

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 759 913**

51 Int. Cl.:

H02H 9/02 (2006.01)

H02H 3/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.03.2014 PCT/JP2014/058535**

87 Fecha y número de publicación internacional: **09.10.2014 WO14162949**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.03.2014 E 14779757 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.11.2019 EP 2983263**

54 Título: **Dispositivo de control de flujo/limitación de corriente**

30 Prioridad:

01.04.2013 JP 2013075938

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

12.05.2020

73 Titular/es:

**SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.
(100.0%)
5-33 Kitahama 4-chome Chuo-ku
Osaka-shi, Osaka 541-0041, JP**

72 Inventor/es:

**ISOJIMA, SHIGEKI;
NOGAWA, SHUICHI;
NOGUCHI, KOUJI y
KURODA, KAZUHIRO**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 759 913 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

Dispositivo de control de flujo/limitación de corriente

Campo técnico

5 La presente invención se refiere a un dispositivo de control de flujo de potencia y limitación de corriente en el que se usa un superconductor, y a un método para operarlo.

Antecedentes de la técnica

10 Se conoce un dispositivo de control de flujo de potencia de tipo LC en paralelo instalado en un sistema de potencia eléctrica. En algunos casos, la operación de dicho dispositivo de control de flujo de potencia puede ir acompañada de un aumento de la capacidad de cortocircuito del sistema, compensándose su impedancia por el efecto de la inserción de un condensador. En el caso de que el dispositivo de control de flujo de potencia se aplique en un sistema de este tipo que tenga una gran capacidad de cortocircuito, es deseable equipar al dispositivo con una función de limitación de corriente para abordar una falla de cortocircuito, además de equiparlo con el control de flujo de potencia, para que pueda enfrentarse así la corriente de cortocircuito. Como uno de esos dispositivos, se ha propuesto un dispositivo (dispositivo de control de flujo de potencia y limitación de corriente) en el que un reactor de limitación de corriente está conectado en serie a un condensador en serie controlado por tiristores (TCSC) para dotar al dispositivo de la función de limitación de corriente en NPD 1: Yuji Yamazaki *et al.* "Development of TCSC Application to Fault Current Limiters", IEEJ Transactions on Power and Energy, Institute of Electrical Engineers of Japan, vol. 121, (2001) n.º 4, págs. 514-519.

20 El documento JP-2004350337 A muestra una bobina variable capaz de variar la inductancia y un condensador en paralelo con otra bobina, y la conexión del circuito paralelo con un descargador.

Compendio de la invención

Problema técnico

25 Cuando el dispositivo de control de flujo de potencia y limitación de corriente convencional anteriormente mencionado realiza una operación de limitación de corriente, se produce un retardo antes de que el interruptor con tiristor se encienda totalmente, debido a un retardo de tiempo en el caso de que un circuito de control detecte una corriente de falla. Por lo tanto, ha sido necesario instalar un dispositivo de protección, como un supresor, para proteger el condensador TCSC. La instalación de un descargador de este tipo complica la configuración del dispositivo de control de flujo de potencia y limitación de corriente, lo que provoca un aumento del coste. Además, ya que el descargador tarda un determinado tiempo en recuperarse, tiene que sortearse el TCSC durante este tiempo, lo que puede dar lugar a una restricción, como la restricción de la potencia de transmisión de una línea de transmisión de potencia en la que está instalado el dispositivo.

30 La presente invención se ha realizado para resolver los problemas descritos anteriormente, y un objeto de la presente invención es proporcionar un dispositivo de control de flujo de potencia y limitación de corriente que no tenga una configuración complicada y que tenga menos restricciones en términos de control.

35 **Solución al problema**

La presente invención se define en las reivindicaciones. El circuito paralelo incluye un reactor, conectado en paralelo a un circuito en serie, que incluye el elemento limitador de corriente por superconducción y el condensador.

40 Por consiguiente, la sobrecorriente (corriente de cortocircuito) en el momento en el que aparece una falla provoca la transición del superconductor del elemento limitador de corriente por superconducción a un estado de conducción normal y, por lo tanto, hace que el elemento limitador de corriente por superconducción realice automáticamente una operación de limitación de corriente. De este modo, seguramente se puede evitar aplicar una carga excesivamente grande (tensión excesivamente elevada), debida a la falla, a través de los terminales del condensador. Por lo tanto, a diferencia de con el dispositivo convencional, es innecesario instalar un supresor con el fin de proteger el condensador y puede simplificarse la configuración del dispositivo de control de flujo de potencia y limitación de corriente. Además, debido a que no se usa el supresor como el del dispositivo convencional, no hay restricción en términos de control debido al tiempo de recuperación del supresor. Además, debido a que la sobrecorriente provoca la transición automática del elemento limitador de corriente por superconducción al estado de conducción normal, se puede llevar a cabo una operación fiable de limitación de corriente.

Efectos ventajosos de la invención

50 De acuerdo con la presente invención, se puede proporcionar un dispositivo de control de flujo de potencia y limitación de corriente que no tiene una configuración complicada y que tiene menos restricciones en términos de control.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es un diagrama de circuito para ilustrar una primera realización del dispositivo de control de flujo de potencia y limitación de corriente según la presente invención.

5 La figura 2 es un diagrama de circuito para ilustrar una segunda realización del dispositivo de control de flujo de potencia y limitación de corriente según la presente invención.

La figura 3 es un diagrama esquemático que muestra un sistema modelo estudiado.

La figura 4 es un gráfico que muestra los resultados de una simulación con respecto a un ejemplo de la presente invención.

10 La figura 5 es un gráfico que muestra los resultados de una simulación con respecto a un ejemplo de la presente invención.

La figura 6 es un gráfico que muestra los resultados de una simulación con respecto a un ejemplo de la presente invención.

Descripción de realizaciones

15 Las realizaciones de la presente invención se describirán a continuación con respecto a los dibujos. En los siguientes dibujos, las mismas partes o las partes correspondientes se indican con los mismos números de referencia y no se repetirá su descripción.

Primera realización

20 En cuanto a la figura 1, se describirá un dispositivo de control de flujo de potencia y limitación de corriente de la presente invención. Un dispositivo 10 de control de flujo de potencia y limitación de corriente de la presente invención incluye un condensador en serie 1, un elemento limitador de corriente por superconducción 8, reactores 2, 11, un interruptor de derivación 3, un interruptor con tiristor 4 y un circuito de control 5. El elemento limitador de corriente por superconducción 8 está conectado al condensador 1. Se forma un circuito paralelo que incluye el interruptor con tiristor 4 y el reactor 2, de modo que el circuito paralelo se conecta en paralelo a un circuito en serie compuesto por el condensador en serie 1 y el elemento limitador de corriente por superconducción 8. Este circuito paralelo está conectado, en los puntos de conexión 21, 22, al circuito en serie mencionado anteriormente, compuesto por el elemento limitador de corriente por superconducción 8 y por un condensador en serie 1. En el circuito paralelo, el interruptor con tiristor 4 está conectado en serie con el reactor 2. El circuito de control 5 está conectado al interruptor con tiristor 4. Se forma otro circuito paralelo que incluye el interruptor de derivación 3 y el reactor 11, de modo que este circuito paralelo se conecta en paralelo al circuito en serie mencionado anteriormente. El otro circuito paralelo está conectado, en los puntos de conexión 21, 22, al circuito en serie compuesto por el elemento limitador de corriente por superconducción 8 y el condensador en serie 1. En el otro circuito paralelo, el interruptor de derivación 3 está conectado en serie al reactor 11. El interruptor de derivación 3 se proporciona para sortear el elemento limitador de corriente por superconducción 8, por ejemplo, cuando se revisa el dispositivo.

35 A continuación, se describirá una operación del dispositivo 10 de control de flujo de potencia y limitación de corriente que se muestra en la figura 1. Cuando se realiza una operación normal, el superconductor incluido en el elemento limitador de corriente por superconducción 8 se mantiene en un estado de superconducción. De este modo, el condensador en serie 1, el reactor 2 y el interruptor con tiristor 4 forman un TCSC. Para este TCSC, el ángulo de control se puede cambiar para cambiar así su característica de impedancia, casi de forma continua, de una capacitiva a una inductiva. De este modo, la característica de impedancia del TCSC puede ajustarse para controlar de ese modo el flujo de potencia de un sistema de potencia eléctrica al que está conectado el dispositivo 10 de control de flujo de potencia y limitación de corriente.

40 En el caso de que ocurra una falla (falla de cortocircuito, por ejemplo) en el sistema de potencia eléctrica al que está conectado el dispositivo 10 de control de flujo de potencia y limitación de corriente, la sobrecorriente debida a la falla provoca la transición del elemento limitador de corriente por superconducción 8 a un estado de conducción normal. Como resultado, El elemento limitador de corriente por superconducción 8 realiza automáticamente una operación de limitación de corriente. El interruptor con tiristor 4 puede encenderse para hacer que la corriente que fluye en el elemento limitador de corriente por superconducción 8 fluya en el circuito paralelo que incluye el reactor 2. Como resultado, el reactor 2 opera como un reactor limitador de corriente y se puede garantizar que el elemento limitador de corriente por superconducción 8 vuelva al estado de superconducción. Además, ya que no es necesario instalar por separado un dispositivo de protección (supresor, por ejemplo) con el fin de proteger el condensador en serie 1, la configuración del dispositivo 10 de control de flujo de potencia y limitación de corriente puede simplificarse y pueden eliminarse las restricciones en términos de control debido al supresor o elemento similar.

55 Con respecto al dispositivo 10 de control de flujo de potencia y limitación de corriente que se muestra en la figura 1, en el caso de que fluya corriente excesivamente alta en el dispositivo 10 de control de flujo de potencia y limitación de corriente debido a una falla o error similar en el sistema de potencia eléctrica en el que está instalado el dispositivo 10

de control de flujo de potencia y limitación de corriente, el elemento limitador de corriente por superconducción 8 se apaga para realizar de forma inmediata y automática una operación de limitación de corriente. Por lo tanto, seguramente se puede evitar que se aplique una sobretensión en los terminales del condensador en serie 1. Después de esta operación de limitación de corriente, el circuito paralelo que incluye el interruptor con tiristor 4 hace que la corriente fluya mientras se sortea el elemento limitador de corriente por superconducción 8. De este modo, la impedancia (impedancia limitante de corriente) en el reactor 2 limita la sobrecorriente y puede reducirse la energía térmica del proceso, generada en el elemento limitador de corriente por superconducción 8. Como resultado, se puede realizar una recuperación rápida del elemento limitador de corriente por superconducción 8.

Segunda realización

En cuanto a la figura 2, se describirá una segunda realización del dispositivo de control de flujo de potencia y limitación de corriente de la presente invención.

En cuanto a la figura 2, mientras que el dispositivo 10 de control de flujo de potencia y limitación de corriente tiene básicamente una estructura similar a la del dispositivo 10 de control de flujo de potencia y limitación de corriente que se muestra en la figura 1, la configuración del circuito paralelo es diferente de la del dispositivo 10 de control de flujo de potencia y limitación de corriente que se muestra en la figura 1. En concreto, en el dispositivo 10 de control de flujo de potencia y limitación de corriente mostrado en la figura 2, el interruptor con tiristor 4 no está instalado en el circuito paralelo. En su lugar, hay conectados en serie un reactor 2 y un reactor con llaves 9 entre sí en este circuito paralelo. El circuito de control 5 está conectado al reactor con llaves 9. Al igual que el dispositivo 10 de control de flujo de potencia y limitación de corriente que se muestra en la figura 1, el dispositivo 10 de control de flujo de potencia y limitación de corriente que tiene una estructura de este tipo también permite suprimir una sobretensión a través de los terminales del condensador en serie 1 y permite simplificar la configuración del dispositivo 10 de control de flujo de potencia y limitación de corriente para eliminar así las restricciones en términos de control debido al supresor o elemento similar.

Debe observarse que el dispositivo 10 de control de flujo de potencia y limitación de corriente que se muestra en la figura 2 tiene una inductancia mayor de los reactores del circuito paralelo que es necesaria para el mismo control de flujo de potencia, en comparación con el caso en el que se usa el interruptor con tiristor 4 mostrado en la figura 1 y, por lo tanto, logra un mejor efecto de supresión de la corriente de falla con respecto a la configuración del dispositivo que se muestra en la figura 1. Con respecto al reactor con llaves 9 de la configuración mostrada en la figura 2, el índice de cambio de la inductancia (L) es más lento en comparación con el interruptor con tiristor 4 que se muestra en la figura 1. Por lo tanto, en el caso de que no haya ningún problema con el mantenimiento y/o la estabilidad de la tensión, en particular, cuando la potencia se transmite a través de una línea de transmisión después de eliminar una falla y donde se permite en cierta medida una disminución del grado de compensación de la reactancia de la línea de transmisión durante un tiempo de operación de la llave del reactor con llaves 9, se puede utilizar el dispositivo 10 de control de flujo de potencia y limitación de corriente configurado como se muestra en la figura 2.

Los siguientes son rasgos característicos de la presente invención explicados uno por uno. No obstante, una parte de estos puede superponerse a las de las realizaciones descritas anteriormente.

El dispositivo 10 de control de flujo de potencia y limitación de corriente según la presente invención es un dispositivo 10 de control de flujo de potencia y limitación de corriente en el que se usa un superconductor y que incluye un elemento de limitación de corriente por superconducción 8 que incluye el superconductor, un condensador (condensador en serie 1) y un circuito paralelo. El condensador en serie 1 está conectado en serie al elemento limitador de corriente por superconducción 8. El circuito paralelo incluye el reactor 2 conectado en paralelo con un circuito en serie que incluye el elemento limitador de corriente por superconducción 8 y el condensador en serie 1.

Por consiguiente, la sobrecorriente (corriente de cortocircuito), en el momento en el que se produce una falla, provoca la transición del superconductor del elemento limitador de corriente por superconducción 8 hacia un estado de conducción normal y, por lo tanto, hace que el elemento limitador de corriente por superconducción 8 realice una operación de limitación de corriente de manera autónoma. De este modo, seguramente se puede evitar que una carga excesivamente grande (tensión excesivamente alta) debida a la falla se aplique a través de los terminales del condensador en serie 1. Por lo tanto, a diferencia de con el dispositivo convencional, es innecesario instalar un supresor para proteger el condensador en serie 1, y la configuración del dispositivo 10 de control de flujo de potencia y limitación de corriente puede simplificarse. Además, debido a que no se usa el supresor como el del dispositivo convencional, no hay restricción en términos de control debido al tiempo de recuperación del supresor. Además, debido a que la sobrecorriente provoca la transición automática del elemento limitador de corriente por superconducción 8 hacia el estado de conducción normal, se puede llevar a cabo una operación fiable de limitación de corriente.

En el dispositivo 10 de control de flujo de potencia y limitación de corriente, el reactor 2 incluido en el circuito paralelo también opera como un reactor limitador de corriente. En este caso, cuando la sobrecorriente, en el momento en que se produce una falla, hace que el elemento limitador de corriente por superconducción 8 realice una operación de limitación de corriente y, por consiguiente, la corriente fluye hacia el circuito paralelo que está conectado en paralelo con el circuito en serie, incluyendo el elemento limitador de corriente por superconducción 8 y el condensador en serie 1, el reactor 2 de este circuito paralelo puede realizar la operación de limitación de corriente.

5 En el dispositivo 10 de control de flujo de potencia y limitación de corriente, el circuito paralelo puede incluir un interruptor con tiristor 4 conectado en serie al reactor 2. En este caso, inmediatamente después de que produzca una falla, la operación autónoma del elemento limitador de corriente por superconducción 8 evita que se aplique una carga en el condensador en serie 1, y el interruptor con tiristor 4 puede operar (completamente encendido) para hacer que la corriente fluya en el elemento limitador de corriente por superconducción 8 y hacia el circuito paralelo. En consecuencia, puede reducirse la corriente de falla que fluye en el elemento limitador de corriente por superconducción 8 y el elemento limitador de corriente por superconducción 8 puede recuperarse inmediatamente y de forma segura.

10 En el dispositivo 10 de control de flujo de potencia y limitación de corriente, el circuito paralelo puede incluir el reactor con llaves 9 conectado en serie al reactor 2. En este caso, la inductancia en el circuito paralelo es mayor que la del circuito paralelo donde se usa el interruptor con tiristor 4 como el descrito anteriormente y, por lo tanto, la corriente de falla se puede eliminar en mayor medida con respecto al caso en que se usa el interruptor con tiristor 4.

Experimento de ejemplo

Se realizó una simulación para confirmar los efectos de la presente invención.

<Condiciones para la simulación>

15 (1) En cuanto a un sistema modelo utilizado para la simulación:

20 Haciendo referencia a la figura 3, un sistema modelo estudiado para la simulación es un sistema en el que la potencia eléctrica se transmite desde una fuente de alimentación 14 a través de un transformador 15, y se supone que se vuelve a instalar una fuente de alimentación 13 en un bus secundario del transformador 15. Se supuso que la tensión nominal del bus secundario 12 del transformador fue de 77 kV. Se supuso que se utilizaron tres transformadores con una capacidad nominal de 250 MVA como transformadores 15. Se supuso que el transformador 15 tenía una impedancia de cortocircuito del 22 % (en función de su propia capacidad).

En cuanto a la condición de la fuente de alimentación 13 recién instalada, se supuso que la fuente de alimentación tenía una capacidad de 300 MVA. También se supuso que la fuente de alimentación 13 recién instalada tenía una reactancia transitoria X_d' del 20 % (en función de su propia capacidad).

25 El dispositivo 10 de control de flujo de potencia y limitación de corriente se instala en un extremo de transmisión de potencia de una línea que se extiende desde el bus 12 hasta una línea de transmisión de potencia 16. En concreto, el bus 12 y la línea de transmisión de potencia 16, que incluyen dos líneas, están conectados entre sí a través del dispositivo 10 de control de flujo de potencia y limitación de corriente.

30 En los extremos opuestos de la línea de transmisión de potencia 16, los disyuntores 18 están instalados respectivamente. Se supuso que la reactancia de cada línea de transmisión de potencia 16 era una impedancia $L=1$ mH/km, y se ignoraron el componente R y el componente C. Se supuso además que cada línea de transmisión 16 tenía una longitud de 50 km y una frecuencia aplicada de 60 Hz.

35 Se supuso que el sistema modelo que se muestra en la figura 3 tenía una corriente de cortocircuito superior a una corriente de corte nominal de 31,5 kA del disyuntor a menos que se instalara un dispositivo 10 de control de flujo de potencia y limitación de corriente, como se describe más adelante en este documento. Suponiendo que la impedancia retrógrada del sistema, determinada a partir de la impedancia de cortocircuito del transformador 15, sea del 29,33 % a 1000 MVA y que la reactancia transitoria de la fuente de alimentación 13 recién instalada sea del 66,7 % a 1000 MVA, la impedancia combinada de la fuente de alimentación 13 recién instalada y del sistema retrógrado es del 20,4 % a 40 1000 MVA. En este sistema, la corriente de cortocircuito I_s cuando se produce un cortocircuito trifásico cerca del extremo del bus 12 es de 36,8 kA.

Como sistema modelo, se utilizó un sistema radial que era relativamente fácil de estudiar para verificar la operación de limitación de corriente.

45 También se supuso que la configuración del dispositivo 10 de control de flujo de potencia y limitación de corriente era similar a la del dispositivo 10 de control de flujo de potencia y limitación de corriente que se muestra en la figura 1. En cuanto a la siguiente simulación, con el fin de verificar fácilmente la operación de limitación de corriente, la simulación se realizó bajo la condición de que el dispositivo 10 de control de flujo de potencia y limitación de corriente compensase juntas las dos líneas, como se muestra en la figura 3.

(2) En cuanto a la carga y el flujo de potencia de la línea de transmisión:

50 En cuanto a la capacidad de transmisión de potencia de la línea de transmisión de potencia 16, se supuso que la línea de transmisión tenía una capacidad relativamente grande entre las aplicadas como líneas de transmisión de potencia para 77 kV, y se supuso que la capacidad regular de una línea determinada por condiciones térmicas era de 170 MW.

Con respecto a esta simulación, se supuso que la carga no se puede cambiar en el sistema radial. En este caso, si una de las líneas falla, toda la corriente fluye en la línea de sonido. La capacidad de transmisión de potencia máxima de las dos líneas es, por lo tanto, de 170 MW.

Mientras tanto, si se supone que el ángulo de diferencia de fase es de 15° en términos de estabilidad de la línea de transmisión de potencia, la potencia transmitida como índice por el bien de la estabilidad debería ser de 80 MW o menos (por línea). Por lo tanto, la transmisión de potencia de 160 MW es posible incluso a través de una sola línea, siempre que se compense el 50 % de una reactancia de línea X1 (50 km).

- 5 Según el estudio descrito anteriormente, se supuso que el sistema utilizado para la simulación tenía las condiciones de que la capacidad de transmisión de potencia aumentase en un 50 % de compensación (correspondiente a 25 km) de X1 (50 km) de la línea de transmisión de potencia 16 y que la potencia transmitida por las dos líneas de transmisión de potencia de 77 kV era de 160 MW.

(3) En cuanto a las condiciones para el dispositivo de control de flujo de potencia y limitación de corriente:

- 10 La reactancia capacitiva X_c del condensador en serie 1 del dispositivo 10 de control de flujo de potencia y limitación de corriente y la reactancia inductiva X_L del reactor 2 de este se estudiaron de la siguiente manera.

Primero se supuso que la reactancia en un estado estable era una compensación del 50 % de la reactancia de la línea. En el estado con dos líneas, la reactancia de línea es: reactancia de línea $X_1 = \omega \times 1 \text{ mH} \times 50 \text{ km/dos líneas} = 9,42 \Omega$, y la reactancia basada en 77 kV y 1000 MVA es: $X_1 = 1,59 \text{ pu}$. De este modo, en el caso del 50 % de compensación, la reactancia X_{FCL} del dispositivo 10 de control de flujo de potencia y limitación de corriente es de $-j0,8 \text{ pu}$. Además, en el caso de transmisión de potencia a través de una línea después de la eliminación de una falla, la reactancia es $X_{FCL} = -j1,6 \text{ pu}$, de modo que se proporciona una compensación del 50 % de la reactancia de la línea de transmisión X ($=3,18 \text{ pu}$) de una sola línea.

20 En cuanto a la corriente de estado estable que fluye en el condensador en serie 1 y en el reactor 2, en el caso del tipo LC paralelo, la corriente que fluye en el condensador en serie 1 y en el reactor 2 del dispositivo 10 de control de flujo de potencia y limitación de corriente aumenta con respecto a la corriente de la línea, lo que provoca un aumento del coste del dispositivo. En vista de esto, la corriente de estado estable que fluye en el condensador en serie 1 y en el reactor 2 en el caso de la transmisión de potencia a través de las dos líneas se ajustó al doble o menos que la corriente de la línea.

25 Por consiguiente, para transmisión de potencia a través de las dos líneas, se utilizaron una reactancia capacitiva $X_c = -j0,4 \text{ pu}$ y una reactancia inductiva $X_L = j0,8 \text{ pu}$, y se ajustó a $X_L = j0,53 \text{ pu}$ en el caso de transmisión de potencia a través de una línea.

30 Se supuso que estas condiciones podrían conseguirse para el dispositivo 10 de control de flujo de potencia y limitación de corriente que se muestra en la figura 1 por medio de una reactancia fija (X) de $j0,2 \text{ pu}$ y mediante su uso en un intervalo de $30^\circ \leq \text{ángulo de disparo } \beta \leq 40^\circ$, donde β era un ángulo de un pico de tensión. En este caso, X_L en el momento en que el interruptor con tiristor 4 está completamente encendido es la reactancia fija (X) de $j0,2 \text{ pu}$.

35 A continuación, se estudió la reactancia inductiva X_L del reactor 2 necesaria para suprimir la corriente de cortocircuito. Con respecto a un sistema modelo como el descrito anteriormente, el estudio se realizó sobre la supresión de la corriente de falla a 30 kA o menos cuando se produce un cortocircuito trifásico en un punto de falla 17 en la figura 3 para hacer que el valor de la corriente sea máximo. Las características del dispositivo 10 de control de flujo de potencia y limitación de corriente que cumplen con esta condición se determinaron de la siguiente manera. Específicamente, a partir de una reactancia inductiva (X_L), del reactor 2 que opera como un reactor limitador de corriente del dispositivo 10 de control de flujo de potencia y limitación de corriente de un ejemplo, y de la impedancia combinada mencionada anteriormente de la fuente de alimentación 13 y del sistema retrógrado del 20,4 % a 1000 MVA, la corriente de falla es: $I_s = 1/(X_L + 0,204) \times 1000000 \text{ kVA}/(\sqrt{3} \times 77 \text{ kV}) \leq 30 \text{ kA}$ bajo la condición de que X_L sea $X_L \geq 0,046 \text{ pu}$. La reactancia inductiva X_L del reactor 2 es, por lo tanto, 0,046 pu o más.

40 Reactancia inductiva $X_L = \text{reactancia fija } X = j0,2 \text{ pu}$ cuando el interruptor con tiristor 4 está completamente encendido cumple con una condición de 0,046 pu o más. En concreto, se ve que el efecto limitador de corriente cuando el interruptor con tiristor 4 está completamente encendido es satisfactorio.

45 Además, como modelo para analizar el elemento limitador de corriente por superconducción 8 del dispositivo 10 de control de flujo de potencia y limitación de corriente que se muestra en la figura 1, se utilizó el punto 4.3.1 (un modelo simple de análisis EMTP de un limitador de corriente por superconducción de tipo dislocación SN) del *Technical Report of the Institute of Electrical Engineers of Japan*, n.º 1088. Se estableció la resistencia de limitación de corriente después de la eliminación de una falla, de modo que disminuía linealmente desde la eliminación de la falla a 200 ms. Así, haciendo referencia a la forma de onda de la aparición de resistencia (un cambio con el tiempo del valor de resistencia generado) debida a una bobina de superconducción de un limitador de corriente de tipo apagador de clase 1,5 kA de 6,6 kV, se supuso que el tiempo de operación T_{op} del elemento limitador de corriente por superconducción 8 era de 1 ms.

55 Además, se supuso que la corriente al comienzo de la operación del elemento limitador de corriente por superconducción 8 en el dispositivo 10 de control de flujo de potencia y limitación de corriente era de 4800 A rms (6,7 kAp). Este valor es dos veces mayor que la corriente de estado estable (2400 A) que fluye en el elemento limitador

de corriente por superconducción. Además, se supuso que la resistencia de limitación de corriente en el estado conductor normal del elemento limitador de corriente por superconducción 8 era de 8Ω .

(4) Condiciones adoptadas para la simulación:

5 En cuanto a un tipo supuesto de falla, se supuso que se produjo un cortocircuito trifásico (3LS) en el punto de falla 17 que se muestra en la figura 3 (cerca del extremo del lado de la fuente de alimentación del bus 3LS). En cuanto a una secuencia de falla, se supuso que el cortocircuito trifásico ocurrió en el tiempo $T=0,3$ segundos, el disyuntor 18 operó en el momento $T=0,4$ segundos (ambos extremos del disyuntor se abrieron) y la línea de falla se rompió. Se supuso además que en el momento $T=0,6$ segundos, el limitador de corriente (elemento de limitación de corriente por superconducción 8) volvió al estado estable.

10 <Resultados>

Las figuras 4 a 6 muestran los resultados de una simulación a la que se aplica el dispositivo 10 de control de flujo de potencia y limitación de corriente de la presente invención. En las figuras 4 a 6, el eje horizontal de cada gráfico representa el tiempo. El eje vertical del gráfico de la figura 4 representa la corriente de falla (corriente de paso en el dispositivo de control de flujo de potencia y limitación de corriente) y la unidad de la corriente de falla es kA. El eje vertical en la figura 5 representa la tensión a través de los terminales del condensador en serie del dispositivo 10 de control de flujo de potencia y limitación de corriente y la unidad de tensión es kV. El eje vertical de la figura 6 representa la resistencia de limitación de corriente y la unidad de resistencia es Ω . En el ejemplo de la presente invención, como se ve en la figura 4, el componente de CA de la corriente de cortocircuito de la que se extrae el componente de CC se elimina a 30 kA rms ($=42,4$ kAp) o menos y, por lo tanto, se logra la limitación de corriente adecuada. En las figuras 4 a 6, Los componentes respectivos de las tres fases de la corriente de paso en el dispositivo de control de flujo de potencia y limitación de corriente se indican en el gráfico A, gráfico B y gráfico C, respectivamente.

Además, como se ve en la figura 5, la magnitud de la tensión a través de los terminales del condensador en serie 1 del dispositivo 10 de control de flujo de potencia y limitación de corriente en el momento en el que se produce una falla es una tensión excesiva de aproximadamente 3,2 pu a una media onda inmediatamente después de la falla, debido a la influencia de un ligero retardo en la operación del limitador de corriente, por ejemplo. La tensión, sin embargo, se elimina sustancialmente después en la misma medida que la tensión de estado estable.

De este modo, el elemento limitador de corriente por superconducción 8 que presenta un efecto limitador de corriente autónomo y rápido se aplica en el dispositivo 10 de control de flujo de potencia y limitación de corriente para eliminar de ese modo la necesidad de instalar un supresor con el fin de proteger el condensador en serie 1 de una tensión en exceso a través de los terminales, y también elimina la necesidad de una operación del interruptor de derivación para sortear el condensador en serie 1 en el momento en el que ocurre una falla.

Con respecto a la simulación descrita anteriormente, se estudió el caso en el que se usó el dispositivo 10 de control de flujo de potencia y limitación de corriente que tenía la configuración mostrada en la figura 1. No obstante, también pueden obtenerse efectos similares a partir del uso del dispositivo 10 de control de flujo de potencia y limitación de corriente que tiene el reactor con llaves 9, como se muestra en la figura 2. Específicamente, se supuso que la reactancia capacitiva X_c del condensador en serie 1, la reactancia inductiva X_{L1} del reactor 2 y la reactancia inductiva X_{L2} del reactor con llaves 9 del dispositivo 10 de control de flujo de potencia y limitación de corriente que se muestra en la figura 2 fueron: reactancia capacitiva $X_c=-j0,4$ pu, reactancia inductiva $X_{L1}=j0,53$ pu y reactancia inductiva $X_{L2}=0$ a $j0,27$ pu. Cabe señalar que se suponía que la reactancia inductiva en el estado estable con las dos líneas era $X_{L2}=j0,27$ pu. También en este momento, $X_L=j0,8$ pu y, por lo tanto, se cumple la condición de 0,046 pu o más. Incluso una simulación que usa tales condiciones proporcionó efectos similares en el caso donde se usó el dispositivo 10 de control de flujo de potencia y limitación de corriente que tiene la estructura mostrada en la figura 1.

Debe entenderse que las realizaciones y ejemplos descritos en este documento se proporcionan a modo de ilustración en todos los aspectos, y no a modo de limitación. Se pretende que el alcance de la presente invención esté definido por las reivindicaciones, no por la descripción anterior, y abarca todas las modificaciones y variaciones equivalentes en significado y alcance a las reivindicaciones.

Aplicabilidad industrial

La presente invención se aplica de manera particularmente ventajosamente en un dispositivo de control de flujo de potencia y limitación de corriente que incluye un elemento limitador de corriente por superconducción.

50 Lista de símbolos de referencia

1 condensador en serie; 2, 11 reactores; 3 interruptor de derivación; interruptor con tiristor 4; 5 circuito de control; 6 reactor limitador de corriente; 8 elemento limitador de corriente por superconducción; 9 reactor con llaves; 10, 100 dispositivo de control de flujo de potencia y limitación de corriente; 12 bus subestación; 16 línea de transmisión de potencia; 13 fuente de alimentación recién instalada; 14 fuente de alimentación; 15 transformador; 17 punto de falla; 55 18 disyuntor; 21, 22 punto de conexión

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo (10) de control de flujo de potencia y limitación de corriente en el que se utiliza un superconductor para limitar la corriente a través de la transición desde un estado de superconducción hasta un estado de conducción normal provocado por una sobrecorriente, que comprende:
- 5 - un elemento limitador de corriente por superconducción (8), que incluye dicho superconductor;
- un condensador (1), conectado en serie a dicho elemento de limitación de corriente por superconducción (8); y
- un circuito paralelo que incluye un reactor (2), conectado en paralelo a un circuito en serie, que incluye dicho elemento de limitación de corriente por superconducción (8) y dicho condensador (1), y que incluye un interruptor con tiristor (4) o un reactor con llaves (9) conectado en serie a dicho reactor (2),
- 10 caracterizado por que
- el dispositivo (10) de control de flujo de potencia y limitación de corriente comprende un circuito de control (5), que está configurado para controlar el interruptor con tiristor (4) o el reactor con llaves (9), respectivamente, de modo que dicho reactor (2) incluido en dicho circuito paralelo funciona como un reactor limitador de corriente para limitar dicha sobrecorriente después de dicha transición, para así permitir que el elemento limitante de corriente por
- 15 superconducción (8) vuelva al estado de superconducción del superconductor.
2. Un método para operar el dispositivo (10) de control de flujo de potencia y limitación de corriente de la reivindicación 1 para limitar la corriente a través de la transición desde un estado de superconducción hasta un estado de conducción normal causado por una sobrecorriente para realizar automáticamente una operación de limitación de corriente,
- caracterizado por
- 20 conmutar después de esta operación de limitación de corriente el circuito paralelo que incluye el reactor (2) para que la corriente de flujo sortee el elemento limitador de corriente por superconducción (8) para limitar la sobrecorriente, para así devolver el elemento limitador de corriente por superconducción (8) al estado de superconducción según el control del circuito de control (5).

FIG.1

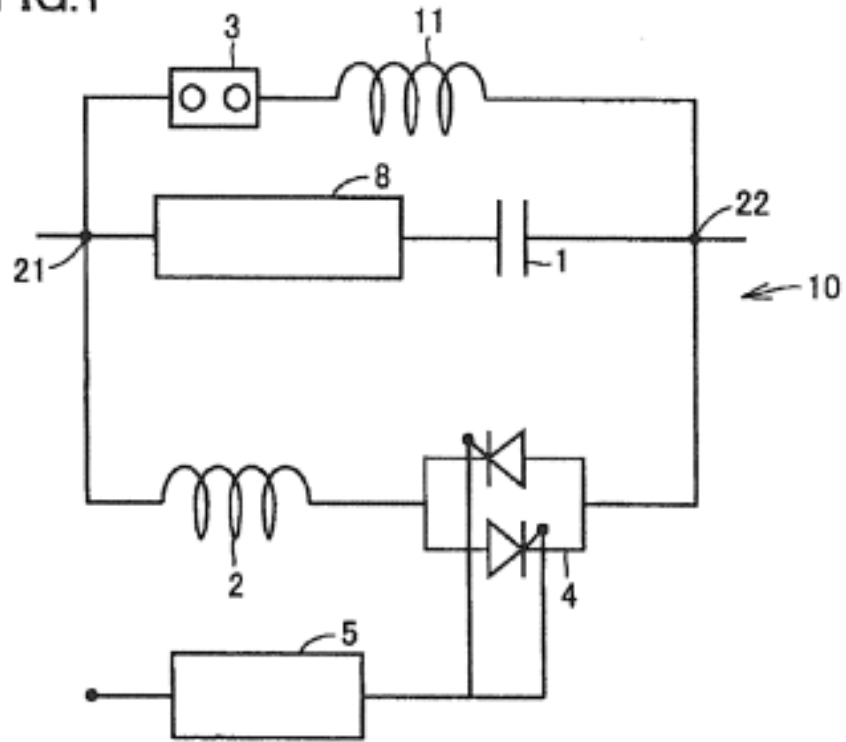


FIG.2

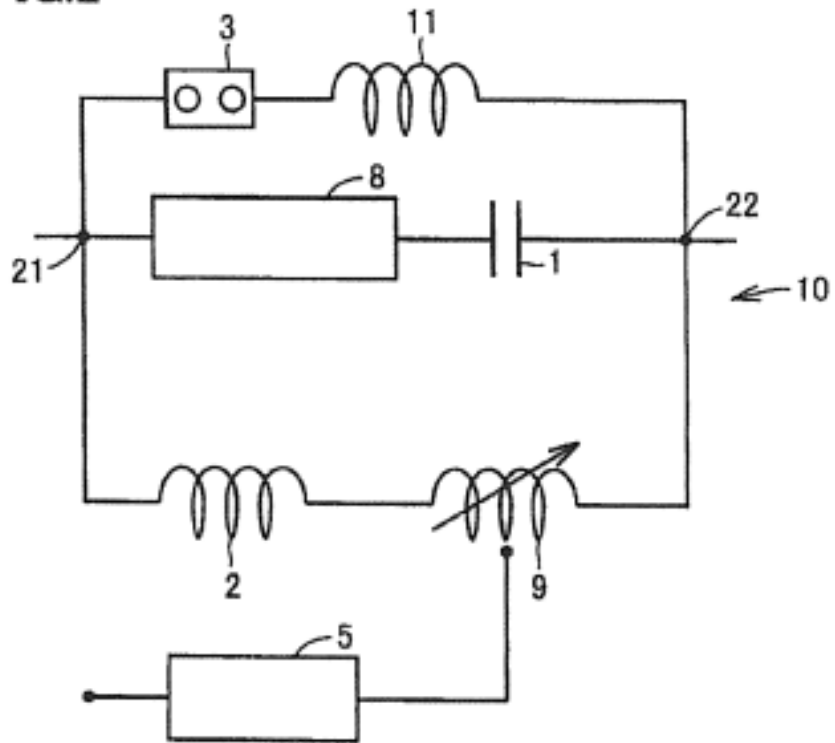


FIG.3

