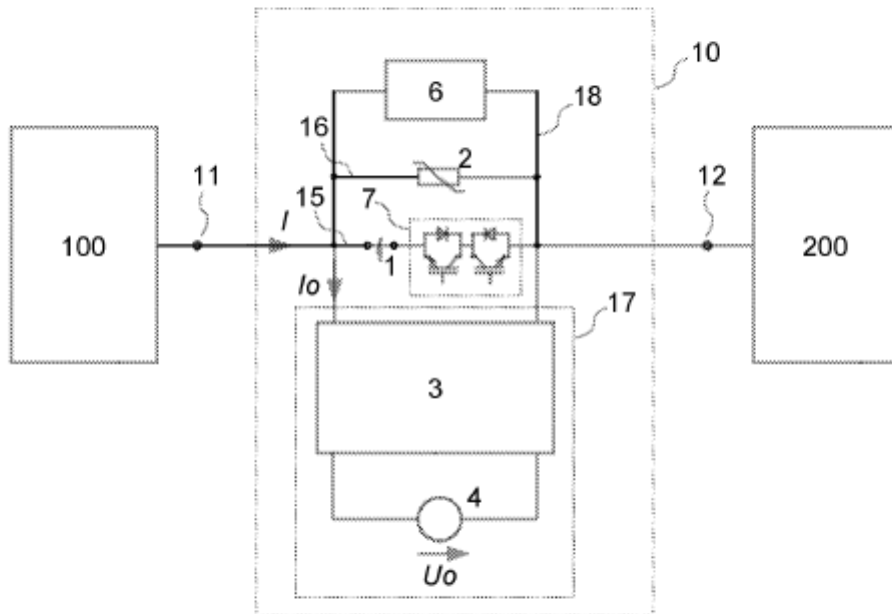


FIG. 18

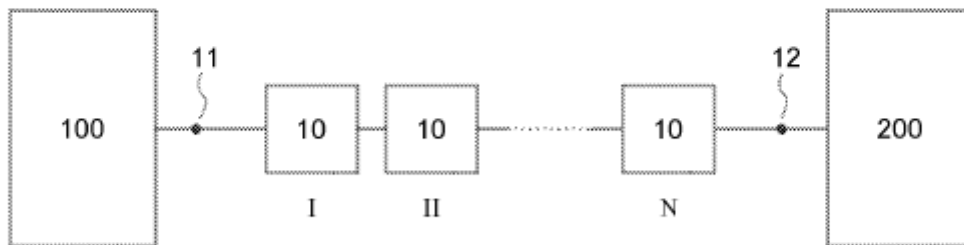


FIG. 19

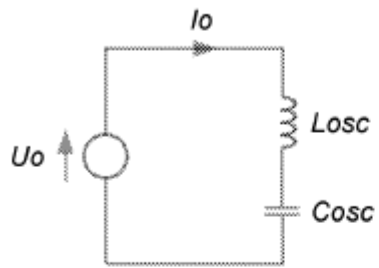


FIG. 20a

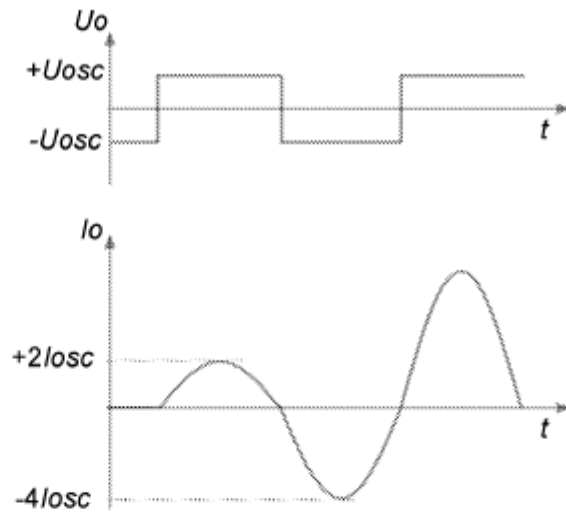


FIG. 20b

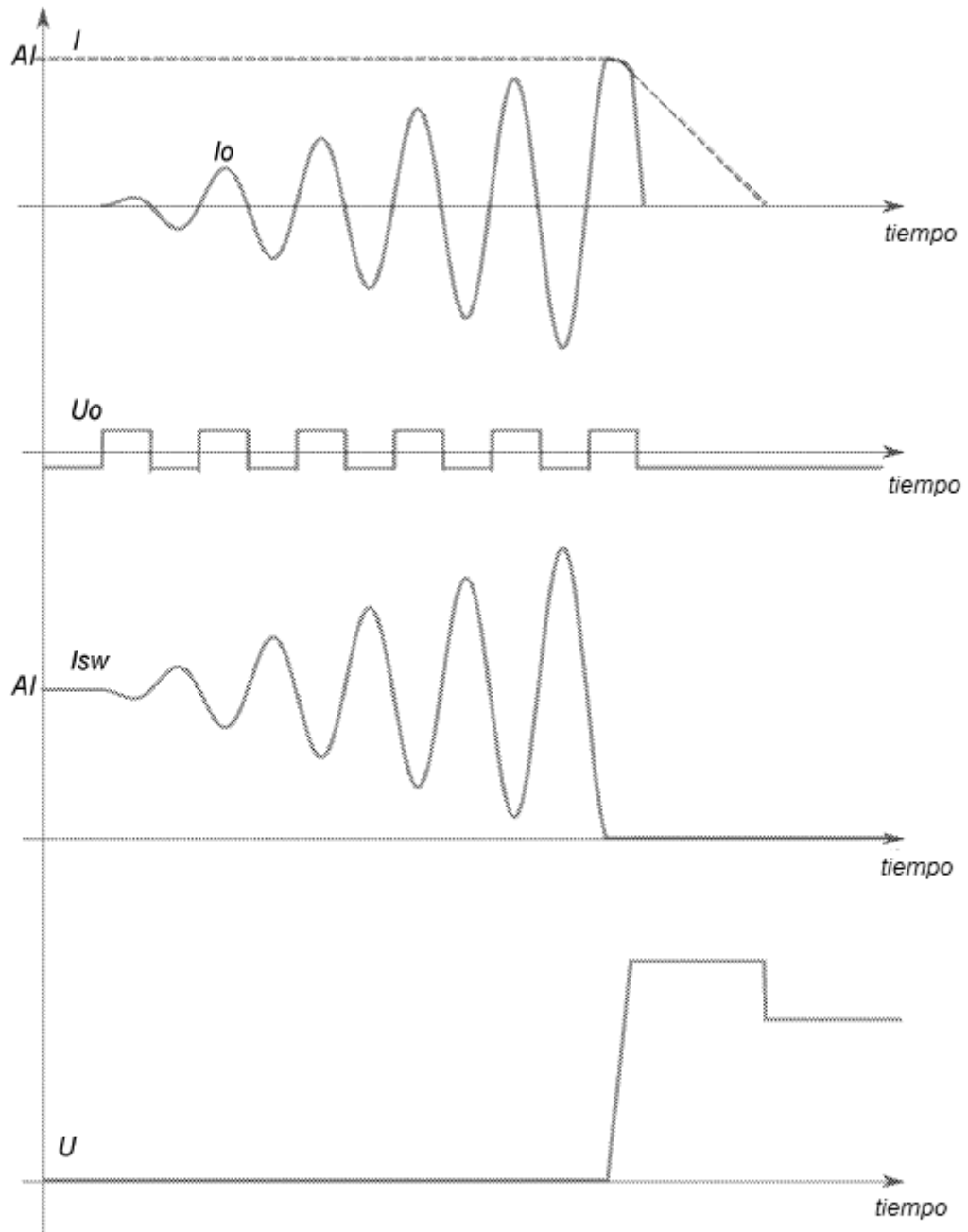


FIG.21

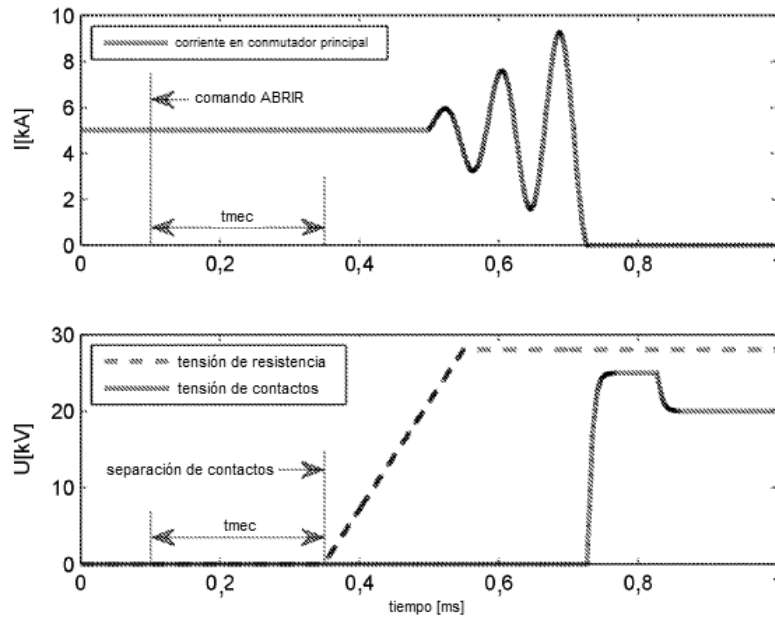


FIG. 22

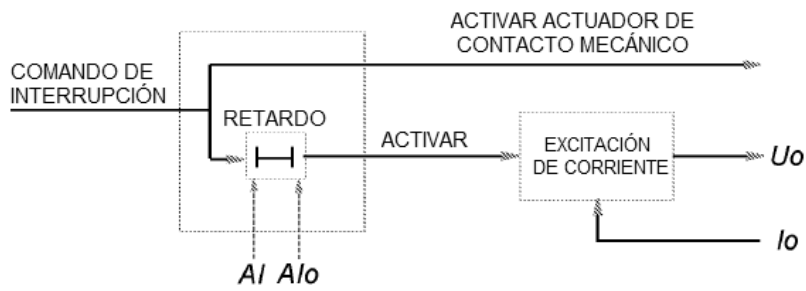


FIG. 23

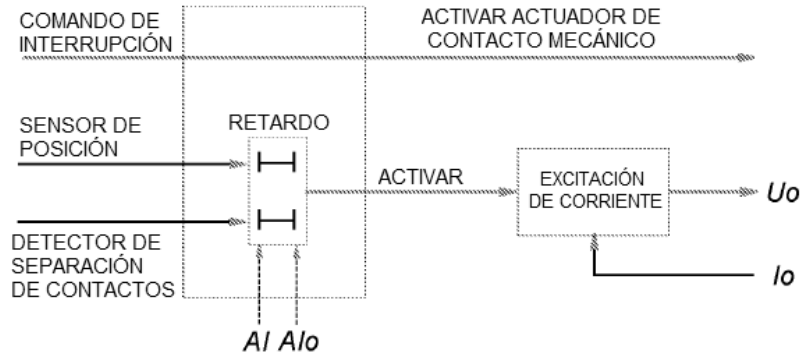


FIG. 24

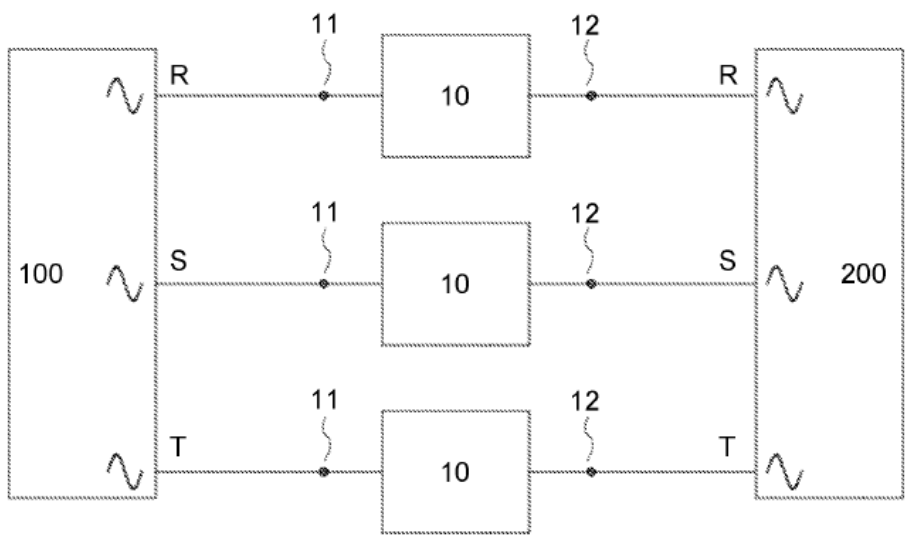


FIG. 25

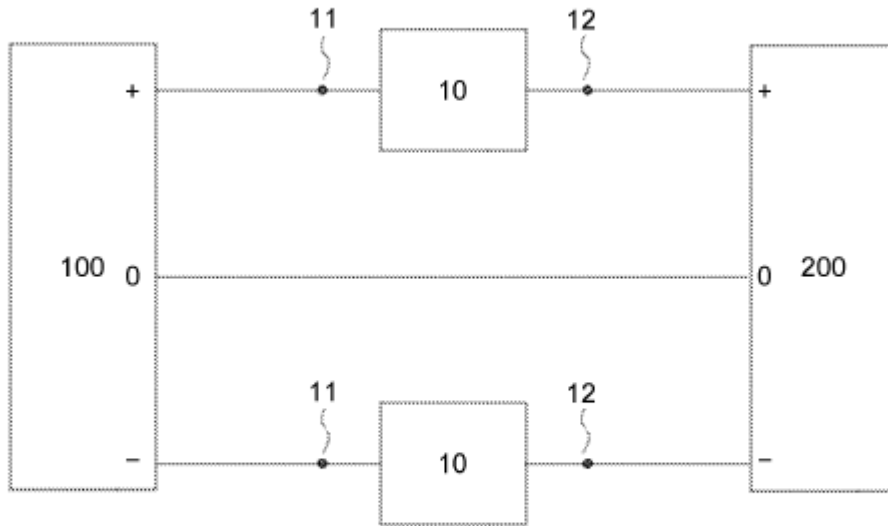


FIG. 26a

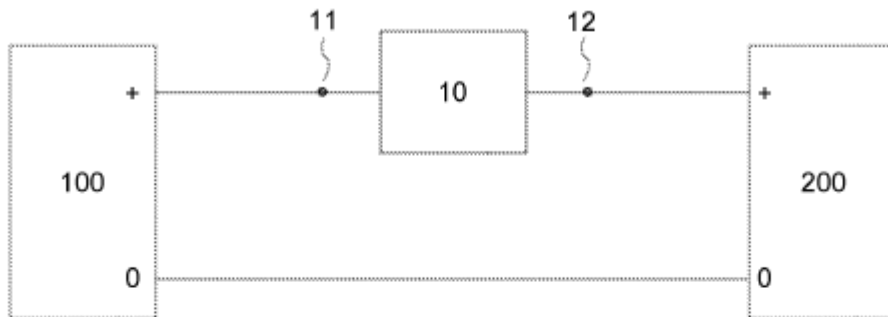


FIG. 26b

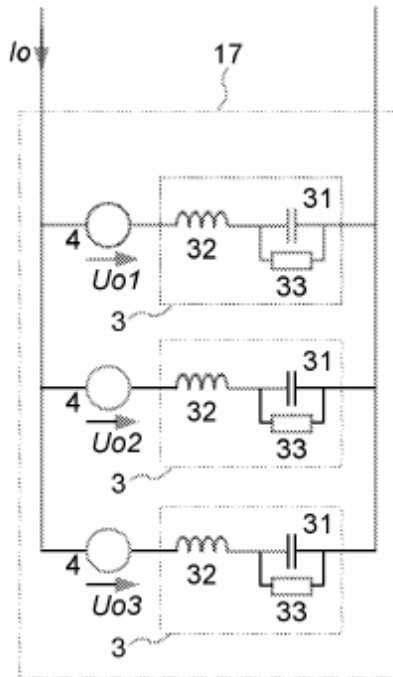


FIG. 27a

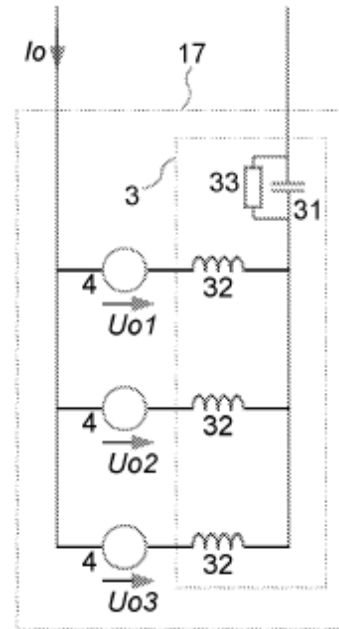


FIG. 27b