

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 538 594**

51 Int. Cl.:

H01H 33/664 (2006.01)

H01T 2/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.05.2011** **E 11723910 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.03.2015** **EP 2715761**

54 Título: **Interruptor de vacío**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
22.06.2015

73 Titular/es:

ALSTOM TECHNOLOGY LTD. (100.0%)
Brown Boveri Strasse 7
5400 Baden, CH

72 Inventor/es:

PARASHAR, RAMA SHANKER

74 Agente/Representante:

LINAGE GONZÁLEZ, Rafael

ES 2 538 594 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

Interruptor de vacío

5 La presente invención se refiere a un conjunto de interruptor de vacío y a un aparato que incorpora el conjunto interruptor de vacío.

10 La operación de redes de transmisión y distribución de corriente continua (HVDC) de alta tensión de múltiples terminales implica la conmutación de corriente de carga y fallas/cortocircuito en las redes de alimentación de CC. La disponibilidad de componentes de conmutación para realizar dicha conversión permite la flexibilidad en la planificación y el diseño de aplicaciones HVDC tales como líneas HVDC paralelas con una línea de derivación o un circuito de bucle cerrado.

15 Una solución conocida para la conmutación de corriente de carga y fallas/cortocircuito es el uso de interruptores basados en semiconductores, que se utilizan típicamente en la transmisión HVDC de alta potencia de punto a punto. El uso de interruptores basados en semiconductores da lugar a una conmutación más rápida y valores de corriente de fallo de paso más pequeños. Las desventajas del uso de tales interruptores sin embargo incluyen las altas pérdidas directas, la sensibilidad a los transitorios y la falta de aislamiento tangible cuando los dispositivos se encuentran en su estado de desconexión.

20 Otra solución conocida para la conmutación de corriente de carga y fallas/cortocircuito es un interruptor de vacío. El funcionamiento del interruptor de vacío se basa en la separación mecánica de los contactos conductores de la electricidad para abrir el circuito eléctrico asociado. Un interruptor de vacío como tal es capaz de permitir la máxima magnitud de la corriente CA continua con una capacidad de interrupción de corriente de cortocircuito alta.

25 El interruptor de vacío convencional sin embargo muestra un desarrollo deficiente en la interrupción de la corriente CC, debido a la ausencia de corriente nula. Aunque es factible utilizar el interruptor de vacío convencional para interrumpir corrientes bajas de CC de hasta unos pocos cientos de amperios debido a la inestabilidad de un arco a corrientes bajas, tal procedimiento no solo es poco fiable, sino también es incompatible con los niveles de corriente que se encuentran típicamente en aplicaciones de HVDC.

30 Es posible realizar la interrupción de corriente CC usando interruptores de vacío convencionales mediante la aplicación de una corriente forzada cero o creando artificialmente una corriente nula. Este procedimiento de interrupción de la corriente DC consiste en conectar un circuito auxiliar en paralelo a través del interruptor de vacío convencional, comprendiendo el circuito auxiliar un condensador o una combinación de un condensador y un inductor. El circuito auxiliar permanece aislado por una separación de la chispa durante el funcionamiento normal del interruptor en vacío.

40 Cuando los contactos del interruptor de vacío comienzan a separarse, la separación de encendido de la chispa se enciende para introducir una corriente oscilatoria de magnitud suficiente a través del interruptor de vacío y de ese modo forzar la corriente a través del interruptor para pasar a través de una corriente nula. Esto permite que el interruptor de vacío interrumpa con éxito la corriente CC. Tal disposición sin embargo se vuelve compleja, costosa y consumidora de espacio debido a la necesidad de integrar los componentes adicionales del circuito auxiliar. El documento DE 3818510 A1 divulga un conjunto de interruptor de vacío según el preámbulo de la reivindicación 1.

45 Según un primer aspecto de la invención, se proporciona un conjunto de interruptor de vacío que comprende al menos un interruptor de vacío, incluyendo el interruptor de vacío o cada interruptor de vacío una caja estanca al vacío; primera y segunda varillas conductoras de la electricidad, estando un primer extremo de cada varilla adaptado para ser conectado, durante el uso, a una red eléctrica; estando un primer electrodo montado cerca de o en un segundo extremo de la primera varilla; estando una bobina ranurada montada operativamente en un segundo extremo de la segunda varilla; y estando un segundo electrodo montado en una superficie interior de la bobina ranurada, en la que el primer electrodo y la bobina ranurada se encuentran dentro de la caja estanca al vacío y las varillas están posicionadas para situar al menos una parte del primer electrodo en el interior de la bobina ranurada.

50 La disposición anterior del primer electrodo y la bobina ranurada en el interruptor de vacío permite la generación de un campo magnético axial auto-inducido que es perpendicular a la corriente de arco trazada entre los primero y segundo electrodos durante el proceso de interrupción de la corriente. En presencia del campo magnético axial, la tensión de arco comienza a elevarse, mientras que la corriente de arco comienza a caer rápidamente hasta que alcanza un valor inferior al valor de corriente de corte del material del electrodo. En este punto la corriente cae instantáneamente a cero, lo que resulta en la recuperación dieléctrica completa y la exitosa interrupción de la corriente. La capacidad de crear una corriente nula de esta manera, por tanto, vuelve al conjunto de interruptor de vacío compatible para su uso como un interruptor de ruptura de carga o un interruptor de circuito en ambas redes de CA y CC.

65 La generación del campo magnético axial auto-inducido elimina la necesidad de incorporar equipos adicionales en el conjunto de interruptor de vacío para generar el campo magnético axial requerido y de ese modo reduce la complejidad de la disposición del conjunto de interruptor de vacío. Como tal, el diseño comparativamente más simple

del conjunto de interruptor de vacío tiene el efecto de reducir la cantidad de espacio necesario para el montaje y los costes de instalación asociados, mientras que el número reducido de componentes en el conjunto de interruptor de vacío mejora la fiabilidad del proceso de interrupción de la corriente.

5 La forma de la bobina ranurada puede variar, dependiendo de los requisitos de diseño del interruptor de vacío. La bobina ranurada puede, por ejemplo, incluir, o bien solo una única ranura, que se extiende preferiblemente alrededor del perímetro completo de la bobina, o una pluralidad de ranuras.

10 En realizaciones de la invención, el primer electrodo puede incluir una primera porción de electrodo montada en el segundo extremo de la primera varilla. En tales realizaciones, el primer electrodo puede incluir además una segunda porción de electrodo montada alrededor de la circunferencia de la primera varilla y adyacente a la primera porción de electrodo.

15 La forma del primer electrodo varía dependiendo de la disposición del interruptor de vacío, que puede ser diseñado de manera que la posición de las varillas está fijada una con respecto a la otra, o que al menos un vástago es amovible con relación a la otra varilla.

20 En otras realizaciones, la bobina ranurada puede incluir una base de apoyo que está montada en el segundo extremo de la segunda varilla.

El uso de una base de soporte que forma parte de la bobina ranurada no solo proporciona soporte estructural para la bobina ranurada, sino que también proporciona una superficie para el montaje de un electrodo adicional, si se desea.

25 Preferiblemente cada electrodo está hecho de un material refractario, que puede ser seleccionado de un grupo de cromo-cromo, cobre-tungsteno, cobre carburo de tungsteno, tungsteno, cromo o molibdeno.

30 Tales materiales refractarios son compatibles para su uso como material de electrodo en un interruptor de vacío no solo a causa de su resistencia de contacto eléctrico baja y sus propiedades de valor de corriente de corte altas, sino también debido a su capacidad para resistir los efectos del arco y ayudar en la resistencia dieléctrica después de la interrupción de la corriente.

35 En realizaciones de la invención, al menos una varilla puede ser móvil en relación con la otra varilla para abrir o cerrar una separación entre los segundos extremos de las varillas.

40 En tales realizaciones que emplean una base de soporte montada en el segundo extremo de la segunda varilla, el interruptor de vacío o cada interruptor de vacío puede incluir además un tercer electrodo montado en la base de apoyo, los primero y tercer electrodos definiendo superficies de contacto opuestas y al menos una varilla es movable con relación a la otra varilla para abrir o cerrar una separación entre las superficies de contacto opuestas.

45 La capacidad para mover al menos una varilla con relación a la otra varilla permite que las superficies de contacto opuestas se pongan en contacto, lo que resulta en una baja resistencia de contacto entre las varillas y de este modo permite que el interruptor de vacío lleve una corriente de carga a través de las varillas conductoras de la electricidad durante el funcionamiento normal de la red eléctrica externa asociada.

La misma capacidad también permite la separación de las superficies de contacto opuestas para interrumpir la corriente que fluye a través del interruptor de vacío.

50 En realizaciones que emplean al menos una varilla móvil, la caja estanca al vacío o cada caja estanca al vacío incluye además un fuelle tubular con un orificio de separación, estando el fuelle tubular o cada fuelle tubular conectado operativamente a al menos una varilla y siendo controlable para expandirse o contraerse para mover una varilla en relación con la otra varilla para abrir o cerrar una separación entre los segundos extremos de las varillas.

55 Unas paredes onduladas de los fuelles tubulares permiten que el fuelle tubular se someta a la expansión o contracción a fin de aumentar o disminuir la longitud tubular de los fuelles tubulares y con ello iniciar el movimiento de una varilla con relación a la otra varilla mientras se mantiene el grado de vacío dentro del interruptor de vacío.

60 En otras realizaciones que emplean al menos una varilla móvil, el interruptor de vacío o cada interruptor de vacío puede incluir además una bobina auxiliar situada fuera de la caja estanca al vacío, siendo la bobina auxiliar controlable para proporcionar un campo magnético pulsado dentro de la caja estanca al vacío.

65 Una vez que la corriente de arco cae a un valor suficientemente bajo, la bobina auxiliar puede ser controlada para generar el campo magnético pulsado para aumentar el campo magnético axial y de ese modo ayudar a acelerar la extinción de cualquier arco residual. Además, la capacidad de manipular el momento de la generación del campo magnético pulsado y la magnitud del campo magnético pulsado proporciona un control preciso sobre el proceso de interrupción de la corriente.

En otras realizaciones que emplean el uso de una bobina auxiliar, el material refractario que forma el electrodo puede ser de cobre-cromo o carburo de tungsteno de plata.

5 La disposición de la bobina auxiliar también permite que cada electrodo esté hecho de material que tiene un valor de corte de corriente bajo pero es propicio para los requerimientos de alta resistencia dieléctrica de un interruptor de vacío cuando se separan los electrodos primero y tercero.

10 En realizaciones de la invención, las posiciones de los segundos extremos de las varillas pueden fijarse una respecto a la otra.

Esta configuración elimina la necesidad de mover mecánicamente cada varilla durante el proceso de interrupción de la corriente. Esto acelera el proceso de interrupción de la corriente debido a que el tiempo necesario para interrumpir la corriente ya no está limitado por el tiempo requerido para separar mecánicamente las varillas.

15 En realizaciones en las que las posiciones de las primera y segunda varillas se fijan una con relación a la otra, el conjunto de interruptor de vacío puede incluir además un circuito de derivación de conmutación y un circuito de encendido, el interruptor de vacío o cada interruptor de vacío incluyendo además un electrodo auxiliar situado coaxialmente en un orificio central de la primera varilla, sobresaliendo un extremo del electrodo auxiliar desde el
20 segundo extremo de la primera varilla, estando el circuito de conmutación de derivación conectado operativamente al interruptor de vacío o a cada interruptor de vacío y siendo controlable para derivar la corriente para desviar el interruptor de vacío o cada interruptor de vacío, estando el circuito de encendido conectado operativamente al electrodo auxiliar o a cada electrodo auxiliar y siendo controlable para establecer una corriente de descarga entre el primer y segundo electrodos. En tales realizaciones, el circuito de encendido puede incluir un interruptor de
25 encendido por chispa.

La inclusión del circuito de conmutación de derivación en el conjunto del interruptor de vacío permite al circuito de conmutación de derivación transportar la corriente de carga durante el funcionamiento normal de la red eléctrica asociada. Para cambiar la corriente, la corriente de encendido se controla para establecer una chispa entre el
30 electrodo auxiliar y los electrodos circundantes para establecer una corriente que pasa a través del interruptor de vacío. Una vez que se estableció el valor de pico de la corriente, el circuito de conmutación de derivación se cambia a un estado abierto para permitir que el interruptor de vacío lleve a cabo el proceso de interrupción de la corriente.

35 Preferiblemente, el circuito de conmutación de derivación incluye al menos un interruptor semiconductor o al menos un interruptor mecánico.

La elección del dispositivo de conmutación para el circuito de conmutación de derivación puede variar dependiendo de varios factores tales como el coste, tamaño y peso del dispositivo de conmutación y los requisitos de rendimiento del proceso de interrupción de la corriente.

40 En otras realizaciones, el conjunto de interruptor de vacío puede incluir una pluralidad de interruptores de vacío conectados en paralelo y/o conectados en serie.

45 Múltiples interruptores de vacío pueden estar conectados para definir diferentes configuraciones del conjunto de interruptor de vacío para variar su tensión de funcionamiento y características de corriente para que coincidan con los requisitos de la aplicación de potencia asociados.

De acuerdo con un segundo aspecto de la invención, se proporciona un aparato que comprende circuitos primario y secundario, incluyendo el circuito primario un conjunto de interruptor de vacío de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, incluyendo el circuito secundario una conexión en serie de al menos un condensador, al menos un inductor y un interruptor de encendido por chispa, en el que los circuitos primario y secundario están conectados en paralelo.

50 Durante el uso, el circuito secundario es controlable para inyectar una corriente oscilatoria en el circuito primario para forzar la corriente de arco a cero. Esto no solo proporciona un control preciso sobre la cantidad de tiempo requerida para interrumpir la corriente, sino que también reduce el tiempo requerido para la extinción de la corriente de arco, ya que el circuito secundario se puede configurar para lograr la corriente nula antes que el circuito primario.

60 Preferiblemente, el circuito primario incluye además al menos un conmutador de plasma conectado en serie con el conjunto de interruptor de vacío.

La capacidad del conmutador de plasma para generar un alto voltaje de arco aumenta la tensión de arco total a través de la conexión en serie del conjunto de interruptor de vacío y el conmutador de plasma. Esto a su vez acelera la reducción de la corriente de arco y reduce el tiempo total requerido para el proceso de interrupción de la corriente.

65 Además, la inclusión del o de cada conmutador de plasma resulta en la reducción de la disipación de potencia total a

través del circuito primario. Esto a su vez permite que las calificaciones de los elementos del circuito se reduzcan y, por lo tanto, disminuye los costos y el espacio necesario para la instalación del aparato.

5 Ejemplos de las aplicaciones que son compatibles con el conjunto de interruptor de vacío de acuerdo con la invención incluyen, por ejemplo, las redes de energía de CA, interruptores de circuitos de alta tensión de CA, interruptores de circuito de generador de CA, tracción ferroviaria, barcos, dispositivos de almacenamiento magnético superconductores, experimentos de reactores de fusión de alta energía, aplicaciones estacionarias de energía y redes de múltiples terminales (HVDC) de CC de alta tensión.

10 Las realizaciones preferidas de la invención se describirán ahora, a modo de ejemplos no limitativos, con referencia a los dibujos que se acompañan en los que:

la figura 1 muestra un conjunto de interruptor de vacío según una primera forma de realización de la invención;

15 la figura 2 muestra un conjunto de interruptor de vacío de acuerdo con una segunda realización de la invención;

la figura 3 muestra un conjunto de interruptor de vacío de acuerdo con una tercera realización de la invención;

20 la figura 4 muestra, en forma esquemática, un circuito de conmutación de derivación y un circuito de encendido conectados al conjunto de interruptor de vacío de la figura 3;

la figura 5 muestra, en forma esquemática, los circuitos primarios y secundarios conectados en paralelo de acuerdo con la cuarta forma de realización de la invención.

25 Un conjunto de interruptor de vacío de acuerdo con una primera forma de realización de la invención se muestra en la figura 1.

El conjunto de interruptor de vacío comprende un único interruptor de vacío 10.

30 El interruptor de vacío 10 incluye un par de carcasas cilíndricas 12, primera y segunda pestañas de extremo 14,16 y una estructura anular 18 montada para definir una caja estanca al vacío. Cada pestaña de extremo 14,16 está soldada a un primer extremo de una carcasa cilíndrica 12 respectiva para formar una junta hermética. Las dos carcasas cilíndricas 12 están unidas entre sí en sus segundos extremos a través de la estructura anular 18. La estructura anular 18 incluye un escudo central 20 que se superpone a las paredes internas de las carcasas cilíndricas 12 para proteger las paredes internas de las carcasas cilíndricas 12 de la deposición de metal resultante de la descarga de arco, mientras que cada pestaña de extremo 14,16 incluye una pantalla de extremo 22 para mejorar la distribución de la línea de campo electrostático a lo largo de la longitud del interruptor de vacío 10.

40 Cada carcasa cilíndrica 12 es metalizada y niquelada. La longitud y el diámetro de la carcasa cilíndrica 12 respectiva varían en función de la tensión nominal de funcionamiento del interruptor de vacío 10, mientras que las dimensiones y formas de la primera y segunda pestañas de extremo 14,16 y la estructura anular 18 pueden variar para corresponder con el tamaño y la forma de las carcasas cilíndricas 12.

45 El interruptor de vacío 10 también incluye un fuelle tubular 24 y una primera y segunda varillas eléctricamente conductoras 26,28.

50 La primera pestaña de extremo 14 incluye un orificio de separación dimensionado para acomodar el fuelle tubular 24, mientras que la segunda pestaña de extremo 16 incluye un orificio de separación dimensionado para acomodar la segunda varilla 28 dentro de su orificio de separación. El fuelle tubular 24 también incluye un orificio de separación para la retención de la primera varilla 26.

55 Las primera y segunda varillas 26,28 son respectivamente retenidas dentro de los orificios de separación de los fuelles tubulares 24 y la segunda pestaña de extremo 16 de manera que los segundos extremos de las varillas 26,28 están situados dentro de la caja y los primeros extremos de las varillas 26, 28 se encuentran fuera de la caja. Las primera y segunda varillas 26,28 pueden fabricarse a partir, por ejemplo, de cobre de alta conductividad libre de oxígeno (OFHC).

60 El interruptor de vacío 10 incluye, además, primero, segundo y tercer electrodos 30, 32, 34 y una bobina con múltiples ranuras 38. La bobina con múltiples ranuras 38 incluye una pluralidad de ranuras (no mostrado).

Se prevé que, en otras realizaciones, la bobina con múltiples ranuras puede ser sustituida por una bobina ranurada que incluya solo una única ranura. Preferiblemente dicha única ranura se extendería completamente alrededor del perímetro completo, por ejemplo la circunferencia, de la bobina.

65 El primer electrodo 30 se compone de primera y segunda porciones de electrodos 30a, 30b. La primera porción de electrodo 30a está en la forma de una porción de electrodo redondeada que está montada en el segundo extremo de

la primera varilla 26. La segunda porción de electrodo 30b está en la forma de una porción de electrodo anular que está montada alrededor de la circunferencia de la primera varilla 26 y es adyacente a la primera porción de electrodo 30a.

5 El segundo electrodo 32 está montado en una superficie interior de la bobina con múltiples ranuras 38.

La bobina con múltiples ranuras 38 incluye una base de soporte 36. La base de soporte 36 está montada en el segundo extremo de la segunda varilla 28.

10 El tercer electrodo 34 está montado en el centro de la base de soporte 36. Las varillas 26,28 están coaxialmente alineadas de tal manera que el primer y tercer electrodos 30,34 definen superficies de contacto opuestas. El tercer electrodo 34 incluye un rebaje 40 para la recepción de la primera porción de electrodo 30a y la forma de la cavidad 40 corresponde a la forma redondeada de la primera porción de electrodo 30a a fin de maximizar el contacto entre los electrodos primero y tercero 30,34.

15 Cada electrodo 30, 32, 34 está hecho de un material refractario, que puede ser seleccionado de un grupo de, por ejemplo, cromo-cromo, cobre-tungsteno, carburo de tungsteno cobre, tungsteno, cromo o molibdeno. Estos materiales refractarios no solo presentan una excelente conductividad eléctrica, sino que también muestran alta resistencia dieléctrica en presencia del arco durante el proceso de interrupción de la corriente. Además, estos materiales refractarios tienen valores de interrupción de corriente relativamente altos, lo que ayuda a extinguir el arco rápidamente una vez que la corriente ha caído por debajo del valor de corriente de corte.

20 Las paredes onduladas del fuelle tubular 24 permiten que el fuelle tubular 24 se someta a la expansión o contracción a fin de aumentar o disminuir la longitud tubular del fuelle tubular 24. Esto permite que la primera varilla 26 se mueva con respecto a la segunda varilla 28 entre una primera posición en la que los primer y tercer electrodos 30,34 se mantienen en contacto y una segunda posición donde solo una porción de la primera porción de electrodo 30a permanece situada dentro de la bobina con múltiples ranuras 38. La segunda varilla 28 se mantiene en una posición fija.

30 En uso, el primer extremo de la primera varilla 26 está conectado a un terminal positivo 42 de una red de CC, mientras que el primer extremo de la segunda varilla 28 está conectado a un terminal negativo 44 de la red de CC.

35 Durante el funcionamiento normal de la red de CC conectada, el fuelle tubular 24 se controla para mover la primera varilla 26 a la primera posición para poner los electrodos primero y tercero 30,34 en contacto. Esto permite que la corriente fluya entre los terminales positivos y negativos 42,44 de la red de CC conectados a través de las varillas conductoras de la electricidad 26,28. La baja resistencia de contacto resultante del contacto entre los electrodos primero y tercero 30,34 significa que no hay flujo de corriente a través de la bobina con múltiples ranuras 38.

40 En el caso de un fallo que resulta en una alta corriente de fallo que fluye en la red de CC conectada, la corriente debe ser interrumpida para evitar que la alta corriente de fallo dañe componentes de la red de CC. La interrupción de la corriente de fallo permite el aislamiento y la posterior reparación de la avería a fin de restablecer la red DC a las condiciones normales de funcionamiento.

45 El proceso de interrupción de la corriente se inicia mediante el control del fuelle tubular 24 para mover la primera varilla 26 hacia su segunda posición a fin de separar las superficies de contacto opuestas del primer y tercer electrodos 30,34. La separación de las superficies de contacto opuestas resulta en la formación de una separación entre el primer electrodo 30 y el segundo y tercer electrodos 32,34, lo que conduce a la formación de un arco en esta separación. El arco se compone de plasma de vapor de metal, que continúa conduciendo la corriente que fluye entre los electrodos primero y tercero 30,34.

50 A medida que la separación entre las superficies de contacto opuestas aumenta y la magnitud de la corriente aumenta, la bobina con múltiples ranuras 38 comienza a conducir la corriente a través del segundo electrodo 32. La forma de la bobina con múltiples ranuras 38 hace que la corriente conducida fluya en una dirección preferencial dentro de la bobina 38 con ranuras múltiples, lo que resulta en la generación de un campo magnético axial en la separación entre el primer electrodo 30 y el segundo electrodo 32. La dirección del campo magnético axial generado es perpendicular a la dirección de la corriente que se conduce entre el primer electrodo 30 y el segundo electrodo 32.

60 En presencia del campo magnético axial, el plasma de vapor de metal es forzado lejos de la separación entre el primer electrodo 30 y el segundo y tercer electrodos 32,34. Posteriormente la tensión de arco comienza a elevarse mientras que la magnitud de la corriente extraída comienza a disminuir rápidamente. Cuando la magnitud de la corriente consumida alcanza un valor menor que el valor de corriente de corte del material del electrodo, la energía del arco se vuelve insuficiente para mantener la corriente, lo que conduce a que el arco llegue a ser altamente inestable y a que la corriente caiga instantáneamente a cero. Esto permite la recuperación dieléctrica completa y que tenga lugar la exitosa interrupción de corriente.

65

La duración de la interrupción de la corriente está limitada por el tiempo requerido para mover mecánicamente la primera varilla 26 desde la primera posición a la segunda posición, que es típicamente de unos pocos milisegundos. Una vez que la primera varilla 26 alcanza la segunda posición, la corriente típicamente caerá a cero en aproximadamente 10 a 20 μ s.

5 La disposición de la primera varilla 26 y la bobina con múltiples ranuras 38 por lo tanto permite la separación del primer y tercer electrodos 30,34 para dar como resultado la generación de un campo magnético axial auto-inducido para ayudar en la extinción del arco formado entre el primer electrodo 30 y el segundo y tercer electrodos 32,34. Esto elimina la necesidad de incorporar equipos adicionales en el conjunto de interruptor de vacío para generar el campo magnético axial requerido y por lo tanto reduce la complejidad de la disposición del conjunto de interruptor de vacío.

10 El diseño comparativamente más simple del conjunto de interruptor de vacío tiene el efecto de reducir la cantidad de espacio necesario para el montaje y los costes de instalación asociados, mientras que el número reducido de componentes en el conjunto de interruptor de vacío mejora la fiabilidad del proceso de interrupción de la corriente.

15 Un conjunto de interruptor de vacío según una segunda forma de realización de la invención que se muestra en la figura 2. La estructura y el funcionamiento del conjunto de interruptor de vacío de la figura 2 son los mismos de los del conjunto de interruptor de vacío de la figura 2, salvo que la segunda forma de realización incluye una bobina auxiliar 46 que está situada fuera de la caja estanca al vacío del interruptor de vacío 110 y por encima del extremo saliente 14.

20 La bobina auxiliar 46 se asocia con una fuente de alimentación de CC 48. En uso, la fuente de alimentación de CC 48 se controla para suministrar una corriente de CC pulsada a la bobina auxiliar 46 de manera que la bobina auxiliar 46 genera un campo magnético pulsado dentro de la caja estanca al vacío.

25 Durante la caída de la corriente después de la generación del campo magnético axial, la bobina auxiliar 46 se controla para generar el campo magnético pulsado una vez que la corriente alcanza un valor bajo. Estos resultados en el campo magnético pulsante se superponen en el campo magnético axial y por lo tanto aumentan la fuerza del campo magnético axial. Esto ayuda a reducir el tiempo requerido para extinguir el arco residual.

30 La provisión de la bobina auxiliar 46 en el conjunto del interruptor al vacío permite que cada electrodo 30, 32, 34 se haga de un material que tiene un valor de corriente de corte bajo, pero es propicio para los requisitos de alta resistencia dieléctrica en el interruptor de vacío 110 durante condición abierta. Ejemplos de este tipo de material de electrodo incluyen cobre-cromo y plata carburo de tungsteno.

35 La provisión de la bobina auxiliar 46 en el conjunto de interruptor de vacío también permite un control preciso sobre el momento de la inyección de la corriente de CC pulsante en la bobina auxiliar 46 y la magnitud y duración de la corriente de CC pulsante inyectada y por lo tanto, mejora el rendimiento del proceso de interrupción de la corriente.

40 Un conjunto de interruptor de vacío de acuerdo con la tercera forma de realización de la invención se muestra en la figura 3. La estructura y el funcionamiento del conjunto de interruptor de vacío de la figura 3 son los mismos que los del conjunto de interruptor de vacío de la figura 1, salvo que, en la tercera forma de realización de la invención, se omite el fuelle tubular del interruptor de vacío 210 y el orificio de separación de la primera pestaña de extremo 14 está dimensionado para alojar la primera varilla 26. La omisión de los fueles tubulares significa que las posiciones de las primera y segunda varillas 26,28 son fijas respecto a la otra. Puesto que la posición de la primera varilla 26 es fija, el tercer electrodo puede ser omitido del conjunto de interruptor de vacío de la figura 3.

45 La primera y segunda varillas 26,28 están posicionadas de modo que solo una parte de la primera varilla 26 está situada justo dentro de la bobina con múltiples ranuras 38.

El conjunto de interruptor de vacío incluye además un electrodo auxiliar 50, un circuito de derivación de conmutación 52 y un circuito de encendido 54.

50 El electrodo auxiliar 50 está coaxialmente situado en un orificio central de la primera varilla (26), de manera que un extremo del electrodo auxiliar 50 sobresale del segundo extremo de la primera varilla 26. El electrodo auxiliar 50 está herméticamente sellado por soldadura al vacío contra la primera varilla 26 usando espaciadores cerámicos metalizados.

55 Como se muestra en la figura 4, el circuito de conmutación de derivación 52 está conectado en paralelo con el interruptor de vacío 210, mientras que el circuito de encendido 54 está conectado en serie con el electrodo auxiliar 50. El circuito de encendido 54 incluye un interruptor de encendido por chispa.

60 Durante el funcionamiento normal de la red de CC conectada, el circuito de conmutación de derivación 52 se conmuta a un estado cerrado para permitir que la corriente de carga fluya a través del circuito de conmutación de derivación 52 y con ello derivar el interruptor de vacío 210.

En el caso de un fallo en la red de CC conectada, el circuito de conmutación de derivación 52 se conmuta a un estado abierto para evitar que la corriente fluya a través del circuito de conmutación de derivación 52 y el circuito de encendido 54 se controla para establecer una corriente de descarga entre el primer y segundo electrodos 30,32. Esto se hace mediante el establecimiento de una descarga de radiofrecuencia entre el electrodo auxiliar 50 y los conductores circundantes. El plasma generado se propaga rápidamente entre la separación entre el primer y segundo electrodos 30,32 y comienza a conducir una corriente. Esto a su vez hace que la corriente fluya a través de la bobina con múltiples ranuras 38 y por lo tanto conduce a la generación de un campo magnético axial. Como en la primera y segunda formas de realización, la presencia del campo magnético axial aumenta la tensión de arco y disminuye la corriente de arco hasta que se extingue.

La conmutación del circuito de conmutación de derivación 52 entre los estados abierto y cerrado se puede realizar usando un interruptor de semiconductor o un interruptor mecánico en función de los requisitos de disponibilidad, coste y rendimiento.

El tiempo requerido para que el conjunto de interruptor de vacío en la figura 4 interrumpa la corriente está limitado por el tiempo necesario para que el circuito de derivación de conmutación 52 logre un estado abierto. El tiempo de conmutación para un disyuntor mecánico es normalmente de unos pocos milisegundos, mientras que, el tiempo de conmutación para un interruptor semiconductor es típicamente menos de 10 μ s.

El tiempo requerido para abrir completamente el interruptor mecánico, por tanto, puede requerir múltiples igniciones a través del interruptor de vacío 210 para mantener el arco hasta que el interruptor mecánico esté totalmente abierto.

Se prevé que el conjunto de interruptor de vacío de acuerdo con realizaciones de la invención se puede utilizar para llevar a cabo el proceso de interrupción de la corriente para condiciones distintas de las condiciones de corriente de fallo altas.

Aparte de la interrupción de la corriente en las redes de CC, el conjunto de interruptor de vacío en las figuras 1 a 4 también se puede utilizar para interrumpir la corriente en las redes de alimentación de CA, interruptores de alta tensión de corriente alterna y generadores disyuntores de corriente alterna.

Un aparato según la cuarta forma de realización de la invención se muestra en la figura 5.

El aparato comprende circuitos primario y secundario 56,58, por lo que los circuitos primario y secundario 56,58 están conectados en paralelo.

El circuito primario 56 incluye una conexión en serie de un conjunto de interruptor de vacío de acuerdo con la primera o segunda realización y un conmutador de plasma 60 conectado en serie con el interruptor de vacío 10, 110, 210 de acuerdo con cualquiera de la primera, segunda y tercera formas de realización. El conmutador de plasma 60 puede ser, por ejemplo, un conmutador de plasma de hidrógeno.

El circuito secundario 58 incluye una conexión en serie de un condensador 62, un inductor 64 y un interruptor 66 de encendido por chispa.

Durante el uso, el conmutador de plasma 60 es controlable para generar un voltaje de arco alto, que se combina con la tensión de arco a través del conjunto interruptor de vacío para aumentar la tensión total del arco a través de la conexión en serie del interruptor de vacío 10, 110, 210 y el conmutador de plasma 60. El aumento de la tensión total del arco a su vez acelera la reducción de la corriente del arco y de ese modo reduce el tiempo total requerido para el proceso de interrupción de la corriente.

Por otra parte, la inclusión del conmutador de plasma 60 resulta en la reducción de la disipación de potencia total a través del circuito primario 56. Esto a su vez permite que las calificaciones de los elementos de circuito del circuito primario 56 se reduzcan y por lo tanto disminuye los costes y el espacio necesarios para la instalación del aparato.

Durante el uso, el circuito secundario 58 es controlable para inyectar una corriente oscilatoria en el circuito primario 56 para forzar a la corriente de arco a cero. La capacidad de forzar a la corriente de arco a cero no solo proporciona un control preciso sobre la cantidad de tiempo requerida para interrumpir la corriente, sino que también acelera el tiempo requerido para la extinción de la corriente de arco, ya que el circuito secundario 58 se puede configurar para lograr la corriente cero antes que el circuito primario 56.

Se prevé que, en otras realizaciones, el conmutador de plasma se pueda omitir desde el aparato de modo que el circuito secundario está conectado en paralelo con el interruptor de vacío 10, 110, 210.

En otras realizaciones, se prevé que un conjunto de interruptor de vacío puede incluir una pluralidad de interruptores de vacío conectados en serie y/o conectados en paralelo.

Múltiples interruptores de vacío pueden estar conectados para definir diferentes configuraciones del conjunto de interruptor de vacío para mejorar su tensión de funcionamiento y las características actuales. Por ejemplo, la conexión de varios interruptores de vacío en serie aumenta la rigidez dieléctrica del conjunto del interruptor de vacío y por lo tanto permite el uso del conjunto de interruptor de vacío con tensiones de funcionamiento más altas, mientras que la conexión de varios interruptores de vacío en paralelo permite al interruptor de vacío interrumpir los niveles más altos de corriente.

El conjunto de interruptor de vacío en las figuras 1 a 4 y el aparato de la figura 5 son compatibles para su uso en, pero no se limitan a, aplicaciones como la tracción de trenes, barcos, dispositivos de almacenamiento magnéticos superconductores, los experimentos de fusión reactor de alta energía, las aplicaciones estacionarias de energía y redes de múltiples terminales (HVDC) de corriente de alta tensión.

REIVINDICACIONES

1. Un conjunto de interruptor de vacío que comprende al menos un interruptor de vacío (10), incluyendo el interruptor de vacío o cada interruptor de vacío una caja estanca al vacío; primera y segunda varillas eléctricamente conductoras (26, 28), estando un primer extremo de cada varilla adaptado para ser conectado, en uso, a una red eléctrica (42, 44); estando un primer electrodo (30) montado cerca de o en un segundo extremo de la primera varilla (26); una bobina ranurada (38); y un segundo electrodo (32); en el que el primer electrodo y la bobina ranurada están situadas dentro de la caja estanca al vacío y las varillas están posicionadas para situar al menos una parte del primer electrodo dentro de la bobina ranurada; caracterizado porque la bobina ranurada está montada operativamente en un segundo extremo de la segunda varilla y porque el segundo electrodo está montado en una superficie interior de la bobina ranurada.
2. Un interruptor de vacío de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la bobina ranurada incluye solo una única ranura.
3. Un interruptor de vacío de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la bobina ranurada incluye una pluralidad de ranuras.
4. Un conjunto de interruptor de vacío de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que el primer electrodo incluye una primera porción de electrodo (30a) montada en el segundo extremo de la primera varilla.
5. Un conjunto de interruptor de vacío de acuerdo con la reivindicación 4, en el que el primer electrodo incluye además un segundo electrodo (30b) montado alrededor de la circunferencia de la primera varilla y adyacente a la primera porción de electrodo.
6. Un conjunto de interruptor de vacío de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que la bobina ranurada incluye una base de soporte (36) montada en el segundo extremo de la segunda varilla.
7. Un conjunto de interruptor de vacío de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que cada electrodo está hecho de un material refractario.
8. Un conjunto de interruptor de vacío de acuerdo con la reivindicación 7, en el que el material refractario está seleccionado de un grupo de cromo-cromo, cobre-tungsteno, cobre carburo de tungsteno, tungsteno, cromo o molibdeno.
9. Un conjunto de interruptor de vacío de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que al menos una varilla es amovible con relación a la otra varilla para abrir o cerrar una separación entre los segundos extremos de las varillas.
10. Un conjunto de interruptor de vacío de acuerdo con la reivindicación 9 cuando depende de la reivindicación 6, en el que el interruptor o cada interruptor de vacío incluye además un tercer electrodo (34) montado en la base de apoyo, definiendo el primer y el tercer electrodos superficies de contacto opuestas, y al menos una varilla es movible con relación a la otra varilla para abrir o cerrar un separación entre las superficies de contacto opuestas.
11. Un conjunto de interruptor de vacío de acuerdo con la reivindicación 9 o la reivindicación 10, en el que la o cada caja estanca al vacío incluye, además, un fuelle tubular (24) con un orificio de separación, estando el fuelle tubular o cada fuelle tubular conectado operativamente a al menos una varilla y siendo controlable para expandirse o contraerse para mover una varilla con relación a la otra varilla para abrir o cerrar una separación entre los segundos extremos de las varillas.
12. Un conjunto de interruptor de vacío de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, en el que el interruptor o cada interruptor de vacío incluye además una bobina auxiliar (46) situada fuera de la caja estanca al vacío, siendo la bobina auxiliar controlable para proporcionar un campo magnético pulsado dentro de la caja estanca al vacío.
13. Un conjunto de interruptor de vacío de acuerdo con la reivindicación 12 cuando depende de la reivindicación 7, en el que el material refractario es de cobre y cromo, cobre y tungsteno, cobre carburo de tungsteno, tungsteno, cromo, molibdeno o plata carburo de tungsteno.
14. Un conjunto de interruptor de vacío de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que las posiciones de los segundos extremos de las varillas están fijadas una respecto a la otra.
15. Un conjunto de interruptor de vacío de acuerdo con la reivindicación 14, que incluye además un circuito de conmutación de derivación (52) y un circuito de encendido (54), incluyendo el interruptor o cada interruptor de vacío además un electrodo auxiliar (50) situado coaxialmente en un orificio central de la primera varilla (26), sobresaliendo un extremo del electrodo auxiliar desde el segundo extremo de la primera varilla, estando el circuito de conmutación

de derivación conectado operativamente al o cada interruptor de vacío y siendo controlable para desviar la corriente para desviarse del interruptor o de cada interruptor de vacío, estando el circuito de encendido operativamente conectado al o cada electrodo auxiliar y siendo controlable para establecer una corriente de descarga entre el primer y segundo electrodos.

5 16. Un conjunto de interruptor de vacío de acuerdo con la reivindicación 15, en el que el circuito de encendido incluye un interruptor de encendido por chispa (66).

10 17. Un conjunto de interruptor de vacío de acuerdo con la reivindicación 15 o la reivindicación 16, en el que el circuito de conmutación de derivación incluye al menos un interruptor semiconductor o al menos un interruptor mecánico.

15 18. Un conjunto de interruptor de vacío de acuerdo con cualquier reivindicación anterior que incluye una pluralidad de interruptores de vacío conectados en serie y/o conectados en paralelo.

20 19. Un aparato que comprende circuitos primario y secundario, incluyendo el circuito primario (56) un conjunto de interruptor de vacío de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, incluyendo el circuito secundario (58) una conexión en serie de al menos un condensador (62), al menos un inductor (64) y un interruptor de encendido por chispa (66), en el que los circuitos primario y secundario están conectados en paralelo.

20 20. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 19, en el que el circuito primario incluye además al menos un conmutador de plasma conectado en serie con el conjunto de interruptor de vacío.

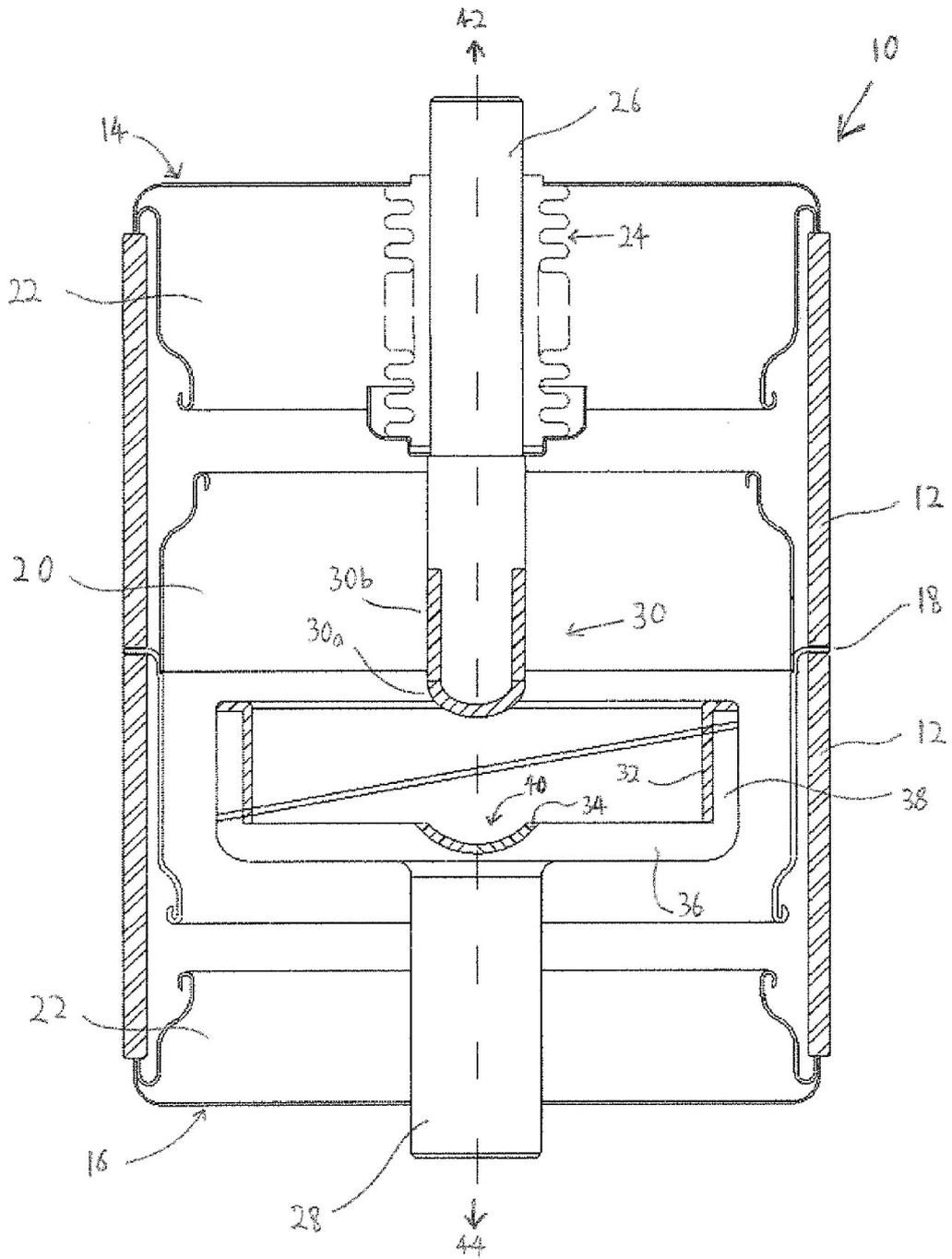


Figura 1

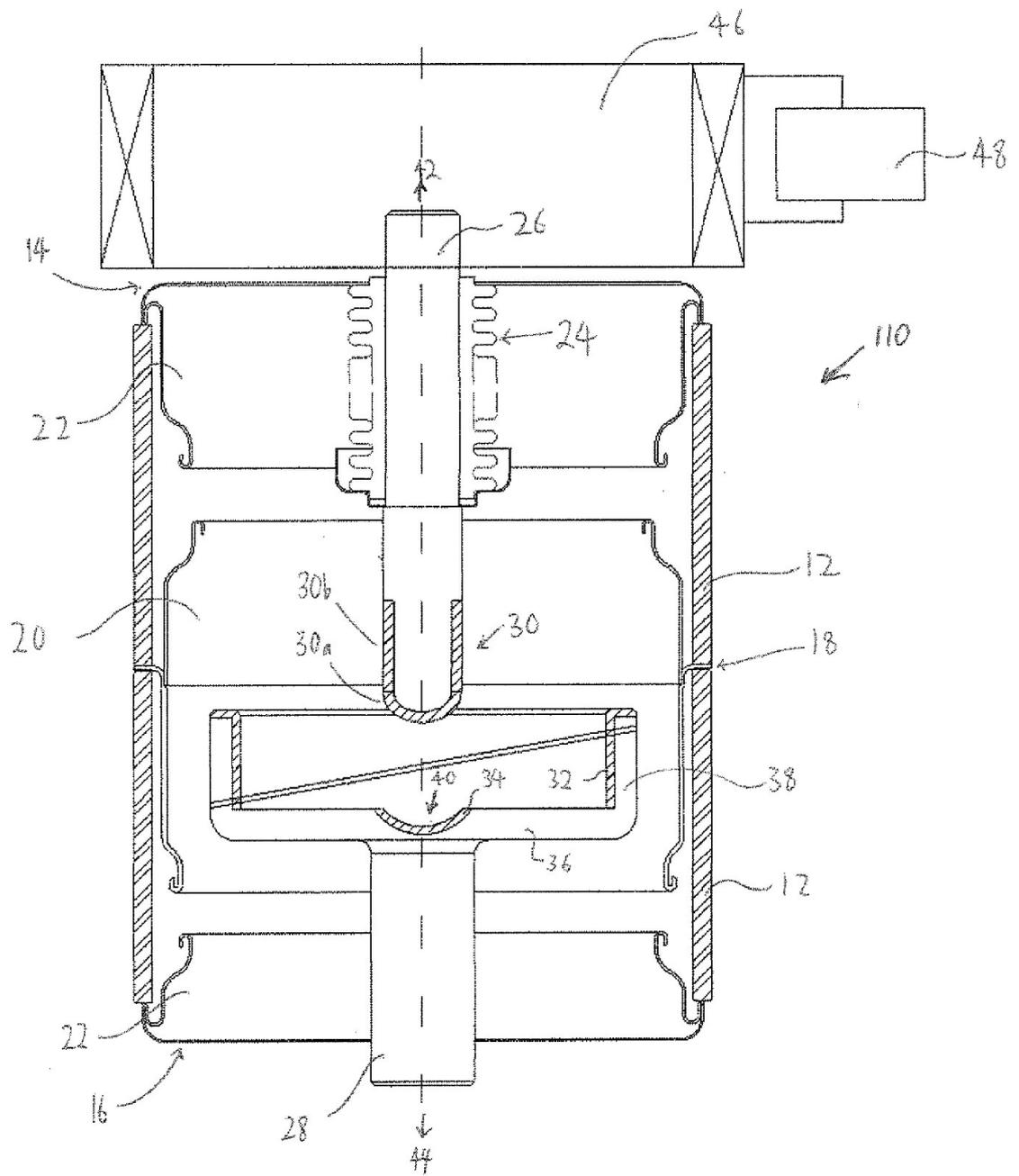


Figura 2

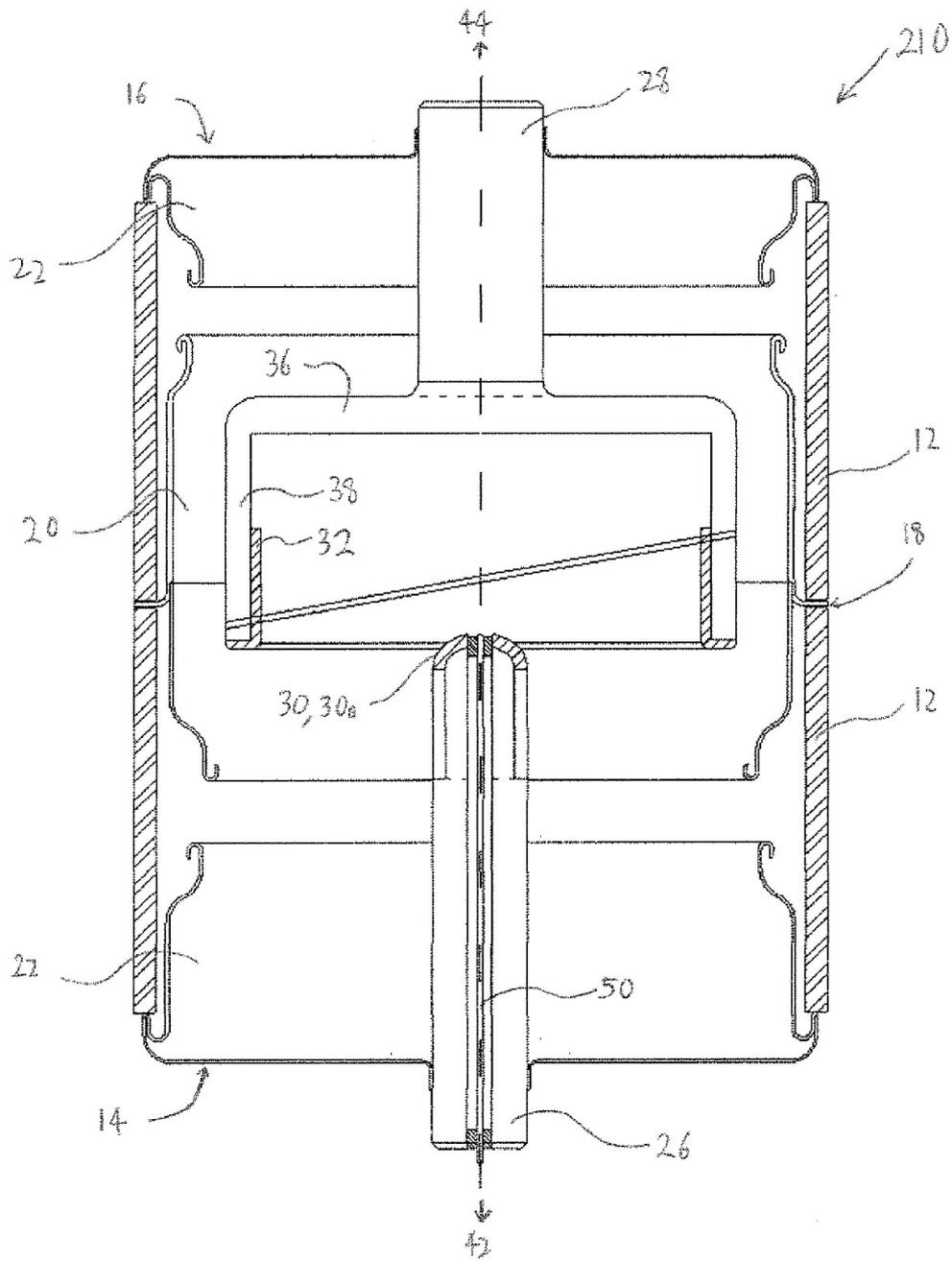


Figura 3

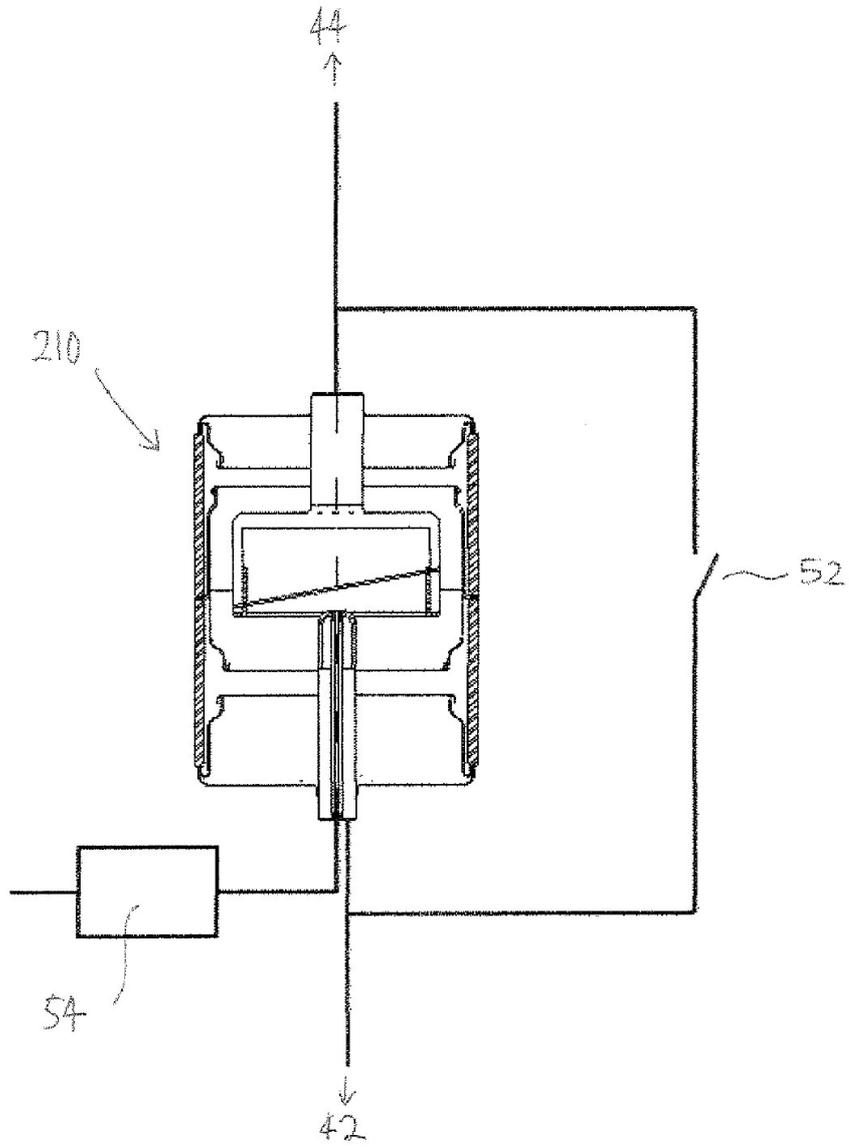


Figura 4

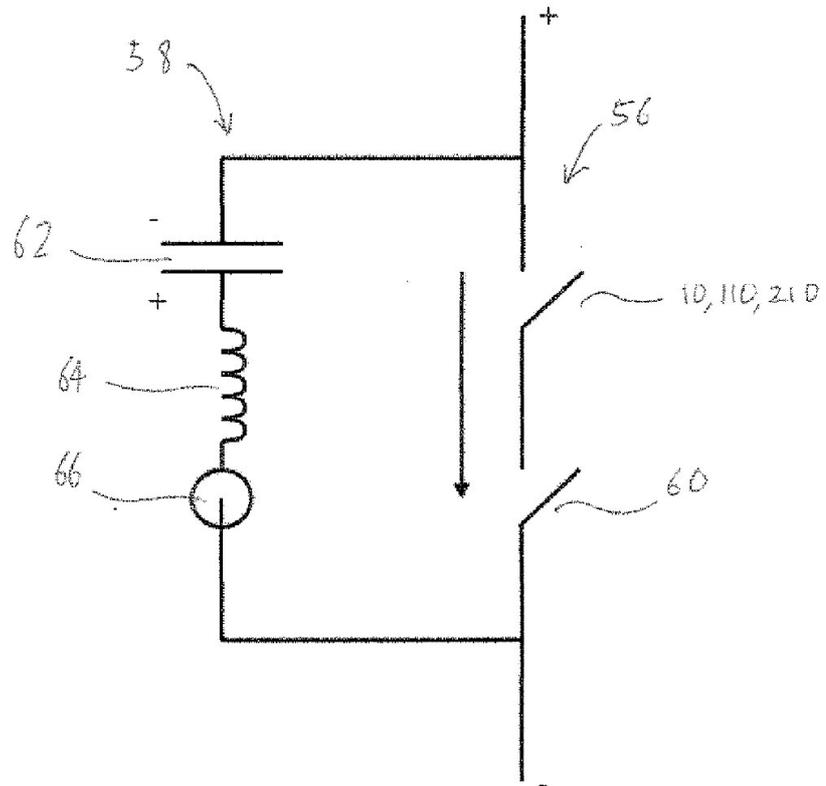


Figura 5