

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 398 259**

51 Int. Cl.:

**H02H 9/02** (2006.01)

**H01F 29/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.04.2008 E 08733988 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.10.2012 EP 2139088**

54 Título: **Limitador de corriente de pérdida superconductor de núcleo saturado y procedimiento de control del limitador de corriente pérdida**

30 Prioridad:

**17.04.2007 CN 200710097088**

**17.04.2007 CN 200710097089**

**28.03.2008 CN 200810084283**

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

**14.03.2013**

73 Titular/es:

**INNOPOWER SUPERCONDUCTOR CABLE CO., LTD (100.0%)**

**7 E. Rongchang Road 503 Longsheng Industrial Park Beijing Economic & Technological Development Area  
BEIJING 100176, CN**

72 Inventor/es:

**XIN, YING;  
GONG, WEIZHI;  
NIU, XIAOYE y  
CAO, ZHENGJIAN**

74 Agente/Representante:

**PONS ARIÑO, Ángel**

ES 2 398 259 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

Limitador de corriente de pérdida superconductor de núcleo saturado y procedimiento de control del limitador de corriente de pérdida.

5

### Campo de la invención

Esta invención se refiere a un limitador de corriente de pérdida superconductor de núcleo saturado, que tiene un imán superconductor, un sistema de reactancia que es un núcleo de hierro y un bobinado de CA, un sistema de criostato, y un sistema de vigilancia, e incluye adicionalmente un sistema de control de CC. El sistema de control de CC está conectado al imán superconductor en ambos extremos, y está conectado al sistema de vigilancia a través de un cable de datos. El núcleo de hierro del sistema de reactancia adopta la estructura del núcleo de hierro con una sección transversal desigual. Esta invención puede regular automáticamente la magnitud de la corriente en el imán superconductor durante el funcionamiento estable de las líneas de la red eléctrica protegida, y puede identificar automáticamente la pérdida cuando tiene lugar un cortocircuito en las posiciones de la red eléctrica protegida. Puede mejorar en gran medida la eficacia de la limitación de corriente del limitador de corriente cortando la corriente en el imán superconductor de tal forma que todos los núcleos de hierro del limitador se acoplen al limitar la corriente de pérdida en la red eléctrica. Al mismo tiempo, reduce el efecto de fuga magnética en los núcleos de hierro variando la estructura, la forma y el tamaño de los núcleos de hierro para redistribuir el potencial magnético sobre los núcleos de hierro. En el caso de que el campo magnético de excitación permanezca inalterado o en descenso, puede realizarse la saturación designada de los núcleos de hierro.

La presente invención se aplica principalmente para la protección de la corriente de cortocircuito en la transmisión de potencia, redes de distribución y aparatos de potencia, especialmente para la protección de la corriente de cortocircuito en redes con alta tensión o tensión súper alta.

25

### Antecedentes de la invención

Con el desarrollo de la tecnología de superconductores, resulta factible instalar limitadores de corriente de pérdida superconductores en una red eléctrica usados para limitar la corriente de cortocircuito. En la actualidad, entre todos los tipos de limitadores de corriente de pérdida superconductores desarrollados por todo el mundo, el limitador de corriente de pérdida superconductor de núcleo saturado es el más deseable debido a las siguientes propiedades: incorporación de detección, iniciación de la acción limitante y limitación de corriente juntos, y no hay interrupción de la superconductividad en el proceso de limitación de la corriente.

35

El limitador de corriente de pérdida superconductor de núcleo saturado tradicional consiste en cuatro partes: un grupo de núcleos de hierro, un bobinado de CA, un imán superconductor (concretamente un bobinado superconductor), y una fuente de alimentación de corriente continua (CC). El imán superconductor proporciona excitación para dos núcleos de hierro paralelos. Dos bobinas de CA conectadas en serie se enrollan sobre dos núcleos de hierro respectivamente para cancelar los campos magnéticos generados en la columna central para minimizar el efecto de la tensión de conductancia de CA en los bobinados superconductores de CC. Cuando el limitador de corriente funciona con normalidad, la excitación de CC hace que los núcleos de hierro estén en la saturación profunda. Los núcleos de hierro producen una pequeña impedancia inductora en el bobinado de CA para que no tenga efecto en la red eléctrica. En el estado de la limitación de corriente de pérdida, la corriente de cortocircuito súper alta acciona un núcleo de hierro fuera de saturación en una semi-onda y el campo magnético en el otro núcleo de hierro aumenta para realizar la limitación de corriente mediante un solo núcleo de hierro (el reactor en el estado de magnetismo mejorado no se acopla en la limitación de la corriente). Esto se denomina limitación de corriente de pérdida pasiva. Aunque la limitación de corriente de pérdida pasiva puede de hecho limitar la corriente de pérdida, tiene los siguientes obvios inconvenientes: 1) no utiliza completamente cada uno de los núcleos de hierro para limitar la corriente de pérdida, por lo tanto demanda núcleos de hierro más pesados y un mayor tamaño del bobinado de CA para producir los efectos de limitación de la corriente deseados; 2) el lado de CC tiene que someterse a tensión de alta inducción durante el estado de limitación de la corriente de pérdida; y 3) la fuente de alimentación de CC debe ser una fuente de alimentación constante. De lo contrario, la eficacia de la limitación de corriente se reduciría si hay interferencia en la fuente de alimentación.

50

Además, para los limitadores de corriente de pérdida superconductores en una red de alta tensión, los bobinados de CA están en un nivel de alta tensión, mientras que los núcleos de hierro y los imanes superconductores están en un nivel de baja tensión. Se requieren distancias de aislamiento de seguridad entre los bobinados de CA, entre los bobinados de CA y los núcleos de hierro, y entre los imanes superconductores. Por este motivo, se adopta en

general, la estructura de acoplamiento flexible mostrada en la figura 5, es decir, un imán superconductor 2 y el bobinado de CA 5 están en postes del núcleo de hierro diferentes de la misma ventana de los núcleos de hierro. Ya que los núcleos de hierro funcionan en el segmento no lineal de la curva de magnetización B-H de los materiales del núcleo de hierro durante cierto periodo de tiempo, o en todo momento, esto entra en el intervalo de saturación o saturación profunda. Por lo tanto, en la estructura de acoplamiento flexible, la fuga magnética es inevitable. Este fenómeno se agrava según aumenta el grado de saturación. La figura 6 muestra el diagrama esquemático de la excitación del núcleo de hierro de forma rectangular de la técnica anterior. La parte del núcleo de hierro enrollada por el imán superconductor 2 se denomina como un segmento de excitación 41. La parte del núcleo de hierro enrollada por el bobinado de CA 5 se denomina como un segmento de trabajo 42. La otra parte conectada con el segmento de excitación 41 y el segmento de trabajo 42 se denomina como un segmento de conducción 43. Cuando la corriente de excitación en el imán superconductor 2 es baja, el campo magnético en los núcleos de hierro es débil. Los núcleos de hierro están en el estado insaturado, con menor flujo de fuga magnética. El flujo magnético en el segmento de trabajo 42 y el segmento de excitación 41 son aproximadamente iguales. Si la corriente de excitación aumenta, la fuga magnética aumenta. Ya que la fuga magnética aumenta, la proporción del potencial magnético en el segmento de excitación 41 con respecto al potencial magnético total producido por los bobinados también aumenta. Como resultado, el potencial magnético en el segmento de trabajo 42 se reduce con respecto al del segmento de excitación 41. Es necesario aumentar la corriente de excitación para alcanzar cierto grado de saturación, y es difícil alcanzar cierto grado de saturación incluso con un aumento de la corriente de excitación.

20 El documento WO 2007/029224A1 desvela un limitador de corriente de pérdida superconductor de núcleo saturado que comprende un imán superconductor 34, un sistema de reactancia que es un núcleo de hierro 30 y un bobinado de CA 35, un sistema de criostato y un sistema de vigilancia que incluye un medio de detección de tensión. El limitador de corriente de pérdida incluye adicionalmente un sistema de control de CC conectado al imán superconductor en ambos extremos, y está conectado con el medio de detección de tensión. El documento también desvela un procedimiento de control correspondiente para el limitador de corriente de pérdida superconductor de núcleo saturado.

En consecuencia, el limitador de corriente de pérdida superconductor de núcleo saturado tradicional se ha considerado como una tecnología de limitación de corriente con mayor coste, mayor peso y la tecnología de la fuente de alimentación requerida es más difícil de aplicar y no es práctica en realidad.

### Resumen de la invención

El objetivo de esta invención es superar las deficiencias e inconvenientes de las tecnologías existentes. Se proporcionan un limitador de corriente de pérdida superconductor de núcleo saturado y su procedimiento de control. La tecnología del control electrónico de la potencia se usa para convertir la limitación de corriente pasiva en limitación de corriente activa. Al mismo tiempo, el efecto de la fuga magnética en los núcleos de hierro se reduce variando la estructura, la forma y el tamaño de los núcleos de hierro, para redistribuir el potencial magnético en los núcleos de hierro. En el caso de que el potencial magnético de excitación permanezca inalterado o en descenso, puede realizarse la saturación designada de los núcleos de hierro. El limitador de corriente de pérdida superconductor de núcleo saturado de acuerdo con la presente invención tiene diversas propiedades, como un tamaño pequeño, una eficiencia de limitación de corriente, una recuperación rápida, no induce daños de alta tensión, etc. y tiene mejor aplicabilidad.

Para conseguir el propósito anterior, esta invención proporciona un limitador de corriente de pérdida superconductor de núcleo saturado, de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende un imán superconductor, un sistema de reactancia que es un núcleo de hierro y un bobinado de CA, un sistema de criostato, un sistema de vigilancia, que está caracterizado porque incluye adicionalmente un sistema de control de CC, y el sistema de control de CC está conectado al imán superconductor en ambos extremos, y conectado con el sistema de vigilancia a través de un cable de datos. El núcleo de hierro del sistema de reactancia adopta la estructura del núcleo de hierro con una sección transversal desigual.

El sistema de control de CC comprende:

55 un módulo de alimentación de CC, que tiene un terminal de salida;

un módulo de absorción de energía magnética conectado con el terminal de salida del módulo de alimentación de CC, que consiste en una rama de absorción y una rama de corriente de continuación. La rama de absorción está conectada con el imán superconductor en serie, en la que la corriente fluye en un solo sentido. La rama de corriente

de continuación está conectada en paralelo con el circuito en serie que consiste en la rama de absorción y el imán superconductor, y su corriente fluye en un sentido opuesto al de la rama de absorción;

5 un módulo de control, que conecta con las líneas de datos de estado de los conmutadores de potencia electrónicos controlables en el módulo de alimentación de CC, el módulo de absorción de energía magnética a través de líneas de señal, y con el inductor mutuo de potencia de la red eléctrica, y que recibe señales de medición eléctricas del inductor mutuo de potencia en la red eléctrica, recibe y transmite señales de estado y señales de control de componentes electrónicos de potencia controlable en el sistema de control de CC, identifica el estado de funcionamiento de la red eléctrica y controla el estado de funcionamiento del módulo de alimentación de CC y el  
10 módulo de absorción de energía magnética.

15 La fuente de alimentación de CC en el módulo de alimentación de CC es la fuente de alimentación de CC proporcionada por la rectificación de una CA monofásica o trifásica, o la fuente de alimentación de CC proporcionada por baterías secas, o baterías secundarias.

La fuente de alimentación de CC proporcionada por la rectificación de una CA monofásica o trifásica incluye uno o más conmutadores de potencia electrónicos controlables que realizan una tensión de salida controlable y una corriente de salida constante regulable.

20 La rama de absorción consiste en conmutadores de potencia electrónicos controlables que están conectados en paralelo con elementos absorbentes de energía magnética.

Los conmutadores electrónicos de potencia en el módulo de alimentación de CC y el módulo de absorción de energía magnética se seleccionan entre uno de transistores bipolares de puerta aislada (IGBT), tiristores  
25 desactivados por compuerta (GTO) y un tiristor controlado por puerta integrada (IGCT).

Los elementos absorbentes de energía magnética en la rama de absorción son uno o una combinación de algunos de un varistor de óxido metálico (MOV), un tubo de descarga de gas (GDT), un tubo de descarga de elementos sólidos (SDT), o un supresor de tensión transitoria (TVS).

30 La rama de corriente de continuación consiste en uno o más diodos.

El núcleo de hierro del sistema de reactancia adopta la estructura del núcleo de hierro con una sección transversal desigual. La estructura del núcleo de hierro con una sección transversal desigual es un núcleo de hierro con forma  
35 cerrada, que incluye un segmento de excitación, un segmento de trabajo y un segmento de conducción. En la misma, la proporción del área de sección transversal del segmento de excitación del núcleo de hierro con respecto a la del segmento de trabajo del núcleo de hierro está entre 1,01 y 10, y la proporción del área de sección transversal del segmento de excitación del núcleo de hierro con respecto a la del segmento de conducción del núcleo de hierro está entre 1 y 10.

40 El núcleo de hierro con forma cerrada puede ser un anillo o un polígono.

El número de lados en el núcleo de hierro del polígono puede ser 4~20.

45 El segmento de excitación está rodeado por bobinados superconductores, el segmento de trabajo está rodeado por bobinados de CA, y el segmento de conducción conecta el segmento de excitación y el segmento de trabajo.

El área en sección transversal del segmento de conducción del núcleo de hierro es mayor que la del segmento de trabajo del núcleo de hierro, y menor o igual que la del segmento de excitación del núcleo de hierro.

50 La forma de la sección transversal del poste del núcleo de hierro del segmento de excitación es diferente de la del poste del núcleo de hierro del segmento de trabajo. Se montan 2~6 postes del núcleo de hierro de dicho segmento de excitación de forma compacta en una columna central ensamblada alrededor del centro sobre 360°. Se proporciona una placa de aislamiento ensamblada entre cada dos postes del núcleo de hierro del segmento de  
55 excitación adyacentes. El contorno exterior de la sección de la columna central ensamblada puede tener una cualquiera de las siguientes formas: circular, elipsoidal, de pista y rectangular, o similares.

En la forma en sección transversal del poste del núcleo de hierro del segmento de excitación, un arco circular del contorno exterior de la sección de la columna central ensamblada se sitúa en el lado interno del núcleo de hierro de

forma rectangular. Se forma una forma de cuña en el lado exterior del núcleo de hierro de forma rectangular. Los otros dos lados son lados rectos paralelos.

El ángulo del vértice de la forma de cuña es 60°, 90°, 120° o 180°.

5

El imán superconductor está conectado en paralelo con una bobina de cierre de tensión.

La bobina de cierre de tensión es un bobinado individual de cobre, aluminio o plata o una sola resistencia, o es una bobina de cobre/aluminio conectada con una resistencia en serie.

10

La proporción entre el número de vueltas del imán superconductor y el de la bobina de cierre de tensión es igual a o más de 20.

Para conseguir el propósito anterior, la invención también proporciona un procedimiento de control para el limitador de corriente de pérdida superconductor de núcleo saturado. El procedimiento comprende las siguientes etapas:

15

1) El módulo de control identifica el estado de funcionamiento de la red eléctrica mediante el procesamiento de señales de medición eléctricas recibidas del inductor mutuo de potencia en la red eléctrica. Los estados de funcionamiento incluyen: un estado de funcionamiento normal, un estado de cortocircuito y un estado de recuperación de cortocircuito;

20

2) Cuando el módulo de control identifica que la red eléctrica funciona en el estado de funcionamiento normal, controla los conmutadores de potencia electrónicos controlables del módulo de absorción de energía magnética para ajustarlo en un estado de absorción de energía no magnética. También controla los conmutadores de potencia electrónicos controlables del módulo de alimentación de CC para ajustarlo en el estado de salida de CC constante de baja tensión;

25

3) Cuando el módulo de alimentación de CC está en el estado de salida de CC constante de baja tensión, el módulo de control regula la magnitud de la corriente en el imán superconductor de manera que corresponda a la carga de la red eléctrica, de acuerdo con la cantidad de carga de la red eléctrica. Después se regresa a la etapa 1). Este ciclo se mantendrá hasta que el estado de funcionamiento de la red eléctrica cambie;

30

4) Cuando el módulo de control identifica que la red eléctrica está en el estado de cortocircuito, controla los conmutadores de potencia electrónicos controlables en el módulo de absorción de energía magnética para ajustarlo en el estado de absorción de energía magnética. También controla los conmutadores de potencia electrónicos controlables del módulo de alimentación de CC para interrumpir su salida de CC. Después se regresa a la etapa 1). Este ciclo se mantendrá hasta que el estado de funcionamiento de la red eléctrica cambie;

35

5) Cuando el módulo de control identifica que la red eléctrica está en el estado de recuperación de falla, controla los conmutadores de potencia electrónicos controlables en el módulo de absorción de energía magnética para ajustarlo en el estado de absorción de energía no magnética. También controla los conmutadores de potencia electrónicos controlables del módulo de alimentación de CC para ajustarlo en el estado de salida de CC de alta tensión. Después se regresa a la etapa 1). Este ciclo se mantendrá hasta que el estado de funcionamiento de la red eléctrica cambie.

40

La presente invención tiene los siguientes efectos técnicos beneficiosos: el limitador de corriente de pérdida superconductor de núcleo saturado propuesto en esta invención convierte la limitación de corriente pasiva en limitación de corriente activa y, por lo tanto, mejora la eficiencia de la limitación de corriente en comparación con la tecnología tradicional; el efecto de la fuga magnética en los núcleos de hierro se reduce variando la estructura, la forma y el tamaño de los núcleos de hierro, para cancelar la desventaja causada por la fuga magnética que se produce debido a que los núcleos de hierro entran en el estado de saturación, para redistribuir el potencial magnético en los núcleos de hierro. En el caso de que el potencial magnético de excitación permanezca inalterado o en descenso, puede realizarse la saturación designada de los núcleos de hierro. El limitador de corriente de acuerdo con esta invención tiene mejor aplicabilidad en cuanto a tecnología y economía.

50

## 55 Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es un diagrama de circuito esquemático global del limitador de corriente de pérdida superconductor de núcleo saturado de acuerdo con la presente invención;

la figura 2 es un diagrama esquemático del sistema de control de CC;

la figura 3 es un diagrama esquemático de una realización de aplicación del sistema de control de CC de acuerdo con la presente invención;

5

la figura 4 muestra un diagrama de flujo de las etapas del procedimiento de control para el sistema de control de CC de acuerdo con la presente invención;

la figura 5 es un diagrama esquemático de la estructura de un acoplamiento flexible de una estructura de seis núcleos de hierro de la técnica anterior;

10

la figura 6 muestra un diagrama esquemático de la excitación del núcleo de hierro rectangular de la técnica anterior;

las figuras 7, 8 y 9 muestran diagramas esquemáticos del núcleo de hierro con una sección transversal desigual de acuerdo con la presente invención, respectivamente, en los que los bobinados de CA se enrollan en diferentes posiciones;

15

la figura 10 es un diagrama esquemático de la sección transversal de una columna central ensamblada que se forma mediante el montaje de manera compacta de seis postes del núcleo de hierro del segmento de excitación;

20

la figura 11 muestra el diagrama esquemático aumentado de la sección de un poste del núcleo de hierro del segmento de excitación con forma de cuña;

la figura 12 muestra la vista frontal del núcleo de hierro con una sección transversal desigual de acuerdo con la presente invención;

25

la figura 13 muestra la vista superior del núcleo de hierro con una sección transversal desigual de acuerdo con la presente invención;

la figura 14 muestra un diagrama esquemático de la estructura de una bobina de cierre de tensión en una realización;

30

la figura 15 muestra otro diagrama esquemático de la estructura de una bobina de cierre de tensión.

35

1. Red eléctrica

2. Imán superconductor

3. Carga en la red eléctrica

4. Núcleo de hierro

5. bobinado de CA

40

6. sistema de control de CC

7. Sistema de vigilancia

8. Inductor mutuo de potencia

9. Sistema criogénico

10. Placa de aislamiento ensamblada

45

11. Bobina de cierre de tensión

12. Resistencia

41. Segmento de excitación

42. Segmento de trabajo

43. Segmento de conducción

50

411. Un arco circular

412. Forma de cuña

413. Lado recto paralelo

414. Lado recto paralelo

61. Módulo de alimentación de CC

55

62. Módulo de absorción de energía magnética

63. Módulo de control

621. Rama de absorción

622. Rama de corriente de continuación

### Descripción detallada

En la siguiente descripción, se ilustran implementaciones y realizaciones específicas junto con los dibujos.

5 La figura 1 muestra un diagrama de circuito esquemático de un limitador de corriente de pérdida superconductor de núcleo saturado de acuerdo con la presente invención. Esta invención proporciona un limitador de corriente de pérdida superconductor de núcleo saturado, que está conectado a la fuente de alimentación en la red eléctrica 1, e incluye un imán superconductor 2, un núcleo de hierro 4 y un bobinado de CA 5, y también incluye un sistema de control de CC 6. El sistema de control de CC 6 está conectado al imán superconductor 2 en ambos extremos, y  
10 conectado con un sistema de vigilancia 7 a través de un cable de datos.

Como se muestra en la figura 2 de un diagrama de circuito esquemático del sistema de control de CC, el sistema de control de CC 6 incluye:

15 un módulo de alimentación de CC 61, que tiene un terminal de salida;

un módulo de absorción de energía magnética 62 conectado con el terminal de salida del módulo de alimentación de CC 61, que consiste en una rama de absorción 621 y una rama de corriente de continuación 622. La rama de absorción 621 está conectada al imán superconductor 2 en serie, en la que la corriente fluye en un solo sentido; la  
20 rama de corriente de continuación 622 está conectada en paralelo con el circuito en serie que consiste en la rama de absorción 621 y el imán superconductor 2, y su corriente fluye en un sentido opuesto al de la rama de absorción 621;

un módulo de control 63, que conecta el cable de datos de estado de los conmutadores electrónicos controlables en el inductor mutuo de potencia 8 de la red eléctrica, el módulo de alimentación de CC 61 y el módulo de absorción de  
25 energía magnética 62 a través de líneas de señal, recibe señales de medición eléctricas en la red eléctrica 1, y recibe y transmite señales de estado y señales de control de los componentes electrónicos controlables en el sistema de control de CC 6, identifica el estado de funcionamiento de la red eléctrica 1 y controla el estado de funcionamiento del módulo de alimentación de CC 61 y el módulo de absorción de energía magnética 62.

30 Como se muestra en la figura 3, la fuente de alimentación de CC en el módulo de alimentación de CC 61 es una fuente de alimentación de CC proporcionada por la rectificación de una CA monofásica o trifásica, en la que el módulo de alimentación de CC 61 usa un conmutador electrónico de potencia controlable Q1, una bobina de inductancia L1, un condensador C2 y un diodo D2 para controlar la tensión de salida, y usa un conmutador electrónico de potencia controlable Q3 para realizar la regulación de la corriente de salida constante. Cuando el  
35 limitador de corriente funciona con normalidad, el módulo de alimentación de CC 61 transmite una tensión de CC inferior, para mantener la corriente de excitación en el imán superconductor 2. Cuando el limitador de corriente está en el estado de recuperación, el módulo de alimentación de CC 61 transmite una tensión forzada de CC superior, de manera que el campo magnético en el imán superconductor 2 pueda alcanzar el estado de excitación rápidamente.

40 La rama de absorción 621 consiste en un conmutador electrónico de potencia controlable Q2 conectado en paralelo con un componente de absorción de energía magnética Rm. Cuando el imán superconductor 2 funciona en el estado de excitación, la rama de absorción 621 muestra conectividad, correspondiente al estado de cortocircuito. Cuando el imán superconductor 2 sale del estado de excitación, la rama de absorción 621 desconecta y absorbe la energía magnética en el imán superconductor 2, para limitar la tensión sobre el imán superconductor 2 a un nivel seguro.

45 El componente de absorción de energía magnética Rm en la rama de absorción 621 es uno o una combinación de algunos de un varistor de óxido metálico (MOV), un tubo de descarga de gas (GDT), un tubo de descarga de elementos sólidos (SDT), un supresor de tensión transitoria (TVS).

50 La rama de corriente de continuación 622 está constituida por uno o más diodos D1. En la rama de continuación 622, la corriente fluye en un solo sentido opuesto al sentido de la corriente en el imán superconductor 2. Por lo tanto, la rama de continuación 622 puede ser uno o más diodos, que están conectados en serie, en paralelo, o cualquier combinación de conexiones en serie-paralelo, y pueden ser también conmutadores electrónicos controlables.

55 El módulo de control 63 puede controlar el estado de funcionamiento del módulo de alimentación de CC 61 y el módulo de absorción de energía magnética 62 respectivamente, de acuerdo con la estrategia de funcionamiento del limitador de corriente. La figura 4 muestra un diagrama de flujo de las etapas del procedimiento de control para el sistema de control de CC, comprendiendo las etapas de:

1) El módulo de control 63 identifica el estado de funcionamiento de la red eléctrica mediante el procesamiento de las señales de medición eléctricas recibidas del inductor mutuo de potencia 8 en la red eléctrica. El estado de funcionamiento incluye tres estados distintos: estado de funcionamiento normal, estado de cortocircuito, y estado de recuperación de cortocircuito.

5

2) Cuando el módulo de control 63 identifica que la red eléctrica está funcionando en el estado de funcionamiento normal, controla los conmutadores electrónicos controlables en el módulo de absorción de energía magnética 62 para ajustarlo en un estado de absorción de energía no magnética. También controla los conmutadores electrónicos controlables del módulo de alimentación de CC 61 para ajustarlo en el estado de salida de CC constante de baja tensión.

10

3) Cuando el módulo de alimentación de CC 61 está en el estado de salida de CC constante de baja tensión, el módulo de control 63 regula la magnitud de corriente en el imán superconductor 2 de manera que corresponda a la carga de la red eléctrica, de acuerdo con la cantidad de carga de la red eléctrica. Después se regresa a la etapa 1).

15

4) Cuando el módulo de control 63 identifica que la red eléctrica está en el estado de cortocircuito, controla los conmutadores de potencia electrónicos controlables en el módulo de absorción de energía magnética 62 para ajustarlo en el estado de absorción de energía magnética; y también controla los conmutadores electrónicos controlables del módulo de alimentación de CC 61, para interrumpir la salida de CC. Después se regresa a la etapa 1). Este ciclo se mantendrá hasta que el estado de funcionamiento de la red eléctrica cambie.

20

5) Cuando el módulo de control 63 identifica que la red eléctrica está en el estado de recuperación de falla, controla los conmutadores de potencia electrónicos controlables en el módulo de absorción de energía magnética 62 para ajustarlo en el estado de absorción de energía no magnética; y también controla los conmutadores electrónicos de potencia del módulo de alimentación de CC 61 para ajustarlo en un estado de salida de CC de alta tensión. Después se regresa a la etapa 1). Este ciclo se mantendrá hasta que el estado de funcionamiento de la red eléctrica cambie.

25

La figura 7 es un diagrama esquemático de una realización ejemplar de la invención, que muestra una estructura del núcleo de hierro de forma rectangular con una sección transversal desigual y en la que, el imán superconductor 2 y el bobinado de CA 5 se enrollan por separado en dos lados opuestos. Proporciona una estructura del núcleo de hierro con una sección transversal desigual para trabajar en una región insaturada magnética. El núcleo de hierro es un núcleo de hierro con forma cerrada, que incluye un segmento de excitación 41, un segmento de trabajo 42 y un segmento de conducción 43. En el mismo, la proporción del área de sección transversal del segmento de excitación 41 del núcleo de hierro con respecto a la del segmento de trabajo 42 del núcleo de hierro está entre 1,01 y 10, y las proporciones preferidas están entre 1,2 y 3. La proporción del área de sección transversal del segmento de excitación 41 del núcleo de hierro con respecto a la del segmento de conducción 43 del núcleo de hierro está entre 1 y 10, y la proporción preferida está entre 1 y 3. El área de sección transversal del segmento de conducción 43 del núcleo de hierro es mayor que la del segmento de trabajo 42 del núcleo de hierro, y menor o igual que la del segmento de excitación 41 del núcleo de hierro. Como se muestra en la figura 7, en esta realización, el área de sección transversal del segmento de conducción 43 del núcleo de hierro es menor que la del segmento de excitación 41 del núcleo de hierro. El segmento de excitación 41 está rodeado por el imán superconductor 2, el segmento de trabajo 42 está rodeado por el bobinado de CA 5, y el segmento de conducción 43 conecta el segmento de excitación 41 y el segmento de trabajo 42.

30

35

40

45

La figura 8 y la figura 9 son diagramas esquemáticos de dos realizaciones ejemplares de esta invención, que muestran una estructura del núcleo de hierro de forma rectangular con una sección transversal desigual, y en la que, el imán superconductor 2 y el bobinado de CA 5 se enrollan por separado en dos lados adyacentes. El núcleo de hierro es un núcleo de hierro con forma cerrada, que incluye un segmento de excitación 41, un segmento de trabajo 42 y un segmento de conducción 43. En el mismo, la proporción del área de sección transversal del segmento de excitación 41 del núcleo de hierro con respecto a la del segmento de trabajo 42 del núcleo de hierro está entre 1,01 y 10, y las proporciones preferidas están entre 1,2 y 3. La proporción del área de sección transversal del segmento de excitación 41 del núcleo de hierro con respecto a la del segmento de conducción 43 del núcleo de hierro está entre 1 y 10, y las proporciones preferidas están entre 1 y 3. El área de sección transversal del segmento de conducción 43 del núcleo de hierro es mayor que la del segmento de trabajo 42 del núcleo de hierro, y menor o igual que la del segmento de excitación 41 del núcleo de hierro. Como se muestra en la figura 8 y 9, en esta realización, el área de sección transversal del segmento de conducción 43 del núcleo de hierro es menor que la del segmento de excitación 41 del núcleo de hierro. El segmento de excitación 41 está rodeado por el imán superconductor 2, el segmento de trabajo 42 está rodeado por el bobinado de CA 5, y el segmento de conducción 43 conecta el

50

55

segmento de excitación 41 y el segmento de trabajo 42.

Como se muestra en la figura 10, se montan seis postes del núcleo de hierro de dicho segmento de excitación de forma compacta juntos en una columna central ensamblada alrededor del centro sobre  $360^\circ$ . Se proporciona una placa de aislamiento ensamblada 10 entre cada dos postes del núcleo de hierro del segmento de excitación adyacentes 41. El contorno exterior de la sección transversal de la columna central combinada es circular.

La figura 11 muestra el diagrama esquemático aumentado de una sección con forma de cuña de la columna central ensamblada formada con seis postes del núcleo de hierro del segmento de excitación montados de forma compacta. Mediante este ejemplo, en la forma en sección transversal del poste del núcleo de hierro del segmento de excitación 41, un arco circular 411 del contorno exterior de la sección de la columna central ensamblada se sitúa en el lado interno del núcleo de hierro de forma rectangular. Una forma de cuña 412 se forma en el lado exterior del núcleo de hierro de forma rectangular. Y los otros dos lados son lados rectos paralelos 413, 414.

La figura 14 muestra el diagrama esquemático de la estructura alrededor del imán superconductor 2 conectado en paralelo con una bobina de cierre de tensión 11, en la que el número de vueltas de la bobina de cierre de tensión es mucho menor que la del imán superconductor. Por lo tanto, el número equivalente de vueltas de la estructura paralela compuesta por el imán superconductor y la bobina de cierre de tensión disminuye significativamente en comparación con el del imán superconductor, a fin de que la tensión de inducción tomada por el imán superconductor se reduzca. Cuando el imán superconductor se alimenta, la corriente proporcionada por la fuente de alimentación de CC constante sólo pasa a través del imán superconductor, debido a su resistencia nula y, por lo tanto, la bobina de cierre de tensión paralela no afecta a la función de excitación normal del imán superconductor. La figura 15 muestra el otro diagrama esquemático de la estructura alrededor del imán superconductor 2 conectado en paralelo con una bobina de cierre de tensión 11. De acuerdo con requisitos específicos, la bobina de cierre de tensión también puede conectarse en primer lugar en serie con una resistencia R12, y después puede conectarse en paralelo con el imán superconductor.

Como se indica a continuación, el sistema de control de CC del limitador de corriente de pérdida superconductor de núcleo saturado y la estructura del núcleo de hierro con una sección transversal desigual se ilustrarán adicionalmente junto con una realización práctica.

La figura 3 muestra un diagrama de circuito detallado del sistema de control de CC para un limitador de corriente de pérdida superconductor de 35 kV. En el mismo, el módulo de alimentación de CC 61 usa un puente completo trifásico para rectificar la CA trifásica de 380 V y después transmite una corriente CC con la tensión de 550 V. El módulo de alimentación de CC 61 usa el conmutador electrónico de potencia controlable Q1, la bobina de inductancia L1, el condensador C2 y el diodo D2 para controlar su tensión de salida, y después realiza la regulación de corriente constante a través del conmutador electrónico de potencia controlable Q3.

En esta realización ejemplar, la configuración detallada, el principio y función del sistema de control de CC del limitador de corriente de pérdida superconductor de núcleo saturado son como se indican a continuación:

1) módulo de alimentación de CC 61

En esta realización, un CC pulsada se transmite rectificando una CA monofásica o trifásica a través de un rectificador de conmutador electrónico de potencia. Las ondas armónicas en la salida de la fuente de alimentación se eliminan mediante un condensador de filtro C1 que está conectado en paralelo en la parte posterior.

La parte posterior de salida de la fuente de alimentación de CC está conectada en paralelo con un circuito de refuerzo BOOST con conmutador, que consiste en un inductor L1, un conmutador electrónico de potencia Q1, un diodo D2, un condensador de filtro/almacenamiento de energía C2. La magnitud de la tensión de salida puede controlarse a través de un conmutador electrónico de potencia PWM Q1 para realizar la tensión controlable.

Cuando el limitador de corriente funciona con normalidad, el módulo de alimentación de CC 61 transmite una tensión inferior mediante la modulación por ancho de pulsos del factor de trabajo del conmutador electrónico de potencia Q1 a través de PWM, para mantener la corriente de excitación en el imán superconductor 2. Cuando el limitador de corriente funciona en el estado de recuperación, el módulo de alimentación de CC 61 transmite una tensión forzada de CC superior mediante la modulación por ancho de pulsos del factor de trabajo del conmutador electrónico de potencia Q1 a través de PWM para hacer que el campo magnético en el imán superconductor 2 alcance el estado de excitación rápidamente.

El conmutador electrónico de potencia Q3 se usa para regular y desconectar la salida de la fuente de alimentación de CC, que puede controlarse por el módulo de control 63. Usa un PWM para modular por ancho de pulsos y controlar el factor de trabajo del conmutador electrónico de potencia Q3 con el fin de ajustar el valor de la corriente en el imán superconductor 2.

Los conmutadores electrónicos de potencia Q1 y Q3 pueden estar compuestos por uno o más transistores bipolares de puerta aislada (IGBT), tiristores desactivados por compuerta (GTO) o un tiristor controlado por puerta integrada (IGCT), que están conectados en serie o en paralelo.

10 2) Módulo de absorción de energía magnética 62

El módulo de absorción de energía magnética 62 consiste en la rama de absorción 621 y la rama de corriente de continuación 622. La rama de absorción 621 está conectada con el imán superconductor 2 en serie, y en esta rama la corriente fluye en un solo sentido. La rama de corriente de continuación 622 conecta en paralelo con el circuito en serie que consiste en la rama de absorción 621 y el imán superconductor 2, y su corriente fluye en el sentido opuesto al de la rama de absorción 621.

De acuerdo con la figura 3, la rama de absorción 621 consiste en el conmutador electrónico de potencia Q2 conectado en paralelo con un Rm MOV, y está conectada en serie con el imán superconductor 2 en un circuito.

El grupo de componentes compuesto por el conmutador electrónico de potencia Q1 y el Rm MOV conectado en paralelo, incluye al menos un conmutador electrónico de potencia y un Rm MOV conectado en paralelo, o una pluralidad de conmutadores electrónicos de potencia y Rm MOV conectados en paralelo. El Rm MOV en la rama de absorción puede ser uno de MOV de alta energía, GDT, SDT, TVS, y similares.

De acuerdo con la figura 3, la rama de corriente de continuación 622 está constituida por un diodo D1. En la rama de corriente de continuación 622, la corriente fluye en un sentido opuesto a la corriente en el imán superconductor 2, usado para la corriente de continuación.

De acuerdo con los requisitos, la rama de corriente de continuación 622 también puede consistir en una pluralidad de diodos, que están conectados en serie, en paralelo, o en cualquier combinación de conexión en serie-paralelo. Además, el diodo D1 también puede reemplazarse por componentes electrónicos de potencia controlable.

Cuando el limitador de corriente sale del estado de excitación, envía una señal al conmutador electrónico de potencia Q3 como se muestra en la figura 3 para desconectar la salida de la fuente de alimentación. En este momento, el imán superconductor 2 forma corriente de continuación a través de diodos D1 y Q2. La desconexión del Q3 y el Q2 simultáneamente genera una alta tensión transitoria en dos extremos del imán superconductor 2, que se aplica a través del Q2. En este momento, el Rm MOV descarga y cierra la tensión en los dos extremos del imán superconductor 2 al mismo tiempo. Por lo tanto, la energía magnética en el imán superconductor 2 se libera, mientras que el conmutador electrónico de potencia Q2 está protegido contra los daños de la alta tensión.

3) Módulo de control 63

El módulo de control 63 como se muestra por el bloque de línea de puntos de la figura 3, está conectado al cable de datos de los componentes electrónicos de potencia del inductor mutuo de potencia 8 en la red eléctrica, el módulo de alimentación de CC 61 y el módulo de absorción de energía magnética 62 a través de las líneas de control de datos. Se usa para procesar los datos recibidos, y controla el estado de funcionamiento de los componentes electrónicos de potencia en el módulo de alimentación de CC 61 y el módulo de absorción de energía magnética 62.

La figura 12 muestra una vista frontal de la realización de un limitador de corriente trifásico que consiste en seis núcleos de hierro con forma rectangular. Los seis núcleos de hierro mostrados en la figura son todos de forma rectangular (cuadrangular), o similar. Incluye un segmento de excitación 41, un segmento de trabajo 42 y un segmento de conducción 43. En estos, la proporción del área de sección transversal del segmento de excitación 41 del núcleo de hierro con respecto a la del segmento de trabajo 42 del núcleo de hierro está entre 1,01 y 10, y las proporciones preferidas están entre 1,2 y 3. En esta realización, la proporción es aproximadamente 2. La proporción del área de sección transversal del segmento de excitación 41 del núcleo de hierro con respecto a la del segmento de conducción 43 del núcleo de hierro está entre 1 y 10, y las proporciones preferidas están entre 1 y 3. En esta realización, la proporción es 1. Además, el área de sección transversal del segmento de conducción 43 del núcleo

de hierro es mayor que la del segmento de trabajo 42 del núcleo de hierro, y menor o igual que la del segmento de excitación 41 del núcleo de hierro. Como se muestra en la figura 12, en esta realización, el área de sección transversal del segmento de conducción 43 del núcleo de hierro es igual a la del segmento de excitación 41 del núcleo de hierro.

5

La figura 13 muestra una vista superior de la realización de un limitador de corriente trifásico, que consiste en seis núcleos de hierro con forma rectangular. El poste del núcleo de hierro del segmento de excitación 41 tiene una forma en sección transversal diferente del poste del núcleo de hierro del segmento de trabajo 42. Seis de dichos postes del núcleo de hierro del segmento de excitación se montan de forma compacta en una columna central ensamblada alrededor del centro sobre 360°. Se proporciona una placa de aislamiento ensamblada 10 entre cada dos postes del núcleo de hierro del segmento de excitación adyacentes 41. El contorno exterior de la sección transversal de la columna central ensamblada es circular. El poste del núcleo de hierro del segmento de excitación con forma de cuña 41 con una estructura de seis núcleos de hierro tiene un ángulo del vértice de 60°.

10

15 La presente invención adopta una tecnología de control electrónico de potencia para convertir un limitador de corriente de pérdida superconductor en un limitador de corriente activa y, por lo tanto, mejora la eficacia de limitación de la corriente. Adicionalmente, también utiliza la estructura del núcleo de hierro con una sección transversal desigual para que el núcleo de hierro de trabajo pueda alcanzar la saturación requerida en el diseño. Además, el potencial magnético de polarización proporcionado por el bobinado semiconductor es menor que en la técnica anterior, reduciendo de esta manera de forma significativa el tamaño de los núcleos de hierro.

20

**REIVINDICACIONES**

1. Un limitador de corriente de pérdida superconductor de núcleo saturado, que comprende un imán superconductor (2), un sistema de reactancia que es un núcleo de hierro (4) y un bobinado de CA (5), un sistema de  
5 criostato (9), un sistema de vigilancia (7) que incluye un inductor mutuo de potencia (8) en una red eléctrica (1), y que comprende adicionalmente un sistema de control de CC (6);

en el que el sistema de control de CC (6) está conectado al imán superconductor (2) en ambos extremos, e incluye un módulo de alimentación de CC (61) que tiene un terminal de salida; un módulo de absorción de energía  
10 magnética (62) conectado con el terminal de salida del módulo de alimentación de CC (61)

**caracterizado porque** el sistema de control de CC (6) está conectado con el sistema de vigilancia (7) a través de un cable de datos; y

15 el núcleo de hierro (4) del sistema de reactancia adopta la estructura del núcleo de hierro con una sección transversal desigual,

en el que el módulo de absorción de energía magnética (62) consiste en una rama de absorción (621) y una rama de corriente de continuación (622); en el que la rama de absorción (621) está conectada con el imán superconductor (2)  
20 en serie, en la que la corriente fluye en un solo sentido; y en el que la rama de corriente de continuación (622) está conectada en paralelo con el circuito en serie que consiste en la rama de absorción (621) y el imán superconductor (2), y su corriente fluye en un sentido opuesto al de la rama de absorción (621);

y en el que el sistema de control de CC (6) incluye adicionalmente un módulo de control (63), que conecta con las  
25 líneas de datos de estado de los conmutadores de potencia electrónicos controlables (Q1, Q2, Q3) en el módulo de alimentación de CC (61) y el módulo de absorción de energía magnética (62) a través de líneas de señal, y con el inductor mutuo de potencia (8) en la red eléctrica (1) a través del sistema de vigilancia (7), y que recibe señales de medición eléctricas del inductor mutuo de potencia (8) en la red eléctrica (1), y el sistema de control identifica el estado de funcionamiento de la red eléctrica (1) y controla el estado de funcionamiento del módulo de alimentación  
30 de CC (61) y el módulo de absorción de energía magnética (62).

2. El limitador de corriente de pérdida superconductor de núcleo saturado de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la fuente de alimentación de CC en el módulo de alimentación de CC es la fuente de  
35 de CC proporcionada por baterías secas o baterías secundarias.

3. El limitador de corriente de pérdida superconductor de núcleo saturado de acuerdo con la reivindicación 2, en el que la fuente de alimentación de CC proporcionada por la rectificación de una CA monofásica o trifásica incluye uno o más conmutadores de potencia electrónicos controlables (Q1, Q2, Q3) que se usan para  
40 realizar tensión de salida controlable y una corriente de salida constante regulable.

4. El limitador de corriente de pérdida superconductor de núcleo saturado de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la rama de absorción (621) consiste en conmutadores de potencia electrónicos controlables (Q2) que están conectados en paralelo con elementos absorbentes de energía magnética (Rm).  
45

5. El limitador de corriente de pérdida superconductor de núcleo saturado de acuerdo con la reivindicación 3 4, en el que los conmutadores de potencia electrónicos controlables (Q1, Q2, Q3) se seleccionan entre uno de transistores bipolares de puerta aislada IGBT, tiristor controlado por puerta integrada IGCT y tiristores desactivados por compuerta GTO.  
50

6. El limitador de corriente de pérdida superconductor de núcleo saturado de acuerdo con la reivindicación 4, en el que los elementos absorbentes de energía magnética (Rm) son uno o una combinación de algunos de un varistor de óxido metálico, un tubo de descarga de gas, un tubo de descarga de elementos sólidos (SDT) o un supresor de tensión transitoria.  
55

7. El limitador de corriente de pérdida superconductor de núcleo saturado de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la rama de corriente de continuación (622) consiste en uno o más diodos.

8. El limitador de corriente de pérdida superconductor de núcleo saturado de acuerdo con la

reivindicación 1,

en el que la estructura del núcleo de hierro con una sección transversal desigual es un núcleo de hierro con forma cerrada, que incluye un segmento de excitación (41), un segmento de trabajo (42) y un segmento de conducción (43);

la proporción del área de sección transversal del segmento de excitación (41) del núcleo de hierro con respecto a la del segmento de trabajo (42) del núcleo de hierro está entre 1,01 y 10, y la proporción del área de sección transversal del segmento de excitación (41) del núcleo de hierro con respecto a la del segmento de conducción (43) del núcleo de hierro está entre 1 y 10.

9. El limitador de corriente de pérdida superconductor de núcleo saturado de acuerdo con la reivindicación 8, en el que el núcleo de hierro con forma cerrada es un anillo o un polígono.

10. El limitador de corriente de pérdida superconductor de núcleo saturado de acuerdo con la reivindicación 9, en el que el número de lados en el núcleo de hierro del polígono es entre 4 y 20.

11. El limitador de corriente de pérdida superconductor de núcleo saturado de acuerdo con la reivindicación 8, en el que el segmento de excitación (41) está rodeado por el imán superconductor (2), el segmento de trabajo (42) está rodeado por bobinados de CA (5), y el segmento de conducción (43) conecta el segmento de excitación (41) y el segmento de trabajo (42).

12. El limitador de corriente de pérdida superconductor de núcleo saturado de acuerdo con la reivindicación 8, en el que el área de sección transversal del segmento de conducción (43) del núcleo de hierro es mayor que la del segmento de trabajo (42) del núcleo de hierro, y menor o igual que la del segmento de excitación (41) del núcleo de hierro.

13. El limitador de corriente de pérdida superconductor de núcleo saturado de acuerdo con la reivindicación 8, en el que

la forma de la sección transversal del poste del núcleo de hierro del segmento de excitación (41) es diferente a la del poste del núcleo de hierro del segmento de trabajo (42);

2~6 postes del núcleo de hierro de dicho segmento de excitación (41) se montan de forma compacta en una columna central ensamblada alrededor del centro sobre 360°;

se proporciona una placa de aislamiento ensamblada entre cada dos postes del núcleo de hierro del segmento de excitación (41);

el contorno exterior de la sección de la columna central ensamblada tiene una cualquiera de las siguientes formas: circular, elipsoidal, de pista y rectangular, o similares.

14. El limitador de corriente de pérdida superconductor de núcleo saturado de acuerdo con la reivindicación 13, en el que en la forma en sección transversal del poste del núcleo de hierro del segmento de excitación (41), un arco circular (411) del contorno exterior de la sección de la columna central ensamblada se sitúa en el lado interno del núcleo de hierro de forma rectangular; una forma de cuña (412) se forma en el lado exterior del núcleo de hierro de forma rectangular; los otros dos lados son lados rectos paralelos (413,414).

15. El limitador de corriente de pérdida superconductor de núcleo saturado de acuerdo con la reivindicación 14, en el que el ángulo del vértice de la forma de cuña (412) es 60°, 90°, 120° o 180°.

16. El limitador de corriente de pérdida superconductor de núcleo saturado de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el imán superconductor (2) está conectado en paralelo con un bobinado de cierre de tensión (11).

17. El limitador de corriente de pérdida superconductor de núcleo saturado de acuerdo con la reivindicación 16, en el que la bobina de cierre de tensión (11) es un bobinado individual de cobre, aluminio o plata o una sola resistencia, o es una bobina de cobre/aluminio conectada con una resistencia en serie.

18. El limitador de corriente de pérdida superconductor de núcleo saturado de acuerdo con la reivindicación 16, en el que la proporción entre el número de vueltas del imán superconductor (2) y la de la bobina de cierre de tensión (11) es igual a o más de 20.

5 19. Un procedimiento de control para el limitador de corriente de pérdida superconductor de núcleo saturado de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que incluye las siguientes etapas:

1) el módulo de control (63) identifica el estado de funcionamiento de la red eléctrica mediante el procesamiento de señales de medición eléctricas recibidas del inductor mutuo de potencia (8) en la red eléctrica; los estados de funcionamiento incluyen: estado de funcionamiento normal, estado de cortocircuito y estado de recuperación de falla de cortocircuito;

2) cuando el módulo de control identifica que la red eléctrica funciona en el estado de funcionamiento normal, controla los conmutadores de potencia electrónicos controlables del módulo de absorción de energía magnética (62) para ajustarlo en un estado de absorción de energía no magnética; también controla los conmutadores de potencia electrónicos controlables del módulo de alimentación de CC (61) para ajustarlo en el estado de salida de CC constante de baja tensión;

3) cuando el módulo de alimentación de CC (61) está en el estado de salida de CC constante de baja tensión, el módulo de control (63) regula la magnitud de la corriente en el imán superconductor (2) de manera que corresponda a la carga de la red eléctrica, de acuerdo con la cantidad de carga de la red eléctrica; después se regresa a la etapa 1); este ciclo se mantendrá hasta que el estado de funcionamiento de la red eléctrica cambie;

4) cuando el módulo de control (63) identifica que la red eléctrica está en el estado de cortocircuito, controla los conmutadores de potencia electrónicos controlables en el módulo de absorción de energía magnética para ajustarlo en el estado de absorción de energía magnética; también controla los conmutadores de potencia electrónicos controlables del módulo de alimentación de CC para interrumpir su salida de CC; después se regresa a la etapa 1); este ciclo se mantendrá hasta que el estado de funcionamiento de la red eléctrica cambie;

5) cuando el módulo de control identifica que la red eléctrica está en el estado de recuperación de falla, controla los conmutadores de potencia electrónicos controlables en el módulo de absorción de energía magnética (62) para ajustarlo en el estado de absorción de energía no magnética; también controla los conmutadores de potencia electrónicos controlables del módulo de alimentación de CC (61) para ajustarlo en el estado de salida de CC de alta tensión; después se regresa a la etapa 1); este ciclo se mantendrá hasta que el estado de funcionamiento de la red eléctrica cambie.

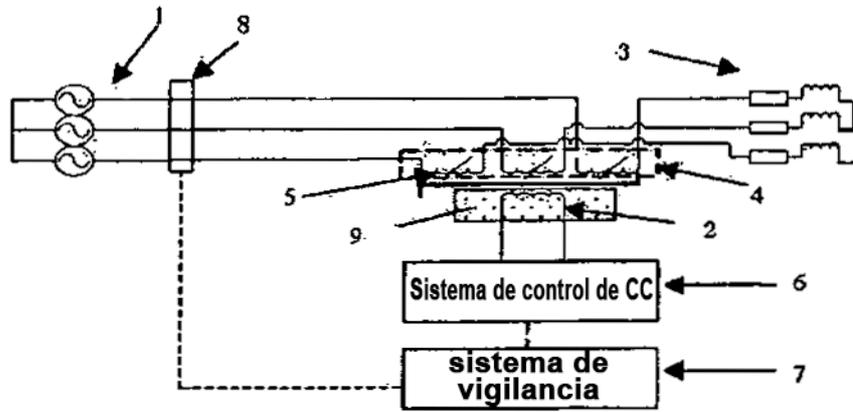


FIG. 1

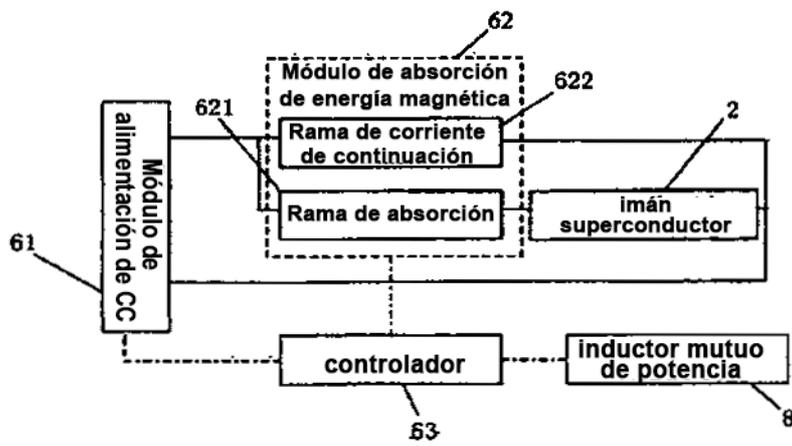


FIG. 2

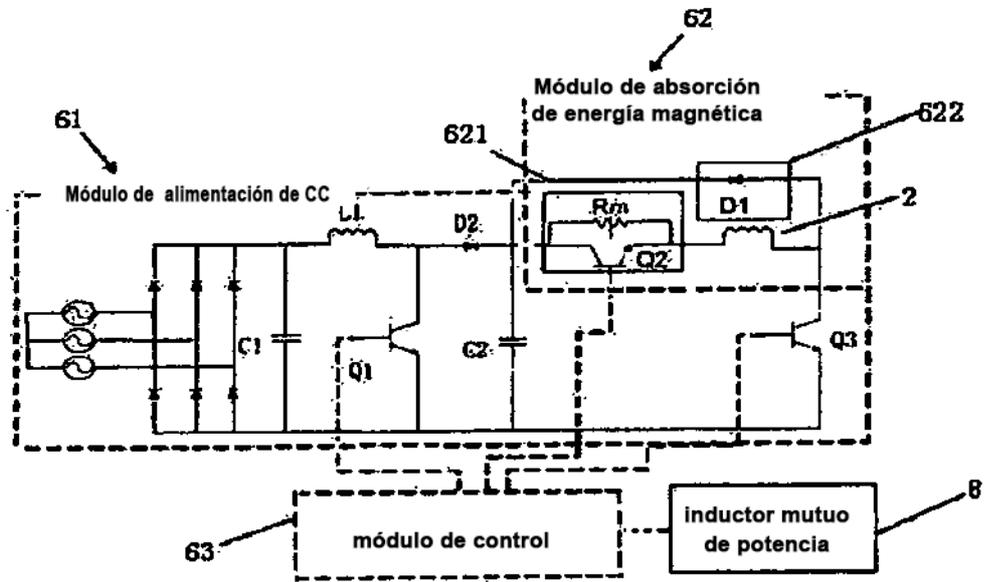


FIG. 3

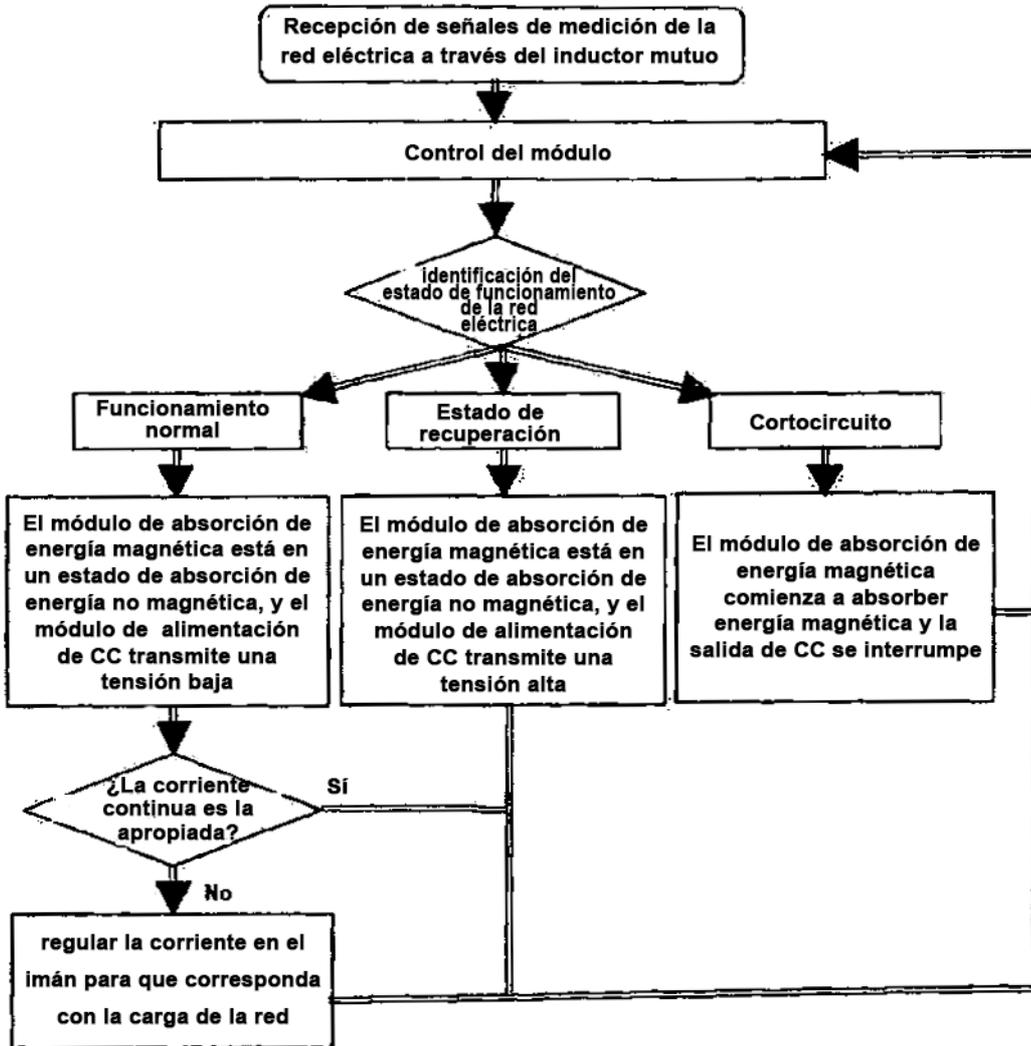


FIG. 4

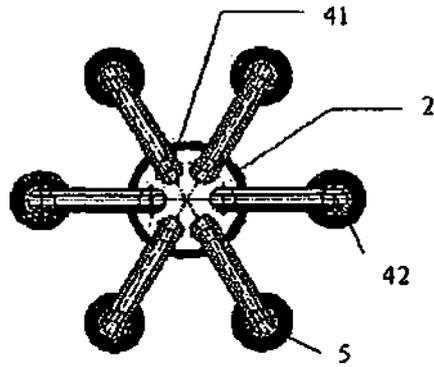


FIG. 5

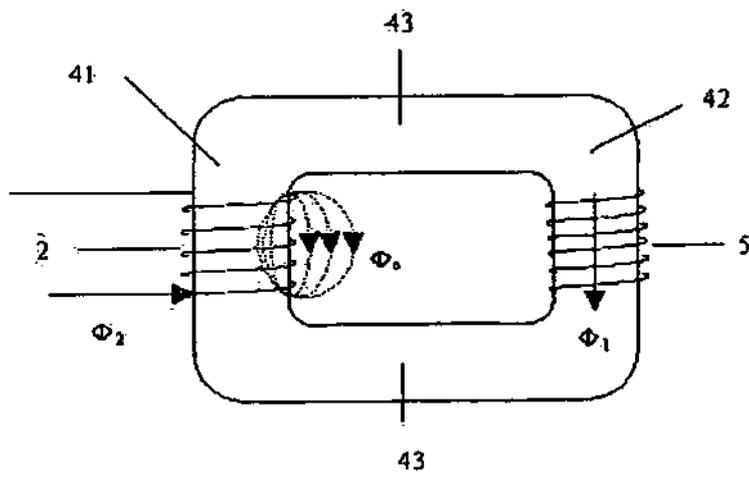


FIG. 6

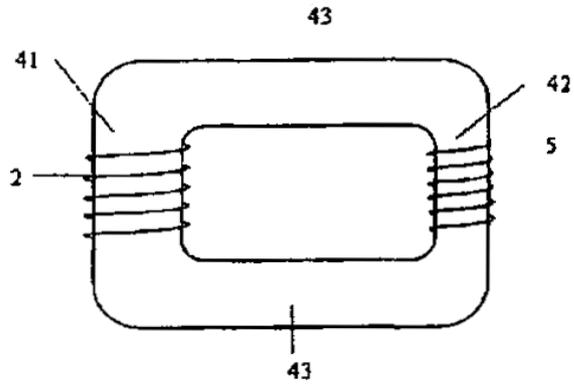


FIG. 7

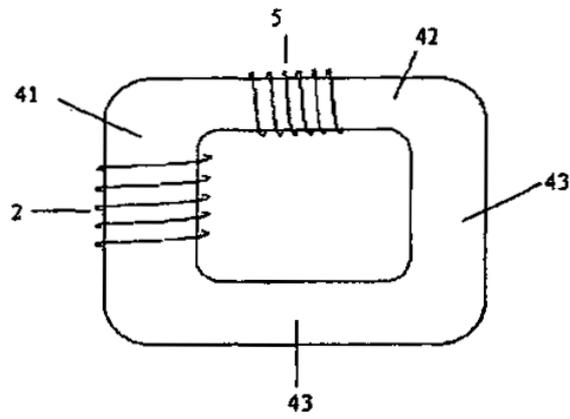


FIG. 8

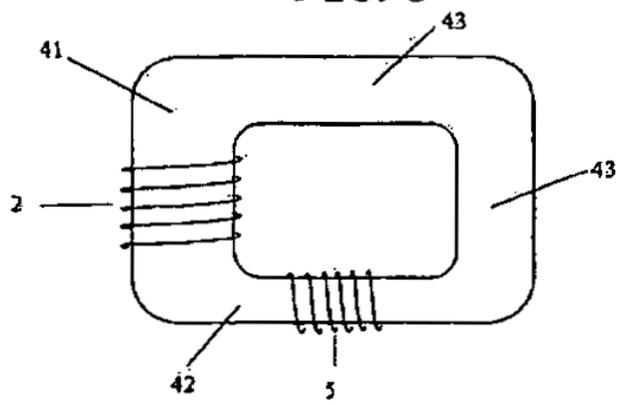


FIG. 9

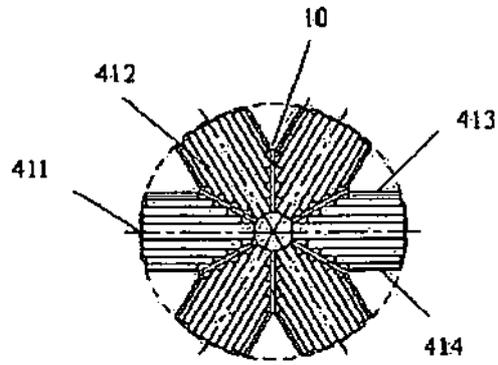


FIG. 10

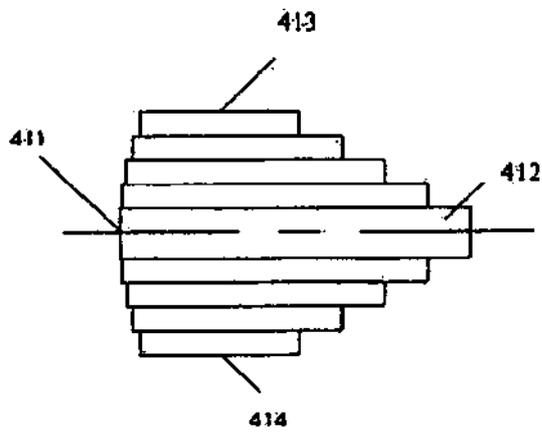


FIG. 11

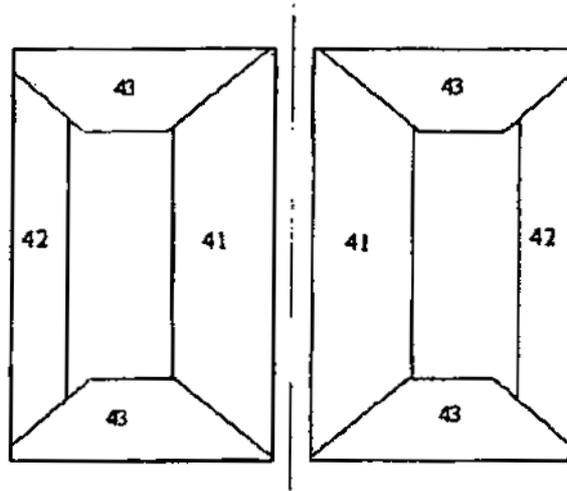


FIG. 12

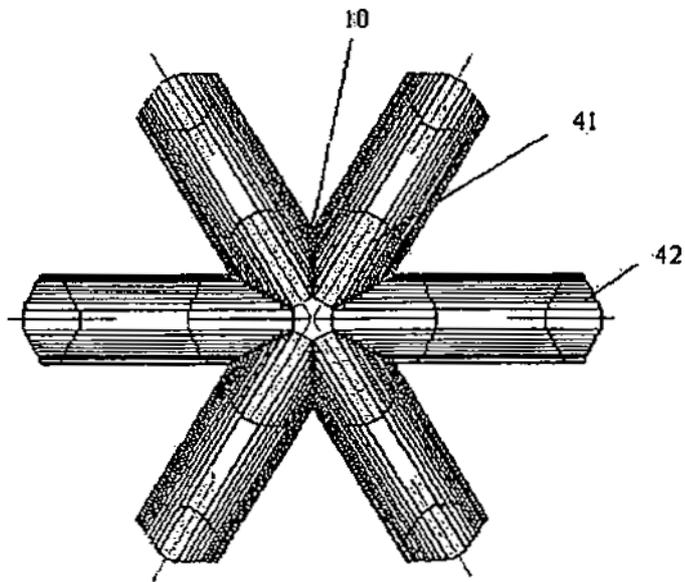


FIG. 13

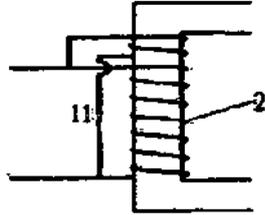


FIG. 14

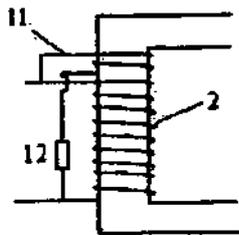


FIG. 15