

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 621 777**

51 Int. Cl.:

**H01H 9/54** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.11.2009 PCT/EP2009/065233**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.05.2011 WO11057675**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.11.2009 E 09752365 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.01.2017 EP 2502248**

54 Título: **Dispositivo y método para cortar la corriente de una línea de transmisión o distribución de potencia y disposición limitadora de corriente**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**05.07.2017**

73 Titular/es:

**ABB SCHWEIZ AG (100.0%)  
Brown Boveri Strasse 6  
5400 Baden / CH, CH**

72 Inventor/es:

**HÄFNER, JÜRGEN y  
JACOBSON, BJÖRN**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

ES 2 621 777 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 y método para cortar la corriente de una línea de transmisión o distribución de potencia y disposición limitadora de corriente

5 La invención se refiere a un dispositivo para cortar una corriente eléctrica que circula a través de una línea de transmisión o distribución de potencia que comprende una conexión en paralelo de un disyuntor principal y una resistencia no lineal, comprendiendo el disyuntor principal al menos un interruptor semiconductor de potencia en una primera dirección de la corriente. Además, la invención se refiere a un método para utilizar el dispositivo, donde el dispositivo se conecta en serie con la línea de transmisión o distribución de potencia. Aún más, la invención se refiere a una disposición limitadora de corriente que comprende al menos dos de los dispositivos mencionados anteriormente.

10 En un principio, la invención se realizó con respecto al campo de los disyuntores de CC (corriente continua) de alta tensión, es decir, de los dispositivos de conmutación que son capaces de cortar una corriente que circula a través de una línea de transmisión de potencia, donde la línea está en un nivel de tensión por encima de 50 kV. Sin embargo, la invención también es aplicable a disyuntores para la distribución de potencia de CC de media tensión, es decir, para un rango de tensión de CC entre aproximadamente 1 kV y 50 kV, y algunas formas de realización de la invención son incluso aplicables a disyuntores para la transmisión y distribución de potencia de CA a cualquier nivel de tensión, según se describe a continuación.

15 En el documento EP 0867998 B1, se sugiere utilizar una conexión en paralelo de al menos un interruptor semiconductor de potencia y un disipador de sobrecargas para cortar la corriente a través de una red de corriente continua de alta tensión (HVDC). La idea detrás de esto es proporcionar un disyuntor de estado sólido de CC que reaccione mucho más rápido a una señal de disparo que un disyuntor de CC mecánico comúnmente conocido y el cual, de esta forma, reduzca el riesgo de desarrollo de altas corrientes dañinas en la red HVDC en caso de un fallo.

20 En la práctica, los disyuntores de CC de estado sólido, es decir, los disyuntores capaces de cortar una corriente CC y que comprenden al menos un interruptor semiconductor de potencia, ya no se utilizan para los sistemas de transmisión de potencia HVDC, debido a las altas pérdidas de corriente de dichos disyuntores. Esto se debe al hecho que la alta tensión de funcionamiento por un lado y la tensión nominal comparativamente baja de un interruptor semiconductor de potencia separado, actualmente disponible en el mercado, por otro lado hacen necesario que el disyuntor de CC de estado sólido esté construido con un número considerable de interruptores semiconductores de potencia conectados en serie. Este número puede alcanzar fácilmente varios cientos en el caso de un nivel de tensión HVDC de varios cientos de kV. Durante el funcionamiento normal del sistema de transmisión de potencia HVDC, el disyuntor de corriente continua y, de esta forma, todos sus interruptores semiconductores de potencia deben activarse, exponiendo los interruptores semiconductores de potencia a continua carga de corriente. Las pérdidas en estado estacionario resultantes ascienden entre el 0,2 y 0,3% de la energía transferida a través del disyuntor de CC. En el caso de un disyuntor de estado sólido de CC adecuado para una tensión de línea de 640 kV y una corriente nominal normal de 2kA, estas pérdidas en estado estacionario son iguales a 3 MW, lo cual equivale aproximadamente a la mitad de las pérdidas de un convertidor de potencia HVDC conocido para 640 kV. Las pérdidas dan lugar a costos significativos durante la vida útil del disyuntor de estado sólido, especialmente en el caso de que se usen muchos disyuntores de estado sólido, por ejemplo en futuras aplicaciones de red de CC con varias subestaciones de CC.

30 En el documento EP 1377995 B1, se presenta un interruptor mecánico que es, entre otros, adecuado para ser utilizado en paralelo con un disyuntor de estado sólido con el fin de reducir las pérdidas en estado estacionario del disyuntor. El interruptor mecánico tiene varios puntos de corte dispuestos en serie entre sí que se accionan simultáneamente y, en comparación con otros interruptores mecánicos, a alta velocidad, es decir, en el intervalo de tiempo de aproximadamente 1 ms. Cuando el disyuntor de estado sólido está en estado cerrado, el interruptor mecánico también se cierra y conduce la corriente, al tiempo que los elementos semiconductores de potencia del disyuntor están libres de corriente y, de esta forma, libres de pérdidas. Si se va a realizar una operación de corte, en primer lugar se abre el interruptor mecánico de modo que la corriente se conmute al disyuntor y después se abre el disyuntor.

35 Esta disposición tiene dos desventajas principales. Por un lado, el interruptor mecánico corta de forma activa la corriente para conmutarla al disyuntor de estado sólido. Esto da lugar a arcos que se producen en los puntos de corte del interruptor y conducen a un desgaste temprano de los contactos correspondientes, requiriendo de este modo el mantenimiento del interruptor después de un par de operaciones de conmutación solamente. Por otra parte, debe tenerse en cuenta que el interruptor mecánico está destinado a un rango de tensión de 12-36 kV. En consecuencia, para aplicaciones de alta tensión de varios cientos de kV, será necesaria una conexión en serie de múltiples interruptores mecánicos. Para asegurar que la tensión se distribuye uniformemente a través de los interruptores conectados en serie, especialmente para el caso de que las velocidades de funcionamiento difieran ligeramente entre los interruptores, se requieren condensadores conectados en paralelo. Esto aumenta los costos del equipo considerablemente.

El documento JP 11 234894 describe un dispositivo para cortar una corriente eléctrica que circula a través de una línea de transmisión o distribución de potencia que comprende una conexión en paralelo de un disyuntor GTO.SW y una resistencia SVS, comprendiendo el disyuntor al menos un interruptor semiconductor de potencia, en donde el dispositivo además comprende una conexión en serie de un interruptor que comprende un interruptor mecánico VCB y un disyuntor auxiliar TR.SW, conectándose la conexión en serie en paralelo con la conexión en paralelo.

Un objetivo de la presente invención es encontrar una solución alternativa para un disyuntor HVDC con el que se reduzcan las pérdidas en estado estacionario de los interruptores semiconductores de potencia, mientras que al mismo tiempo, se eviten las desventajas descritas anteriormente en correspondencia con el documento EP 1377995 B1.

Este objetivo se consigue mediante un dispositivo y un método de acuerdo con las reivindicaciones independientes.

De acuerdo con la invención, el dispositivo para cortar una corriente eléctrica que circula a través de una línea de transmisión y distribución de potencia, también llamado dispositivo de corte, comprende, aparte de la conexión en paralelo conocida de un disyuntor principal y una resistencia no lineal con el disyuntor principal que comprende al menos un interruptor semiconductor de potencia en una primera dirección de la corriente, una conexión en serie de un interruptor de alta velocidad que comprende al menos un interruptor mecánico y un disyuntor auxiliar, donde la conexión en serie está conectada en paralelo con la conexión en paralelo. El disyuntor auxiliar tiene una resistencia en conducción más pequeña que el disyuntor principal y comprende al menos un interruptor semiconductor de potencia en la primera dirección de la corriente. El término resistencia en conducción se refiere a la resistencia para una corriente que circula a través de un interruptor semiconductor de potencia que está activado. En otras palabras, el disyuntor auxiliar tiene una caída de tensión de conducción menor que el disyuntor principal.

El dispositivo de acuerdo con la invención está sugerido para ser utilizado de la siguiente manera: el dispositivo ha de ser conectado en serie a una trayectoria de la corriente que pasa a través de una línea de transmisión o distribución de potencia, preferentemente una línea de transmisión de potencia HVDC y, en funcionamiento normal, el disyuntor auxiliar y el interruptor de alta velocidad del dispositivo deben estar cerrados, lo que significa para el disyuntor auxiliar que los respectivos interruptores semiconductores de potencia deben estar activados. El disyuntor principal se cierra, es decir, sus interruptores semiconductores se activan, en un momento apropiado antes de que el disyuntor auxiliar se abra nuevamente. Si después se recibe una señal de apertura del disyuntor auxiliar, el disyuntor auxiliar se abre conmutando, de esta forma, la corriente al disyuntor principal, el interruptor de alta velocidad se abre a continuación y finalmente se abre el disyuntor principal si se recibe una señal de apertura del disyuntor principal. Como resultado, la corriente conmuta desde el disyuntor principal hasta la resistencia no lineal, donde el nivel de corriente se reduce y el voltaje se limita. Como se desprende de este método, el interruptor de alta velocidad es necesario para desacoplar el disyuntor auxiliar de la línea para evitar que se aplique la totalidad de la tensión al disyuntor auxiliar.

El dispositivo y el método propuestos para su uso de acuerdo con la invención tienen entre otras las siguientes ventajas, en particular para aplicaciones de CC de alta tensión:

- Las pérdidas de estado estacionario se reducen, ya que durante el funcionamiento normal la corriente ya no circula a través del disyuntor principal, sino a través del interruptor de alta velocidad, que es un interruptor mecánico casi sin pérdidas y a través del disyuntor auxiliar que tiene un valor de resistencia en conducción más pequeño y por lo tanto una caída de tensión de conducción más baja que el disyuntor principal. Dado que las pérdidas de estado estacionario en el disyuntor principal desaparecen, el disyuntor principal ya no es propenso a la sobrecarga térmica, de modo que ya no se requiere una refrigeración activa del disyuntor principal. Para el disyuntor auxiliar, se prefiere que la caída de tensión en conducción y, por tanto, las pérdidas sean mucho más pequeñas en comparación con el disyuntor principal, por lo que tampoco se requiere refrigeración activa.

- Para conmutar la corriente al disyuntor principal, ya no es un interruptor mecánico quien tiene que interrumpir primero la corriente, sino que es el disyuntor auxiliar de estado sólido en su lugar. En consecuencia, ya no se presentan los problemas con el desgaste de los contactos mecánicos debido a los arcos, lo que reduce el esfuerzo de mantenimiento y aumenta la fiabilidad y la vida útil del dispositivo de corte global. En consecuencia, es suficiente si el interruptor de alta velocidad es sólo un desconectador de funcionamiento rápido.

- Dado que el disyuntor principal está sometido a la totalidad de la tensión durante un período de tiempo limitado sólo después de la conmutación a la resistencia no lineal, se hace posible añadir más interruptores semiconductores de potencia en la conexión en serie del disyuntor principal para asegurar una distribución de tensión fiable sin sumar a las pérdidas totales.

- El diseño del disyuntor principal se simplifica adicionalmente con respecto a la reacción a un fallo en uno de sus interruptores semiconductores de potencia. En algunos interruptores semiconductores de potencia conocidos está previsto que un interruptor inoperable sea cortocircuitado automáticamente para permitir que otro interruptor semiconductor de potencia redundante asuma el control de funcionamiento. Sin embargo, este modo de fallo de cortocircuito puede en la práctica ser un modo inestable, cuya estabilidad se puede asegurar solamente durante un período de tiempo limitado. Con el dispositivo propuesto, en el que tanto el disyuntor principal como el disyuntor

auxiliar pueden comprender interruptores semiconductores redundantes de potencia, esto no presenta ya un problema para el disyuntor principal, puesto que el disyuntor principal está en pleno funcionamiento sólo durante un período de tiempo muy corto, de modo que no se requiere un modo de fallo de cortocircuito óptimo.

5 - Las cargas de tensión y corriente en el disyuntor principal y por lo tanto en sus interruptores semiconductores de potencia se reducen considerablemente, reduciendo de este modo la tasa de fallos de los interruptores semiconductores de potencia y aumentando la fiabilidad del disyuntor principal.

10 - En el caso de tensiones más altas, en las que el interruptor de alta velocidad comprende no sólo uno sino varios interruptores mecánicos conectados en serie, la cuestión de una distribución uniforme de tensión a través de los interruptores conectados en serie ya no es problema ya que el interruptor de alta velocidad se abre en un momento sin corriente y sin tensión. Por lo tanto, no se necesitan condensadores conectados en paralelo lo que reduce considerablemente los costes.

15 En una forma de realización preferida del dispositivo, el disyuntor principal tiene una capacidad de bloqueo de tensión nominal más alta que el disyuntor auxiliar. Esto podría lograrse, por ejemplo, proporcionando como el al menos un interruptor semiconductor de potencia del disyuntor principal un interruptor que tenga una capacidad de bloqueo de tensión de varios cientos de kV, mientras que la capacidad de bloqueo de tensión del al menos un interruptor semiconductor de potencia del disyuntor auxiliar presenta unos pocos kV solamente. Otra posibilidad de conseguir esto es utilizar diferentes tipos de interruptores semiconductores de potencia, como por ejemplo al menos un IGBT (transistor bipolar de puerta aislada) para el disyuntor principal y al menos un MOSFET (transistor de efecto de campo metal-óxido-semiconductor) para el disyuntor auxiliar, ya que es una característica inherente de un MOSFET tener una capacidad de corte de tensión más pequeña que un IGBT. Otros tipos de interruptores semiconductores de potencia que podrían utilizarse son IGCT (tiristor controlado por puerta integrada) o GTO (tiristor desactivado por puerta). Cabe señalar que todos estos tipos mencionados pertenecen al grupo de interruptores semiconductores de potencia con capacidad de activación y desactivación.

25 En un desarrollo específico de esta forma de realización, el disyuntor principal comprende al menos dos interruptores semiconductores de potencia conectados en serie en la primera dirección de la corriente, el disyuntor auxiliar comprende al menos un interruptor semiconductor de potencia en la primera dirección de la corriente que tiene la misma capacidad de bloqueo de tensión que los interruptores semiconductores de potencia del disyuntor principal y el disyuntor principal siempre comprende un número mayor de interruptores semiconductores de potencia que el disyuntor auxiliar.

30 Esta forma de realización es especialmente adecuada para aplicaciones de alta tensión, donde el nivel de tensión requiere que el disyuntor principal se construya con una conexión en serie de interruptores semiconductores de potencia. Para el disyuntor auxiliar, se utiliza el mismo tipo de interruptor semiconductor de potencia, pero como el disyuntor auxiliar no tiene que soportar la totalidad de la tensión, se requieren sólo unos cuantos interruptores semiconductores de potencia conectados en serie, aproximadamente entre 1 y 10 máximo. Para aplicaciones de alta tensión de varios cientos de kV, donde el disyuntor principal comprende una conexión en serie de hasta varios centenares de interruptores semiconductores de potencia, la diferencia en la resistencia en conducción entre el disyuntor principal y el disyuntor auxiliar se hace considerable, ya que para el disyuntor auxiliar todavía sólo se necesitan uno o unos cuantos interruptores semiconductores de potencia. Las pérdidas en estado estacionario para el disyuntor auxiliar en este caso se estiman que ascenderán a ser tan pequeñas como menos del 0,002% de la energía transferida a través del dispositivo, en comparación con las anteriormente mencionadas de 0,2 a 0,3% del disyuntor principal. El problema de diseño descrito anteriormente con respecto a los interruptores semiconductores de potencia redundantes y la reacción a un fallo en uno de los interruptores semiconductores de potencia tiene relevancia para el disyuntor auxiliar en el dispositivo de acuerdo con la invención sólo cuando en condiciones normales de funcionamiento la corriente circula permanentemente. Pero como sólo se necesitan unos cuantos interruptores semiconductores de potencia para el disyuntor auxiliar, se pueden mantener bajos los costes de una solución de redundancia fiable, por ejemplo conectando uno o dos interruptores semiconductores redundantes en serie con el al menos un interruptor semiconductor de potencia.

50 En una forma de realización del método de utilización del dispositivo, se genera la señal de apertura del disyuntor auxiliar y se envía antes de la generación y envío de una señal de apertura del disyuntor principal. La generación y envío de la señal de apertura del disyuntor auxiliar y de la señal de apertura del disyuntor principal pueden realizarse mediante uno o varios medios de detección y/o de protección diferentes que controlan el estado de la línea de transmisión y potencia y/o de otros dispositivos eléctricos tales como convertidores de potencia, transformadores, otros dispositivos de corte o líneas adicionales y que en caso de fallo envían las señales de apertura por cable o inalámbricas al dispositivo. Alternativamente, una o ambas señales de apertura pueden ser generadas internamente en el dispositivo dependiendo de los resultados de detección y/o las señales de protección recibidas desde los medios externos de detección y/o protección, lo que significa que las señales de apertura pueden ser enviadas y recibidas físicamente no necesariamente a través de un bus de comunicación de datos dentro del dispositivo, sino que también pueden representarse simplemente como variables en una memoria interna. En el último caso, el proceso de lectura de cualquiera de estas variables de la memoria debe entenderse como recibir la señal de apertura correspondiente.

La ventaja de la generación y el envío de la señal de apertura del disyuntor auxiliar antes que la señal de apertura del disyuntor principal es que esta función puede ser utilizada para mejorar la velocidad de respuesta del dispositivo a una decisión real de corte mediante la apertura del disyuntor auxiliar antes de que la decisión de corte sea tomada finalmente. En la práctica, los medios de protección que deben procesar señales de detección y estado de diferentes fuentes para decidir si efectivamente ha ocurrido un fallo que requiera el corte de la corriente en la línea, necesitan hasta varios milisegundos antes de que la decisión de corte sea tomada y la señal de apertura del disyuntor principal sea enviada. Los disyuntores conocidos reaccionarían después del instante de tiempo en el que se recibe la señal de apertura del disyuntor principal, es decir, sería posible que la señal de apertura del disyuntor auxiliar se enviase solo después de haber tomado la decisión de corte. Con el método de acuerdo con esta realización, el disyuntor auxiliar y también el interruptor de alta velocidad estarán ya abiertos, preferiblemente, antes de que sea tomada la decisión de corte, de modo que el tiempo de reacción a la decisión de corte se reduzca a tan solo el muy corto tiempo de apertura del disyuntor principal de sólo un par de microsegundos ya que la corriente ya se conmutó antes al disyuntor principal. En consecuencia, puede realizarse una acción de corte de corriente muy rápida que toma sólo un par de microsegundos sin tener las desventajas de las soluciones basadas en los disyuntores de estado sólido conocidos.

Por ejemplo, como en una de las formas de realización del método, el disyuntor auxiliar se pudo abrir inmediatamente después de superar un primer límite de corriente en la línea de transmisión o distribución de potencia. Para los disyuntores de corriente conocidos, la señal de apertura correspondiente no se genera directamente después de superar un límite de corriente, sino sólo después de un procesamiento y evaluación adicional de las mediciones. Como se ha descrito anteriormente, este procesamiento adicional toma hasta varios milisegundos. En oposición a esto, en esta forma de realización la señal de apertura del disyuntor auxiliar se genera, se envía y finalmente se recibe inmediatamente después de que se exceda el primer límite de corriente; y puesto que el disyuntor auxiliar es capaz de abrirse en un par de microsegundos, la corriente se conmuta al disyuntor principal ya varios microsegundos después de la superación del límite. Como consecuencia, el único factor limitador de tiempo antes de que se pueda abrir realmente el disyuntor principal es el tiempo de apertura del interruptor de alta velocidad, que para los interruptores actualmente disponibles es de aproximadamente 1 ms. Pero puesto que, como se describió anteriormente, la generación de la señal de apertura del disyuntor principal toma al menos 1 ms en sí misma, el dispositivo según la invención reacciona en aproximadamente el mismo corto período de tiempo a una señal de apertura del disyuntor principal que el disyuntor CC autónomo de estado sólido conocido, al tiempo que se evitan sus problemas.

El primer límite de corriente puede definirse por ejemplo ligeramente por encima de la corriente térmica nominal de la línea de transmisión o distribución de potencia o ligeramente por encima de la corriente térmica nominal de una estación de transformación conectada a la línea. Durante la apertura del disyuntor auxiliar y la conmutación de la corriente al disyuntor principal, puede producirse una cierta reducción del nivel de corriente debido a los cambios en las condiciones del entorno, si la subida de corriente fue sólo temporal y no causada por un fallo. Si después no se genera la señal de apertura del disyuntor principal debido a una relajación de la situación anteriormente considerada crítica, esta forma de realización, como ventaja adicional, habría ayudado a proteger la línea de transmisión o de distribución de potencia frente a la carga térmica.

En una forma de realización adicional del método, el interruptor de alta velocidad se abre cuando ha expirado un primer período de tiempo desde la apertura del disyuntor auxiliar. Este tiempo se elige preferentemente lo suficientemente largo para que el disyuntor auxiliar tenga tiempo suficiente para abrirse completamente y lo suficientemente corto para no perder ningún tiempo, es decir, si se sabe que el disyuntor auxiliar necesita unos 10 microsegundos para abrirse, el primer período de tiempo podría ser elegido como de 20 microsegundos.

En una primera forma de realización alternativa, el interruptor de alta velocidad se abre cuando la corriente excede un segundo límite de corriente. El segundo límite de corriente se encuentra ventajosamente por encima del primer límite de corriente puesto que en una situación de fallo, la corriente en la línea se eleva constantemente hasta que el disyuntor principal finalmente se abre y desacopla la línea del fallo.

En una segunda forma de realización alternativa, el interruptor de alta velocidad se abre cuando se recibe una señal que indica que la corriente se ha conmutado correctamente al disyuntor principal.

Como se mencionó anteriormente, la señal de apertura del disyuntor principal puede en algunos casos no generarse y por lo tanto no ser recibida, a pesar de lo cual el disyuntor auxiliar y el interruptor de alta velocidad estarían ya abiertos. Esto puede, por ejemplo, ser debido a un aumento de corriente transitorio que es causado por una perturbación de corta duración pero que no tiene consecuencias graves. En tales casos, se sugiere en una forma de realización del método que se compruebe si no se recibe ninguna señal de apertura del disyuntor principal dentro de un segundo período de tiempo desde la apertura del disyuntor auxiliar. Después del lapso del segundo período de tiempo, el interruptor de alta velocidad y el disyuntor auxiliar se vuelven a cerrar para que pueda continuar el funcionamiento normal.

La no recepción de la señal de apertura del disyuntor principal también puede ser debida a un fallo de desarrollo lento que no es inmediatamente reconocido como tal. Por lo tanto, se sugiere en un desarrollo adicional de la forma de realización anterior que en caso de que después del cierre del interruptor de alta velocidad y del disyuntor

5 auxiliar, la señal de apertura del disyuntor auxiliar este aún recibiendo o se reciba de nuevo, el disyuntor auxiliar se abra de nuevo primero, después se abra el interruptor de alta velocidad y después se abra el disyuntor principal si se recibe la señal de apertura del disyuntor principal. Las etapas de apertura y cierre del disyuntor auxiliar y del interruptor de alta velocidad pueden realizarse repetidamente hasta que finalmente se reciba la señal de apertura del disyuntor principal o, en alternativa, no se reciba señal adicional de apertura del disyuntor auxiliar.

10 Fuera del ámbito de la invención, se realiza lo que se denomina la supervisión en línea del dispositivo. En funcionamiento normal, el disyuntor principal está en un estado sin corriente que hace posible que su al menos un interruptor semiconductor de potencia y cualquier otro elemento semiconductor de potencia que esté presente, tales como diodos volante, puedan ser probados en su capacidad de funcionamiento. El hecho de que exista una condición de funcionamiento normal, se reconoce al menos a partir de la ausencia de una señal de apertura del disyuntor auxiliar y de una señal de apertura del disyuntor principal, pero, por supuesto, se puede usar otra información de detección para determinar si el instante de tiempo es adecuado para realizar dicha supervisión en línea. Después de probar el disyuntor principal con éxito, el disyuntor principal puede cerrarse inmediatamente o después de un procesamiento posterior. El punto importante es que el disyuntor principal se cierra a más tardar antes de que el disyuntor auxiliar esté a punto de abrirse.

15 Además de la prueba del disyuntor principal, también el disyuntor auxiliar puede, en condiciones normales de funcionamiento, llevarse a un estado sin corriente con el fin de ser ensayado, también fuera del alcance de la invención.

El método para la supervisión en línea del disyuntor auxiliar comprende las siguientes etapas:

- 20 - abrir el disyuntor auxiliar, conmutando de este modo la corriente al disyuntor principal,
- después abrir el interruptor de alta velocidad, probando así la capacidad de funcionamiento del interruptor de alta velocidad,
- después probar la capacidad de funcionamiento de al menos un interruptor semiconductor de potencia y, si está presente, de al menos un diodo volante del disyuntor auxiliar,
- 25 - después de probar con éxito, cerrar de nuevo el interruptor de alta velocidad y el disyuntor auxiliar.

30 Con la supervisión en línea descrita anteriormente, todos los elementos de conmutación del dispositivo de corte, es decir, el disyuntor principal, el disyuntor auxiliar y el interruptor de alta velocidad, pueden ser probados en su capacidad de funcionamiento sin perturbar el funcionamiento normal de la línea de transmisión de potencia conectada. Una supervisión en línea de este tipo no es posible con los disyuntores de uso común ya que no se pueden dejar sin corriente sin interrumpir la corriente. Esto significa también que la capacidad de funcionamiento de un disyuntor comúnmente utilizado no puede garantizarse de manera continua puesto que la supervisión fuera de línea es por razones prácticas sólo realizada ocasionalmente. Como resultado, si el último mantenimiento de tal disyuntor ocurrió hace algún tiempo, no es seguro si el disyuntor es realmente capaz de funcionar como se esperaba hasta que el disyuntor se pone realmente en funcionamiento para cortar una corriente en una situación de fallo. Esta situación insatisfactoria se mejora mucho con el dispositivo de corte descrito aquí, ya que puede probarse continuamente y, de este modo, puede garantizarse su capacidad de funcionamiento con alta fiabilidad. Esto, sin embargo, está fuera del alcance de la invención.

40 El dispositivo y el método descrito aquí puede ser utilizado ventajosamente en una disposición, tal como una subestación, que comprende al menos un dispositivo adicional de la misma clase. Si este dispositivo adicional está conectado a la misma trayectoria de la corriente que la línea de transmisión o distribución de potencia, el dispositivo adicional puede usarse como el denominado disyuntor de respaldo, es decir como un dispositivo de corte que abre en caso de que el dispositivo original no se abra. La invención proporciona la ventaja de que el dispositivo adicional puede ser ya activado de antemano cuando el dispositivo original se pone en funcionamiento pero antes de que se detecte un fallo del dispositivo original. En una forma de realización especial del método, se realizan las siguientes etapas adicionales después de recibir la señal de apertura del disyuntor auxiliar para el dispositivo original: primero se abre el disyuntor auxiliar en el dispositivo adicional, después se abre el interruptor de alta velocidad en el dispositivo adicional, después se comprueba si en el dispositivo original la corriente se conmuta con éxito a la resistencia no lineal y si no, en el dispositivo adicional se abre el disyuntor principal. De lo contrario, si en el dispositivo original la corriente se conmuta con éxito a la resistencia no lineal, el interruptor de alta velocidad y el disyuntor auxiliar en el dispositivo adicional se cierran de nuevo. Esta manera de preactivar un dispositivo de corte de respaldo tiene la ventaja de que el periodo de tiempo antes de que un fallo sea eliminado por la subestación en caso de fallo del dispositivo de corte original, se reduce justo al tiempo necesario para que los medios de detección y/o protección generen la señal de apertura del disyuntor principal más el tiempo hasta que finalmente se reconoce que el dispositivo de corte original no se abrió. El disyuntor principal del dispositivo de corte de respaldo sólo necesita entonces su par de microsegundos para cortar la corriente, un período de tiempo que es insignificante comparado con el resto del tiempo. Debido al corto período de tiempo, la corriente de fallo se interrumpe antes que con los dispositivos de corte comúnmente utilizados, es decir, el nivel de corriente de fallo que finalmente se alcanza

es menor. Como resultado, el equipo adicional de la subestación, tal como los reactores y los bancos de descarga, pueden dimensionarse a menor escala, lo que conduce a reducciones de costes.

El dispositivo y el método descrito aquí también se pueden utilizar ventajosamente en una disposición limitadora de corriente, donde la disposición limitadora de corriente comprende al menos dos de los dispositivos conectados en serie entre sí y en serie con una trayectoria de la corriente a través de una línea de transmisión o distribución de potencia. En el caso de que una corriente en la trayectoria de la corriente supere un límite de sobrecorriente, se acciona un primer número determinado de los al menos dos de los dispositivos de modo que la corriente se conmuta a las respectivas resistencias no lineales, reduciendo de este modo la corriente. El término "accionar" se utiliza para expresar que uno de los métodos descritos anteriormente se usa para abrir posteriormente primero el disyuntor auxiliar, luego el interruptor de alta velocidad y finalmente el disyuntor principal correspondiente. El principio básico de una disposición limitadora de corriente de este tipo se conoce del documento EP 0867998 B1, pero la disposición allí utiliza los disyuntores CC de estado sólido autónomos descritos anteriormente, que tienen el problema de pérdidas altas. Este problema se supera cuando se utilizan dispositivos de acuerdo con la presente invención.

[0031] Una forma de realización alternativa de una disposición limitadora de corriente comprende

- al menos dos conexiones en paralelo de un disyuntor principal y una resistencia no lineal, donde las conexiones en paralelo están conectadas en serie entre sí y donde los disyuntores principales comprenden cada uno al menos un interruptor semiconductor de potencia en la misma dirección o direcciones de la corriente, y

- una conexión en serie de un interruptor de alta velocidad y de un disyuntor auxiliar, en el que el interruptor de alta velocidad comprende al menos un interruptor mecánico y en el que el disyuntor auxiliar tiene una menor resistencia en conducción que cualquiera de los disyuntores principales y comprende al menos un interruptor semiconductor de potencia en la misma dirección o direcciones de la corriente que el al menos un interruptor semiconductor de potencia de los disyuntores principales.

- donde la conexión en serie está conectada en paralelo a las al menos dos conexiones en paralelo.

En consecuencia, la única diferencia con la disposición limitadora de corriente descrita anteriormente consiste en que la conexión en serie del interruptor de alta velocidad y el disyuntor auxiliar está presente sólo una vez aquí, mientras que está presente tantas veces como disyuntores principales y resistencias no lineales hay en la disposición descrita anteriormente.

La función de la disposición limitadora de corriente con un interruptor de alta velocidad y un disyuntor auxiliar es la misma que la de la disposición con varios interruptores de alta velocidad y disyuntores auxiliares. En consecuencia, la disposición está adaptada para abrir primero un disyuntor auxiliar, luego para abrir el interruptor de alta velocidad y después para abrir un primer número determinado de los disyuntores principales de manera que una corriente a través del interruptor de alta velocidad y el disyuntor auxiliar sea conmutada primero sobre el primer número determinado de disyuntores principales y seguidamente a las respectivas resistencias no lineales, donde esta conmutación se realiza en el caso de que una corriente en la trayectoria de la corriente de la línea de transmisión o distribución de potencia, con la que la disposición está conectada en serie, exceda un límite de sobrecorriente.

El primer número determinado se determina de acuerdo con una forma de realización dependiendo de lo lejos que se supere el límite de sobrecorriente y se determina preferentemente con el objetivo de reducir la corriente de modo que caiga por debajo del límite de sobrecorriente de nuevo y se mantenga en un nivel predefinido de corriente al menos durante un periodo de tiempo determinado.

Una ventaja de utilizar al menos dos de los dispositivos descritos anteriormente de corte o conexiones en paralelo del disyuntor principal y la resistencia no lineal, en una disposición limitadora de corriente es la siguiente. El periodo de tiempo que la corriente se mantiene a un nivel predefinido y, en consecuencia, no aumenta más, es en realidad una ganancia para el algoritmo de los medios de detección y/o protección. El algoritmo obtiene este periodo de tiempo adicional para ser utilizado para evaluar si una situación de fallo está realmente presente o no. Como resultado, la decisión final sobre si la corriente necesita ser interrumpida o no se puede proporcionar con mayor precisión y fiabilidad para evitar interrupciones de corriente innecesarias. Además, puesto que el nivel de corriente está limitado, los disyuntores principales de la disposición limitadora de corriente y por lo tanto su interruptor o interruptores semiconductores de potencia necesitan tener capacidad para menores corrientes de corte, lo que reduce los costes considerablemente.

En caso de que una decisión de interrumpir la corriente en la trayectoria de la corriente se tome finalmente por el algoritmo de la detección y/o los medios de protección, ambas disposiciones limitadoras de corriente se utilizan como dispositivos de corte en sí mismas. En ese caso, todos los dispositivos de corte restantes o conexiones paralelas, donde los respectivos disyuntores principales están aún siendo cerrados, se hacen funcionar, de modo que la corriente en la trayectoria de la corriente se conmute a todas las resistencias no lineales de la disposición limitadora de corriente, cortando de ese modo el circulación de corriente en la trayectoria de la corriente.

Ambas disposiciones limitadoras de corriente descritas anteriormente son capaces de limitar la corriente, siempre que la energía térmica en sus resistencias no lineales no sea demasiado alta.

Además, pero fuera del alcance de la invención, la energía térmica en las resistencias no lineales correspondientes a los disyuntores principales abiertos es controlada y en caso de que supere un primer límite de energía predefinido, los disyuntores principales abiertos se cierran de nuevo y un mismo primer número determinado de los al menos dos dispositivos o de las al menos dos conexiones paralelas, cuyos disyuntores principales fueron cerrados previamente se hacen funcionar y de este modo se abren sus correspondientes disyuntores principales.

Esto se puede repetir hasta que la energía térmica en al menos una de las resistencias no lineales de la disposición limitadora de corriente supere un segundo límite de energía predefinido. Si eso sucede, la decisión de cortar completamente la corriente en la trayectoria de la corriente debe ser tomada en cualquier caso, independientemente de los resultados intermedios del algoritmo de los medios de detección y/o protección.

Además, pero fuera del alcance de la invención, mediante la apertura y el cierre de las diferentes partes de los disyuntores principales de la disposición limitadora de corriente de una manera alterna, el aumento de la energía térmica en las correspondientes resistencias no lineales y por lo tanto su carga de corriente se distribuye de manera más uniforme entre las resistencias no lineales de modo que la carga de corriente de cada resistencia no lineal individual se mantiene dentro de los límites tolerables por un período de tiempo más largo. En consecuencia, la necesidad de interrumpir la corriente en la línea de transmisión debido a la superación del segundo límite de energía surge más tarde, lo que prolonga de ese modo aún más el tiempo disponible para el algoritmo de los medios de detección y/o protección.

Además, de nuevo fuera del alcance de la invención, la carga de corriente de al menos una hasta todas las resistencias no lineales de la disposición limitadora de corriente se determina y se almacena en un dispositivo de memoria, por ejemplo en forma del producto de la nivel de corriente que circula a través de la resistencia no lineal multiplicado por el mismo período de tiempo, concretado para cada operación de apertura del disyuntor principal correspondiente, o en forma de una curva de temperatura en función del tiempo. A partir la carga de corriente, se puede determinar el tiempo de vida esperado para la respectiva resistencia no lineal, y esta información se puede utilizar para adaptar la forma alterna de funcionamiento de los disyuntores principales de la disposición limitadora de corriente con el fin de aumentar el tiempo de vida esperado de la al menos una hasta todas las resistencias no lineales.

Otro límite superior, también fuera del alcance de la invención, además del segundo límite de energía, que conduce a una decisión de corte de corriente definitiva, es el caso cuando la corriente aumenta a pesar de que la disposición limitadora de corriente esté activa y alcanza el nivel de corriente máximo que está definido que los disyuntores principales de la disposición limitadora de corriente pueden cortar.

Fuera del ámbito de la invención, la disposición limitadora de corriente se utiliza para limitar la sobrecarga de corriente que puede surgir en la línea de transmisión o distribución de potencia, en la trayectoria de la corriente a la que está conectada la disposición limitadora de corriente, en caso de que esta línea se encuentre en primer lugar en un estado desenergizado o esté precargada a un primer nivel de tensión diferente de el al menos otra línea de transmisión o distribución de potencia que esté en un estado energizado y dónde la línea tenga que ser acoplada a la al menos otra línea. En lo que sigue, fuera del alcance de la invención, esto se explica por la línea desenergizada, pero es de la misma manera aplicable a una línea que se pre-carga en un nivel de voltaje diferente.

La sobrecarga de corriente surge debido a la capacitancia adicional añadida de repente a través de la línea previamente desenergizada y puede llegar a ser tan alta que conduciría a la desconexión inmediata de la línea previamente desenergizada de nuevo. En la práctica actual, se utiliza una denominada resistencia de preinserción, que se conecta temporalmente en serie con la línea previamente desenergizada y que limita la corriente de sobrecarga. De acuerdo con esta forma de realización especial, la disposición limitadora de corriente se hace cargo de la función de la resistencia de preinserción, reduciendo de esta forma los costes. Antes del acoplamiento de la línea de transmisión o distribución de energía con la al menos una de las líneas energizadas, la disposición limitadora de corriente está en el estado abierto. El término "estado abierto" de un dispositivo de corte o disposición limitadora de corriente descrito aquí significa que todos los disyuntores auxiliares y principales, así como todos los interruptores de alta velocidad de ese dispositivo o disposición están abiertos.

Durante el acoplamiento de la línea desenergizada a la al menos una de las líneas energizadas, una parte de los disyuntores principales de la disposición limitadora de corriente están cerrados y la otra parte de los disyuntores principales, así como el interruptor o interruptores de alta velocidad y el disyuntor o disyuntores auxiliares se mantienen abiertos. Después del acoplamiento con éxito, la otra parte de los disyuntores principales, el interruptor o interruptores de alta velocidad y el disyuntor o disyuntores auxiliares se cierran, conmutando de este modo la corriente en la disposición limitadora de corriente al interruptor o interruptores de alta velocidad y al disyuntor o disyuntores auxiliares. Después de la conmutación con éxito los disyuntores principales se podían abrir de nuevo hasta antes de que el disyuntor o disyuntores auxiliares deban abrirse la próxima vez. La parte de los disyuntores principales que deben ser cerrados primero se elige para que sean tantos como sean necesarios para limitar la sobrecarga de corriente de una forma adecuada de manera que se evite una desconexión de la línea previamente desenergizada.



También se proponen formas de realización adicionales del dispositivo en sí. En una forma de realización del dispositivo, el disyuntor principal y/o el disyuntor auxiliar comprenden al menos un interruptor semiconductor de potencia conectado en paralelo con el al menos un interruptor semiconductor de potencia en la primera dirección de la corriente. Esta forma de realización es adecuada para aumentar la corriente nominal en el disyuntor respectivo, donde aquí el disyuntor principal está dimensionado con respecto al nivel de corriente de corte y el disyuntor auxiliar está dimensionado con respecto al nivel de transmisión de corriente continua. Una ventaja de esta forma de realización es que un aumento de la transmisión de corriente continua es posible sólo con costes menores, ya que el disyuntor de corriente auxiliar contiene sólo entre uno y unos pocos interruptores semiconductores de potencia, el pequeño número de los cuales debe estar duplicado. Además, el dimensionado del interruptor de alta velocidad debe ser ajustado. En la anterior solución autónoma de un dispositivo de corte con solo un disyuntor principal de estado sólido, un aumento de la transmisión de corriente continua dio como resultado un dispositivo de corte mucho más caro ya que hasta varios cientos de interruptores semiconductores de potencia tuvieron que ser añadidos en paralelo. Otra ventaja es que el diseño del disyuntor principal se puede simplificar en comparación con la solución autónoma con respecto a la distribución de corriente, ya que la corriente circula a través del disyuntor principal sólo durante un período muy corto de tiempo, entre la conmutación desde el disyuntor auxiliar y la apertura del disyuntor principal, de manera que una posible distribución irregular de la corriente entre las ramas en paralelo se produce sólo brevemente.

En una forma de realización adicional del dispositivo, tanto el disyuntor principal como el disyuntor auxiliar comprenden al menos un interruptor semiconductor de potencia conectado en paralelo con el al menos un interruptor semiconductor de potencia en la primera dirección de la corriente y estando en una segunda dirección de la corriente. Con esta forma de realización, el dispositivo se convierte en un dispositivo bidireccional que es adecuado para ser utilizado para interrumpir tanto una primera dirección de la corriente como una segunda dirección de la corriente opuesta. Los interruptores semiconductores de potencia conectados en paralelo entre sí pueden ser interruptores separados individuales o interruptores integrados en el mismo conjunto semiconductor.

Como es conocido de la técnica, los interruptores semiconductores de potencia se pueden suministrar cada uno con un diodo volante libre en conexión antiparalela al interruptor correspondiente. En ese caso, se propone una forma de realización alternativa de un dispositivo bidireccional para tener en el disyuntor principal y en el disyuntor auxiliar al menos un interruptor semiconductor de potencia de la segunda dirección de la corriente opuesta, conectado en serie con el al menos un interruptor semiconductor de potencia en la primera dirección de la corriente, donde este al menos un interruptor semiconductor de potencia de la segunda dirección de la corriente también está conectado en antiparalelo con un diodo volante.

La invención y su forma de realización se explicarán ahora con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

- La Fig. 1 muestra un primer ejemplo de un elemento de base de un disyuntor de estado sólido,
- La Fig. 2 muestra un dispositivo de acuerdo con una realización de la invención,
- La Fig. 3 muestra un segundo ejemplo de un elemento de base de un disyuntor de estado sólido,
- La Fig. 4 muestra una forma de realización del dispositivo en forma de un dispositivo bidireccional,
- La Fig. 5 muestra un tercer ejemplo de un elemento de base de un disyuntor de estado sólido,
- La Fig. 6 muestra una primera forma de realización de una subestación que conecta un convertidor HVDC y cuatro líneas de transmisión de potencia de CC,
- La Fig. 7 muestra la interacción entre el dispositivo de la Fig. 2 y los medios de control del dispositivo, así como los medios de control de la subestación,
- La Fig. 8 muestra la secuencia de tiempo de las etapas de una forma de realización del método de acuerdo con la invención,
- La Fig. 9 muestra la secuencia de tiempo para el funcionamiento de un dispositivo de corte y un dispositivo de corte de respaldo,
- La Fig. 10 muestra una primera forma de realización de una disposición limitadora de corriente,
- La Fig. 11 muestra una segunda forma de realización de una disposición limitadora de corriente,
- La Fig. 12 muestra una segunda forma de realización de una subestación que conecta un convertidor HVDC y cuatro líneas de transmisión de potencia de CC.
- La Fig. 1 muestra un primer elemento de base 6 para los disyuntores de estado sólido utilizados en las formas de realización de la invención, donde los disyuntores de estado sólido son los disyuntores principal y auxiliar explicados con más detalle a continuación. El primer elemento base 6 comprende un interruptor semiconductor de potencia 1 en

una primera dirección de la corriente 4 y un diodo volante 2 conectados en anti-paralelo con el interruptor semiconductor de potencia 1.

El primer elemento base 6 se utiliza en una forma de realización del dispositivo según la invención tal como se representa en la Fig. 2. El dispositivo de corte 13 de la Fig. 2 es adecuado para aplicaciones de alta tensión de 50 kV y superiores, es capaz de cortar corrientes de hasta aproximadamente 10 kA y está conectado en serie con una línea de transmisión de potencia 14. La línea de transmisión de potencia 14 es preferiblemente una línea de transmisión de potencia HVDC. El dispositivo de corte 13 comprende un disyuntor principal 8 que contiene una conexión en serie de varias decenas hasta varios cientos de elementos base 6, - en función del nivel de tensión -, una resistencia no lineal 11 conectada en paralelo con el disyuntor principal 8 y una conexión en serie de un interruptor de alta velocidad 10 y un disyuntor auxiliar 9 conectado en paralelo con el disyuntor principal 8 y la resistencia no lineal 11. El disyuntor auxiliar 9 contiene sólo un elemento base 6. El interruptor de alta velocidad 10 se muestra como un interruptor mecánico, pero en este ejemplo se compone de una conexión en serie de al menos dos interruptores mecánicos accionados simultáneamente. En serie con el dispositivo de corte 13, se coloca un reactor 12 para la limitación de la corriente nominal. Como se puede entender a partir de la Fig. 2, el dispositivo de corte 13 es capaz de interrumpir una corriente que circula en la primera dirección de la corriente 4 a través de la línea de transmisión de potencia 14 solamente. En consecuencia, no es adecuado para ser utilizado como un disyuntor de corriente CA, pero puede ser utilizado como un disyuntor de corriente CC sobre un amplio rango de tensión, empezando en aproximadamente 1 kV y valores de hasta 1.000 kV y por encima, es decir, puede ser utilizado tanto en los campos de la distribución de potencia y la transmisión de potencia.

En la Fig. 3, un segundo elemento base 7 para los disyuntores de estado sólido se puede ver que comprende una conexión en paralelo del interruptor semiconductor de potencia 1 en la primera dirección de la corriente 4 y de un interruptor semiconductor de potencia 3 de una segunda, dirección de la corriente 5 opuesta.

El segundo elemento de base 7 se utiliza en una forma de realización del dispositivo de acuerdo con la invención como se muestra en la Fig. 4. El dispositivo de corte 17 de la Fig. 4 es un dispositivo de corte bidireccional, ya que es capaz de romper la corriente en la línea de transmisión de potencia 14 en ambas, la primera dirección de la corriente 4 y la segunda dirección de la corriente 5. El dispositivo de corte bidireccional 16 es por lo demás similar en su diseño y función al dispositivo de corte 13, es decir, es adecuado para el mismo rango de tensión y corriente y contiene los mismos elementos con la única diferencia de que el disyuntor principal 15 y el disyuntor auxiliar 16 comprenden segundos elementos base 7 en lugar de primeros elementos base 6. Además, puesto que el dispositivo de corte 17 es un dispositivo de corte bidireccional, puede ser utilizado como disyuntor bidireccional de CC, es decir, como disyuntor de CC, tanto para la primera como la segunda direcciones de la corriente 4 y 5, así como interruptor de corte de CA.

A partir de la Fig. 8, se puede entender cómo el dispositivo de corte de acuerdo con la invención puede hacerse funcionar en caso de fallo. El método se explicará utilizando el dispositivo de corte unidireccional 13 como ejemplo, pero es de la misma manera aplicable a un dispositivo de corte bidireccional tal como el dispositivo de corte 17. En el eje x del sistema de coordenadas de la Fig. 8, el tiempo t se muestra en milisegundos y en el eje y se representa la corriente I a través de la línea de transmisión de potencia 14. Antes del instante de tiempo  $t_1$ , los disyuntores principal y auxiliar, 8 y 9, así como el interruptor de alta velocidad 10 se cierran, donde el disyuntor auxiliar 9 y el interruptor de alta velocidad 10 estuvieron cerrados todo el tiempo durante el funcionamiento normal de la línea de transmisión de potencia 14, al tiempo que el disyuntor principal 8 podría, por ejemplo, acaba de cerrarse después de haber realizado un poco de control en línea de su funcionalidad. La corriente nominal  $I_{\text{nominal}}$  está circulando a través del interruptor de alta velocidad 10 y el disyuntor auxiliar 9 mientras que el disyuntor principal 8 está sin corriente. En el instante de tiempo  $t_1$ , se produce un fallo de línea en la línea de transmisión de potencia 14 que se traduce en un aumento continuo de la corriente I a partir de la corriente nominal  $I_{\text{nominal}}$ . En el instante de tiempo  $t_2$ , que en este ejemplo es aproximadamente 1 ms después del instante de tiempo  $t_1$ , se excede un primer límite de corriente  $I_{\text{lim}}$ , que se establece ligeramente por encima de la corriente térmica nominal de la línea de transmisión de potencia 14, lo que conduce a la generación inmediata y el envío de una señal de apertura del disyuntor auxiliar al disyuntor auxiliar 9. El disyuntor auxiliar 9 recibe la señal de apertura del disyuntor auxiliar y abre instantáneamente dentro de un par de microsegundos, conmutando de ese modo la corriente  $I_{\text{lim}}$  al disyuntor principal 8. A partir del envío de la señal de apertura del disyuntor auxiliar se demora un primer período de tiempo hasta que definitivamente se abre el disyuntor auxiliar. Si por ejemplo el disyuntor auxiliar generalmente necesita 10  $\mu\text{s}$  para abrir, el primer período de tiempo puede elegirse para ser 20  $\mu\text{s}$ . Puesto que este primer periodo de tiempo es muy corto en comparación con el rango-ms que se muestra en la Fig. 8, no se representa. Después de que el primer período de tiempo ha transcurrido, el interruptor de alta velocidad 10 se abre lo que en este ejemplo llevará un poco más de 1 ms, de modo que el interruptor de alta velocidad 10 está, finalmente, en el estado abierto en el instante de tiempo  $t_3$ . El instante de tiempo  $t_5$  muestra el final del intervalo de tiempo máximo que un algoritmo en un medio de detección y/o protección necesita para procesar varias señales de entrada antes de que se tome una decisión de corte y se genere una señal de apertura del disyuntor principal y se envíe al disyuntor principal 8. Este intervalo de tiempo máximo, calculado a partir del fallo en el instante de tiempo  $t_1$  hasta el instante de tiempo  $t_5$  es en este ejemplo aproximadamente 4 ms. En este instante de tiempo máximo  $t_5$ , la corriente ha alcanzado el nivel máximo de corriente  $I_{\text{Bmax}}$  que está definido que el disyuntor principal es capaz de cortar, es decir, en ese instante de tiempo se generará en cualquier caso la señal de apertura del disyuntor principal y se enviara al disyuntor principal 8. Sin embargo, el algoritmo en los medios de detección y/o protección puede producir y enviar la señal de apertura del

disyuntor principal en cualquier instante en el tiempo después de producirse el fallo, es decir, en cualquier instante de tiempo después de  $t_1$ . En este ejemplo, la señal de apertura del disyuntor principal es recibida por el disyuntor principal 8 al instante de tiempo  $t_4$ . La señal debería, alternativamente, estar ya disponible antes o hasta que el interruptor de alta velocidad se abra en el instante de tiempo  $t_3$ , los instantes de tiempo  $t_4$  y  $t_3$  marcarían el mismo instante en el tiempo, es decir, el método podría continuar directamente al instante de tiempo  $t_3$  como se describió anteriormente. El disyuntor principal 8 se abre instantáneamente dentro de un par de microsegundos, de modo que el instante de tiempo cuando el disyuntor principal 8 se abre y la corriente se conmuta a la resistencia no lineal 11 se encuentra tan cerca después del instante de tiempo  $t_4$  que no se puede mostrar en la Fig. 8. El nivel de corriente  $I_{\text{corte}}$ , que circula en ese instante de tiempo  $t_4$  a través de la línea 14 y de este modo a través del disyuntor principal, es el nivel de corriente que el disyuntor principal 8 tiene en realidad para cortar aquí. Es interesante observar que una sobrecarga de tensión es probable que ocurra cuando el disyuntor principal se abre. Puesto que el nivel de voltaje aumentado resultante se aplica al interruptor de alta velocidad, debe ser diseñado y dimensionado en consecuencia.

Puede observarse que, en general, cualquier interruptor de funcionamiento ultrarrápido podría ser utilizado como disyuntor auxiliar. La idea principal de esta invención es que en la conexión en serie en paralelo al disyuntor principal, el disyuntor auxiliar se hace cargo de la tarea de cambiar y conmutar al disyuntor principal el nivel de corriente  $I_{\text{lim}}$  incrementado, que sin embargo se encuentra muy por debajo de la corriente de corte real  $I_{\text{corte}}$ , al tiempo que la tarea de soportar la totalidad del nivel de alto voltaje es completada por el interruptor mecánico de alta velocidad. Suponiendo que, por ejemplo, un interruptor mecánico ultrarrápido llegue a estar disponible, podría cumplir la misma función que el disyuntor auxiliar de estado sólido, es decir, el interruptor ultrarrápido sería capaz de cortar el nivel de corriente  $I_{\text{lim}}$  de por ejemplo 2 kA en un período de tiempo muy corto de significativamente menos de 1 ms y podría soportar el mismo nivel de tensión de por ejemplo 2 kV. En ese caso, el disyuntor auxiliar podría ser también un interruptor mecánico en lugar de un interruptor de estado sólido.

En la Fig. 5, se muestra un tercer elemento base 19 que comprende una conexión en serie del interruptor semiconductor de potencia 1 en la primera dirección de la corriente y el interruptor semiconductor de potencia 3 de la segunda dirección de la corriente opuesta. Cada interruptor semiconductor de potencia tiene un diodo volante 2 y 18, respectivamente, conectados en antiparalelo. El elemento base 19 se utiliza en la Fig. 6 para representar los dispositivos de corte bidireccionales que están dispuestos en una subestación 20, en donde los dispositivos de corte bidireccionales se construyen de los mismos elementos que el dispositivo de corte bidireccional 17 con la única diferencia de que tanto el disyuntor principal como el disyuntor auxiliar comprenden terceros elementos base 19 en lugar de segundos elementos base 7. Puesto que la funcionalidad general del dispositivo de corte 17 y de un dispositivo de corte construido con el tercer elemento base 19 son las mismas, pueden ser utilizados para los mismos rangos de tensión y corriente, así como CC, corriente bidireccional CC o CA aplicaciones de corte de corriente.

La subestación de la Fig. 6 conecta un convertidor HVDC 30, aquí representado como un convertidor de la fuente de tensión que comprende interruptores semiconductores de potencia con capacidad de desconexión, con cuatro líneas de transmisión de potencia CC 26-29 de una red de CC. Se supone que un fallo de línea se produce en la línea de transmisión de potencia de CC 28. En este caso, los dispositivos de corte 22 y 21 tendrán que abrirse con el fin de desconectar la línea 28 de las otras líneas 26, 27 y 29 y de ese modo del resto de la red de CC. En casos muy raros, puede ocurrir que un dispositivo de corte falle al abrirse. Con el fin de seguir siendo capaz de desconectar el mayor número de líneas de la red de CC de la línea 28 defectuosa, los llamados disyuntos de respaldo o dispositivos de corte de respaldo están definidos en la subestación que se abrirá si su dispositivo de corte original correspondiente no lo hace. En el ejemplo de la Fig. 6 se supone que el dispositivo 22 tiene éxito en cortar mientras que el dispositivo de corte 21 falla. Los disyuntos de respaldo para el dispositivo 21 rompiendo son los dispositivos de corte 23 y 24. En este ejemplo, se necesitan dos disyuntos de respaldo ya que la trayectoria de la corriente de la línea de transmisión de potencia 28 se divide en la subestación 20 en dos trayectorias, una que conduce a través de dispositivo de corte 24 y la otra que conduce a través del dispositivo 23. La secuencia de tiempo para abrir un dispositivo de corte original seguido por un dispositivo de corte de respaldo se explicará ahora con respecto a la Fig. 9 y mediante el uso del ejemplo del dispositivo de corte original 21 y los dispositivos de corte de respaldo 23 y 24.

El eje x del sistema de coordenadas de la Fig. 9, muestra de nuevo el tiempo  $t$  en milisegundos, y el eje y muestra la corriente  $I$  a través de la línea de transmisión de potencia 28. Antes de instante de tiempo  $t_1$ , los disyuntos principales y auxiliares, así como los interruptores de alta velocidad de los dispositivos de corte 21, 23 y 24 están cerrados; las corrientes están circulando a través de los disyuntos auxiliares y los interruptores de alta velocidad mientras que los disyuntos principales están sin corriente. El nivel individual de la corriente a través de cada dispositivo de corte 21, 22, 23 y 24 está determinado por la distribución de corriente en el interior de la subestación. En el instante de tiempo  $t_1$ , se produce un fallo de línea en la línea de transmisión de potencia 28 que se traduce en un aumento continuo de la corriente  $I$  comenzando a partir de la corriente nominal  $I_{\text{nominal}}$ . Este aumento de la corriente se alimenta a la subestación y desde allí al resto de la red de CC lo cual se debe evitar mediante la apertura de ambos dispositivos de corte 21 y 22. Sin embargo, como se dijo anteriormente, el dispositivo de corte 22 no se considerará más ya que se supone que su acción de corte tiene éxito. En el instante de tiempo  $t_2$ , se excede un primer límite de corriente  $I_{\text{lim}}$ , que se encuentra ligeramente por encima de la corriente térmica nominal de la línea de transmisión de potencia 28, lo que conduce a la generación instantánea y envío de una señal de apertura del disyuntor auxiliar a los disyuntos auxiliares de tanto el dispositivo de corte 21 original como los dispositivos de

corte de respaldo 23 y 24. Los disyuntores auxiliares reciben la señal de apertura del disyuntor auxiliar y abren instantáneamente dentro de un par de microsegundos, conmutando de este modo su respectiva corriente a su correspondiente disyuntor principal. Como ya se explicó con respecto a la Fig. 8, se espera que cada uno de los tres dispositivos de corte 21, 23 y 24 durante un primer período de tiempo desde el envío de la señal de apertura del disyuntor auxiliar hasta que se supone que el respectivo disyuntor auxiliar debe abrirse antes de que se abra también el correspondiente interruptor de alta velocidad. Los interruptores de alta velocidad de los dispositivos de corte 21, 23 y 24 están abiertos en el instante de tiempo  $t_3$ . En este ejemplo, se toma una decisión de corte mediante los medios de detección y/o protección y se genera una señal de apertura del disyuntor principal y se envía al disyuntor principal del dispositivo de corte original 21 en el instante de tiempo  $t_4$  que debería recibir la señal y reaccionar instantáneamente. Sin embargo, el disyuntor principal del dispositivo de corte 21 falla la apertura y, en consecuencia, no se conmuta la corriente a la resistencia no lineal correspondiente. Este hecho es reconocido en el instante de tiempo  $t_5$ , que coincide en este ejemplo con el instante de tiempo en el que el disyuntor principal habría tenido que abrirse a más tardar, debido al alcance de  $I_{Bmax}$ . Inmediatamente se genera una señal de apertura del disyuntor principal y se envía a los disyuntores principales de los dispositivos de corte de respaldo 23 y 24 que se abrirán instantáneamente. El tiempo de reacción entre el reconocimiento de un fallo del disyuntor en  $t_5$  y la apertura de uno o más dispositivos de corte de respaldo en  $t_6$  está por lo tanto determinado sólo por el tiempo hasta que el disyuntor principal del disyuntor de respaldo se abre que es extremadamente corto aquí. No obstante, se representa con un período de tiempo algo exagerado entre  $t_5$  y  $t_6$  con el fin de explicar que el nivel de corriente que se alcanza en el instante  $t_6$  es igual al nivel máximo de corriente  $I_{Bmax}$  que está definido como que el disyuntor principal es capaz de cortar más un margen de reserva  $I_{marg.}$ , es decir, los disyuntores principales de los dispositivos de corte de la Fig. 6 en realidad están diseñados para ser capaces de cortar este aumento del nivel de corriente máxima ( $I_{Bmax} + I_{marg.}$ ).

En la Fig. 7, se muestra una disposición para explicar un ejemplo de la posible interacción entre el dispositivo de corte 13, un medio de control del dispositivo 36 y un medio de control de la subestación 38, donde se supone que el dispositivo de corte 13 es, como otros dispositivos de corte, parte de una subestación que está controlada por el medio de control de la subestación 38. El medio de control de la subestación 38 tiene como señales de entrada una señal o señales 37, procedentes de un sistema de control y protección de nivel superior de la red a la que la línea de transmisión de potencia 14 pertenece, y una señal de medición de corriente tomada por un sensor de corriente 32. El sensor de corriente 32 proporciona mediciones del nivel de corriente en la línea de transmisión de potencia 14. A partir de estas señales de entrada, el medio de control de la subestación 38 toma decisiones sobre si uno o más de los dispositivos de corte en la subestación correspondiente deben ser abiertos o cerrados de nuevo. La señal de salida 37 del medio de control de la subestación 38 es una señal que se envía al medio de control del dispositivo 36 y que indica que el dispositivo de corte 13 debe ser abierto, lo que significa que la corriente a través del dispositivo de corte 13 debe ser interrumpida, independientemente de si el dispositivo 13 debe ser abierto como dispositivo de corte original o como dispositivo de corte de respaldo. La siguiente información es enviada de vuelta, a partir del medio de control del dispositivo 36, al medio de control de la subestación: la señal 34 que indica si el dispositivo de corte 13 está dispuesto para y por lo tanto es capaz de conmutar la corriente a su disyuntor principal 8 antes de la decisión real de corte y la señal 35 que indica que el dispositivo de corte 13 falló, es decir, que la corriente no pudo conmutarse a la resistencia no lineal 11. La señal 34 informa al medio de control de la subestación 38 que son posibles tiempos de reacción muy cortos y que los algoritmos de control y protección pueden ajustarse en consecuencia.

Aparte de la señal 33, señales de entrada adicionales al medio de control del dispositivo 36 son la señal de medición de corriente del sensor 32 y las señales de indicación de la corriente de los indicadores de corriente 25 y 31. El indicador de corriente 25 indica si una corriente está presente en la rama del interruptor de alta velocidad 10 y el disyuntor auxiliar 9 y el otro indicador de corriente 31 indica si una corriente está presente en la rama de la resistencia no lineal 11. Los indicadores de corriente 25 y 31 no necesitan tomar una medida de corriente real; sino que es suficiente si se pueden dar una respuesta si/no a la cuestión de si está presente una circulación de corriente. Como se ha descrito anteriormente con respecto a las Fig. 8 y 9, el medio de control del dispositivo 36 reacciona a una medición de corriente del sensor de corriente 32 que indica que el primer límite de corriente  $I_{lim}$  se excede en la línea de transmisión de potencia 14 y genera la señal de apertura del disyuntor auxiliar y la envía a través de conexión 41 al disyuntor auxiliar 9, independientemente de la señal de entrada 33 desde el medio de control de la subestación 38. Después, o bien cuando el primer período de tiempo ha transcurrido o, en una primera forma de realización alternativa, cuando la medición del sensor de corriente 32 supera un segundo límite de corriente o, en una segunda forma de realización alternativa, cuando el indicador de corriente 25 indica que la corriente fue conmutada correctamente al disyuntor principal 8, es decir, que no hay presente más corriente en la rama del interruptor de alta velocidad 10 y el disyuntor auxiliar 9, una señal de apertura se envía a través de la conexión 39 al interruptor de alta velocidad 10.

Tan pronto como después de que la señal de entrada 33 indique que el dispositivo de corte 13 debe interrumpir la corriente en la línea de transmisión de potencia 14, el medio de control del dispositivo 36 genera la señal de apertura del disyuntor principal y la envía a través de la conexión 40 al disyuntor principal 8. En caso de que el medio de control de la subestación 38 haga funcionar el dispositivo de corte 13 como disyuntor original, la señal de entrada 33 habrá llegado antes por el intervalo de tiempo ( $t_5 - t_4$ ) (ver Fig. 9) en comparación con el caso en que se acciona el dispositivo de corte 13 como disyuntor de respaldo. Después de que la señal de apertura 40 del disyuntor principal se envía, el medio de control del dispositivo 36 controla la señal procedente del indicador de corriente 31. Si

después de un período de tiempo predefinido después de enviar la señal de apertura del disyuntor principal no se recibe indicación de una conmutación de corriente con éxito a la resistencia no lineal 11, el medio de control del dispositivo 36 envía una señal 35 al medio de control de la subestación 38 que le informa sobre el fallo del dispositivo de corte 13 de forma que el medio de control de la subestación 38 pueda activar el dispositivo de de corte de respaldo del dispositivo 13.

Si después de la apertura del interruptor de alta velocidad 10 o, alternativamente, después de la apertura del disyuntor auxiliar, ha transcurrido un segundo período de tiempo de por ejemplo 100 ms durante el cual el medio de control del dispositivo 36 no ha recibido ninguna información a través de la señal 33 de que la corriente en la línea 14 deba ser interrumpida, el medio de control del dispositivo 36 envía señales de cierre a través de las conexiones 39 y 41 al interruptor de alta velocidad 10 y al disyuntor auxiliar 9, respectivamente. Si después de la medición del sensor de corriente 32 aún o de nuevo se excede el primer límite de corriente, todo el procedimiento se inicia de nuevo.

La Fig. 10 muestra una primera y la Fig. 11 muestra una segunda forma de realización de una disposición limitadora de corriente. La disposición limitadora de corriente 42 en la Fig. 10 se basa en el primer elemento base 6 de la Fig. 1 y puede funcionar, por tanto, como dispositivo limitador de corriente unidireccional. La disposición limitadora de corriente 42 comprende una conexión en serie de varios dispositivos de corte 13 y está conectada en serie con una línea de transmisión de potencia 44 y con un reactor limitadora de corriente 12. La disposición limitadora de corriente 43 de la Fig. 11 se basa en el tercer elemento base 19 de la Fig. 5 y puede funcionar, por tanto, como dispositivo limitador de corriente bidireccional. La disposición 43 comprende una conexión en serie de disyuntos principales 45, que comprenden cada uno al menos un tercer elemento base 19, donde cada disyuntor principal 45 tiene una resistencia no lineal 11 conectada en paralelo. A través de toda la conexión en serie de los disyuntos principales 45, una conexión en serie de un interruptor de alta velocidad 10 y de un disyuntor auxiliar 46 está conectada en paralelo, donde el disyuntor auxiliar 46 comprende al menos un tercer elemento base 19. La disposición limitadora de corriente 43 está su vez conectada en serie con una línea de transmisión de potencia 44 y con un reactor limitadora de corriente 12.

Otras formas de realización de disposiciones limitadoras de corriente no mostradas pueden comprender disyuntos principales, así como uno o varios disyuntos auxiliares que están basados en los primeros, segundos o terceros elementos base y que están dispuestos en una de las formas mostradas en las Fig. 10 y 11. Puesto que el segundo elemento base 7 funciona en ambas direcciones de la corriente, las disposiciones limitadoras de corriente correspondientes también pueden funcionar como dispositivos limitadores de corriente bidireccionales.

La disposición limitadora de corriente de acuerdo con la presente invención puede ser utilizada para los mismos rangos de tensión que los dispositivos de corte descritos anteriormente, es decir, tanto para la distribución de potencia de media tensión como para aplicaciones de transmisión de potencia de alta tensión.

Un método de uso de la disposición limitadora de corriente de la Fig. 11 se describe ahora con respecto a la Fig. 8. Poco antes de instante de tiempo  $t_1$ , los disyuntos principales y auxiliar, 8 y 9, así como el interruptor de alta velocidad 10 están cerrados. La corriente nominal  $I_{\text{nominal}}$  está circulando a través del interruptor de alta velocidad 10 y el disyuntor auxiliar 9, mientras que los disyuntos principales 8 están sin corriente. En el instante de tiempo  $t_1$ , se produce un fallo de línea en la línea de transmisión de potencia 44 que se traduce en un aumento continuo de la corriente  $I$  comenzando a partir de la corriente nominal  $I_{\text{nominal}}$ . En el instante de tiempo  $t_2$ , se excede un primer límite de corriente  $I_{\text{lim}}$ , que se encuentra ligeramente por encima de la corriente térmica nominal de la línea de transmisión de potencia 44, lo que conduce a la generación inmediata y al envío de una señal de apertura del disyuntor auxiliar al disyuntor auxiliar 9. El disyuntor auxiliar 9 recibe la señal de apertura del disyuntor auxiliar y abre instantáneamente dentro de un par de microsegundos, conmutando de ese modo la corriente  $I_{\text{lim}}$  de los disyuntos principales 8. A partir del envío de la señal de apertura del disyuntor auxiliar se espera un primer período de tiempo hasta que el disyuntor auxiliar esté claramente abierto, y luego se abre el interruptor de alta velocidad 10, que después de algún tiempo, por ejemplo de 1 ms está, finalmente, en el estado abierto en el instante de tiempo  $t_3$ . En el instante de tiempo  $t_3$ , la corriente ha alcanzado un nivel de corriente intermedio  $I_3$  que se encuentra por encima del primer límite de corriente  $I_{\text{lim}}$  pero claramente por debajo de la corriente de corte máxima  $I_{\text{Bmax}}$ . A partir de la diferencia entre el nivel de corriente intermedio y el primer límite de corriente,  $(I_3 - I_{\text{lim}})$ , se determinan ahora varios disyuntos principales 8 a ser abiertos en la disposición limitadora de corriente 43, que en este ejemplo se supone que es de tres del total de seis disyuntos principales 8 conectados en serie. En consecuencia, se abren tres de los disyuntos principales 8, conmutando de este modo la corriente que circula a través de ellos sobre las resistencias no lineales 11 correspondientes. Como resultado, el nivel de corriente no aumenta adicionalmente con la misma velocidad de aumento que antes. En su lugar, o bien aumenta a una velocidad inferior o, como se representa en la Fig. 8 con una línea discontinua, se mantiene en el nivel actual intermedio  $I_3$ , o incluso disminuye. En el ejemplo de la Fig. 8, la corriente se mantiene en el nivel de corriente intermedio hasta que una decisión de corte final, es decir, una decisión de interrumpir completamente la corriente en la línea de transmisión de potencia 44, se efectúa al instante de tiempo  $t_4$ . La decisión de corte final podría tomarse ya sea porque la energía térmica en las resistencias no lineales 11 de los disyuntos principales 8 abiertos excede un límite superior o porque un algoritmo en un los medios de detección y/o protección evalúa que el fallo en la línea de transmisión de potencia 44 requiere una interrupción de una corriente de este tipo. En consecuencia, en el tiempo  $t_4$ , todos los disyuntos principales 8 que todavía están en el estado cerrado se abren también, que en este ejemplo se aplica a los tres disyuntos

principales 8 restantes. La corriente conmuta sobre sus resistencias no lineales 11 correspondientes y es por lo tanto finalmente interrumpida en la línea de transmisión de potencia 44. Como queda claro a partir de la Fig. 8, la corriente que los disyuntores principales 8 deben cortar, está en este ejemplo en el nivel de corriente intermedio  $I_3$ , que es considerablemente menor que la máxima corriente de corte  $I_{Bmax}$ . Suponiendo el caso más grave, donde el nivel de corriente aumenta adicionalmente a pesar de la apertura de los tres primeros disyuntores principales. Debido a la apertura de algunos de los disyuntores principales 8, este aumento se produce al menos a una velocidad menor en comparación con el uso del dispositivo de corte 13 puro (o 17). Esto significa que si se alcanza el período de tiempo máximo requerido por el algoritmo de los medios de detección y/o protección para llegar a una decisión de corte fiable, lo que aquí se designa como expirar  $t_5$ , el nivel de corriente que los disyuntores principales 8 restantes deberían cortar se encuentra en cualquier caso por debajo de la corriente de corte máxima  $I_{Bmax}$  de un dispositivo de corte puro. En consecuencia, los disyuntores principales 8 podrían diseñarse para una corriente de corte máxima  $I_{Bmax}$  menor, lo que reduce sus costes considerablemente.

La subestación de la Fig. 12 es, en algunos aspectos, similar a la subestación de la Fig. 6. Un convertidor HVDC 30 y cuatro líneas de transmisión de potencia de CC 26-29 de una red de CC. Una diferencia es que los dispositivos de corte que están conectados directamente a las líneas 26 y 29 están en la Fig. 12 cada uno reemplazado por una disposición limitadora de corriente 43 bidireccional según la Fig. 11. Las disposiciones limitadoras de corriente son referenciadas por los números 43', 43" y 43"". Además, en serie con cada uno de los dispositivos de corte directamente conectados a las líneas 27 y 28, se conecta una resistencia de preinserción 47, y en paralelo con cada resistencia de preinserción 47, se conecta un interruptor de derivación 48. En funcionamiento normal, el interruptor de derivación 48 está cerrado, como se muestra para el interruptor de derivación correspondiente al dispositivo de corte 21, con el fin de desconectar la resistencia de preinserción respectiva y de este modo evitar pérdidas innecesarias. Los dispositivos de corte 21, 22 y 49 que están conectados directamente a las líneas 27 y 28, así como los dispositivos de corte 23 y 50 que están conectados directamente al convertidor HVDC 30 son todos del tipo bidireccional que se basa en el tercer elemento base 19.

Se supone que la línea 27 está en un primer momento desenergizada y desconectada de todas las demás líneas energizadas 26, 28 y 29 y del convertidor HVDC 30 mediante los dispositivos de corte 22 y 49 que están en el estado abierto. Como alternativa, la línea 27 podría ser precargada a un nivel de tensión diferente que las otras líneas 26, 28 y 29. Con el fin de acoplar la línea 27 con el resto de la red y de energizarla de este modo, los dispositivos de corte 49 y 22 se cierran mediante el cierre de sus disyuntores principales, interruptores de alta velocidad y disyuntores auxiliares. Al mismo tiempo, los interruptores de derivación 48 de las resistencias de preinserción 47 que corresponden a los dispositivos de corte 22 y 49 se abren para que las corrientes de sobrecarga que puede precipitarse en la línea 27 desde ambos lados izquierdo y derecho de la subestación sean limitadas. Después de que la línea 27 se acopla con éxito a las otras líneas, los interruptores de derivación 48 se cierran de nuevo.

La necesidad de contar con resistencias de preinserción y interruptores de derivación conectados en serie con cada dispositivo de corte puede evitarse mediante la sustitución de los dispositivos de corte por cualquiera de las disposiciones limitadoras de corriente descritas anteriormente, donde las disposiciones limitadoras de corriente se hacen cargo de las funciones de tanto el dispositivo de corte como la resistencia de preinserción y añaden funciones ventajosas adicionales como se describió anteriormente. En la Fig. 12, se supone ahora que la línea 26 está en un primer momento desenergizada. Como alternativa, la línea 26 podría ser precargada a un nivel de tensión diferente de las otras líneas 27, 28 y 29. La línea 26 está desconectada de todas las demás líneas energizadas 27, 28 y 29 y del convertidor HVDC 30 mediante las disposiciones limitadoras de corriente 43' y 43" que están en el estado abierto. Con el fin de acoplar la línea 26 con el resto de la red y energizarla de este modo, las disposiciones limitadoras de corriente 43' y 43" están cerradas sólo en parte mediante el cierre de una parte de sus disyuntores principales 45 y manteniendo los otros disyuntores principales 45, el interruptor de alta velocidad 10 y el disyuntor auxiliar 46 abiertos. La corriente de sobrecarga se limita de este modo a través de las resistencias no lineales que corresponden a la parte de los disyuntores principales 45 que se mantienen abiertos. Después de que la línea 26 se acople con éxito a las otras líneas, los otros disyuntores principales 45, el interruptor de alta velocidad 10 y el disyuntor auxiliar 46 de las disposiciones limitadoras de corriente 43' y 43" se cierran de modo que la corriente en estas disposiciones limitadoras de corriente se conmute al interruptor de alta velocidad y los disyuntores auxiliares. Después, todos los disyuntores principales 45 pueden abrirse de nuevo.

## REIVINDICACIONES

1. Dispositivo (13, 17) para cortar una corriente eléctrica continua que circula a través de una línea de transmisión o de distribución de potencia (14) que comprende una conexión en paralelo de un disyuntor principal (8, 15) y una resistencia no lineal (11), comprendiendo el disyuntor principal (8, 15) al menos un interruptor semiconductor de potencia (1) en una primera dirección de la corriente (4), en donde el dispositivo comprende además una conexión en serie de un interruptor de alta velocidad (10) que comprende al menos un interruptor mecánico y de un disyuntor auxiliar (9, 16), teniendo el disyuntor auxiliar (9, 16) una resistencia en conducción más pequeña que el disyuntor principal (8, 15) y que comprende al menos un interruptor semiconductor de potencia (1) en la primera dirección de la corriente (4), donde la conexión en serie está conectada en paralelo a la conexión en paralelo; y el dispositivo está adaptado para abrir el disyuntor auxiliar tras la recepción de una señal del disyuntor auxiliar antes de la decisión de abrir el disyuntor principal haya sido tomada.
2. Dispositivo (13, 17) de acuerdo con la reivindicación 1, donde el disyuntor principal (8, 15) tiene una capacidad de bloqueo de tensión nominal más alta que el disyuntor auxiliar (9, 16).
3. Dispositivo (13, 17) de acuerdo con la reivindicación 2, donde  
 - el disyuntor principal (8, 15) comprende al menos dos interruptores semiconductores de potencia (1) en la primera dirección de la corriente (4),  
 - el disyuntor auxiliar (9, 16) comprende al menos un interruptor semiconductor de potencia (1) en la primera dirección de la corriente (4) que tiene la misma capacidad de bloqueo de tensión que los interruptores semiconductores de potencia (1) del disyuntor principal (8, 15), y  
 - el disyuntor principal (8, 15) comprende siempre un mayor número de interruptores semiconductores de potencia (1) que el disyuntor auxiliar (9, 16).
4. Dispositivo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-3, donde el disyuntor principal y/o el disyuntor auxiliar comprende al menos un interruptor semiconductor de potencia (1) adicional en la primera dirección de la corriente (4) conectado en paralelo con el al menos un interruptor semiconductor de potencia en la primera dirección de la corriente.
5. Dispositivo (17) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-4, donde tanto el disyuntor principal (8, 15) y el disyuntor auxiliar (9, 16) comprenden al menos un interruptor semiconductor de potencia (3) conectado en paralelo con el menos un interruptor semiconductor de potencia (1) en la primera dirección de la corriente (4) y estando en una segunda dirección de la corriente (5).
6. Dispositivo (13) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-4, donde el disyuntor principal y el disyuntor auxiliar comprenden cada uno al menos un diodo volante (2), cada diodo volante (2) conectado en antiparalelo a uno de los al menos unos interruptores semiconductores de potencia (1) en la primera dirección de la corriente (4).
7. Dispositivo (21-24) de acuerdo con la reivindicación 6, donde el disyuntor principal y el disyuntor auxiliar comprenden cada uno al menos un interruptor semiconductor de potencia (3) en una segunda dirección de la corriente (5) que tiene un diodo volante (18) conectado en antiparalelo con el mismo y que está conectado en serie con el al menos un interruptor semiconductor de potencia (1) en la primera dirección de la corriente (4).
8. Dispositivo de acuerdo con una cualquiera las reivindicaciones 1-7, adaptado para, en caso de que se haya recibido una señal del disyuntor auxiliar y ninguna señal de apertura (40) del disyuntor principal dentro de un período de tiempo desde la apertura del disyuntor auxiliar (9, 16) o desde la apertura del interruptor de alta velocidad (10), cierre el interruptor de alta velocidad (10) y el disyuntor auxiliar (9, 16) de nuevo.
9. Dispositivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-8, que comprende además un medio de control del dispositivo (36) que tiene:  
 una primera entrada adaptada para recibir una medición de corriente de un sensor de corriente (32) adaptado para medir la corriente en la línea (14), y  
 una segunda entrada adaptada para recibir una señal que indica que el dispositivo debe abrirse, en donde el medio de control del dispositivo está adaptado para generar una señal del disyuntor auxiliar en respuesta a una medición de corriente recibida que indica que se excedió un primer límite de corriente en la línea de transmisión de potencia; y  
 el medio de control del dispositivo está adaptado además para generar una señal de apertura del disyuntor principal tras la recepción de una señal que indica que el dispositivo debe abrirse.
10. Disposición limitadora de corriente (42) que comprende al menos dos de los dispositivos (13) de acuerdo con la reivindicación 1 conectados en serie entre sí y en serie con una trayectoria de la corriente a través de una línea de transmisión o distribución de potencia (44), donde la disposición (42) está adaptada para hacer funcionar un primer cierto número de los al menos dos dispositivos (13) de modo que una corriente a través de los interruptores de alta velocidad (10) y los disyuntores auxiliares (9) de los al menos dos dispositivos (13) se conmute a las resistencias no

lineales (11) respectivas en caso de que la corriente en la trayectoria de la corriente exceda un límite de sobrecorriente.

5 11. Disposición limitadora de corriente (43) conectada en serie con una trayectoria de la corriente a través de una  
 línea de transmisión o distribución de potencia (44) y que comprende  
 al menos dos conexiones en paralelo de un disyuntor principal (45) y una resistencia no lineal (11), donde las  
 conexiones en paralelo están conectadas en serie entre sí y donde los disyuntores principales (45) comprenden  
 cada uno al menos un interruptor semiconductor de potencia (1, 3) de la misma dirección o direcciones de la  
 corriente(4, 5), y  
 10 una conexión en serie de un interruptor de alta velocidad (10) y de un disyuntor auxiliar (46), donde el interruptor de  
 alta velocidad (10) comprende al menos un interruptor mecánico y donde el disyuntor auxiliar (46) tiene una  
 resistencia en conducción menor que cualquiera de los disyuntores principales (45) y comprende al menos un  
 interruptor semiconductor de potencia (1, 3) de la misma dirección o direcciones de la corriente (4, 5) como el al  
 menos un interruptor semiconductor de potencia (1, 3) de los disyuntores principales (45), en donde  
 15 la conexión en serie está conectada en paralelo a las al menos dos conexiones en paralelo,  
 la disposición (43) está adaptada para hacer funcionar el interruptor de alta velocidad (10) y el disyuntor auxiliar (46),  
 así como un primer cierto número de las al menos dos conexiones en paralelo de manera que una corriente a través  
 del interruptor de alta velocidad (10) y el disyuntor auxiliar (46) se conmute a las resistencias no lineales (11)  
 respectivas del primer cierto número de los al menos dos conexiones en paralelo en caso de que la trayectoria de la  
 corriente excede un límite de sobrecorriente, y  
 20 la disposición limitadora de corriente está adaptada para abrir el disyuntor auxiliar tras la recepción de una señal del  
 disyuntor auxiliar antes de que la decisión de abrir un disyuntor principal haya sido tomada.

25 12. Una subestación para conectar un convertidor HVDC (30) a un conjunto de líneas de transmisión (26, 27, 28, 29)  
 en donde, para cada línea de transmisión, la subestación comprende dispositivos originales de acuerdo con una  
 cualquiera de las reivindicaciones anteriores y dispositivos de respaldo de acuerdo con una cualquiera de las  
 reivindicaciones anteriores, comprendiendo además la subestación:  
 un medio de detección de corriente (32) adaptado para generar una señal de medición de la corriente indicativa del  
 nivel de corriente en una primera línea de transmisión; y  
 30 estando la subestación dispuesta de tal manera que, en respuesta a la señal de medición de la corriente de la  
 primera línea de transmisión que ha superado un límite de corriente, se genera una señal de apertura del disyuntor  
 auxiliar y se envía tanto a los dispositivos originales como a los dispositivos de respaldo de dicha primera línea de  
 transmisión, antes de que se haya tomado una decisión de abrir el disyuntor principal de los dispositivos originales  
 de dicha primera línea de transmisión.

35 13. Método para usar un dispositivo para cortar una corriente eléctrica continua que circula a través de una línea de  
 transmisión o de distribución de potencia (14), comprendiendo el dispositivo:  
 una conexión en paralelo de un disyuntor principal (8, 15) y una resistencia no lineal (11), comprendiendo el  
 disyuntor principal (8, 15) al menos un interruptor semiconductor de potencia (1) en una primera dirección de la  
 corriente (4), y  
 40 una conexión en serie de un interruptor de alta velocidad (10) que comprende al menos un interruptor mecánico y un  
 disyuntor auxiliar (9, 16), teniendo el disyuntor auxiliar (9, 16) una en la resistencia en conducción más pequeña que  
 el disyuntor principal (8, 15) y que comprende al menos un interruptor semiconductor de potencia (1) en la primera  
 dirección de la corriente (4), en donde  
 45 la conexión en serie está conectada en paralelo a la conexión en paralelo, y  
 el dispositivo (13, 17; 21) está conectado en serie a una trayectoria de la corriente que pasa a través de una línea de  
 distribución o transmisión de potencia (14; 28) y donde el disyuntor auxiliar (9, 16) y el interruptor de alta velocidad  
 (10) del dispositivo están cerrados, comprendiendo el método las etapas de  
 - cerrar el disyuntor principal (8, 15),  
 50 - abrir el disyuntor auxiliar (9, 16) si se recibe una señal de apertura (41) del disyuntor auxiliar, conmutando de ese  
 modo la corriente en al disyuntor principal (8, 15)  
 - después abrir el interruptor de alta velocidad (10),  
 - después abrir el disyuntor principal (8, 15) si se recibe una señal de apertura (40) del disyuntor principal  
 conmutando de este modo la corriente a la resistencia no lineal (11), en donde la apertura del disyuntor auxiliar se  
 realiza antes de que se haya tomado una decisión para abrir el disyuntor principal.

55 14. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 13, en donde se genera, se envía y se recibe una  
 señal de apertura (41) del disyuntor auxiliar, inmediatamente después de la corriente exceda un primer límite de  
 corriente ( $t_1$ ).

60 15. Método de acuerdo con la reivindicación 14, en donde el primer límite de corriente ( $I_{lim}$ ) se define ligeramente por  
 encima de la corriente térmica nominal de la línea o ligeramente por encima de la corriente térmica nominal de una  
 estación convertidor conectada a la línea.

65 16. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 13-15, en donde se abre el interruptor de alta  
 velocidad (10) cuando ha transcurrido un primer periodo de tiempo desde la apertura del disyuntor auxiliar (9, 16).



17. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 13-16, donde se abre el interruptor de alta velocidad (10) cuando la corriente excede un segundo límite de corriente.
- 5 18. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 13-17, donde se abre el interruptor de alta velocidad (10) si una señal (25) es recibida indicando que la corriente ha sido conmutada correctamente al disyuntor principal (8, 15).
- 10 19. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 13-18, donde se genera, se envía y se recibe una señal de apertura (40) del disyuntor principal, si se produce un fallo en la línea (14, 28) y/o en un dispositivo eléctrico adicional conectado a la línea ( $t_4$ ).
- 15 20. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 13-19, donde en caso de que no se reciba señal de apertura (40) del disyuntor principal dentro de un segundo período de tiempo desde la apertura del disyuntor auxiliar (9, 16) o desde la apertura del interruptor de alta velocidad (10), el interruptor de alta velocidad (10) y el disyuntor auxiliar (9, 16) se cierran de nuevo.
- 20 21. Método de acuerdo con las reivindicaciones 20, donde en el caso de que después del cierre del interruptor de alta velocidad (10) y del disyuntor auxiliar (9, 16) la señal de apertura (41) del disyuntor auxiliar está aún siendo recibida o se recibe de nuevo, primero se abre el disyuntor auxiliar (9, 16), después se abre el interruptor de alta velocidad (10) y después se abre el disyuntor principal (8, 15) si se recibe la señal de apertura (40) del disyuntor principal.
- 25 22. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 13-21, en donde en la ausencia de una señal de apertura (41) del disyuntor auxiliar y de una señal de apertura (40) del disyuntor principal, se abre el disyuntor principal (8, 15), se prueba la capacidad de funcionamiento de su al menos un interruptor semiconductor de potencia (1, 3) y, si está presente, de su al menos un diodo volante, y se cierra de nuevo el disyuntor principal (8, 15).
- 30 23. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 13-22, en donde en la ausencia de una señal de apertura (41) del disyuntor auxiliar y de una señal de apertura (40) del disyuntor principal, se llevan a cabo los siguientes etapas:
- abrir el disyuntor auxiliar (9, 16), conmutando de ese modo la corriente al disyuntor principal (8, 15),
  - después abrir el interruptor de alta velocidad (10), probando de esta manera la capacidad de funcionamiento del interruptor de alta velocidad (10),
  - después probar la capacidad de funcionamiento del al menos un interruptor semiconductor de potencia (1, 3) y, si
- 35 está presente, del al menos un diodo volante del disyuntor auxiliar (9, 16),
- después de la prueba con éxito, cerrar de nuevo el interruptor de alta velocidad (10) y el disyuntor auxiliar (9, 16).
- 40 24. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 13-23, donde un dispositivo adicional (23, 24) está conectado a la misma trayectoria de la corriente que la línea de transmisión o de distribución de potencia (28), comprendiendo además el dispositivo
- 45 una conexión en paralelo de un disyuntor principal (8, 15) y una resistencia no lineal (11), comprendiendo el disyuntor principal (8, 15) al menos un interruptor semiconductor de potencia (1) en una primera dirección de la corriente (4), y
- 50 una conexión en serie de un interruptor de alta velocidad (10) que comprende al menos un interruptor mecánico y un disyuntor auxiliar (9, 16), teniendo el disyuntor auxiliar (9, 16) una resistencia en conducción más pequeña que el disyuntor principal (8, 15) y que comprende al menos un interruptor semiconductor de potencia (1) en la primera dirección de la corriente (4), en donde la conexión en serie está conectada en paralelo a la conexión en paralelo, comprendiendo el método, en caso de que se reciba la señal de apertura (41) del disyuntor auxiliar para el dispositivo (21), las siguientes etapas adicionales:
- primero abrir el disyuntor auxiliar en el dispositivo adicional (23, 24),
  - después abrir el interruptor de alta velocidad en el dispositivo adicional (23, 24),
  - si en el dispositivo (21) la corriente no se conmuta correctamente a la resistencia no lineal, abrir en el dispositivo
- 55 adicional (23, 24) el disyuntor principal, o
- si en el dispositivo (21) la corriente se conmuta correctamente a la resistencia no lineal, cerrar el interruptor de alta velocidad y el disyuntor auxiliar en el dispositivo adicional (23, 24).

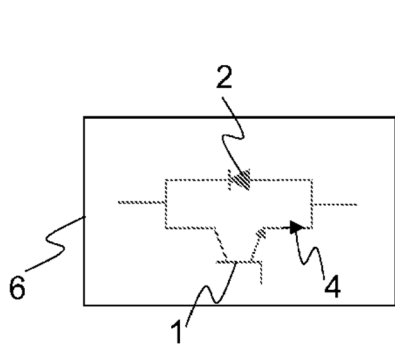


Fig. 1

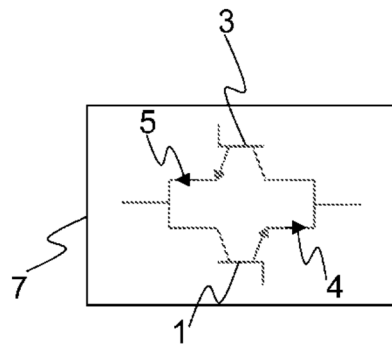


Fig. 3

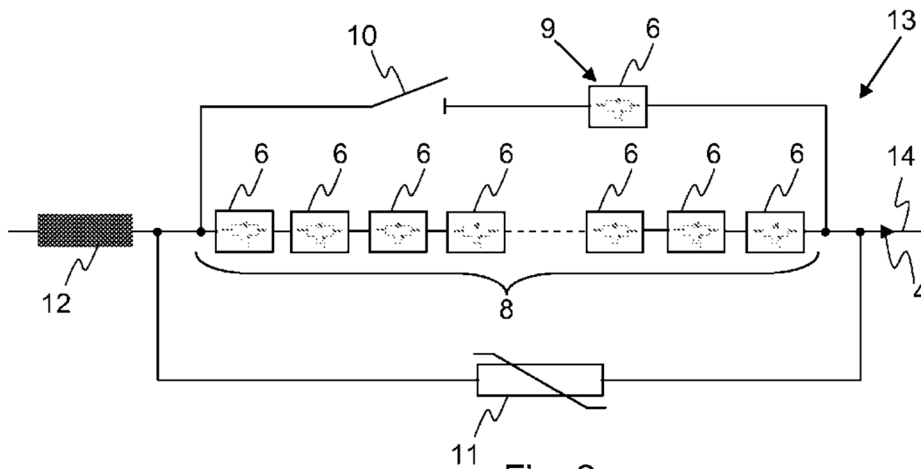


Fig. 2

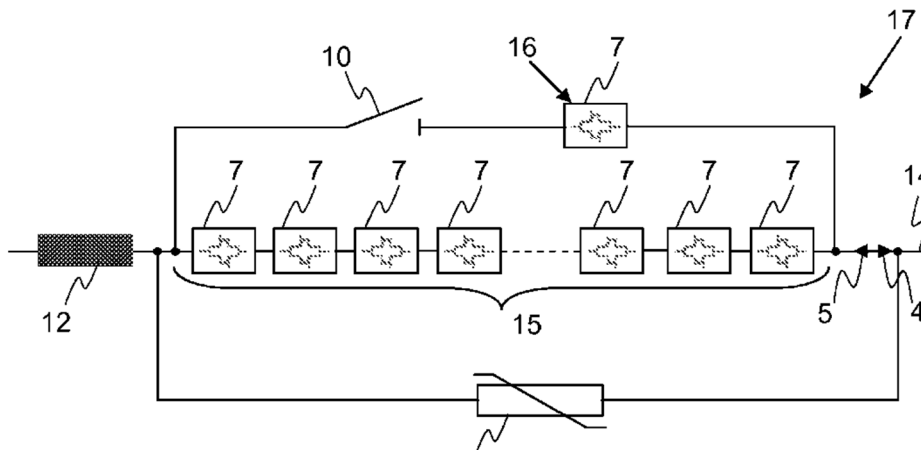


Fig. 4

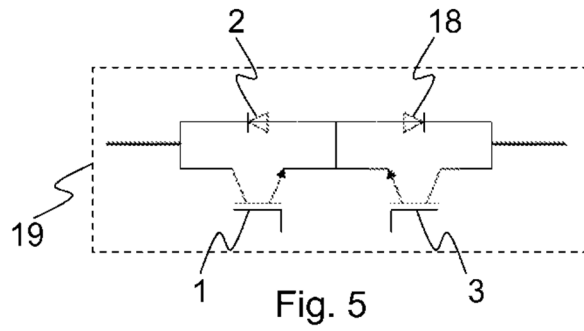


Fig. 5

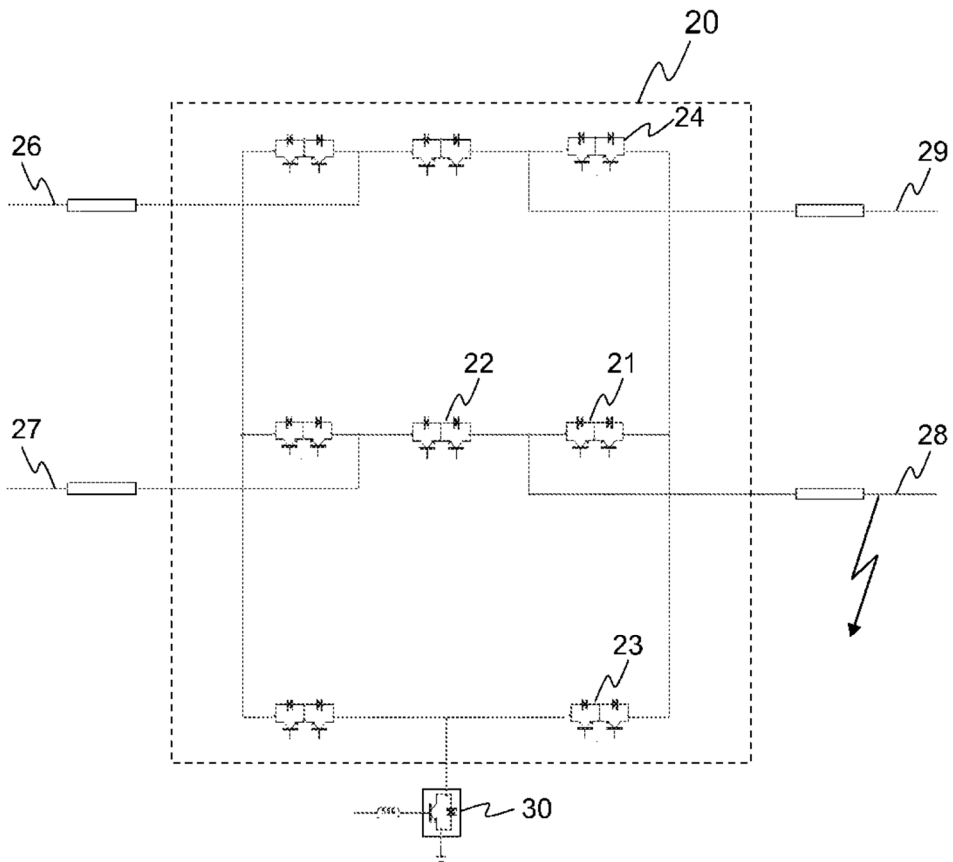


Fig. 6

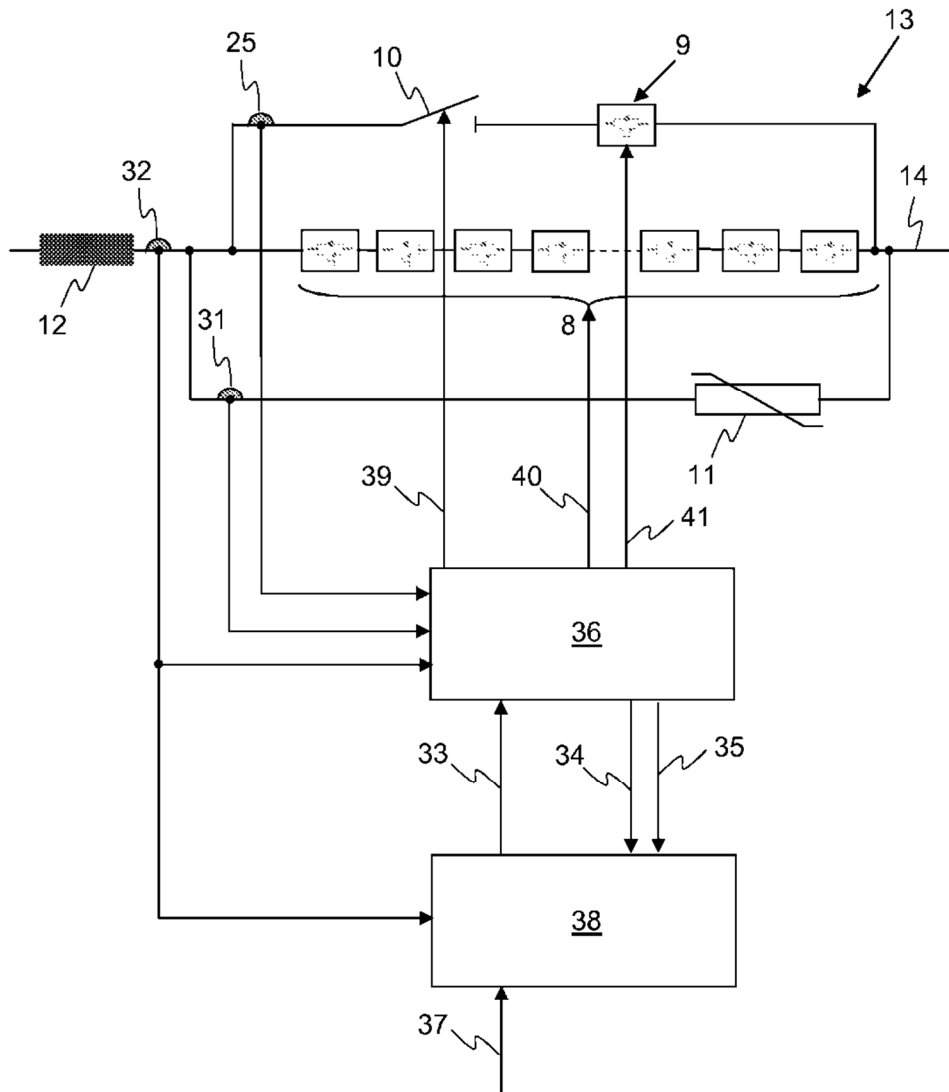


Fig. 7

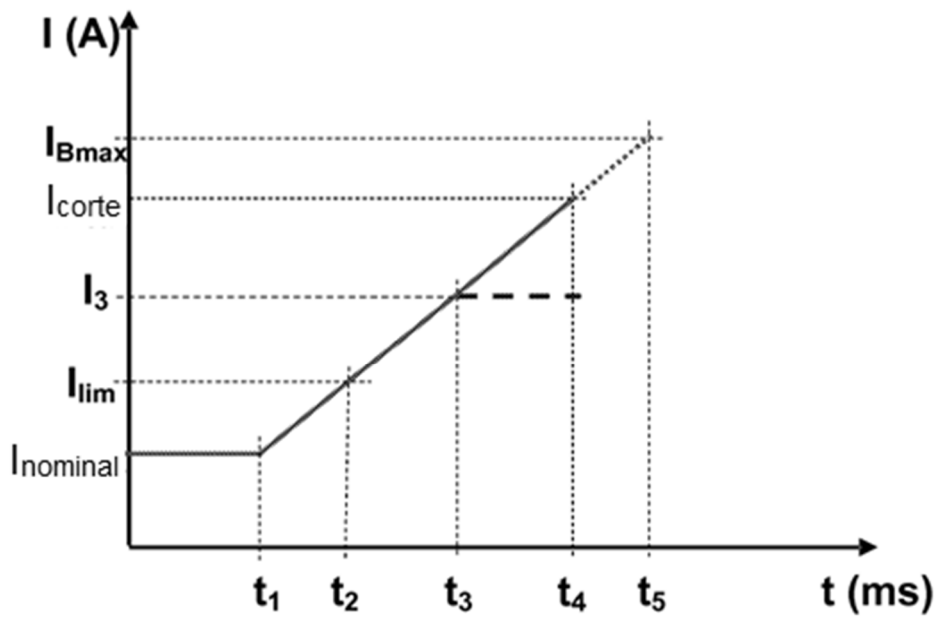


Fig. 8

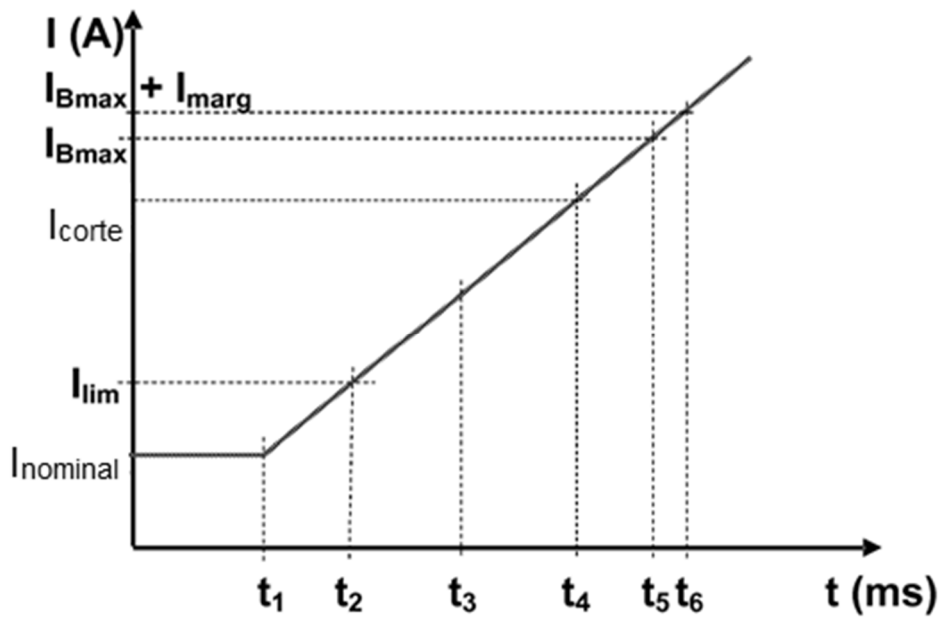


Fig. 9

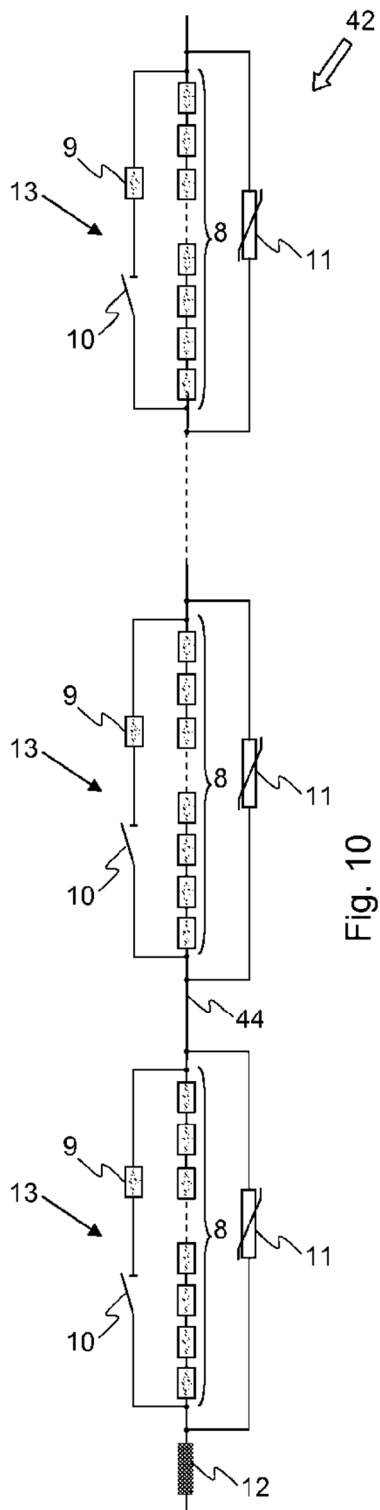


Fig. 10

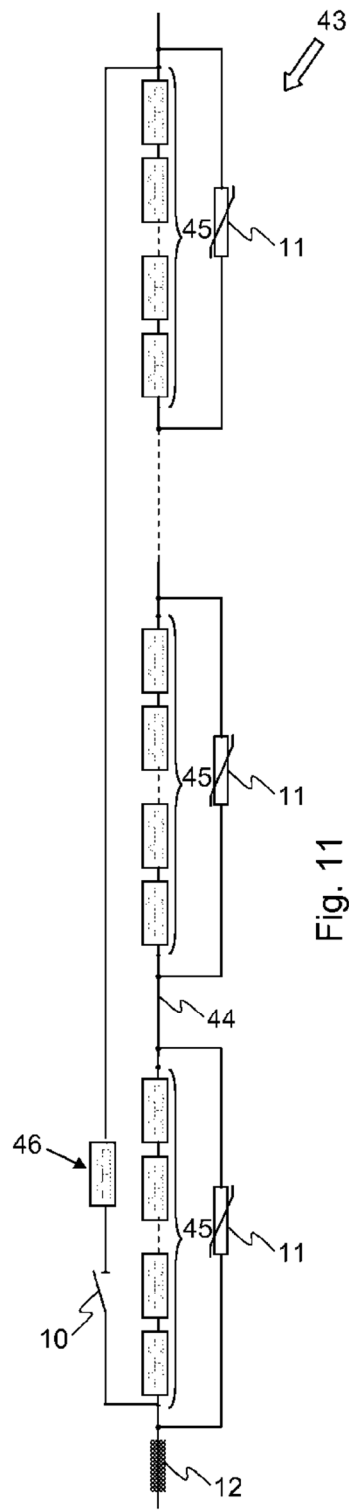


Fig. 11

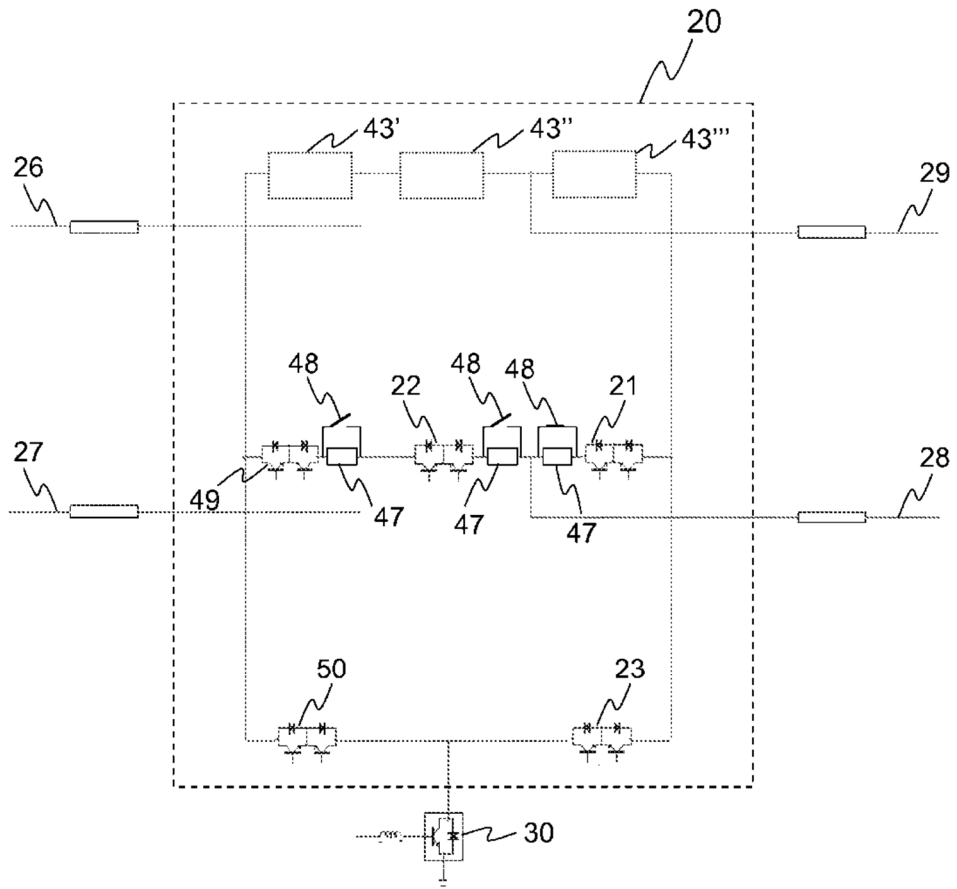


Fig. 12