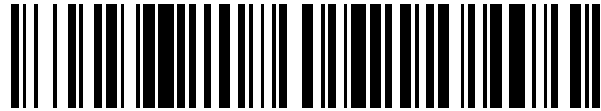


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 865 256**

51 Int. Cl.:

**H01H 9/54** (2006.01)

**H01H 33/59** (2006.01)

**H02H 3/02** (2006.01)

**H02H 3/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.12.2016 PCT/SE2016/051233**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.07.2017 WO17116296**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.12.2016 E 16815690 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.01.2021 EP 3398198**

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

30 Prioridad:

**28.12.2015 SE 1551717**

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

**15.10.2021**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**NORRGA, STAFFAN;  
ÄNGQUIST, LENNART y  
MODEER, TOMAS**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 865 256 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 en general a la interrupción de la corriente en los sistemas de alimentación y, en particular, a los disyuntores que emplean una corriente oscilante auxiliar añadida para interrumpir la corriente principal. La presente invención también se refiere a un sistema y un método para interrumpir la corriente.

**Antecedentes de la técnica**

10 El uso de disyuntores u otros medios de interrupción de corriente está bien establecido en los sistemas eléctricos en general, tal como en los sistemas de transmisión o distribución de alimentación eléctrica, especialmente como un medio para proteger, aislar y/o controlar el funcionamiento de diferentes componentes en el sistema de alimentación, particularmente en condiciones de falla, p. ej., fallas de cortocircuito o condiciones de sobrecorriente, etc. Los disyuntores también se utilizan para aislar partes del sistema de alimentación durante reparaciones y/o mantenimiento en componentes o secciones específicas del sistema de alimentación. Más aún, los disyuntores se utilizan con frecuencia para conectar diversas cargas, como motores u otras cargas industriales, a la red.

15 Se han utilizado diferentes tipos de disyuntores como interruptores de corriente dependiendo de los niveles de corriente o tensión del sistema de alimentación. La mayoría de las veces se utilizan disyuntores mecánicos mediante los cuales los accionadores, utilizados para separar los contactos, pueden utilizar motores, resortes, disposiciones neumáticas o algún otro medio. Los interruptores de corriente alternativos pueden utilizar dispositivos semiconductores.

20 La mayoría de las aplicaciones requieren, sobre todo por razones de seguridad, que el interruptor de corriente perciba la separación física entre los dos lados del disyuntor y, en consecuencia, existe la necesidad de un interruptor mecánico incluso si se usa un interruptor de corriente de estado sólido. Los interruptores mecánicos también se pueden utilizar en paralelo con interruptores de corriente de estado sólido para eliminar las pérdidas en los dispositivos semiconductores, lo cual puede ser significativo cuando se usa en aplicaciones de alta tensión que requieren la conexión en serie de muchos dispositivos para lograr la capacidad de resistencia a la tensión necesaria.

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

30 Los sistemas de CC, por otro lado, carecen de este cruce por cero natural de la corriente y, en consecuencia, ha habido muchos intentos de realizar un disyuntor de CC rápido para interrumpir la corriente de falla en los sistemas de alimentación de CC. Este problema se ha resuelto en la técnica anterior mediante la introducción de un circuito de resonancia que superpone una corriente de CA a la corriente a interrumpir para provocar un cruce por cero. En la publicación del PCT WO 2014/166528 A1, se describe una disposición de disyuntor de CC que utiliza un interruptor mecánico de corriente en paralelo con un circuito de resonancia que incluye al menos un condensador, al menos un inductor y al menos un elemento interruptor. El circuito de resonancia está hecho para generar una corriente de resonancia superponiendo la corriente de cualquier arco generado en el interruptor de corriente, cerrando el elemento conmutador. Esta disposición tiene el inconveniente de que la corriente oscilante es básicamente excitada por la tensión del arco. Para superar este inconveniente, la disposición descrita está además provista de una unidad de suministro de alimentación auxiliar que puede, si es necesario, transportar alimentación para cargar el condensador.

35 Esta disposición requiere un elaborado proceso de carga y debe adaptarse específicamente para cada aplicación. El documento US 4.805.062 describe una solución al problema mediante el uso de un condensador cargado para forzar una corriente cero. Para hacer esto, describe un disyuntor de CC que comprende un condensador de conmutación con un extremo conectado al bus positivo de una línea de CC y el otro extremo a un bus negativo de la línea de CC a través de una resistencia de carga y un circuito en serie, incluyendo una bobina magnética repulsiva y un segundo conmutador, conectado en paralelo al condensador de conmutación, en el que el condensador de conmutación se carga directamente desde la línea de CC positiva. Cuando la unidad del disyuntor comienza a abrirse, el segundo conmutador se enciende para invertir la polaridad del condensador de conmutación cargado de modo que provoque una corriente de descarga inversa a través de la unidad del disyuntor simultáneamente cuando se abre la unidad del disyuntor. Esta invención tiene el inconveniente de una controlabilidad muy limitada y, por lo tanto, es difícil

40 lograr un comportamiento de conmutación óptimo. Más aún, la solución es menos apropiada en aplicaciones de alta tensión, que presentan limitaciones sobre el mecanismo de carga propuesto.

En el documento WO2014/154260 A1 se describe una disposición de disyuntor adaptada para una línea de transmisión de corriente continua. La disposición de disyuntor comprende una unidad de interruptor de corriente mecánica adaptada para, cuando se acciona, interrumpir la corriente en la línea de transmisión y dos circuitos de resonancia en donde cada uno de los circuitos de resonancia está adaptado para, al accionar la unidad de interruptor de corriente, generar una corriente de resonancia superponiendo la corriente de cualquier arco generado en la unidad de interruptor de corriente, y donde la corriente de resonancia que ha sido generada por el primer circuito de resonancia fluye hacia 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 adolece de la desventaja de tener dos circuitos resonantes con mayor complejidad del control de los dos conmutadores que conectan los circuitos resonantes.

En un artículo de J.M. Anderson, J.J. Carroll, "Applicability of a Vacuum Interrupter as the Basic Switch Element in HVDC Breakers", Transacciones del IEEE sobre aparatos y sistemas de alimentación, Vol. PAS-97, n.º 5, septiembre/octubre de 1972, los autores describen experimentos en los que un condensador precargado se descargó a través de un interruptor de vacío que transportaba una corriente de carga, para crear un cruce por cero artificial de la corriente total que pasa a través del interruptor de vacío. Se demostró que un interruptor de vacío tiene propiedades atractivas, como extinción rápida y acumulación muy rápida de fuerza de aislamiento dieléctrico, para esta aplicación. La descarga se inició disparando un hueco activado controlado, limitando así el deber de la disposición a operaciones de descarga de un solo disparo.

Es bien conocido por la bibliografía, p. ej., de "Late Breakdown Phenomena in Vacuum Interrupters" escrito por M. Schlaug et al, XXIII<sup>er</sup> Simp. Int. sobre descargas y aislamiento eléctrico en vacío, Bucarest, 2008, que la capacidad de soportar tensión de un interruptor de vacío puede interrumpirse, la llamada "ruptura tardía", cuando la tensión a través del interruptor de vacío comienza a aumentar poco después del corte de corriente en un cruce por cero de corriente. Este fenómeno suele estar causado por la contaminación de partículas de la cámara de ruptura. La ruptura de tensión puede ocurrir varios milisegundos después del corte de la corriente, cuando la tensión a través del interruptor de vacío ha aumentado a un valor alto. El diseño de cualquier disposición para interrumpir la corriente basado en interruptores de vacío debe considerar este fenómeno y se deben aplicar las precauciones adecuadas.

Generalmente, la fuente que impulsa la corriente a través del disyuntor tiene una inductancia interna. Esto es particularmente válido en aplicaciones de transmisión de alimentación. Cuando se interrumpe la corriente, la energía magnética almacenada en la inductancia de la fuente debe ser absorbida por la disposición de interrupción de la corriente. Un varistor de óxido metálico (MOV) se utiliza a menudo para este propósito, ya que proporciona simultáneamente una función de limitación de tensión. Puede conectarse directamente a través de los terminales del disyuntor principal mecánico como se muestra en la mencionada publicación del PCT WO 2014/166528 A1. Sin embargo, esta topología de circuito ha demostrado ser menos útil en disposiciones para interrupción de corriente, que manejará eficazmente situaciones de ruptura de tensión tardías como se describe anteriormente.

La publicación de patente europea EP 1944 779 A2 describe un arrancador de motor con un circuito de conmutación, en donde un circuito amortiguador de tensión está acoplado en paralelo con un conmutador MEMS. La publicación de patente WO 2015/062644 A1 describe un disyuntor con un conmutador de interrupción de corriente, en donde un circuito resonante está conectado en paralelo con el conmutador de interrupción de corriente. El circuito resonante comprende un dispositivo de cierre de circuito; y un conmutador de desconexión está conectado en serie con la conexión en paralelo del conmutador de interrupción de corriente y el circuito resonante. Más aún, una resistencia dependiente de tensión no lineal también está conectada en paralelo al conmutador de interrupción de corriente. La publicación de patente DE 20 39 065 A2 describe un método y un aparato para la interrupción por limitación de corriente de corriente continua y alterna de alta tensión, en donde un circuito de resonancia está conectado en serie con uno o más conmutadores de interrupción de corriente.

En las figuras 1-4 se muestran ejemplos de disposiciones de la técnica anterior para interrumpir la corriente.

#### Compendio de la invención

Un objeto de la presente invención es superar los problemas e inconvenientes de la técnica anterior y describir una capacidad mejorada de interrupción de corriente independientemente del tipo de corriente a interrumpir. Específicamente, la invención ha sido diseñada de manera que pueda manejar con éxito situaciones de ruptura de tensión tardías, de modo que pueda garantizarse una interrupción segura de la corriente.

Según un primer aspecto de la invención, este objeto se realiza mediante una disposición para interrumpir la corriente según la reivindicación 1.

En una realización preferida, el dipolo comprende una conexión en paralelo de al menos dos ramas bipolares.

En una realización preferida, al menos una rama bipolar comprende al menos un condensador, al menos un inductor y un medio de control de tensión, todos conectados en serie.

Alternativa o adicionalmente, al menos una rama bipolar comprende al menos un condensador, al menos un inductor y un medio de control de tensión, todos conectados en serie.

- En una realización preferida, los terminales están conectados a puntos donde la rama principal y el dipolo están unidos a cada lado del disyuntor principal.
- 5 En una realización preferida, se proporciona un circuito reductor de sobretensión conectado entre los terminales del disyuntor mecánico. El circuito reductor de sobretensión es preferiblemente una conexión en serie que comprende al menos una resistencia y al menos un condensador.
- En una realización preferida, al menos un conmutador de desconexión está dispuesto en conexión en serie con al menos uno de los terminales primero y segundo, y es controlable durante el uso para proporcionar una separación física de las dos secciones de un sistema de alimentación.
- 10 En una realización preferida, el al menos un medio de control de tensión es un convertidor de fuente de tensión estática.
- En una realización preferida, el condensador está provisto de un medio de descarga.
- 15 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. El al menos un sensor está preferiblemente adaptado durante el uso para determinar al menos una de la posición, la aceleración y la velocidad del contacto durante el proceso de apertura del disyuntor mecánico. Además, dicho al menos un sensor está adaptado preferiblemente para detectar una cantidad física, preferiblemente al menos uno de apariencia de caída de tensión de arco, fenómenos acústicos y radiación o ruido electromagnético, tal como radiación óptica, térmica o de rayos X.
- 20 En una realización preferida, la al menos una rama bipolar comprende componentes pasivos adicionales, lo que hace que el bucle exhiba varias frecuencias de resonancia.
- En una realización preferida, el dipolo comprende una pluralidad de ramas bipolares con diferentes frecuencias de resonancia, por lo que el bucle exhibe varias frecuencias de resonancia.
- 25 En una realización preferida, la rama principal 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.
- 30 En una realización preferida, una rama de circuito adicional está dispuesta en paralelo con la rama principal, y el dipolo, estando provista dicha rama de circuito adicional de un medio de control de corriente inversa para, durante una interrupción de corriente, proporcionar una trayectoria alternativa para la corriente inversa lejos del disyuntor mecánico. El medio de control de corriente inversa comprende preferiblemente dos tiristores dispuestos en antiparalelo para controlar el flujo de corriente a través de dichos dos tiristores en direcciones opuestas. Más aún, la rama principal comprende preferiblemente un conmutador semiconductor de baja tensión dispuesto en serie con el disyuntor mecánico, siendo el semiconductor de baja tensión controlable durante el uso para ayudar a desviar la corriente desde el disyuntor mecánico a la rama de circuito adicional.
- 35 En una realización preferida, la disposición para interrumpir la corriente es un disyuntor de CC. Como alternativa, la disposición para interrumpir la corriente es un disyuntor de CA de limitación de corriente.
- Según un segundo aspecto de la invención, se proporciona un sistema para interrumpir la corriente que comprende al menos dos disposiciones para interrumpir la corriente según la invención, en donde dichas al menos dos disposiciones para interrumpir la corriente están conectadas en serie.
- 40 Según un tercer aspecto de la invención, se proporciona un método para interrumpir la corriente en un sistema de alimentación según la reivindicación 12.
- En una realización preferida, la forma de onda del medio de control de tensión de excitación está diseñada, con respecto a la característica de filtro del bucle, para proporcionar una corriente oscilante que tiene la forma de onda deseada para provocar un cruce por cero de corriente en la rama que contiene el disyuntor.
- 45 En una realización preferida, el número de ramas bipolares, sus frecuencias de resonancia y su tiempo de inicio respectivo se seleccionan para proporcionar una corriente oscilante total con la forma de onda deseada para causar un cruce por cero de corriente en la rama que contiene el disyuntor.
- En una realización preferida, las etapas de abrir el disyuntor mecánico y controlar el medio de control de tensión se realizan al mismo tiempo y en coordinación.
- 50 En una realización preferida, la secuencia de ejecución de las etapas está predefinida de modo que los cruces por cero en la corriente que pasa por el disyuntor mecánico se produzcan en instantes de tiempo adecuados con respecto a la resistencia de aislamiento dieléctrico que se acumula en el disyuntor, cuando los contactos se separan entre sí.

En una realización preferida, la secuencia de etapas se ejecuta con retardos de tiempo predefinidos entre las etapas consecutivas, y en donde los retardos de tiempo son fijos o variados dependiendo de la amplitud de la corriente principal a interrumpir.

5 En una realización preferida, los retardos de tiempo predefinidos entre etapas consecutivas se seleccionan de modo que la distancia de separación de contactos del disyuntor mecánico sea suficiente para soportar el límite de tensión del dispositivo de absorción de energía de la segunda rama paralela en un tiempo total mínimo.

En una realización preferida, se utiliza un sensor para determinar los retardos de tiempo entre las etapas.

10 En una realización preferida, la ejecución de una o varias de las etapas es condicional, de modo que una corriente oscilante, que tiene tal amplitud que se producen cruces por cero en la corriente que fluye a través del interruptor mecánico, se excita y mantiene, hasta que se tome una decisión, ya sea para ejecutar la secuencia completa de etapas para interrumpir la corriente principal, o para no completar la interrupción, en cuyo caso se suprimirá la corriente oscilante.

### Breve descripción de los dibujos

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

- 15 las figuras 1-4 muestran disposiciones de la técnica anterior para interrumpir la corriente;
- la figura 5 muestra un diagrama de una realización general de una disposición para interrumpir la corriente según la invención;
- las figuras 6-12 muestran diversas realizaciones de la disposición para interrumpir la corriente según la invención.
- 20 la figura 13 muestra un diagrama de tiempo de ruptura de limitación de corriente;
- la figura 14 muestra una disposición similar a la de la figura 5 pero con un conmutador de desconexión conectado en serie;
- las figuras 15a-e muestran diferentes implementaciones de un convertidor electrónico de alimentación;
- 25 las figuras 16a-b muestran ejemplos de disposiciones de protección para un convertidor electrónico de alimentación;
- la figura 17 muestra una rama que comprende un condensador, un inductor, un medio de control de tensión y un dispositivo de absorción de energía, donde el condensador está equipado con un medio de descarga;
- 30 las figuras 18a-c muestran diferentes configuraciones de una rama que comprende un condensador, un inductor, un medio de control de tensión y un dispositivo de absorción de energía, donde el condensador está equipado con un medio de descarga;
- las figuras 19a-c muestran diferentes medios para descargar un condensador;
- las figuras 20a-c muestran implementaciones de un dispositivo de absorción de energía y limitación de tensión;
- 35 la figura 21a-b muestra una realización alternativa de una disposición para interrumpir la corriente que tiene una rama para la corriente inversa;
- la figura 22a-c muestra una realización alternativa de una disposición para interrumpir la corriente que tiene un reactor saturable;
- la figura 23 muestra una realización alternativa de una disposición para interrumpir la corriente que comprende un conmutador semiconductor de conmutación de baja tensión;
- 40 la figura 24 muestra un sistema para interrumpir la corriente según la invención, que comprende varias disposiciones para interrumpir la corriente;
- la figura 25 muestra el principio de acumulación de amplitud de corriente oscilante en un circuito resonante;
- la figura 26 muestra formas de onda principales en la interrupción de corriente;
- la figura 27 ilustra el cruce por cero de corriente frente a la capacidad de resistencia a la tensión;
- 45 las figuras 28 y 29 ilustran algunos ejemplos de control de señales;

las figuras 30 y 31a-b muestran configuraciones alternativas de una rama de una disposición para interrumpir la corriente según la invención.

**Descripción de realizaciones**

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

10 La figura 5 muestra una descripción general del circuito relacionado con la invención. La conexión eléctrica entre las secciones 100, 200 en un sistema de alimentación tiene el propósito de transferir alimentación eléctrica entre dichas secciones, en cuyo caso una corriente principal I fluye a través del disyuntor mecánico 1. Las secciones 100, 200 pueden ser subsistemas de un sistema de alimentación común o sistemas de transmisión de alimentación eléctrica separados que usan CC o CA. Como alternativa, las secciones pueden representar un sistema de alimentación eléctrica que alimenta una carga, p. ej., un motor 200 conectado a una fuente de alimentación 100.

En la separación de los contactos en el disyuntor mecánico 1 se establecerá un arco interno entre los contactos y la corriente principal I continuará fluyendo a través del arco. Si el conmutador mecánico funciona a alta tensión, el arco solo se extinguirá si ocurre un cruce por cero de corriente, natural o forzado por medios artificiales.

15 En los sistemas de CA, la corriente principal I tiene cruces por cero naturales y el arco se extinguirá en dicho cruce por cero, tan pronto como la separación de los contactos sea suficiente para presentar una capacidad de resistencia a la tensión que supere la tensión que aparece después de la extinción de la corriente. En los cortocircuitos, la corriente típicamente aumenta primero hacia un valor máximo muy alto antes de acercarse a cualquier cruce por cero. Entonces se puede desear realizar una interrupción instantánea antes de que la corriente haya alcanzado su valor máximo sin esperar al cruce por cero. Este enfoque, conocido como ruptura de limitación de corriente de la corriente principal, se aclara en la figura 13.

20 Cuando el sistema de transmisión de alimentación utiliza tensión continua, como en los sistemas de corriente continua de alta tensión (HVDC), la corriente no exhibe ningún cruce por cero natural. La corriente sube más bien hacia un valor muy alto en las fallas en cualquiera o ambos de los sistemas interconectados 100, 200. Entonces se requiere la rápida intervención de un sistema de interrupción de corriente para evitar un colapso total del sistema de alimentación interconectado.

Desde la perspectiva del disyuntor, la ruptura instantánea de limitación de corriente en un sistema de CA es equivalente a interrumpir la corriente continua en un sistema de CC porque en ambos casos se desea interrumpir la corriente a través del conmutador mecánico 1 en ausencia de cualquier cruce por cero natural.

30 El propósito de la invención es proporcionar un aparato y un método para crear un cruce por cero de corriente artificial en un disyuntor mecánico que lleva la corriente principal I que fluye entre los nodos eléctricos 11, 12 haciendo posible que el disyuntor mecánico interrumpa la corriente.

35 La forma general de la invención en la reivindicación 1 se describe en la figura 5, donde dos nodos eléctricos 11, 12 en un sistema de alimentación están adaptados para conectar eléctricamente las dos secciones 100,200 del sistema de alimentación a través de una disposición 10 que comprende una rama principal 15, que contiene un disyuntor principal mecánico 1, a través del cual puede fluir la corriente entre los terminales 11, 12 y un dipolo 3, conectado en paralelo con dicha rama 15 que contiene al menos un condensador 31 y al menos un dispositivo de absorción de energía 2, donde la rama 15 y el dipolo 3 juntos forman un bucle, que además contiene al menos una inductancia 32 y al menos un medio de control de tensión 4, en donde la rama principal 15 y el dipolo juntos exhiben al menos una frecuencia de resonancia. Preferiblemente, los dispositivos del dipolo 3 están dispuestos en una o varias ramas 16 como se indica en la figura.

40 En una realización preferida, un circuito de limitación de tensión, un llamado "amortiguador" 17, está conectado en paralelo a través de los terminales del disyuntor principal mecánico. Típicamente, el circuito de limitación de tensión comprende una conexión en serie de una resistencia y un condensador, pero otros diseños son concebibles y se han establecido en el campo de la electrónica de alimentación.

Las figuras 6 a 10 representan diferentes realizaciones para implementar la disposición 10. Estas difieren en términos de la ubicación del dispositivo de absorción de energía 2, y en términos de la forma en que los dos nodos eléctricos 11, 12 en un sistema de alimentación están conectados a la disposición 10.

45 El medio de control de tensión es controlable durante el uso para inyectar energía en dicho bucle para forzar un rápido aumento de una corriente alterna lo que fluye a través de dicha rama 15 que contiene el disyuntor principal mecánico 1 mientras se controla para abrir e interrumpir una corriente principal I, y mediante lo cual el cruce por cero de la corriente I<sub>w</sub> a través del disyuntor principal mecánico 1 se realiza cuando la amplitud A<sub>lo</sub> de la corriente alterna lo excede la amplitud A<sub>I</sub> de la corriente principal I. Además, el dispositivo de absorción de energía 2 en el dipolo 3 está adaptado para limitar la tensión a través de dicho condensador 31 y a través del disyuntor principal mecánico 1 cuando este último está abierto (no conductor) y para limitar la tensión a través del elemento inductivo 32 en el bucle constituido por la rama 15 y el dipolo 3, si la tensión a través del disyuntor principal mecánico 1 se interrumpe, en o inmediatamente

después de un proceso de apertura, limitando así la tasa de aumento y el máximo de corriente a través de dicho bucle.

La corriente principal I se transferirá temporalmente al dipolo 3, una vez que la corriente I<sub>sw</sub> a través del conmutador mecánico 1 se haya extinguido en su cruce por cero. En primer lugar, fluye en el condensador 32, y luego se conmutará al dispositivo de absorción de energía 2. La tensión de protección del dispositivo 2 debe exceder la tensión de conducción más alta en las secciones interconectadas 100, 200, para eliminar la corriente principal I.

El medio de control de tensión 4 se controla para inyectar energía en el(los) circuito(s) resonante(s) que contienen el(los) condensador(es) 31 y el(los) inductor(es) 32 con el fin de forzar un rápido aumento de una corriente alterna lo que contribuye a que la corriente I<sub>sw</sub> pase por el disyuntor mecánico. En un primer enfoque de control para el medio de control de tensión 4, se aprovecha la retroalimentación positiva de la corriente medida. El medio de control de tensión 4 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 enfoque de control para excitar la corriente en dicho bucle inyectando energía, el medio de control de tensión 4 se controla para producir una tensión de salida con una frecuencia cercana a la frecuencia de resonancia. La frecuencia puede variarse para controlar la tasa de aumento de la amplitud A<sub>lo</sub> de la corriente oscilante I<sub>o</sub>. Pueden usarse otros métodos de control para la corriente oscilante I<sub>o</sub>. Así mismo, debido al uso de un medio de control de tensión controlable 4, la inyección de energía en el bucle, constituida por la rama 15, que contiene el disyuntor 1 y el dipolo 3, puede iniciarse antes de que se produzca la separación de contactos en el disyuntor 1.

En una realización preferida, se inhibe la excitación adicional de la corriente oscilante cuando la corriente I<sub>sw</sub> ha dejado de fluir en el disyuntor 1.

En una realización preferida, el estado del estado de conducción del disyuntor 1 está siendo supervisado y la excitación de la corriente oscilante se reanuda si se produce un reencendido.

En una realización adicional, mostrada en la figura 11, el dipolo 3 contiene un condensador 31 en serie con una conexión en paralelo de varias ramas que consta de un medio de control de tensión 4 en serie con un inductor 32. Los inductores junto con el condensador forman un circuito resonante que puede ser excitado por el medio de control de tensión 4. Cuando los medios de control de tensión 4 proporcionan tensiones idénticas, las corrientes que fluyen a través de cada una de las ramas conectadas en paralelo estarán en fase y, por lo tanto, se sumarán para formar una corriente de resonancia total I<sub>o</sub> con alta amplitud A<sub>lo</sub> que permite la interrupción de corrientes con mayor amplitud A<sub>I</sub> que la que sería posible con un solo medio de control de tensión.

En una realización preferida, el dipolo comprende al menos dos circuitos resonantes con frecuencias idénticas o diferentes como se muestra en la figura 12. Sus frecuencias de resonancia, impedancias y su respectivo tiempo de inicio se seleccionan para proporcionar una corriente oscilante total con la forma de onda deseada para causar un cruce por cero de corriente de la corriente en la rama que contiene el disyuntor principal mecánico 1.

En una realización alternativa de una disposición para interrumpir la corriente, un conmutador de desconexión 5 está conectado en serie con la disposición de interrupción 10 descrita con referencia a la figura 5. Esta disposición se muestra en la figura 14. Cuando la corriente principal I ha sido interrumpida por la disposición 10, el dispositivo de absorción de energía 2 de limitación de tensión en el dipolo 3 no conduce ninguna corriente ya que la tensión entre los terminales 11, 12 es menor que su tensión de protección. En consecuencia, las secciones 100, 200 permanecen conectadas solo a través del dipolo 3. Este último contiene un condensador en serie pequeño y, por lo tanto, el conmutador de desconexión 5 se puede abrir sin ningún arco sostenido. Cuando está abierto, el conmutador de desconexión 5 proporciona una separación física en la conexión eléctrica entre las secciones 100, 200 del sistema de alimentación.

En un esquema para hacer funcionar la conexión entre las secciones 100, 200 del sistema de alimentación, el desconector 5 se utiliza para cerrar la conexión. En este caso, el(los) condensador(es) 31 en el dipolo 3 puede(n) descargarse una vez que se ha abierto el desconector 5, y el conmutador principal 1 puede entonces cerrarse sin ningún pulso de descarga. De este modo, la disposición 10 está lista para realizar la interrupción de la corriente inmediatamente al volver a cerrar el desconector 5.

En otro esquema para hacer funcionar la conexión entre las secciones 100, 200 del sistema de alimentación, el conmutador de desconexión 5 se cierra antes que el conmutador principal mecánico 1.

El medio de control de tensión controlable 4 es preferiblemente un convertidor de fuente de tensión estática. Este puede implementarse de muchas formas utilizando diferentes tipos de semiconductores. Las figuras 15a-e representan varios diseños de convertidores posibles como ejemplos de topologías de circuitos útiles. Típicamente, dicho convertidor utiliza al menos un enlace de CC 41 (o 41 a, 41 b), que normalmente consiste en un banco de condensadores de CC. Este último puede complementarse con baterías o cualquier otra fuente de tensión de CC. El enlace de CC puede ser alimentado por cualquier fuente de alimentación auxiliar aislada, dispositivo de generación de CC local como, p. ej., celdas de combustible, celdas fotovoltaicas o almacenamiento de energía de cualquier tipo. La frecuencia de la tensión de salida del convertidor aparece preferiblemente en el intervalo de 5-25 kHz. La tensión del enlace de CC, que determina la tensión nominal de los semiconductores en el convertidor, es solo una fracción de la tensión de protección del dispositivo de absorción de energía 2. Téngase en cuenta que se puede utilizar una

conexión en serie de varios puentes con enlaces de CC separados para lograr una alta tensión de salida sin la necesidad de usar cadenas con conexión en serie directa de dispositivos semiconductores. Los semiconductores y el enlace de CC deben diseñarse para resistir corrientes de funcionamiento de máximo alto o sobretensiones o estar equipados con medios de protección adecuados.

5 Los circuitos de las figuras 15a-f utilizan uno o dos tramos de fase de medio puente. En las figuras 15a y 15c solo se usa un medio puente. Se puede obtener una tensión de salida simétrica (con ambas polaridades) si los puntos medios del tramo de fase y del enlace de CC respectivamente se utilizan como terminales de salida como se muestra en la figura 15a, mientras que la tensión unipolar y la tensión cero estarán disponibles cuando el punto medio del tramo de fase y uno de los rieles del enlace de CC sirvan como terminales de salida como en la figura 15c. Si el convertidor está configurado como un puente en H usando dos tramos de fase como en las figuras 15b, 15d y 15e, esto puede producir tensiones de salida tanto con polaridad como con tensión cero. En las topologías mostradas en las figuras 15b-e, la corriente oscilante lo evita totalmente el enlace de CC cuando la tensión de salida es cero.

10 Si los puentes semiconductores están bloqueados, es decir, no se encienden dispositivos semiconductores activos, la corriente oscilante lo pasará a través de los diodos en los brazos del convertidor, cargando el enlace de CC. Como resultado, la corriente oscilante será suprimida por la tensión opuesta, cuya amplitud está determinada por la tensión en el enlace de CC 41 (o 41 a, 41 b).

15 En la figura 16a y la figura 16b, respectivamente, se muestran ejemplos de disposiciones de protección destinadas a proteger el convertidor electrónico de alimentación (semiconductor y enlace de CC) contra sobrecorriente y sobretensión.

20 En las figuras 15a-e, se han indicado semiconductores de tipo MOSFET, IGBT, IGCT/GTO y tiristores. Las primeras tres familias de semiconductores tienen una capacidad de extinción de corriente inherente y pueden conmutarse cerca del cruce por cero de la corriente oscilante a través del convertidor de fuente de tensión estática. El encendido del tiristor, por otro lado, debe retrasarse después de ese cruce por cero de la corriente oscilante para permitir que su tiristor compañero de tramo de fase se recupere después de apagarse.

25 La corriente oscilante solo existe durante periodos transitorios mientras que su amplitud  $A_{lo}$  aumenta hasta superar la magnitud  $A_I$  de la corriente principal  $I$ . Es conveniente que la tensión del condensador en cualquier otro momento se adapte a su valor promedio, que se determina por la tensión a través del conmutador principal 1 y el medio de control de tensión 4. Esta condición se logrará automáticamente, si el condensador 31 está equipado con un medio de descarga, p. ej., mediante una resistencia 33 lineal o no lineal conectada en paralelo, véase la figura 17. Aunque el tiempo de descarga debe ser sustancialmente más largo que el tiempo necesario para la excitación de lo, todavía puede ser bastante corto, en el intervalo de hasta cinco milisegundos. La disposición es especialmente ventajosa, cuando la disposición de interrupción de corriente incluye un conmutador de desconexión 5. En este caso, el condensador se descargará completamente para que el conmutador principal 1 pueda volver a cerrarse sin ninguna corriente de descarga, haciendo así que la disposición de interrupción de corriente 10 esté lista para interrumpir la corriente  $I$  inmediatamente, cuando se cierra el conmutador de desconexión 5.

30 Las figuras 18a-c muestran diferentes configuraciones de una rama que comprende un condensador, un inductor, un medio de control de tensión y un dispositivo de absorción de energía, donde el condensador está equipado con un medio de descarga.

Las configuraciones de medios alternativos para descargar un condensador se muestran en las figuras 19a-c.

40 El conmutador principal 1 debe tener un sistema de accionamiento mecánico rápido que permita lograr la separación de contactos en milisegundos. Preferiblemente, se utilizan interruptores de vacío, ya sea un solo interruptor o una cadena de dispositivos conectados en serie. Debido a la física de su mecanismo de conducción, pueden extinguirse muy rápido (submicrosegundos) en el cruce por cero de corriente o incluso antes. Así mismo, la carrera mecánica requerida es corta y la masa del contacto móvil es pequeña, en comparación con otros tipos de interruptores mecánicos.

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

50 Además, el conmutador principal 1 puede implementarse mediante varios conmutadores mecánicos conectados en serie, que funcionan de modo que los instantes de separación de contactos de los conmutadores individuales se distribuyan en el tiempo. Este procedimiento se puede utilizar para salvaguardar que se haya alcanzado una capacidad de resistencia de tensión suficiente en al menos un conmutador mecánico individual, cuando la corriente  $I_{sw}$  a través de la cadena de conmutadores cruza por cero.

55 El medio de tensión controlable 4 se manipulará para controlar la amplitud de la corriente oscilante  $i_o$  y hacer que los cruces por cero en la corriente a través del conmutador principal 1 aparezcan en instantes de tiempo adecuados, es decir, cuando la separación de contactos es suficiente para proporcionar suficiente capacidad de manejo de tensión. Se puede lograr una buena estimación de la separación de contactos en función del tiempo si se proporcionan uno o

más sensores para la posición instantánea, aceleración y/o velocidad.

Un sensor que detecta la separación de contactos en el conmutador principal 1 puede contribuir con la información adecuada al sistema de control y supervisión de los medios de control de tensión controlables 4. Preferiblemente, dicho detector puede basarse en la observación de cualquier cantidad física relacionada con la separación de contactos. Tales fenómenos son la aparición de caída de tensión de arco, fenómenos acústicos, radiación óptica, térmica, de rayos X o cualquier otro tipo de radiación electromagnética o ruido.

Se puede utilizar un sensor que supervisa el estado de conducción del disyuntor principal mecánico 1 para proporcionar información al sistema de control que gobierna la excitación de la corriente oscilante  $i_o$ . El sensor puede, p. ej., medir directamente la tensión a través de los terminales del disyuntor principal mecánico 1 o la tensión a través del dispositivo de absorción de energía 2. Dependiendo del estado de conducción detectado del disyuntor principal mecánico, la excitación de la corriente oscilante  $i_o$  puede inhibirse cuando el disyuntor principal mecánico está en su estado no conductor.

Si el estado del disyuntor principal mecánico cambia de no conductor a conductor durante una operación de interrupción de corriente, se puede reanudar la excitación de la corriente oscilante  $i_o$ .

Preferiblemente, el dispositivo de absorción de energía 2 es un varistor de óxido metálico (MOV), pero, alternativamente, se pueden usar otros dispositivos que presenten resistencia con una dependencia de tensión fuertemente no lineal similar o una disposición de limitación de tensión. Opcionalmente puede usarse un circuito de sujeción, que consiste en un condensador cargado conectado a través de diodos. En las figuras 20a-c se muestran diversas implementaciones del dispositivo de absorción de energía 2.

En una realización alternativa de una disposición para interrumpir la corriente según la invención, se ha añadido una rama adicional 18 en paralelo con la rama 15 que contiene el disyuntor mecánico 1 en la disposición de interrupción de corriente 10, véase la figura 21a. El propósito de la rama agregada es ofrecer una trayectoria conductora para la corriente inversa, que surge cuando las corrientes  $I$  e  $i_o$  tienen el mismo signo y la amplitud de la corriente oscilante  $i_o$  supera la de la corriente principal  $I$ . El sistema de control actúa para hacer que esta trayectoria sea conductora, en la dirección opuesta a la corriente principal  $I$ , cuando se excita la corriente oscilante  $i_o$ . 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 mecánico 1, que luego restablece su capacidad de soportar tensión dieléctrica. Cuando la corriente oscilante  $i_o$  retrocede y la corriente a través de la rama 18 vuelve a cruzar por cero, el dipolo 3 que contiene el al menos un condensador 31, el medio de control de tensión 4 y el dispositivo de absorción de energía 2 de limitación de tensión será la única trayectoria que permanece abierta para la corriente principal  $I$ . La corriente principal  $I$  carga el condensador 31 hasta que la tensión alcanza el nivel donde el dispositivo de absorción de energía 2 de limitación de tensión comienza a conducir. La tensión de protección del dispositivo 2, que excede las amplitudes de tensión de fuente en las secciones 100,200 del sistema de alimentación, luego fuerza la corriente principal  $I$  a cero.

La rama 18 puede comprender una disposición de circuito 6 constituida por dos cadenas de válvulas unidireccionales 61, 62 conectadas en antiparalelo, véase la figura 21b. Cada válvula unidireccional comprende al menos un tiristor. Alternativamente, se pueden utilizar cadenas de tiristores bidireccionales con la misma funcionalidad. En algunas aplicaciones, la interrupción de la corriente solo es necesaria para las corrientes  $I$  que tienen una dirección determinada. En tales casos, podría ser posible implementar solo la válvula de tiristor con la dirección de conducción opuesta a la corriente principal  $I$ .

En una realización alternativa de una disposición para interrumpir la corriente según la invención, la rama que comprende el conmutador principal 1 incluye un reactor saturable 8 conectado en serie como se muestra en las figuras 22a-b. La figura 22a ilustra la disposición 10 sin la rama 18 y la figura 22b con la rama 18 incluida. 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 la corriente. El principio se aclara en la figura. El reactor saturable 8 puede tomar la forma de un núcleo magnético, posiblemente con espacio de aire, hecho de hierro o ferrita que encierra un conductor principal como se muestra en el dibujo de la figura 22c.

Para asegurar que la corriente inversa mencionada en la sección anterior realmente conmuta en la rama adicional 18 (cuando se proporciona), se puede conectar un conmutador semiconductor de baja tensión 7 en serie con el conmutador mecánico 1, véase la figura 23. El conmutador de baja tensión 7 se puede controlar solo para permitir que fluya la corriente dirigida como la corriente principal  $I$ , bloqueando la corriente en la dirección inversa. Esto debe controlarse en coordinación con el control de las válvulas 61, 62 en la rama 18.

Varias disposiciones de interrupción de corriente 10, descritas arriba, pueden disponerse en serie entre las secciones 100,200 en el sistema de alimentación como se muestra en la figura 24. Al cerrar/abrir los conmutadores principales 1 en las disposiciones 10, se puede insertar un número variable de dispositivos de absorción de energía 2 de limitación de tensión en la conexión entre las secciones 100, 200 del sistema de alimentación, para limitar la corriente de falla que fluye a través de la interconexión. Como se acumularán grandes cantidades de energía en estos dispositivos, solo es posible mantener tales condiciones operativas durante un breve período de tiempo, como máximo decenas de milisegundos. Sin embargo, este tiempo puede ser suficiente para limitar la corriente de cortocircuito en una red

durante el tiempo necesario para determinar qué disyuntores del sistema deben funcionar con una perturbación específica.

5 Se describirá ahora un método para controlar la disposición de interrupción 10 descrita anteriormente. Para ejecutar este método, Se requiere un sistema de control para coordinar la apertura del conmutador mecánico 1 y la excitación de la corriente oscilante total lo controlando el medio de control de tensión 4 en el dipolo 3.

10 La apertura del conmutador mecánico 1 simplemente comienza dando el comando "ABRIR" al accionador mecánico, que comienza a transferir el contacto móvil lejos del contacto fijo para que se produzca la separación de contactos. El tiempo de retardo mecánico,  $t_{mec}$ , es decir, el tiempo que transcurre desde que se da el comando "ABRIR" hasta que se ha establecido la separación de contactos, normalmente se conoce con buena precisión y puede utilizarse por el sistema de control. Aunque el tiempo de retardo mecánico, en el intervalo de 1-5 ms, parece ser muy corto desde el punto de vista mecánico, todavía es bastante largo desde la perspectiva de la electrónica de alimentación. Téngase en cuenta, p. ej., que diez ciclos completos a 10 kHz se completarán durante un milisegundo, véanse las figuras 25a-b, mostrando el principio de acumulación de amplitud de corriente oscilante en el circuito resonante constituido por la conexión en paralelo de la rama 15 y el dipolo 3 por la acción del medio de control de tensión 4 electrónico de alimentación rápida y controlable. Considérese el circuito LC ilustrado en la figura 25a. El circuito se caracteriza por su frecuencia de resonancia

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

y su reactancia

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

20 (en la frecuencia de resonancia). El circuito es excitado por un medio de control de tensión que se puede suponer que produce tensión de ambas polaridades. La amplitud de la tensión aplicada es  $U_{osc}$  y su dirección está controlada por medios electrónicos de alimentación para seguir la dirección de la corriente  $I_0$ . La relación entre la amplitud de tensión aplicada  $U_{osc}$  y la reactancia característica  $x_0$  define una corriente unitaria, que se puede indicar como  $I_{osc}$

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

25 Inicialmente, el medio de control de tensión produce una tensión de salida constante  $U_{osc}$ , que está bloqueada por el condensador en serie  $C_{osc}$ . Cuando se activa la excitación, se realizará una inversión de tensión de salida y, por consiguiente, se aplicará un paso de tensión con amplitud  $2xU_{osc}$  en el circuito de resonancia. Después de esta primera inversión de la tensión de salida, se creará un semiciclo de corriente sinusoidal con amplitud  $2xI_{osc}$  si se desprecian las pérdidas. Su máximo ocurre después de un cuarto de ciclo de la frecuencia de resonancia. Cuando la corriente cruza por cero después de un semiciclo completo, se impone una nueva inversión y la amplitud de la corriente oscilante aumenta a  $4xI_{osc}$ . De manera similar, en cada cruce por cero de la corriente oscilante, su amplitud aumenta con  $2xI_{osc}$ . Por consiguiente, un cuarto de ciclo después de  $N$  inversiones (semiciclos), la amplitud de la corriente oscilante idealmente es  $2xNxI_{osc}$ . Después de tres ciclos y cuarto, es decir, después de siete inversiones, la amplitud de la corriente oscilante idealmente es  $14xI_{osc}$ .

35 Téngase en cuenta que se obtiene un aumento sustancial de la amplitud de la corriente oscilante en muy poco tiempo. Considérese, p. ej., un caso en el que se interrumpirá una corriente de 10 kA con una tensión de protección de 100 kV. En tal caso, se puede utilizar un circuito LC con reactancia característica de  $x_0 = 8 \Omega$ . Teniendo en cuenta las pérdidas, la amplitud de la corriente oscilante después de cuatro ciclos es de aproximadamente  $14xI_{osc}$  y superará los 10 kA con un 10 % si  $I_{osc} = 1,1 \times 10 / 14 = 0,79$  kA. La tensión del enlace de CC requerida es  $U_{osc} = x_0 I_{osc} = 8 \times 0,79 = 6,3$  kV, que es solo el 6,3 % de la tensión de protección. Así mismo, el tiempo para alcanzar esta amplitud es de solo cuatro ciclos, es decir, 400  $\mu$ s a 10 kHz, que es sustancialmente más corto que el tiempo de retardo mecánico,  $t_{mec}$ . La tensión nominal de cada semiconductor en un convertidor electrónico de alimentación que utiliza puentes completos se convierte en  $U_{osc}$ , es decir, 6,3 % de la tensión de protección. En el puente completo se necesitan cuatro brazos para que la tensión nominal total de todos los semiconductores se convierta en el 25 % de la tensión de protección.

40

Este ejemplo indica que la disposición de interrupción de corriente 10 según esta invención permite una reducción sustancial de la cantidad de dispositivos semiconductores en comparación con otras disposiciones conocidas que típicamente requieren que se utilicen semiconductores clasificados para la tensión de protección total con ambas polaridades.

5 La figura 26 muestra el curso de la operación de interrupción de corriente como se describió anteriormente. Típicamente, se produce la interrupción de corriente, cuando la corriente oscilante total lo tiene la misma dirección que la corriente principal I y la amplitud de la corriente oscilante  $A_{lo}$  excede la amplitud de la corriente principal  $A_I$ . Entonces, la tensión a través del conmutador principal 1 experimenta un cambio de tensión lineal, cuando la corriente principal I carga el(los) condensador(es) 31 en el dipolo 3 hasta que la tensión a través del(los) dispositivo(s) de absorción de energía 2 de limitación de tensión alcanza la tensión de protección de este último y toma el control de la corriente principal.

10 Cuando la disposición de interrupción de corriente 10 incluye una rama adicional 18, la corriente "inversa", es decir, exceso de corriente  $I_{sw}=I_o-I$  que ocurre cuando, durante la operación de interrupción, la corriente oscilante  $I_o$  y la corriente principal I tienen la misma dirección y la amplitud de la corriente oscilante  $I_o$  supera la amplitud de la corriente principal I, será transportada por esa rama 18. La interrupción de la corriente se produce entonces cuando la amplitud de la corriente oscilante  $I_o$  disminuye. Se produce un aumento lineal de la(s) tensión(es) a través del(los) condensador(es) en el dipolo 3 hasta que alcanza la tensión de protección en el correspondiente dispositivo de absorción de energía 2.

15 Preferiblemente, se proporciona un control coordinado de la apertura del conmutador mecánico 1 y la excitación de la corriente oscilante  $I_o$  para realizar una interrupción de corriente satisfactoria de la corriente principal I.

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

20 Preferiblemente, la secuencia de ejecución de las etapas está predefinida de modo que los cruces por cero en la corriente  $I_{sw}$ , pasando por el disyuntor mecánico 1, ocurren cuando se ha acumulado en el disyuntor suficiente resistencia dieléctrica de aislamiento para soportar el límite de tensión del dispositivo de absorción de energía 2 en el dipolo 3 después de la separación de contactos.

25 La coordinación de las etapas de control tiene como objetivo asegurar que se haya establecido una separación de contactos suficiente para proporcionar suficiente capacidad de soportar tensión en el conmutador mecánico 1, cuando el cruce por cero en la corriente que pasa a través del conmutador mecánico 1 se crea por la corriente oscilante  $I_o$ , como se ilustra en la figura 27.

30 A menudo, el tiempo de retardo mecánico está bien definido y es conocido, y el curso de la excitación de la corriente oscilante 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 mecánico 1, como se muestra en la figura 28. El retardo de tiempo puede variar dependiendo del valor medido de la corriente principal I.

35 Preferiblemente, las señales dadas a los conmutadores se determinan en dependencia de las señales de cualquier sensor que detecte que se ha producido una separación de contactos o que indique la posición del 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 principal I y/o la corriente oscilante  $I_o$  o el valor detectado de la velocidad de contacto en movimiento. En la figura 29 se muestran algunos ejemplos.

40 Preferiblemente, el estado de conducción del disyuntor mecánico 1 es supervisado por un sensor, que envía información al sistema que gobierna la excitación de la corriente oscilante. Típicamente, la excitación se detiene cuando el disyuntor mecánico está en su estado no conductor, pero se reinicia si se produce una ruptura de tensión durante una operación de interrupción de corriente y el disyuntor mecánico vuelve a su estado conductor.

45 Si el tiempo para excitar la amplitud de corriente oscilante  $A_{lo}$  para exceder el nivel de corriente principal  $A_I$  es mayor que el tiempo de retardo mecánico,  $t_{mec}$ , puede ser ventajoso iniciar la excitación tan pronto como la corriente principal I exceda un nivel inferior al nivel de disparo normal, manteniendo la amplitud de la corriente oscilante cercana a la amplitud de la corriente principal I esperando la decisión final para ejecutar la interrupción de la corriente, en cuyo caso se ordena que se opere el conmutador mecánico y se controla la amplitud de la corriente oscilante para exceder la amplitud de la corriente principal  $A_I$ , o para no completar la interrupción de la corriente, en cuyo caso se inhibirá la excitación de la corriente oscilante. La amplitud de la corriente oscilante puede mantenerse a un nivel más o menos constante inhibiendo las conmutaciones seleccionadas en el medio de control de tensión 4.

50 Se producen situaciones en las que se han conectado en serie varias disposiciones de interrupción de corriente 10 con el objetivo de limitar la corriente principal I que pasa entre las secciones 100, 200 del sistema de alimentación. Típicamente, estas instalaciones pueden ser de interés en redes de CC que interconectan varias estaciones de HVDC.

Tales redes de CC pueden contener varios disyuntores de CC y es importante que, en una falla en la red, solo se opere el disyuntor de CC correspondiente. La selección adecuada puede requerir algo de tiempo, en el orden de unos pocos milisegundos. Durante ese tiempo, la inserción de un número controlable de disposiciones de interrupción de corriente 10 hace posible evitar un aumento adicional de la corriente principal I.

- 5 La disposición para interrumpir la corriente según la invención se puede utilizar en diferentes configuraciones de red de alimentación, de las cuales tres se ilustran en la figura 30, que muestra una red de alimentación de CA, y la figura 31a-b, que muestra redes de alimentación de CC.

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

**REIVINDICACIONES**

1. Una disposición para interrumpir la corriente (10) que comprende un primer y un segundo terminal (11, 12) que están adaptados para conectar eléctricamente dos secciones (100,200) de un sistema de alimentación, y que comprende al menos una rama principal (15) que contiene un disyuntor mecánico (1) a través del cual puede fluir una corriente principal (I) entre los terminales (11,12) cuando el disyuntor principal está cerrado, y un dipolo (3), conectado en paralelo con dicha rama principal (15), comprendiendo dicho dipolo al menos una rama bipolar (16) que contiene un condensador (31) y un dispositivo de absorción de energía (2), donde la rama principal (15) y el dipolo (3) juntos forman un bucle, que contiene una inductancia (32) y un medio de control de tensión (4), y en donde el bucle exhibe al menos una frecuencia de resonancia,
- 5
- 10 - en donde dicho medio de control de tensión (4) es controlable durante el uso para inyectar energía en dicho bucle para forzar un rápido aumento de una corriente alterna (Io) que fluye a través de dicha rama principal (15) mientras se controla para abrir e interrumpir la corriente principal (I), y mediante lo cual el cruce por cero de la corriente (Isw) a través del disyuntor principal mecánico (1) se realiza cuando la amplitud (AIo) de la corriente alterna (Io) excede la amplitud (AI) de la corriente principal,
- 15 - en donde dicho dispositivo de absorción de energía (2) está adaptado para limitar la tensión a través de dicho condensador (31) y a través de dicho disyuntor mecánico (1) cuando el disyuntor mecánico está abierto, y
- en donde dicho dispositivo de absorción de energía (2) está adaptado para limitar la tensión a través de dicho elemento inductor (32) si la tensión a través del disyuntor mecánico (1) se interrumpe, en o inmediatamente después de un proceso de apertura, limitando así la tasa de aumento y el máximo de corriente a través de dicho bucle,
- 20 caracterizada por que
- la al menos una rama bipolar (16) comprende al menos un condensador (31) y un medio de control de tensión (4), conectados en serie, y adicionalmente al menos un dispositivo de absorción de energía (2) de limitación de tensión conectado en paralelo con dicho condensador (32) o la conexión en serie de dicho condensador (31) y dicho medio de control de tensión (4).
- 25 2. La disposición para interrumpir la corriente (10) según la reivindicación 1, en donde la al menos una rama bipolar (16) comprende al menos un condensador (31), al menos un inductor (32) y un medio de control de tensión, todos conectados en serie.
3. La disposición para interrumpir la corriente (10) según una cualquiera de las reivindicaciones 1-2, en donde la al menos una rama bipolar (16) comprende al menos un condensador (31), al menos un inductor (32) y un medio de control de tensión, todos conectados en serie.
- 30 4. La disposición para interrumpir la corriente según una cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en donde los terminales (11, 12) están conectados a puntos donde la rama principal (15) y el dipolo (3) están unidos a cada lado del disyuntor principal (1).
5. La disposición para interrumpir la corriente según una cualquiera de las reivindicaciones 1-4, que comprende al menos un conmutador de desconexión (5) dispuesto en conexión en serie con al menos uno del primer y segundo terminal (11, 12), y que es controlable durante el uso para proporcionar una separación física de las dos secciones (100, 200) de un sistema de alimentación.
- 35 6. La disposición para interrumpir la corriente según una cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en donde el al menos un medio de control de tensión (4) es un convertidor de fuente de tensión estática.
- 40 7. La disposición para interrumpir la corriente según una cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en donde el condensador (31) está provisto de un medio de descarga (33).
8. La disposición para interrumpir la corriente según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el disyuntor mecánico (1) comprende un contacto adaptado para moverse durante el proceso de apertura del disyuntor mecánico, y en donde el disyuntor mecánico (1) comprende al menos un sensor, y dicho al menos un sensor está adaptado durante el uso para determinar al menos uno de la posición, la aceleración y la velocidad del contacto durante el proceso de apertura del disyuntor mecánico.
- 45 9. La disposición para interrumpir la corriente según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la rama principal (15) comprende además un reactor saturable (8) dispuesto en serie con el disyuntor mecánico (1) 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.
- 50 10. La disposición para interrumpir la corriente según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además una rama de circuito adicional (18) dispuesta en paralelo con la rama principal (15) y el dipolo (3), estando provista dicha rama de circuito adicional (18) de un medio de control de corriente inversa (6) para, durante una interrupción de corriente, proporcionar una trayectoria alternativa para la corriente inversa (Io-I) lejos del disyuntor

mecánico (1).

5 11. La disposición para interrumpir la corriente según la reivindicación 10, en donde la rama principal (15) comprende además un conmutador semiconductor de baja tensión (7) dispuesto en serie con el disyuntor mecánico (1), siendo el semiconductor de baja tensión controlable durante el uso para ayudar a desviar la corriente desde el disyuntor mecánico (1) a la rama de circuito adicional (18).

12. Un método para interrumpir la corriente en un sistema de alimentación usando una disposición para interrumpir la corriente (10) según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, comprendiendo el método las etapas de:

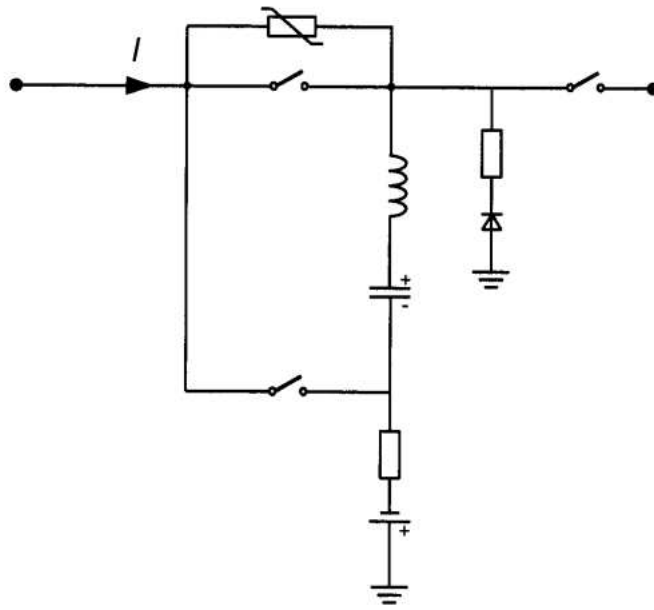
- abrir el disyuntor mecánico (1) para facilitar la separación de los contactos del disyuntor mecánico y para interrumpir una corriente principal (I) con una amplitud (AI), y

10 - controlar el medio de control de tensión (4) en el dipolo (3) para excitar una corriente oscilante total (Io) que tiene una amplitud máxima (Alo) superior a la amplitud (AI) de la corriente principal interrumpida (I), para provocar un cruce por cero de corriente en la rama principal (15).

15 13. El método de interrumpir la corriente en un sistema de alimentación según la reivindicación 12, en donde se diseña la forma de onda del medio de control de tensión de excitación (4), con respecto a la característica de filtro del bucle, para proporcionar una corriente oscilante que tiene la forma de onda deseada para provocar un cruce por cero de corriente en la rama (15) que contiene el disyuntor (1).

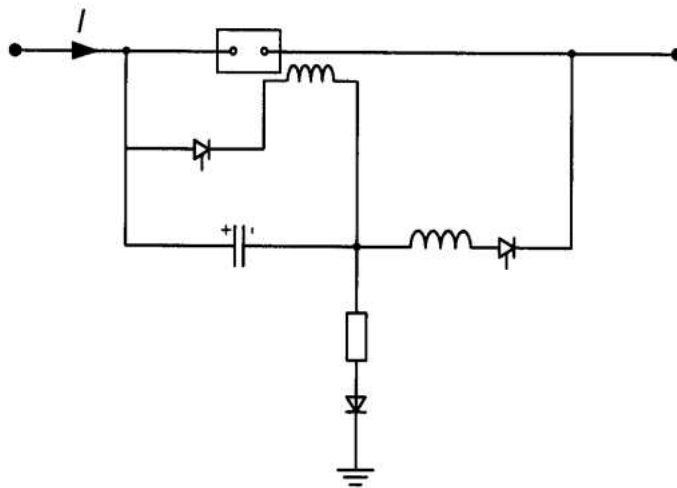
20 14. El método de interrumpir la corriente según la reivindicación 12, en donde la secuencia de ejecución de las etapas está predefinida de manera que los cruces por cero en la corriente que pasa por el disyuntor mecánico se produzcan en instantes de tiempo adecuados con respecto a la resistencia de aislamiento dieléctrico que se acumula en el disyuntor, cuando los contactos se separan entre sí.

25 15. El método de interrumpir la corriente según una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14, en donde la secuencia de etapas se ejecuta con retardos de tiempo predefinidos entre las etapas consecutivas, y en donde los retardos de tiempo son constantes o varían dependiendo de la amplitud de la corriente principal a interrumpir, además, los retardos de tiempo predefinidos entre etapas consecutivas se seleccionan de modo que la distancia de separación de contactos del disyuntor mecánico sea suficiente para soportar el límite de tensión del dispositivo de absorción de energía de la segunda rama paralela en un tiempo total mínimo.



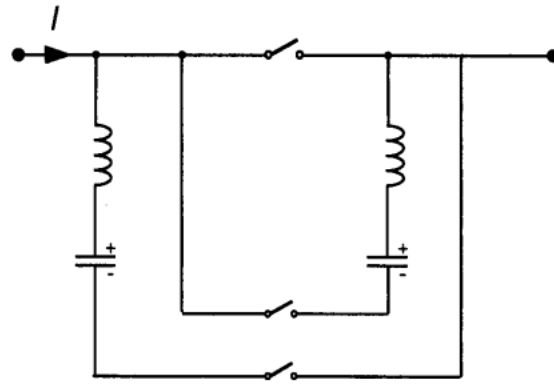
**FIG. 1**

(TÉCNICA ANTERIOR)



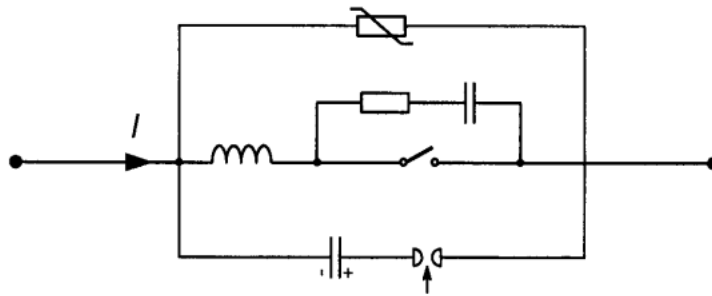
**FIG. 2**

(TÉCNICA ANTERIOR)



**FIG. 3**

(TÉCNICA ANTERIOR)



**FIG. 4**

(TÉCNICA ANTERIOR)

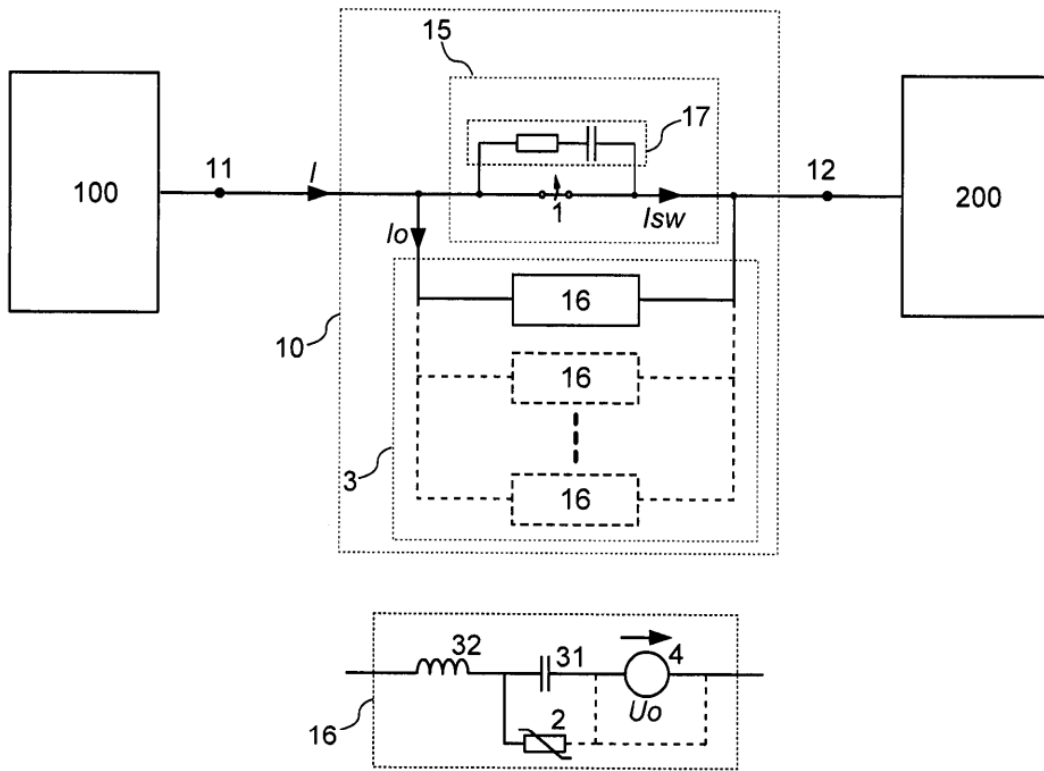


FIG. 5

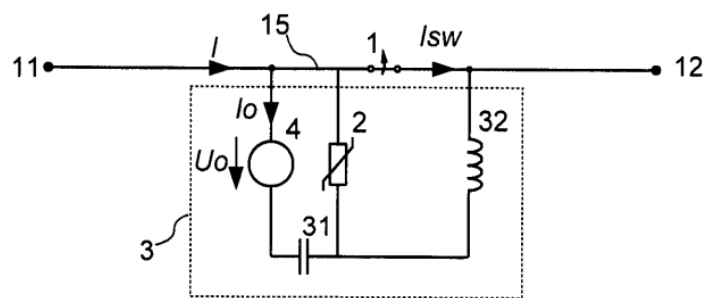


FIG. 6

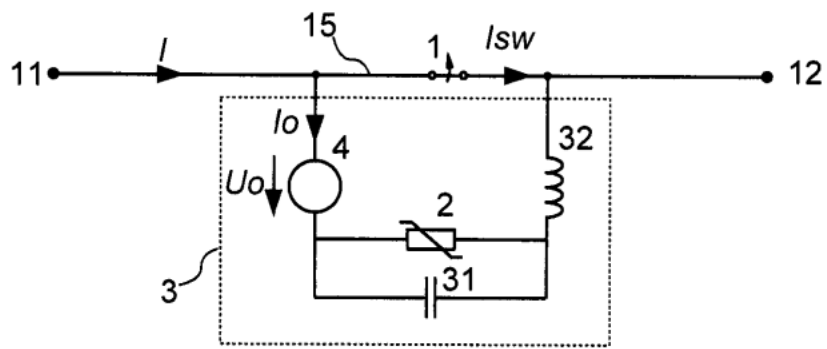


FIG. 7

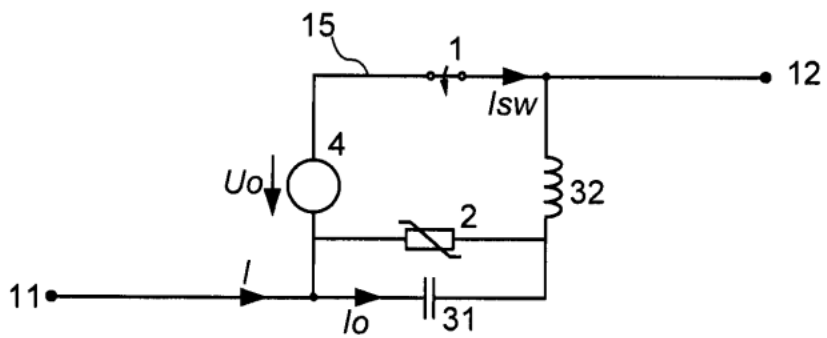


FIG. 8

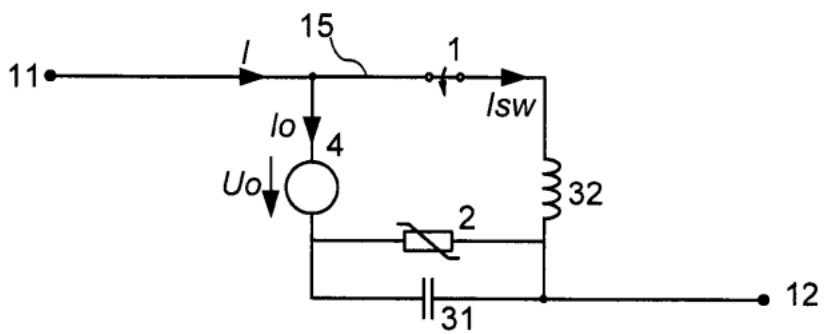


FIG. 9

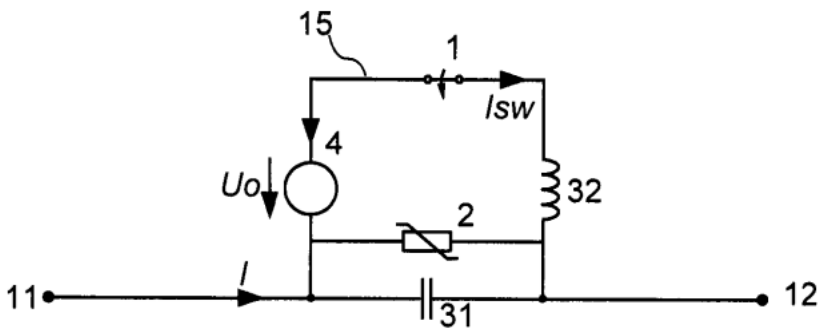


FIG. 10

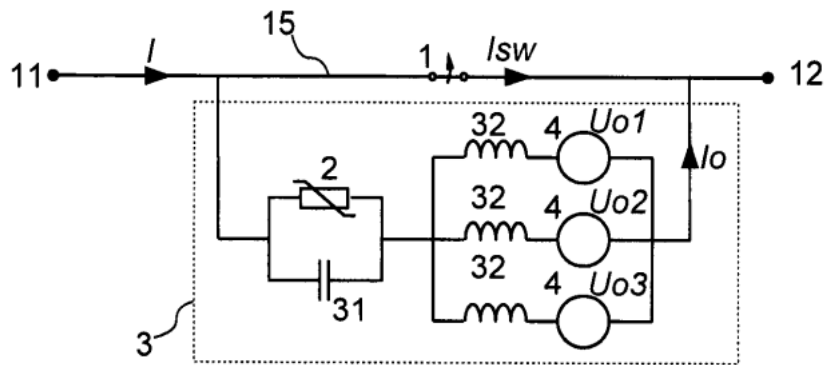


FIG. 11

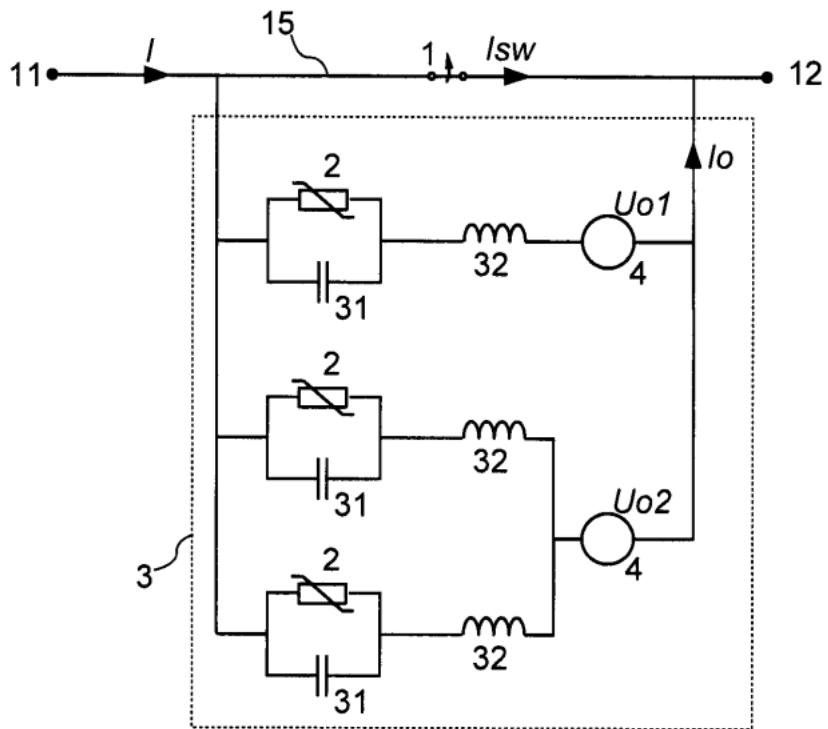


FIG. 12

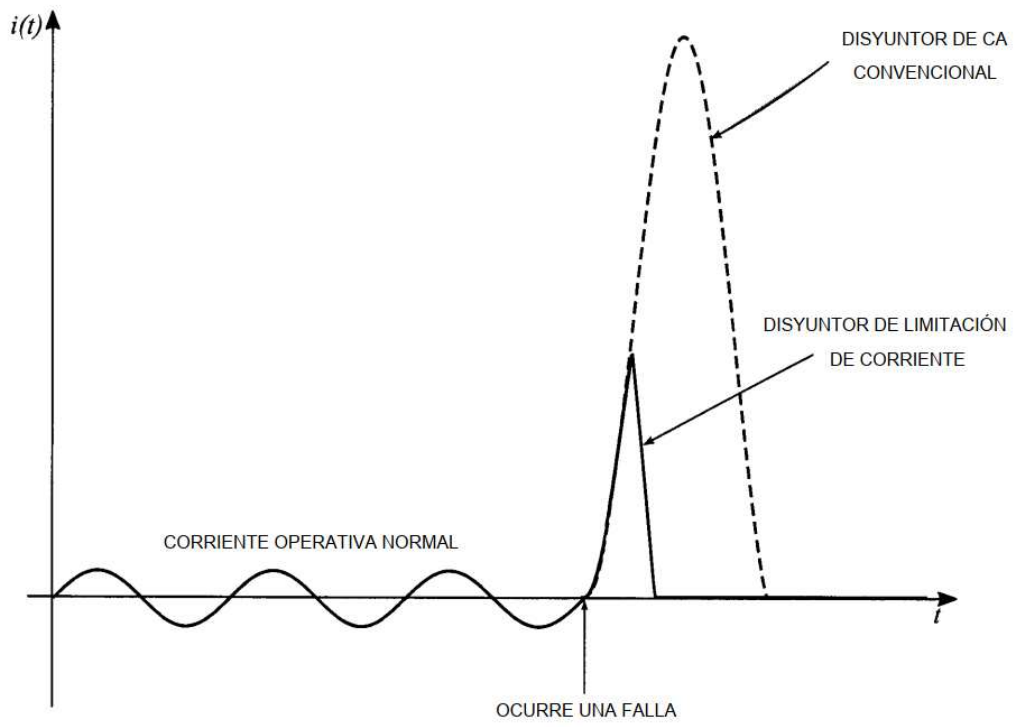


FIG.13

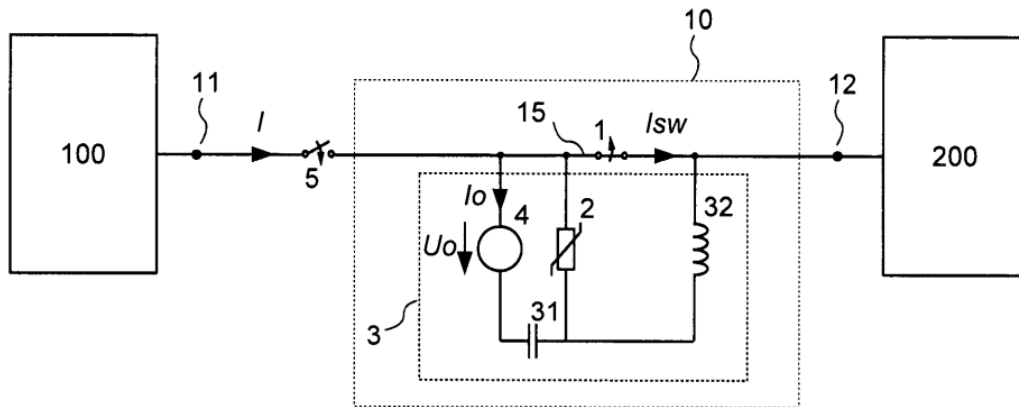


FIG.14

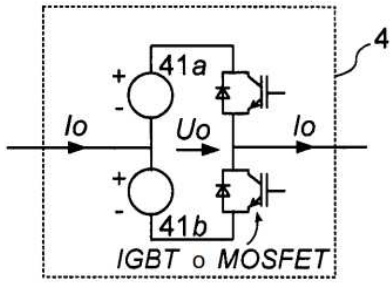


FIG. 15a

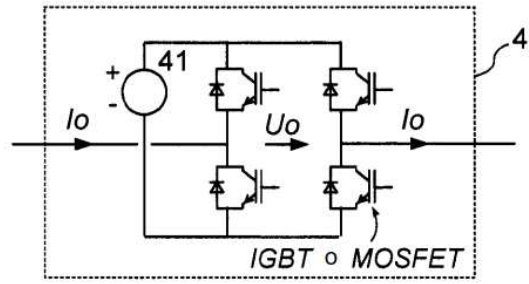


FIG. 15b

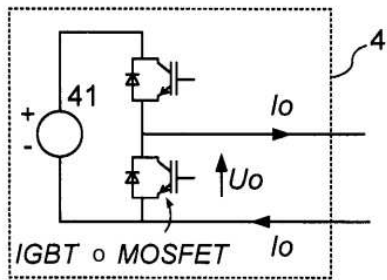


FIG. 15c

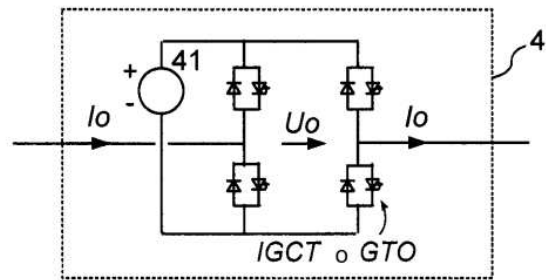


FIG. 15d

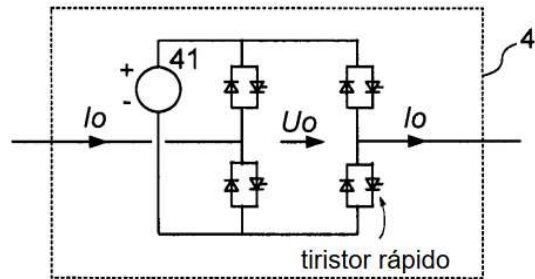


FIG. 15e

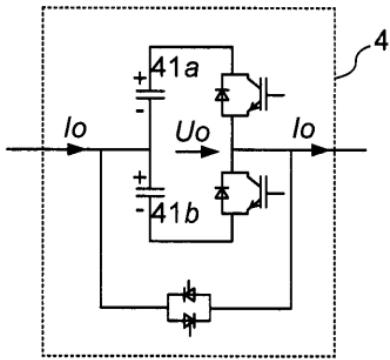


FIG. 16a

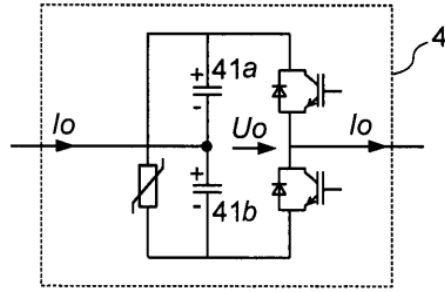


FIG. 16b

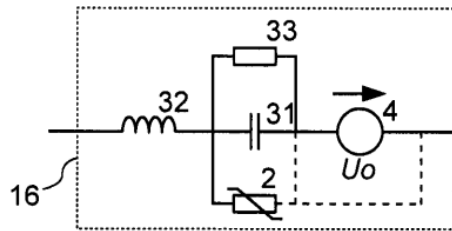


FIG. 17

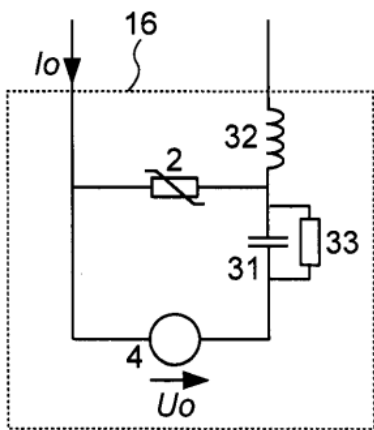


FIG. 18a

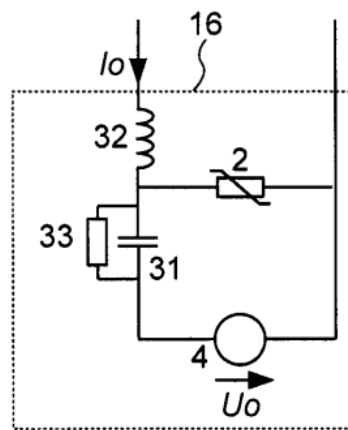


FIG. 18b

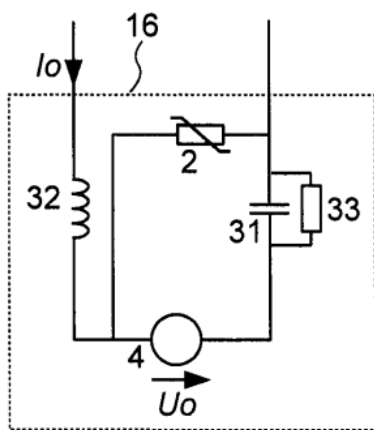


FIG. 18c

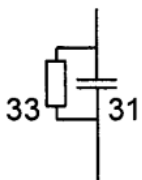


FIG. 19a

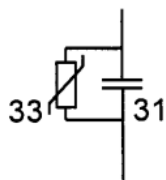


FIG. 19b

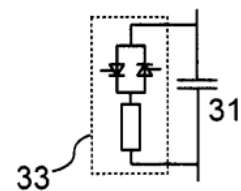


FIG. 19c



FIG. 20a

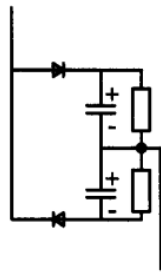


FIG. 20b



FIG. 20c

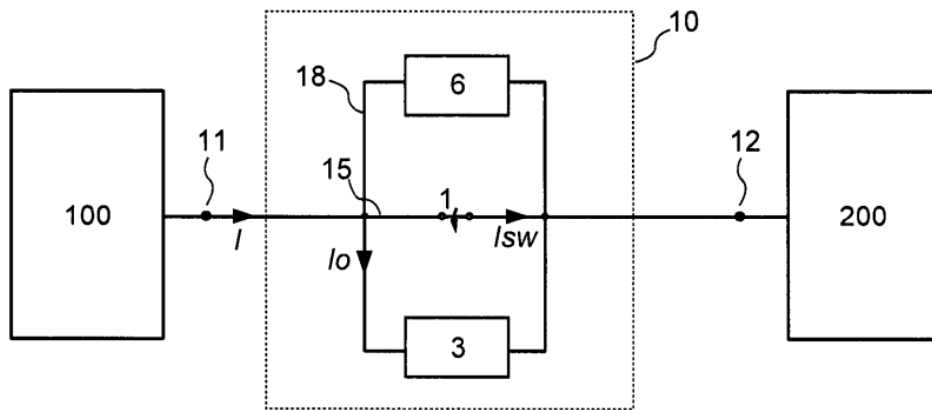


FIG. 21a

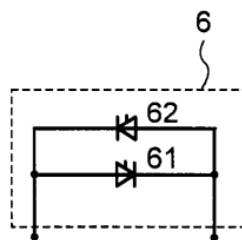
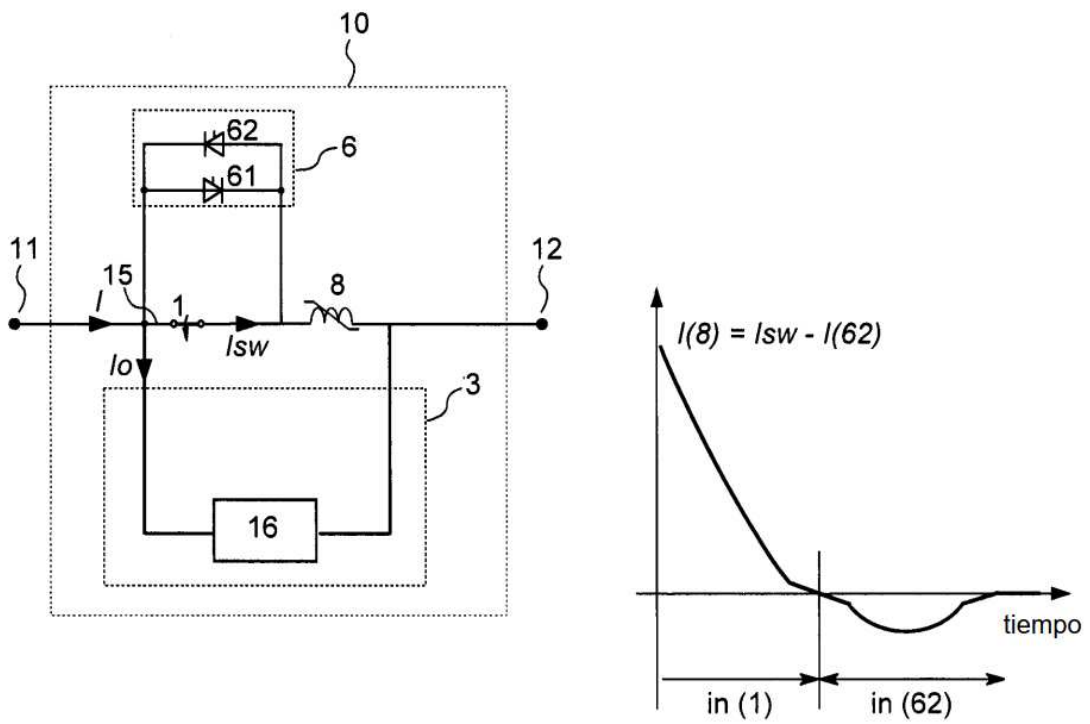
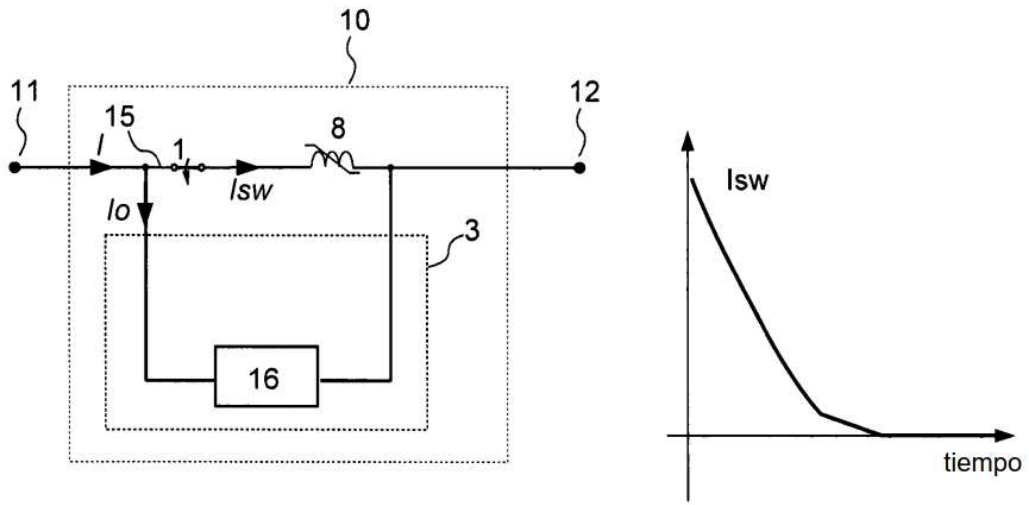


FIG. 21b



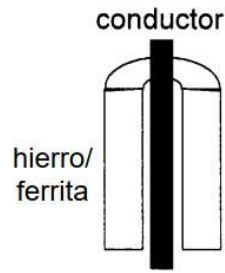


FIG. 22c

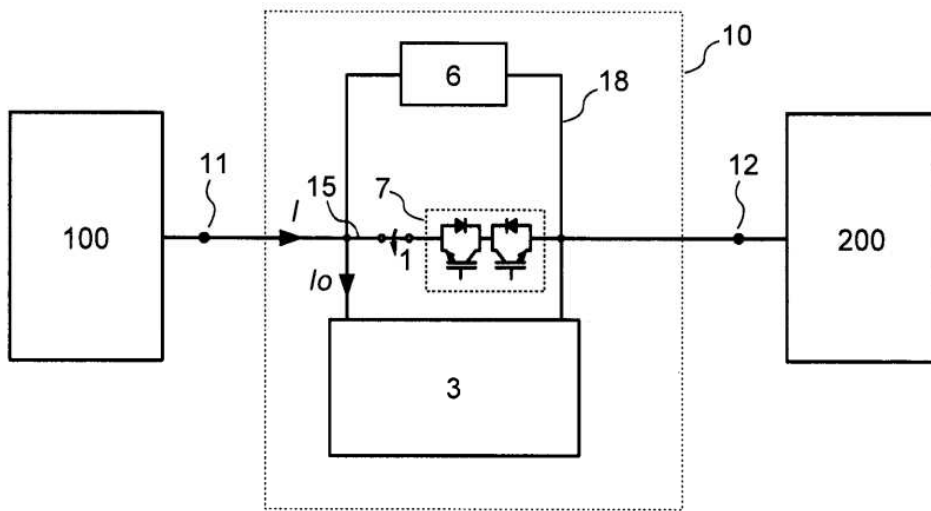


FIG. 23

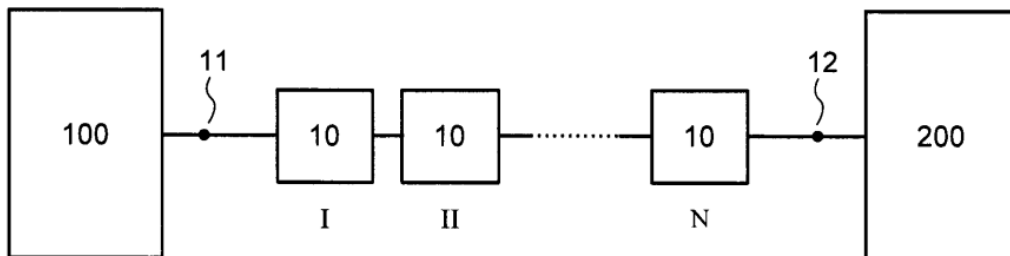


FIG. 24

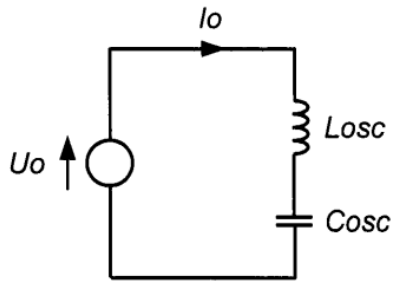


FIG. 25a

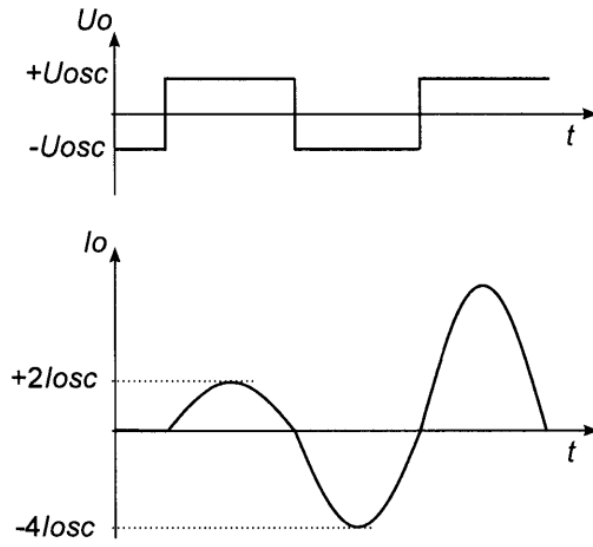


FIG. 25b

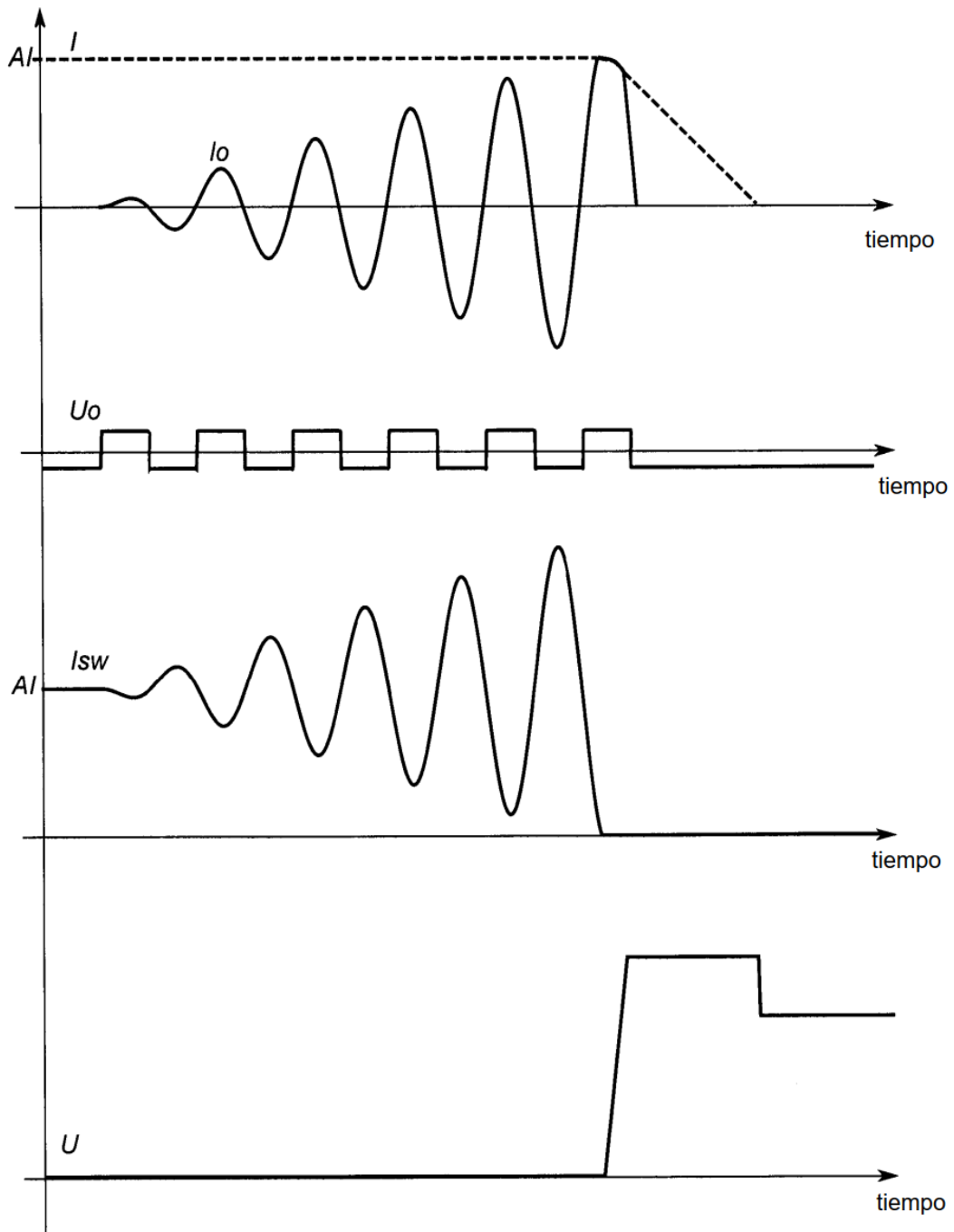


FIG.26

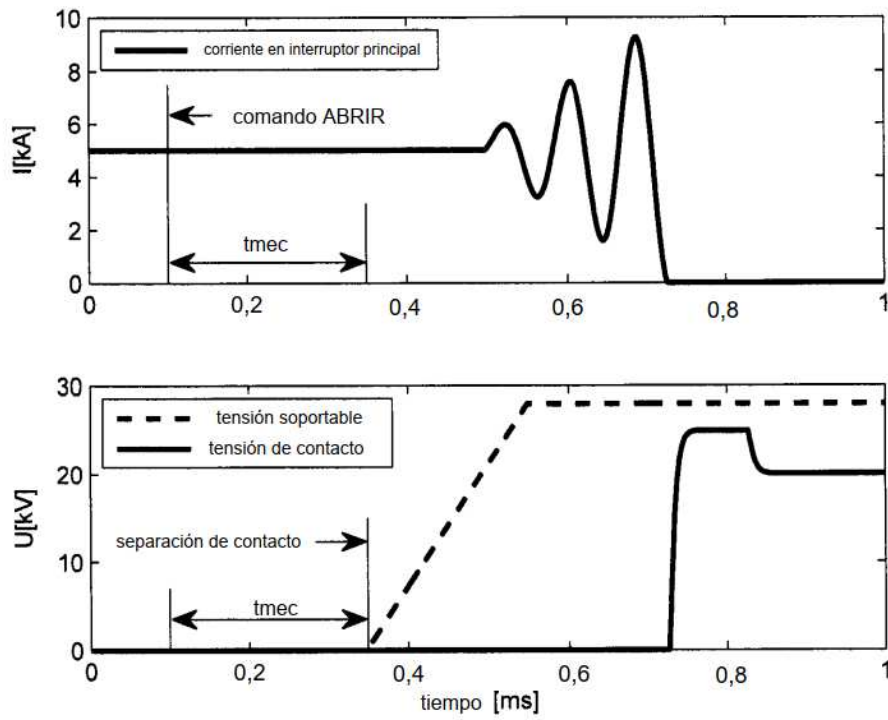


FIG. 27

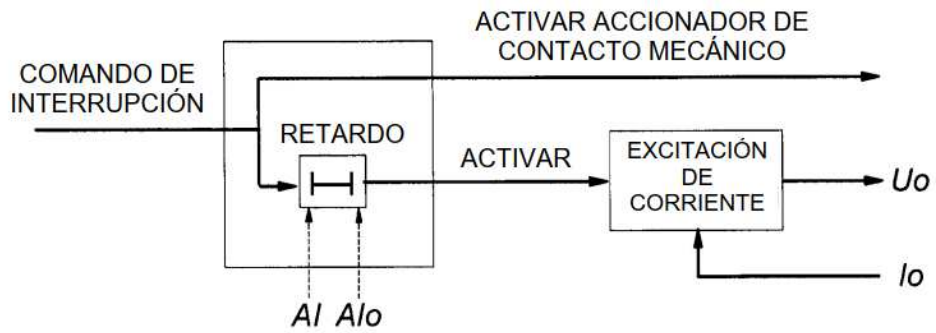


FIG. 28

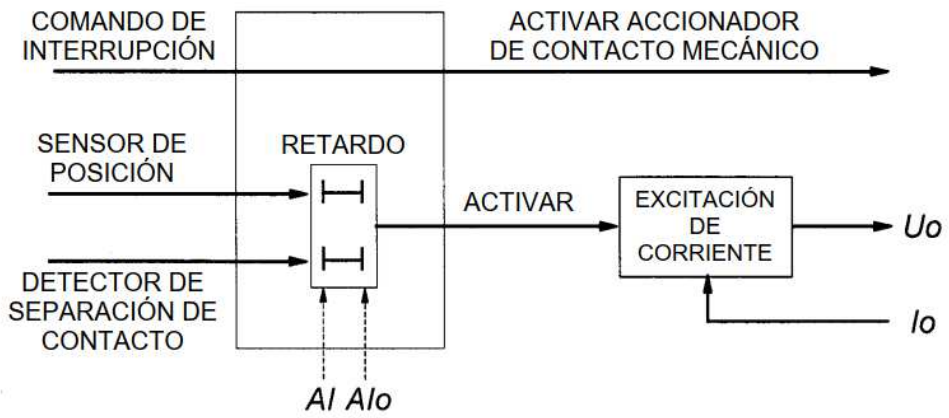


FIG. 29

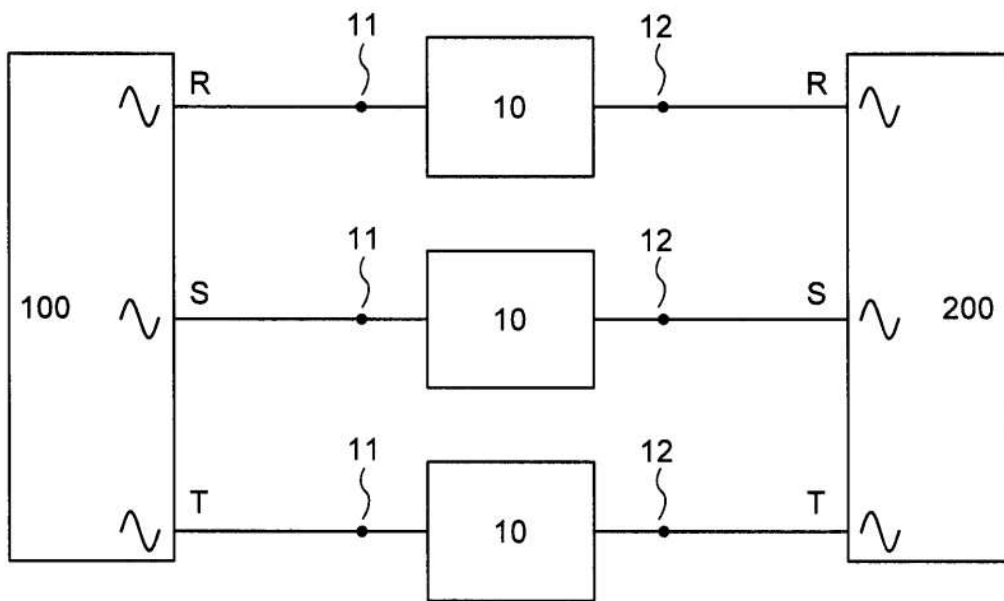


FIG. 30

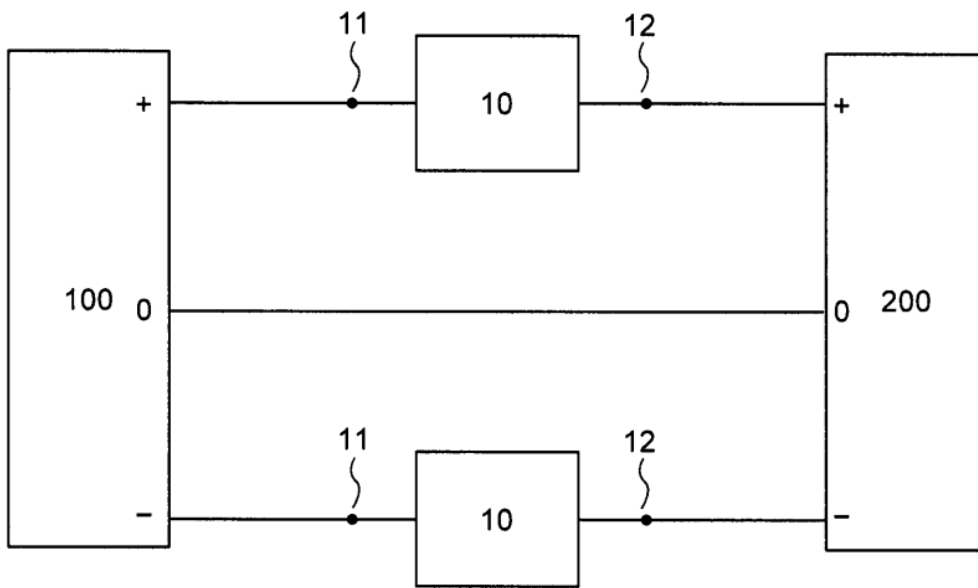


FIG. 31a

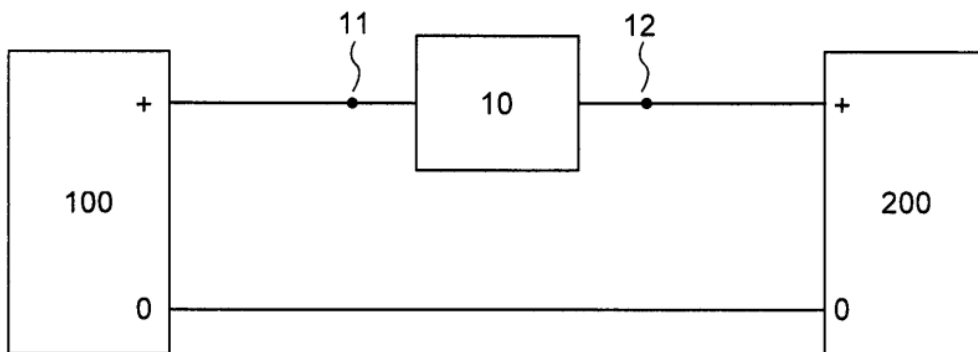


FIG. 31b