

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 930 289**

51 Int. Cl.:

**H02H 9/02**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.09.2016 PCT/EP2016/070851**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.03.2018 WO18041372**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.09.2016 E 16760495 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.08.2022 EP 3485550**

54 Título: **Circuito limitador de corriente**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**09.12.2022**

73 Titular/es:

**SIEMENS ENERGY GLOBAL GMBH & CO. KG  
(100.0%)  
Otto-Hahn-Ring 6  
81739 München, DE**

72 Inventor/es:

**BECK, MICHAEL;  
GUGALE, PRIYANKA;  
KUHN, GERMAN;  
RINCON CASTEJON, JUAN PABLO y  
SHARMA, KUNAL**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

ES 2 930 289 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

Circuito limitador de corriente

5 Cada vez se transmiten mayores potencias eléctricas a través de las redes de abastecimiento de energía. Al inyectar potencias eléctricas cada vez mayores a las redes y al conectar las redes entre sí, también aumenta el riesgo de que se produzcan corrientes de falla cada vez mayores en caso de fallas, en particular, que se produzcan corrientes de cortocircuito cada vez mayores en caso de cortocircuitos. Sin embargo, la aparición de fallas en las redes de abastecimiento de energía eléctrica es inevitable. Por un lado, pueden producirse daños en las inmediaciones de la falla, por ejemplo, debido a la formación de arcos eléctricos. Por otro lado, las grandes corrientes de falla que circulan en las redes de abastecimiento de energía hacia el punto de falla provocan una alta carga dinámica y térmica en los componentes de la red. Por lo tanto, es importante limitar la magnitud de las corrientes que se producen en caso de falla. Es generalmente conocido el uso de bobinas o transformadores con alta impedancia para limitar la corriente. Sin embargo, incluso durante el funcionamiento normal de la red de abastecimiento de energía, estas bobinas o transformadores tienen una influencia apreciable en las corrientes que circulan en la red y empeoran el flujo de carga a través de la red.

15 Por el artículo "Principle and Characteristics of a Fault Current Limiter with Series Compensation" de S. Sugimoto *et al.*, IEEE Transactions on power delivery, IEEE Service center, Nueva York, vol. 11, n.º 2, 1 de abril de 1996, páginas 842-847, se conoce un circuito limitador de corriente con compensación en serie, que presenta un interruptor semiconductor de potencia en un ramal puente y está equipado con un limitador de sobretensión.

20 Por la solicitud de patente internacional WO 2006/010725 A1 se conoce un circuito limitador de corriente con descargador de chispas. La solicitud de patente internacional WO 2016/120880 A1 divulga otro circuito limitador de corriente con compensación en serie. La solicitud de patente europea EP 2 983 262 A1 divulga un circuito limitador de corriente que presenta un superconductor como elemento limitador de corriente.

25 La invención se basa en el objetivo de especificar un circuito limitador de corriente y un procedimiento con los que se pueda limitar de forma segura y fiable la magnitud de una corriente que se produce en una red de abastecimiento de energía.

De acuerdo con la invención, este objetivo se consigue mediante un circuito limitador de corriente y mediante un procedimiento según las reivindicaciones independientes de la patente. Formas de realización ventajosas del circuito limitador de corriente y del procedimiento se especifican en las reivindicaciones dependientes de la patente.

Se divulga un circuito limitador de corriente para limitar la magnitud de una corriente alterna con

- 30 - una unidad de bobina y una unidad de condensador conectadas eléctricamente en serie, y  
 - un equipo de puenteo para puentear eléctricamente la unidad de condensador cuando se produce una sobrecorriente. A este respecto, el equipo de puenteo puede estar eléctricamente conectado en paralelo a la unidad de condensador. Este circuito limitador de corriente tiene la ventaja de que, cuando el equipo de puenteo está abierto, el circuito en serie formado por la unidad de bobina y la unidad de condensador está operativo para la corriente alterna, mientras que cuando el equipo de puenteo está cerrado, solo la unidad de bobina está operativa para la corriente alterna.

40 El circuito limitador de corriente puede estar diseñado de tal manera que la unidad de condensador presente una capacitancia tal y la unidad de bobina presente una inductancia tal que, a la frecuencia nominal de la corriente alterna, el valor absoluto de la reactancia capacitiva de la unidad de condensador se corresponda con el valor absoluto de la reactancia inductiva de la unidad de bobina. En otras palabras, (a la frecuencia nominal de la corriente alterna) la reactancia capacitiva de la unidad de condensador compensa la reactancia inductiva de la unidad de bobina. Como resultado, el circuito limitador de corriente presenta una impedancia hacia el exterior muy baja (en el caso ideal, la impedancia es cero), porque la reactancia capacitiva y la reactancia inductiva (cuando el equipo de puenteo está abierto) se compensan entre sí. Por lo tanto, la corriente alterna (o el flujo de la corriente alterna) no se ve afectado, o solo en una medida muy pequeña, cuando el equipo de puenteo está abierto.

El circuito limitador de corriente está diseñado de tal manera que

- el equipo de puenteo presenta un primer ramal puente para puentear la unidad de condensador, teniendo el primer ramal puente un primer elemento de puenteo, en particular un interruptor semiconductor de potencia.

50 El primer ramal puente puede estar conectado en paralelo a la unidad de condensador. El interruptor semiconductor de potencia puede presentar válvulas semiconductoras (conectadas en antiparalelo) que se pueden conectar y desconectar, en particular tiristores. Un primer circuito atenuador (en particular otra unidad de bobina) puede estar eléctricamente conectado en serie al interruptor semiconductor de potencia. Este primer circuito atenuador limita el

flujo de corriente a través del interruptor semiconductor de potencia. El primer circuito atenuador está dispuesto en el primer ramal puente. La unidad de condensador puede ponerse en cortocircuito por medio del primer elemento de puenteo cuando se produce una sobrecorriente. Es especialmente ventajoso diseñar el primer elemento de puenteo como interruptor semiconductor de potencia, ya que la unidad de condensador se puede puenteo de forma especialmente rápida con un interruptor semiconductor de potencia. Un interruptor semiconductor de potencia se puede conectar (es decir, cerrar) muy rápidamente, por ejemplo, se pueden lograr tiempos de conexión de menos de un milisegundo.

El circuito limitador de corriente está diseñado de tal manera que

- el equipo de puenteo presenta un segundo ramal puente para puenteo la unidad de condensador, estando el segundo ramal puente eléctricamente conectado en paralelo al primer ramal puente y presentando el segundo ramal puente un segundo elemento de puenteo, en particular un descargador de chispas.

El segundo ramal puente puede presentar un (segundo) circuito atenuador dispuesto eléctricamente en serie con el descargador de chispas. El (segundo) circuito atenuador sirve para limitar la corriente de descarga de la unidad de condensador que circula a través del descargador de chispas cuando se enciende el descargador de chispas. La unidad de condensador se puede puenteo por medio del segundo ramal puente en caso de que el primer ramal puente falle debido a una falla. Es especialmente ventajoso utilizar un descargador de chispas como segundo elemento de puenteo, ya que un descargador de chispas puede puenteo rápidamente la unidad de condensador (en comparación con un interruptor de puenteo mecánico) y también puede someterse a cargas elevadas durante un breve periodo de tiempo.

El circuito limitador de corriente está diseñado de tal manera que

- el equipo de puenteo presenta un tercer ramal puente para puenteo el segundo elemento de puenteo, estando el tercer ramal puente eléctricamente conectado en paralelo al segundo elemento de puenteo y presentando el tercer ramal puente un interruptor de puenteo mecánico como tercer elemento de puenteo.

Por medio del tercer ramal puente se puede implementar ventajosamente un puenteo de la unidad de condensador (ramal puente de la unidad de condensador), que también puede conducir la corriente que circula durante un periodo de tiempo más largo. A este respecto, el tercer elemento de puenteo está diseñado ventajosamente de tal manera que presenta una resistencia óhmica muy baja en el estado conectado (estado cerrado). Un interruptor de puenteo mecánico (interruptor de derivación mecánico) se puede utilizar ventajosamente como tercer elemento de puenteo, ya que por medio de un interruptor de puenteo mecánico se pueden lograr resistencias óhmicas muy bajas, en particular resistencias más bajas que las que se pueden lograr con un interruptor semiconductor de potencia o con un descargador de chispas.

El circuito limitador de corriente también puede estar diseñado de tal manera que

- la unidad de condensador está provista de un limitador de sobretensión, en particular de un varistor. De este modo, la unidad de condensador puede protegerse de forma fiable frente a sobretensiones, lo que aumenta en particular la vida útil del circuito limitador de corriente.

El circuito limitador de corriente también puede estar diseñado de tal manera que

- la unidad de bobina presenta dos bobinas eléctricas conectadas en paralelo. Por medio de dos bobinas eléctricas de este tipo, conectadas en paralelo, es ventajosamente posible detectar cuando una de las dos bobinas tiene una falla (por ejemplo, un cortocircuito entre espiras), porque entonces cambia la relación de las corrientes eléctricas que circulan a través de las dos bobinas.

El circuito limitador de corriente presenta una unidad de control,

- que está diseñada de tal manera que la unidad de control genera una primera señal de puenteo cuando la corriente eléctrica que circula a través de la unidad de bobina supera un primer valor umbral, estando la primera señal de puenteo destinada a hacer que el primer elemento de puenteo se cierre (en particular que se cierre el interruptor semiconductor de potencia). Cuando se produce una sobrecorriente (es decir, cuando se produce una corriente que supera el primer valor umbral), la primera señal de puenteo se genera por medio de una unidad de control de este tipo y, por lo tanto, se emite una orden para cerrar el primer elemento de puenteo.

La unidad de control puede estar diseñada de tal manera que

- la unidad de control también genera la primera señal de puenteo (adicionalmente) cuando la corriente eléctrica que circula a través del limitador de sobretensión supera un segundo valor umbral. En esta configuración, la primera

5 señal de puenteo se genera, por tanto, cuando la corriente eléctrica que circula a través de la unidad de bobina supera un primer valor umbral o cuando la corriente eléctrica que circula a través del limitador de sobretensión supera el segundo valor umbral. La corriente eléctrica que circula a través del limitador de sobretensión supera entonces el segundo valor umbral cuando se produce una sobretensión en la unidad de condensador y, por lo tanto, el limitador de sobretensión de la unidad de condensador se activa. Esto garantiza ventajosamente que el equipo de puenteo también se cierre cuando, por ejemplo, se produce un error en la medición de la corriente eléctrica que circula a través de la unidad de bobina y, por lo tanto, no se detecta una superación del primer valor umbral.

La unidad de control está diseñada de tal manera que

- 10 - la unidad de control genera una segunda señal de puenteo, estando la segunda señal de puenteo destinada a hacer que el segundo elemento de puenteo se cierre (en particular, a hacer que el descargador de chispas se encienda) si el primer elemento de puenteo no se cierra (por ejemplo debido a un fallo) en respuesta a la primera señal de puenteo. Mediante esta configuración de la unidad de control aumenta, una vez más, significativamente la fiabilidad del circuito limitador de corriente. Aunque el primer elemento de puenteo no se cierre en respuesta a la primera señal de puenteo (por ejemplo, porque se produce una falla en el circuito limitador de corriente), la segunda señal de puenteo es generada por la unidad de control y, por lo tanto, se ordena al segundo elemento de puenteo que puentee la unidad de condensador. Por lo tanto, también en este caso, la magnitud de la corriente alterna se puede limitar de manera fiable con el circuito limitador de corriente.

20 El circuito limitador de corriente puede presentar un primer equipo de medición de corriente para medir la corriente eléctrica que circula a través de la unidad de bobina. El circuito limitador de corriente puede presentar un segundo equipo de medición de corriente para medir la corriente eléctrica que circula a través del limitador de sobretensión. El circuito limitador de corriente puede presentar un tercer equipo de medición de corriente para medir la corriente eléctrica que circula a través de una de las dos bobinas de la unidad de bobina.

25 También se divulga un procedimiento para limitar la magnitud de una corriente alterna (que circula a través de un punto de conexión a la red de una red de abastecimiento de energía), en el que

- 30 - la corriente alterna se conduce a través de un circuito eléctrico en serie formado por una unidad de bobina y una unidad de condensador, y  
 - para limitar la magnitud de la corriente alterna, la unidad de condensador es puenteadada eléctricamente, por lo que aumenta la reactancia inductiva del circuito en serie (y al aumentar la reactancia inductiva, se limita la magnitud de la corriente alterna).

35 A la frecuencia nominal de la corriente alterna, la reactancia capacitiva de la unidad de condensador compensa la reactancia inductiva de la unidad de bobina. En otras palabras, la capacitancia de la unidad de condensador y la inductancia de la unidad de bobina se seleccionan de tal manera que, a la frecuencia nominal de la corriente alterna, el valor de la reactancia capacitiva de la unidad de condensador se corresponde con el valor de la reactancia inductiva de la unidad de bobina.

Este procedimiento está diseñado de tal manera que

- 40 - (cuando se produce una sobrecorriente) la unidad de condensador es puenteadada eléctricamente por medio de un primer ramal puente, que presenta un primer elemento de puenteo, en particular un interruptor semiconductor de potencia. El primer ramal puente puede conectarse eléctricamente en paralelo a la unidad de condensador. Se mide la corriente eléctrica que circula a través de la unidad de bobina. La aparición de una sobrecorriente se detecta cuando la corriente eléctrica que circula a través de la unidad de bobina excede un primer valor umbral o cuando la corriente eléctrica que circula a través de un limitador de sobretensión (la unidad de condensador) excede un segundo valor umbral.

El procedimiento se ejecuta de tal manera que

- 45 - la unidad de condensador es puenteadada eléctricamente por medio de un segundo ramal puente si se produce un error al puentear la unidad de condensador por medio del primer ramal puente, presentando el segundo ramal puente un segundo elemento de puenteo, en particular un descargador de chispas.

El segundo ramal puente puede estar eléctricamente conectado en paralelo a la unidad de condensador.

El procedimiento se ejecuta de tal manera que

- 50 - además del puenteo de la unidad de condensador por medio del primer ramal puente o por medio del segundo ramal puente, el segundo elemento de puenteo es puenteadado eléctricamente por medio de un tercera ramal puente

que está eléctricamente conectado en paralelo al segundo elemento de puenteo y presenta un tercer elemento de puenteo, en particular un interruptor de puenteo mecánico.

El procedimiento puede ejecutarse de tal manera que

- 5 - la unidad de bobina presenta dos bobinas eléctricas conectadas en paralelo,
- se monitoriza la corriente que circula a través de las bobinas, y
- se genera una señal de alarma tan pronto como la relación de las corrientes que circulan a través de las dos bobinas cambia en más de un (tercer) valor umbral (valor umbral de corriente de bobina).

Los procedimientos especificados anteriormente presentan las mismas ventajas que las anteriormente especificadas en relación con el circuito limitador de corriente.

- 10 A continuación, la invención se explica con más detalle con referencia a ejemplos de realización. Las referencias iguales se refieren, a este respecto, a elementos iguales o equivalentes. En relación con los mismos, se muestra en

- la Figura 1 un ejemplo de realización del circuito limitador de corriente, en  
 la Figura 2 un ejemplo de realización más detallado del circuito limitador de corriente, en  
 la Figura 3 un ejemplo de realización de la unidad de bobina y en  
 15 la Figura 4 una secuencia de proceso a modo de ejemplo.

Aunque los ejemplos de realización se muestran como monofásicos en las figuras 1 a 3, en la práctica también pueden ser multifásicos, en particular trifásicos.

En la figura 1 se muestra un ejemplo de realización de un circuito limitador de corriente 1. El circuito limitador de corriente 1 está eléctricamente conectado a un primer punto de conexión a la red 8 por medio de un primer interruptor seccionador 5 y a un segundo punto de conexión a la red 14 por medio de un segundo interruptor seccionador 11. El primer punto de conexión a la red 8 y el segundo punto de conexión a la red 14 están conectados a una red de abastecimiento de energía (no representada). El primer punto de conexión a la red 8 se puede conectar eléctricamente al segundo punto de conexión a la red 14 por medio de un tercer interruptor seccionador 17 (seccionador de derivación 17, seccionador de puenteo 17). Cuando el seccionador de puenteo 17 está cerrado, una corriente alterna 20 circula directamente desde el primer punto de conexión de red 8 a través del seccionador de puenteo 17 (puente 17) hasta el segundo punto de conexión a la red 14.

En este caso, la corriente alterna 20 no circula a través del circuito limitador de corriente. Sin embargo, cuando el seccionador de puenteo 17 está abierto y el primer interruptor seccionador 5 y el segundo interruptor seccionador 11 están cerrados, la corriente alterna 20 circula desde el primer punto de conexión a la red 8 a través del circuito limitador de corriente 1 hasta el segundo punto de conexión a la red 14. Entonces el circuito limitador de corriente 1 está operativo.

En este caso, la corriente alterna 20 circula desde el primer punto de conexión a la red 8 a través del primer interruptor seccionador 5, una unidad de bobina 23, una unidad de condensador 26 y el segundo interruptor seccionador 11 hasta el segundo punto de conexión a la red 14. La inductancia eléctrica de la unidad de bobina 23 y la capacitancia eléctrica de la unidad de condensador 26 se seleccionan de tal manera que, a la frecuencia nominal  $f$  de la corriente alterna, el valor absoluto de la reactancia capacitiva  $X_C$  de la unidad de condensador 26 se corresponde con el valor absoluto de la reactancia inductiva  $X_L$  de la unidad de bobina 23. A la frecuencia nominal  $f$  de la corriente alterna, la reactancia capacitiva  $X_C$  de la unidad de condensador 26 compensa la reactancia inductiva  $X_L$  la unidad de bobina 23. Por lo tanto, para la inductancia  $L$  de la unidad de bobina 23 y la capacitancia  $C$  de unidad de condensador 26 es válido que:

$$40 \quad |X_L| = \omega L = \frac{1}{\omega C} = |X_C|$$

con la frecuencia angular  $\omega=2\pi f$ , donde  $f$  es la frecuencia nominal  $f$  de la corriente alterna. A la frecuencia nominal  $f$  de la corriente alterna (con el equipo de puenteo 29 abierto), la capacitancia de la unidad de condensador 26 compensa la inductancia de la unidad de bobina 23 de modo que la reactancia inductiva de la unidad de bobina no influya en la corriente alterna 20. Para la corriente alterna 20, el circuito en serie formado por la unidad de bobina y la unidad de condensador idealmente tiene entonces impedancia cero; en la práctica, el circuito en serie puede tener una pequeña impedancia debido a que la reactancia inductiva no siempre se compensará de forma ideal por la reactancia capacitiva. Como resultado, el flujo de la corriente alterna 20 desde el primer punto de conexión a la red 8 al segundo punto de conexión a la red 14 no se ve afectado o solo se ve afectado muy poco por el circuito en serie formado por la unidad de bobina 23 y la unidad de condensador 26. Entonces, el circuito limitador de corriente 1 no tiene o solo tiene una influencia no deseada muy pequeña sobre la transmisión de energía.

En otras palabras, la unidad de bobina 23 y la unidad de condensador 26 están adaptadas a la frecuencia

eléctrica/frecuencia nominal de la corriente alterna (es decir, a la frecuencia nominal de la red de abastecimiento de energía que se va a proteger). Por lo tanto, la impedancia del circuito en serie formado por la unidad de bobina 23 y la unidad de condensador 26 es idealmente cero a la frecuencia nominal de la corriente alterna. Por lo tanto, el flujo de potencia normalmente no se verá afectado por el circuito limitador de corriente.

- 5 La unidad de condensador 26 puede puentearse eléctricamente mediante un equipo de puenteo 29; el equipo de puenteo 29 está representado simbólicamente en el ejemplo de realización de la figura 1 como un interruptor que, en su estado cerrado, puentea eléctricamente la unidad de condensador 26. El equipo de puenteo 29 está conectado en paralelo a la unidad de condensador 26. El equipo de puenteo 29 sirve para puentear eléctricamente la unidad de condensador 26 cuando se produce una sobrecorriente.
- 10 La corriente alterna que circula a través de la unidad de bobina 23 se mide mediante un primer sensor de corriente 32 (primer equipo de medición de corriente 32). El primer sensor de corriente 32 sirve, por lo tanto, para medir la corriente eléctrica que circula a través de la unidad de bobina 23. El primer sensor de corriente 32 puede estar diseñado, por ejemplo, como transductor de medida. Una primera señal de medición de corriente 35 llega desde el primer sensor de corriente 32 a una unidad de control 38 del circuito limitador de corriente 1. Tan pronto como la unidad de control 38 detecta que la corriente que circula a través de la unidad de bobina 23 se está volviendo demasiado grande (es decir, la corriente 20 que circula a través de la unidad de bobina 23 excede un primer valor umbral 39), la unidad de control 38 envía una señal de puenteo 41 al equipo de puenteo 29. El equipo de puenteo 29 puentea a continuación la unidad de condensador 26. La corriente alterna 20 ya no circula entonces a través de la unidad de condensador 26, sino a través del equipo de puenteo 29. Esto pone en cortocircuito la reactancia capacitiva  $X_C$  del condensador 26, de modo que solo la reactancia inductiva  $X_L$  de la unidad de bobina 23 sigue estando operativa para la corriente alterna 20. Esta reactancia inductiva  $X_L$  limita la corriente alterna 20 de manera que el circuito limitador de corriente 1 ahora cumple su función de limitación de corriente.

- 25 Cuando la corriente alterna 20 que circula a través de la unidad de bobina 23 vuelve a su valor normal (por ejemplo, porque se ha eliminado un cortocircuito en la red de abastecimiento de energía), la unidad de control 38 detecta gracias a la primera señal de medición de corriente 35 la presencia de condiciones de corriente normales (es decir, la corriente 20 que circula a través de la unidad de bobina 23 cae por debajo del primer valor umbral 39). La unidad de control 38 deja de enviar la señal de puenteo 41 al equipo de puenteo 29. El equipo de puenteo 29 se abre a continuación (es decir, el equipo de puenteo 29 cambia del estado cerrado al estado abierto) y la corriente alterna 20 que circula a través del equipo de puenteo 29 conmuta de regreso a la unidad de condensador 26. A continuación, la unidad de condensador 26 vuelve a estar operativa para la corriente alterna 20, la reactancia capacitiva  $X_C$  de la unidad de condensador compensa de nuevo la reactancia inductiva  $X_L$  de la unidad de bobina y la corriente alterna 20 puede circular a través del circuito limitador de corriente 1 sin obstáculos (o casi sin obstáculos).

- 35 La estructura del equipo de puenteo 29 se muestra de forma detallada en la figura 2. El equipo de puenteo 29 presenta un primer ramal puente 203 para puentear la unidad de condensador 26. El primer ramal puente 203 presenta un primer elemento de puenteo 206. El primer elemento de puenteo 206 puede ser un interruptor semiconductor de potencia 206 (bidireccional), por ejemplo. Este interruptor semiconductor de potencia 206 puede presentar válvulas semiconductoras (conectadas en antiparalelo) que se pueden conectar y desconectar, en particular tiristores (conectados en antiparalelo). El interruptor semiconductor de potencia 206, en particular los tiristores, se pueden conmutar rápidamente. Un primer circuito atenuador 209 está eléctricamente conectado en serie al primer elemento de puenteo 206. El primer circuito atenuador 209 puede estar diseñado como otra unidad de bobina 209, por ejemplo. El primer circuito atenuador 209 limita la corriente eléctrica que circula a través del primer elemento de puenteo 206 cuando el primer elemento de puenteo 206 está conectado. El interruptor semiconductor de potencia 206 y el primer circuito atenuador 209 son elementos del primer ramal puente 203. El primer ramal puente 203 está conectado en paralelo a la unidad de condensador 26. Cuando el primer elemento de puenteo 206 está conectado, el primer ramal puente 203 puentea la unidad de condensador 26 y la corriente alterna 20 conmuta desde la unidad de condensador 26 al primer ramal puente 203.

- 50 El equipo de puenteo 29 presenta un segundo ramal puente 218 que también sirve para puentear la unidad de condensador 26. El segundo ramal puente 218 está eléctricamente conectado en paralelo al primer tramo de puenteo 203. El segundo ramal puente 218 presenta un segundo elemento de puenteo 221. El segundo elemento de puenteo 221 puede ser, por ejemplo, un descargador de chispas 221. Además, el segundo ramal puente 218 presenta un segundo circuito atenuador 225, este segundo circuito atenuador 225 puede ser, por ejemplo, otra unidad de bobina 225. El segundo circuito atenuador 225 está dispuesto eléctricamente en serie con el segundo elemento de puenteo 221. El segundo circuito de amortiguación 225 sirve para limitar la corriente que circula a través del segundo elemento de puenteo 221 cuando el segundo elemento de puenteo 221 está conectado (encendido el descargador de chispas 221).

- 55 El equipo de puenteo 29 presenta un tercer ramal puente 233 para puentear el segundo elemento de puenteo 221. El tercer ramal puente 233 está eléctricamente conectado en paralelo al segundo elemento de puenteo 221. El tercer ramal puente 233 tiene un tercer elemento de puenteo 237. El tercer elemento de puenteo 237 puede ser un interruptor de puenteo mecánico 237 (interruptor de derivación 237), por ejemplo.

La unidad de condensador 26 está provista de un limitador de sobretensión 245. Este limitador de sobretensión 245 puede ser un varistor 245, por ejemplo. El limitador de sobretensión 245 está conectado en paralelo a la unidad de condensador 26 y forma parte del equipo de puenteo 29. Tan pronto como se produce una sobretensión en la unidad de condensador 26, el limitador de sobretensión 245 se vuelve conductor, de modo que la corriente conmuta de la unidad de condensador 26 al limitador de sobretensión 245. Esto protege la unidad de condensador 26 de la sobretensión.

Además del primer sensor de corriente 32 ya mencionado en relación con la figura 1, el equipo de puenteo 29 presenta un segundo sensor de corriente 247 (segundo equipo de medición de corriente 247) para medir la corriente eléctrica que circula a través del limitador de sobretensión 245. El segundo sensor de corriente 247 envía una segunda señal de medición de corriente 248 a la unidad de control 31.

La unidad de control 38 puede enviar una primera señal de puenteo 255 al primer elemento de puenteo 206. El primer elemento de puenteo 206 se cierra en respuesta a la primera señal de puenteo 255, es decir, el primer elemento de puenteo 206 puentea la unidad de condensador 26. Por ejemplo, en el caso de la primera señal de puenteo 255, los pulsos de encendido se conducen a los tiristores del interruptor semiconductor de potencia 206, de modo que los tiristores se encienden y el interruptor semiconductor de potencia 206 se cierra. Además, la unidad de control 38 puede enviar una segunda señal de puenteo 258 al segundo elemento de puenteo 221. El segundo elemento de puenteo 221 se cierra en respuesta a la segunda señal de puenteo 258, lo que significa que el segundo elemento de puenteo 221 puentea la unidad de condensador 26. Además, la unidad de control 38 puede enviar una tercera señal de puenteo 262 al tercer elemento de puenteo 237. En respuesta a la tercera señal de puenteo 262, el tercer elemento de puenteo 237 puentea el segundo elemento de puenteo 221.

La unidad de control 38 genera la primera señal de puenteo 255 cuando la corriente eléctrica que circula a través de la unidad de bobina 23 supera el primer valor umbral 39 o cuando la corriente eléctrica que circula a través del limitador de sobretensión 245 supera un segundo valor umbral 263. La corriente que circula a través de la unidad de bobina se mide usando el primer sensor de corriente 32 y la corriente que circula a través del limitador de sobretensión 245 se mide usando el segundo sensor de corriente 247. La primera señal de puenteo 255 está destinada a hacer que el primer elemento de puenteo 206 se cierre. Por lo tanto, la unidad de condensador 26 también es puenteada eléctricamente en cuanto se produce una sobretensión en la unidad de condensador. Sin embargo, si el primer elemento de puenteo 206 no se cierra en respuesta a la primera señal de puenteo 255 (porque, por ejemplo, el primer elemento de puenteo 206 está defectuoso o la transmisión de señal entre la unidad de control 38 y el primer elemento de puenteo 206 está interrumpida), la unidad de control 38 genera entonces la segunda señal de puenteo 258 y la envía al segundo elemento de puenteo 221. La segunda señal de puenteo 258 está destinada a hacer que el segundo elemento de puenteo 221 se cierre. Como resultado, la corriente también se limita efectivamente por medio del circuito limitador de corriente 1 cuando se produce una falla en el primer elemento de puenteo 206.

Además, la unidad de control 38 envía la tercera señal de puenteo 262 al tercer elemento de puenteo 237 junto con la primera señal de puenteo 255 y junto con la segunda señal de puenteo 258 (o con un ligero retardo en el tiempo después de la primera señal de puenteo 255 o la segunda señal de puenteo 258). El tercer elemento de puenteo 237 se cierra en respuesta a la tercera señal de puenteo 262 y puentea así el segundo elemento de puenteo 221. La corriente alterna que circulaba previamente a través del primer elemento de puenteo 206 o a través del segundo elemento de puenteo 221 conmuta al tercer elemento de puenteo 237. Esta conmutación tiene lugar por que el tercer elemento de puenteo 237 tiene una resistencia óhmica muy baja en el estado cerrado. El tercer elemento de puenteo está diseñado preferentemente como interruptor de puenteo mecánico. Con el tercer elemento de puenteo 237, la corriente alterna 20 puede conducirse durante un tiempo relativamente largo sin que el primer elemento de puenteo 206 o el segundo elemento de puenteo 221 se sometan a demasiada carga.

El segundo elemento de puenteo 221 / el descargador de chispas 221 es, por lo tanto, un elemento de puenteo rápido y puentea la unidad de condensador 26 si el primer elemento de puenteo 206 / el interruptor semiconductor de potencia 206 no se cierra debido a un defecto.

La figura 3 muestra que la unidad de bobina 23 puede presentar preferentemente dos bobinas eléctricamente conectadas en paralelo: una primera bobina 303 y una segunda bobina 306 eléctricamente conectadas en paralelo. La corriente alterna 20 que circula a través de la unidad de bobina 23 se divide en una primera corriente parcial 309 que circula a través de la primera bobina 303 y una segunda corriente parcial 312 que circula a través de la segunda bobina 306. La corriente alterna total 20 se mide usando el primer sensor de corriente 32 y la segunda corriente parcial 312 que circula a través de la segunda bobina 306 se mide usando un tercer sensor de corriente 315. La primera corriente parcial 309 y la segunda corriente parcial 312 pueden determinarse evaluando la primera señal de medición de corriente 35 que se origina en el primer sensor de corriente 32 y una tercera señal de medición de corriente 320 que se origina en el tercer sensor de corriente 315.

Si la primera bobina 303 y la segunda bobina 306 tienen cada una la misma inductancia eléctrica, entonces la corriente alterna 20 se divide por igual entre la primera bobina 303 y la segunda bobina 306: La primera corriente parcial 309 es entonces igual de grande que la segunda corriente parcial 312. Si, por ejemplo, se produce un defecto en la primera

5 bobina 303 (por ejemplo, un cortocircuito entre espiras), entonces cambia la inductancia eléctrica de la primera bobina 303. En caso de cortocircuito entre espiras, la inductancia eléctrica de la primera bobina 303 se reduce. Como resultado, la primera corriente parcial 309 se hace más grande. La unidad de control 38 monitoriza la relación de la primera corriente parcial 309 respecto a la segunda corriente parcial 312. Tan pronto como esta relación cambia significativamente (por ejemplo, en más de un tercer valor umbral 268, véase la figura 2), la unidad de control 38 genera una señal de alarma 270 (véase la figura 2). Esta señal de alarma 270 significa que se ha producido un defecto en la unidad de bobina 23.

10 Por ejemplo, la señal de alarma 270 puede generarse tan pronto como la primera corriente parcial 309 sea más de un 5 % mayor que la segunda corriente parcial 312 (el tercer valor umbral 268 corresponde al 5 %). Alternativamente, también se puede calcular una corriente diferencial a partir de la primera corriente parcial y la segunda corriente parcial (corriente diferencial = primera corriente parcial 309 - segunda corriente parcial 312) y la señal de alarma 270 se puede generar tan pronto como la corriente diferencial exceda un umbral (el tercer valor umbral 268 corresponde a este valor umbral). La fiabilidad del circuito limitador de corriente vuelve a aumentar significativamente mediante esta detección de defectos en la unidad de bobina.

15 La figura 4 muestra mediante un diagrama de flujo un ejemplo de realización de un procedimiento para limitar la magnitud de una corriente alterna. Las etapas de procedimiento enumeradas a continuación tienen lugar en los bloques 401 a 409.

Bloque 401:

Determinar si la corriente eléctrica que circula a través de la unidad de bobina supera el primer valor umbral 39.

20 Bloque 402:

Determinar si la corriente eléctrica que circula a través del limitador de sobretensión supera el segundo umbral 263.

Bloque 403:

Operación OR de las salidas del bloque 401 y el bloque 402

Bloque 404:

25 Generar la primera señal de puenteo 255, que está destinada a hacer que el primer elemento de puenteo 206 se cierre (por ejemplo, que el interruptor semiconductor de potencia se cierre).

Bloque 405: Generar con un retardo en el tiempo la segunda señal de puenteo 258, que está destinada a hacer que el segundo elemento de puenteo 221 se cierre (por ejemplo, que el descargador de chispas se encienda).

Bloque 406:

30 Detectar si el primer elemento de puenteo 206 se cierra

Bloque 407 (si el primer elemento de puenteo se cierra): Cerrar el tercer elemento de puenteo 237 (p. ej. interruptor mecánico)

Bloque 408 (si el primer elemento de puenteo no se cierra, por ejemplo debido a un defecto):

Cerrar el segundo elemento de puenteo 221 (p. ej. descargador de chispas)

35 Bloque 409:

Cerrar el tercer elemento de puenteo 237 (p. ej. interruptor mecánico)

40 Con respecto al bloque 404: Opcionalmente, la primera señal de puenteo 255 y la tercera señal de puenteo 262 se generan simultáneamente. Sin embargo, el primer elemento de puenteo 206 se cierra más rápido que el tercer elemento de puenteo 237, porque el primer elemento de puenteo 206 es un elemento de puenteo más rápido que el tercer elemento de puenteo 237. Por ejemplo, el primer elemento de puenteo es un conmutador de semiconductor de potencia (relativamente más rápido), mientras que el tercer elemento de puenteo es un conmutador de puenteo mecánico (relativamente más lento). Como resultado, la corriente alterna 20 que circula a través de la unidad de condensador 26 puede conmutar relativamente rápido al primer ramal puente 203 con el primer elemento de puenteo 206 y (después del cierre del tercer elemento de puenteo 237) al tercera ramal puente 233 con el tercer elemento de puenteo 237.

50 Con respecto al bloque 405: Opcionalmente, la segunda señal de puenteo 258 y la tercera señal de puenteo 262 se generan simultáneamente. Sin embargo, el segundo elemento de puenteo 221 se cierra más rápido que el tercer elemento de puenteo 237, porque el segundo elemento de puenteo 221 es un elemento de puenteo más rápido que el tercer elemento de puenteo 237. Por ejemplo, el segundo elemento de puenteo 221 es un descargador de chispas (relativamente más rápido), mientras que el tercer elemento de puenteo es un interruptor de puenteo mecánico (relativamente más lento). Como resultado, en el caso de un defecto en el primer ramal puente 203, la corriente alterna

20 que circula a través de la unidad de condensador 26 puede conmutar relativamente rápido al segundo ramal puente 218 con el segundo elemento de puenteo 221 y (después del cierre del tercer elemento de puenteo 237) al tercera ramal puente 233 con el tercer elemento de puenteo 237.

5 Tiene lugar un retardo en el tiempo entre el bloque 404 y el bloque 405, de modo que las señales de puenteo mencionadas en el bloque 405 se generan un poco más tarde que las señales de puenteo mencionadas en el bloque 404. Esto asegura que el primer elemento de puenteo 206 en el primer ramal puente 203 se cierre en respuesta a la primera señal de puenteo 255 del bloque 404. Si el primer elemento de puenteo 206 se ha cerrado, sobre el segundo elemento de puenteo 221 no se aplica ninguna o solo se aplica una tensión muy baja, de modo que cerrar el segundo elemento de puenteo 221 ya no tiene ningún efecto significativo o (si el segundo elemento de puenteo 221 está diseñado como un descargador de chispas) este descargador de chispas 221 ya no se enciende en absoluto. Por lo tanto, el cierre del segundo elemento de puenteo (en respuesta a la segunda señal de puenteo 258) solo tiene efecto si el primer elemento de puenteo no se cierra (en respuesta a la primera señal de puenteo 255) debido a un error.

15 Se ha descrito un circuito limitador de corriente y un procedimiento para limitar la magnitud de una corriente alterna en los que (con el equipo de puenteo abierto) existe idealmente una impedancia cero (o, en la realidad, una impedancia muy baja) y, por lo tanto, en el caso normal la corriente alterna que circula no se ve obstaculizada ni afectada. El caso normal es cuando no hay sobrecorriente (en particular, no hay corriente de cortocircuito debido a un cortocircuito). Solo si se produce una sobrecorriente, la unidad de condensador 26 es puenteada (puesta en cortocircuito) por el equipo de puenteo 29, como resultado de lo cual la unidad de bobina 23 se vuelve operativa con respecto a la corriente alterna que circula y limita rápidamente esta corriente alterna. Por regla general, el primer ramal puente 203 (rápido) del equipo de puenteo 29 puentea la unidad de condensador 26; en particular, la unidad de condensador 26 es puenteada por el interruptor semiconductor de potencia 206 (rápido), que está dispuesto en el primer ramal puente 203. Si se produce una falla en el primer ramal puente 203 (de modo que no se produzca puenteo por medio del primer ramal puente 203), entonces la unidad de condensador 26 es atendida por medio del segundo ramal puente 218, en particular por medio del descargador de chispas 221. Para una conducción de larga duración de la corriente alterna también está previsto un tercer ramal puente 233 con un tercer elemento de puenteo 237, en particular con un interruptor de puenteo mecánico 237, que puede conducir la corriente alterna durante un tiempo comparativamente largo y con pocas pérdidas.

30 Por lo tanto, el equipo de puenteo funciona de manera fiable incluso aunque se produzca un defecto en el primer ramal puente o aunque haya una interrupción en la transmisión de señales entre la unidad de control 38 y el primer elemento de puenteo 206, de modo que está presente un circuito limitador de corriente robusto y fiable.

35 La unidad de bobina 23 limita la corriente eléctrica, en particular la corriente eléctrica de cortocircuito. En el caso normal/caso de funcionamiento normal, la unidad de condensador 26 genera (en el estado no puenteado) la impedancia cero del circuito en serie formado por la unidad de bobina y la unidad de condensador. El limitador de sobretensión 245 protege la unidad de condensador frente a una sobretensión, en particular durante la aparición de una falla o cortocircuito. El interruptor semiconductor de potencia 206 asegura que la unidad de condensador se puentee rápidamente en caso de sobrecorriente y se usa como regla (es decir, cuando no hay ningún defecto en el circuito limitador de corriente) para puentear la unidad de condensador 26. El puenteo rápido de la unidad de condensador 26 tiene lugar por regla general con el interruptor semiconductor de potencia 206, que presenta tiristores en antiparalelo. El primer circuito atenuador 209 / otra unidad de bobina 209 limita la corriente a través del interruptor semiconductor de potencia 206 y la magnitud de la variación de la corriente  $di/dt$  que se produce en el interruptor semiconductor de potencia 206.

45 Por lo tanto, el flujo de corriente a través del interruptor semiconductor de potencia está limitado por medio del primer circuito atenuador 209 / otra unidad de bobina 209 eléctricamente conectado/a en serie con el interruptor semiconductor de potencia. El segundo elemento de puenteo 221, en particular el descargador de chispas 221, permite un puenteo alternativo de la unidad de condensador en caso de que falle el primer elemento de puenteo 206 / el primer interruptor semiconductor de potencia 206. Así se logra una redundancia completa. El segundo circuito atenuador 225 limita la corriente a través del segundo elemento de puenteo 221 / descargador de chispas 221 y a través del tercer elemento de puenteo 237 / interruptor de puenteo mecánico 237 y permite atenuar suficientemente la corriente de descarga de la unidad de condensador 26. El tercer elemento de puenteo 237 / el interruptor de puenteo mecánico 237 protege el limitador de sobretensión 245, el primer elemento de puenteo 206 y el segundo elemento de puenteo 221. El tercer elemento de puenteo 237 también puede cerrarse cuando sea necesario un puenteo de la unidad de condensador 26 por razones distintas a una sobrecorriente, es decir, por ejemplo, en caso de otra falla en la red de abastecimiento de energía. El seccionador de puenteo 17, el primer interruptor seccionador 5 y el segundo interruptor seccionador 11 sirven para insertar el circuito limitador de corriente en la red de abastecimiento de energía (red de transmisión de energía) y para seccionar el circuito limitador de corriente de la red de abastecimiento de energía.

Debido a la corriente que circula a través de la unidad de bobina 23 y/o a la corriente que circula a través del limitador de sobretensión 245, se detecta cuándo hay una sobrecorriente presente y cuándo debe cerrarse, por consiguiente, el equipo de puenteo 29. El uso de dos corrientes independientes asegura que el circuito limitador de corriente 1 funcione de manera fiable incluso en el caso de un error de comunicación o una avería del sensor de corriente. Tan

pronto como una de las dos corrientes supera un valor umbral correspondiente en cada caso, se genera la primera señal de puenteo y, por lo tanto, se excita/activa el puenteo de la unidad de condensador. A continuación, se lleva a cabo el procedimiento descrito en relación con la figura 4.

5 Se ha descrito un circuito limitador de corriente y un procedimiento para limitar la magnitud de una corriente alterna con los que puede limitarse rápidamente la corriente en el caso de una sobrecorriente. En el caso normal (es decir, cuando no hay sobrecorriente), el circuito limitador de corriente tiene poca o ninguna influencia en la corriente alterna que circula. Debido a la presencia de varios ramales puente en el equipo de puenteo 29, se logra una alta fiabilidad del circuito limitador de corriente, en particular incluso cuando se producen fallos de comunicación o de componentes en secciones individuales del circuito limitador de corriente. Al limitar la corriente (en particular cuando se producen  
10 cortocircuitos), la carga dinámica y térmica para los componentes de la red de abastecimiento de energía se reduce significativamente, por lo que la vida útil de estos componentes se puede prolongar significativamente.

## REIVINDICACIONES

1. Circuito limitador de corriente (1) para limitar la magnitud de una corriente alterna (20) con

- una unidad de bobina (23) y una unidad de condensador (26) conectadas eléctricamente en serie, y
- un equipo de puenteo (29) para puentear eléctricamente la unidad de condensador (26) cuando se produce una sobrecorriente, en donde
- el equipo de puenteo (29) presenta un primer ramal puente (203) para puentear la unidad de condensador (26), teniendo el primer ramal puente (203) un primer elemento de puenteo (206), en particular un interruptor semiconductor de potencia (206),
- el equipo de puenteo (29) presenta un segundo ramal puente (218) para puentear la unidad de condensador (26), estando el segundo ramal puente (218) eléctricamente conectado en paralelo al primer ramal puente (203) y presentando el segundo ramal puente (218) un segundo elemento de puenteo (221), en particular un descargador de chispas (221),
- una unidad de control (38) está diseñada de tal manera que genera una primera señal de puenteo (255) cuando la corriente eléctrica que circula a través de la unidad de bobina (23) supera un primer valor umbral (39), estando la primera señal de puenteo (255) destinada a hacer que el primer elemento de puenteo (206) se cierre, y
- la unidad de control (38) está diseñada de tal manera que genera una segunda señal de puenteo (258), estando la segunda señal de puenteo (258) destinada a hacer que el segundo elemento de puenteo (221) se cierre cuando el primer elemento de puenteo (206) no se cierra en respuesta a la primera señal de puenteo (255),

**caracterizado por que**

- el equipo de puenteo (29) presenta un tercer ramal puente (233) para puentear el segundo elemento de puenteo (221), estando el tercer ramal puente (233) eléctricamente conectado en paralelo al segundo elemento de puenteo (221) y presentando el tercer ramal puente (233) un interruptor de puenteo mecánico (237) como tercer elemento de puenteo (237), y
- la unidad de control (38) está diseñada de tal manera que transmite, junto con la primera señal de puenteo (255) y junto con la segunda señal de puenteo (258) o con un ligero retardo respecto a la primera señal de puenteo (255) o a la segunda señal de puenteo (258), una tercera señal de puenteo (262) al tercer elemento de puenteo (237), con la cual el tercer elemento de puenteo (237) se cierra y, a continuación, una corriente alterna que circulaba previamente a través del primer elemento de puenteo (206) o a través del segundo elemento de puenteo (221) conmuta al tercer elemento de puenteo (237).

2. Circuito limitador de corriente según la reivindicación 1,

**caracterizado por que** la unidad de condensador (26) presenta una capacitancia tal y la unidad de bobina (23) presenta una inductancia tal que, a la frecuencia nominal de la corriente alterna (20), el valor absoluto de la reactancia capacitiva de la unidad de condensador (26) se corresponde con el valor absoluto de la reactancia inductiva de la unidad bobina (23).

3. Circuito limitador de corriente según una de las reivindicaciones anteriores,

**caracterizado por que**

- la unidad de condensador (26) está provista de un limitador de sobretensión (245), en particular de un varistor (245).

4. Circuito limitador de corriente según una de las reivindicaciones anteriores,

**caracterizado por que**

- la unidad de bobina (23) presenta dos bobinas eléctricas (303, 306) conectadas en paralelo.

5. Circuito limitador de corriente según una de las reivindicaciones anteriores,

**caracterizado por que**

- la unidad de control (38) está diseñada de tal manera que también genera la primera señal de puenteo (255) cuando la corriente eléctrica que circula a través del limitador de sobretensión (245) supera un segundo valor umbral (263).

6. Procedimiento para limitar la magnitud de una corriente alterna, en el que

- la corriente alterna (20) se conduce a través de un circuito eléctrico en serie formado por una unidad de bobina (23) y una unidad de condensador (26), y
- para limitar la magnitud de la corriente alterna (20), la unidad de condensador (23) es puenteadada eléctricamente (29), por lo que se aumenta la reactancia inductiva del circuito en serie,

- la unidad de condensador (26) es puenteada eléctricamente por medio de un primer ramal puente (203) que presenta un primer elemento de puenteo (206), en particular un interruptor semiconductor de potencia (206),
- la unidad de condensador (26) es puenteada eléctricamente por medio de un segundo ramal puente (218) si se produce un error al puentear la unidad de condensador (26) por medio del primer ramal puente (203), presentando el segundo ramal puente (218) un segundo elemento de puenteo (221), en particular un descargador de chispas (221),
- además del puenteo de la unidad de condensador (26) por medio del primer ramal puente (203) o por medio del segundo ramal puente (218), el segundo elemento de puenteo (221) es puenteado eléctricamente por medio de un tercer ramal puente (233) que está eléctricamente conectado en paralelo al segundo elemento de puenteo (221) y presenta (237) un interruptor de puenteo mecánico (237) como tercer elemento de puenteo, en donde
- una primera señal de puenteo (255) es generada por una unidad de control (38) cuando la corriente eléctrica que circula a través de la unidad de bobina (23) supera un primer valor umbral (39), estando la primera señal de puenteo (255) destinada a hacer que el primer elemento de puenteo (206) se cierre,
- una segunda señal de puenteo (258) es generada por la unidad de control (38), estando la segunda señal de puenteo (258) destinada a hacer que el segundo elemento de puenteo (221) se cierre cuando el primer elemento de puenteo (206) no se cierra en respuesta a la primera señal de puenteo (255), y
- junto con la primera señal de puenteo (255) y junto con la segunda señal de puenteo (258) o con un ligero retardo respecto a la primera señal de puenteo (255) o a la segunda señal de puenteo (258), una tercera señal de puenteo (262) es transmitida por la unidad de control (38) al tercer elemento de puenteo (237), en respuesta a la cual el tercer elemento de puenteo (237) se cierra y, a continuación, una corriente alterna que circulaba previamente a través del primer elemento de puenteo (206) o a través del segundo elemento de puenteo (221) conmuta al tercer elemento de puenteo (237).

7. Procedimiento según la reivindicación 6,  
**caracterizado por que**

- la unidad de bobina (23) presenta dos bobinas eléctricas (303, 306) conectadas en paralelo,
- se monitoriza la corriente que circula a través de las bobinas (303, 306), y
- se genera una señal de alarma (270) tan pronto como la relación de las corrientes que circulan a través de las dos bobinas (303, 306) cambia en más de un valor umbral (268).

FIG 1

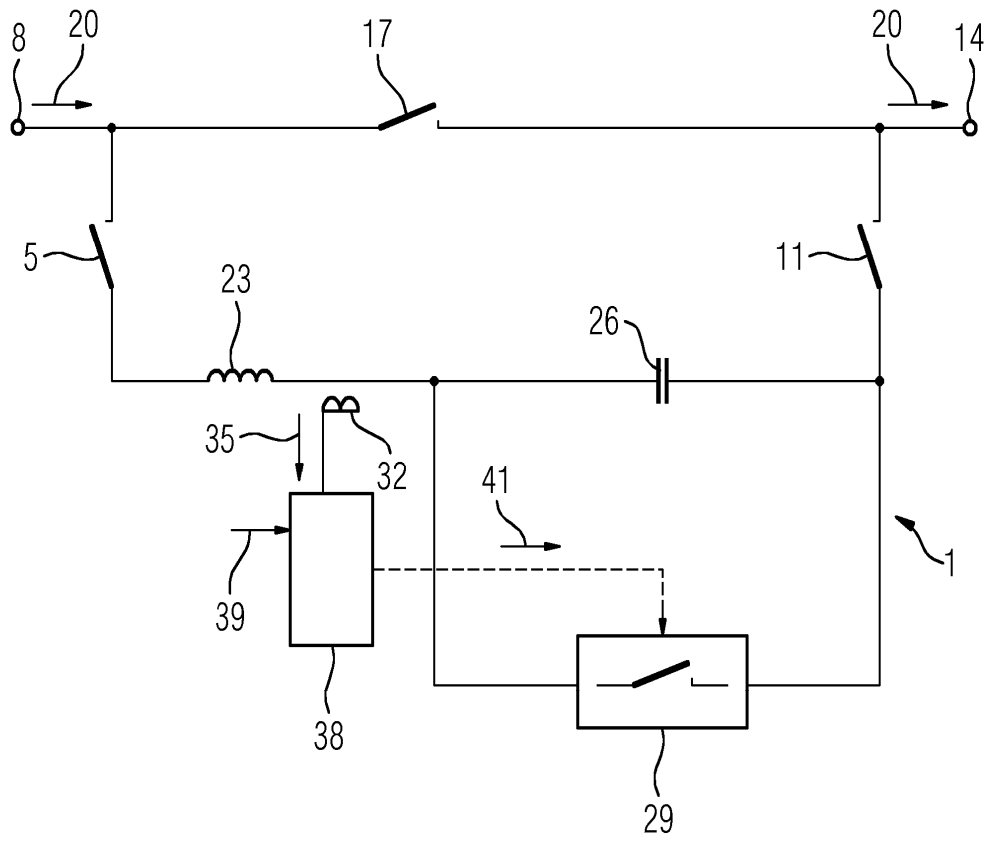


FIG 2

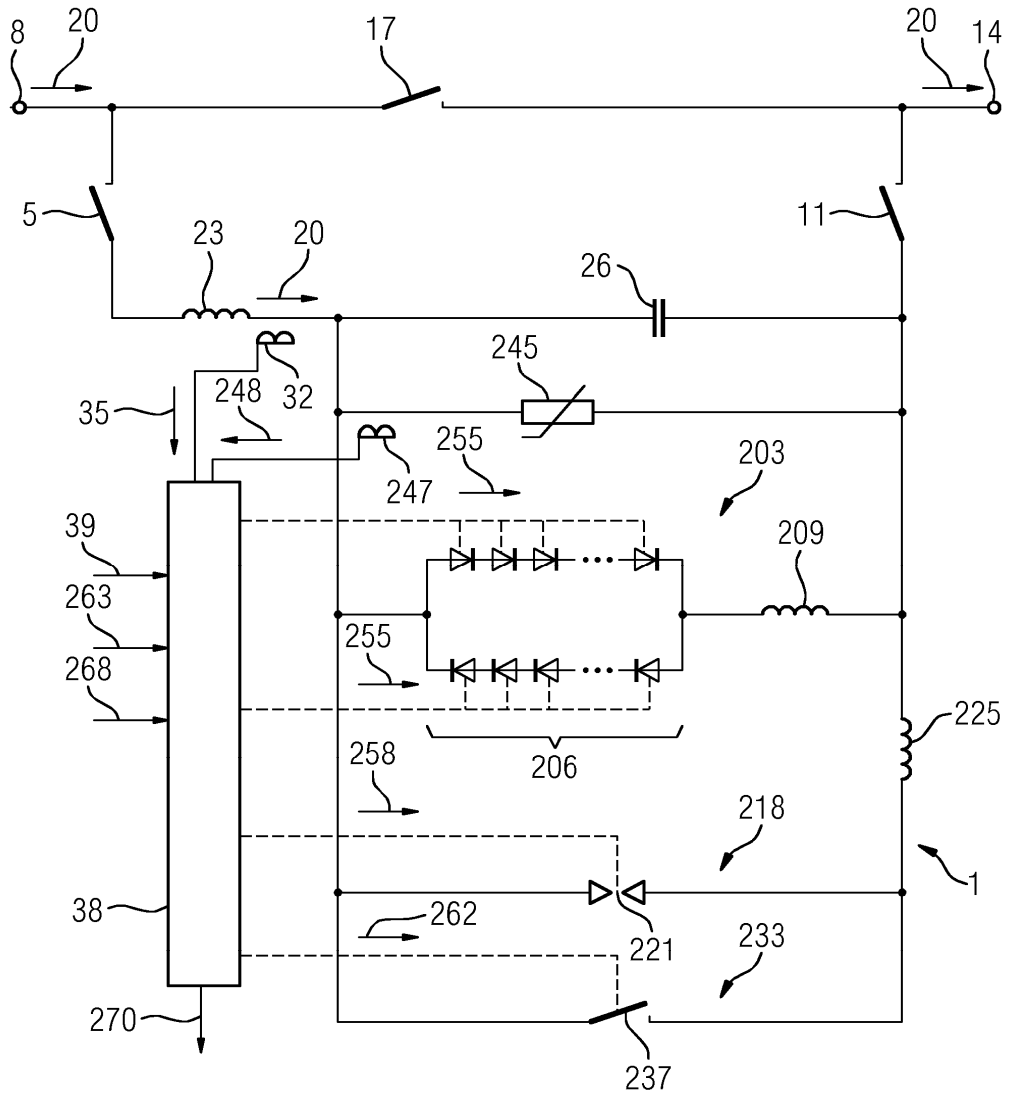


FIG 3

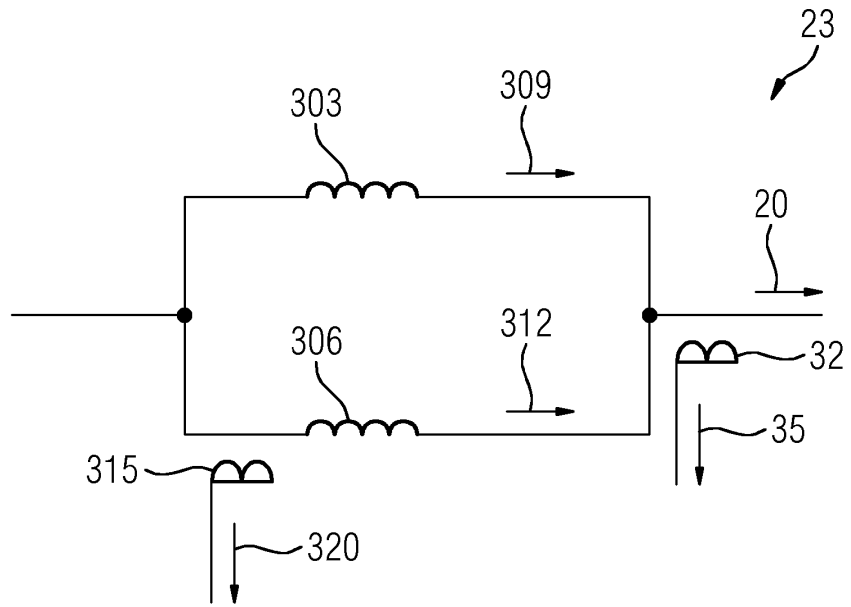


FIG 4

