

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 995 223**

51 Int. Cl.:

H02P 9/10 (2006.01)

H02P 29/028 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.12.2022** E 22214834 (8)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.10.2024** EP 4199341

54 Título: **Método para hacer funcionar un generador de imanes permanentes en caso de un fallo**

30 Prioridad:

20.12.2021 DK PA202170639

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
07.02.2025

73 Titular/es:

**VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.00%)
Hedeager 42
8200 Aarhus N, DK**

72 Inventor/es:

HANSEN, KENNETH G.

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 995 223 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

Método para hacer funcionar un generador de imanes permanentes en caso de un fallo

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a un método para hacer funcionar un conjunto de generación de energía que comprende un generador de imanes permanentes (PMG) en caso de un fallo asociado con un conjunto de devanados de estátor. La presente invención se refiere además a un conjunto de generación de energía que es capaz de gestionar tales fallos, y un generador de turbina eólica que comprende un conjunto de generación de energía de este tipo.

Antecedentes de la invención

15 La presente invención es principalmente relevante para aplicaciones relacionadas con PMG, en particular PMG donde el estátor comprende al menos dos conjuntos de devanados de estátor. Como indica el nombre, un PMG es un generador con imanes permanentes en el circuito de rotor. Debido a estos imanes permanentes, el rotor siempre se excita magnéticamente y, por lo tanto, generará energía cada vez que el rotor esté rotando y al menos un conjunto de los devanados de estátor forme parte de un circuito/bucle cerrado.

20 El documento EP 3 522 362 A1 da a conocer un método y una disposición para controlar una máquina eléctrica de imanes permanentes de conjunto de múltiples devanados en caso de un fallo en un primer grupo de los conjuntos de devanados que deja funcional un segundo grupo de los conjuntos de devanados.

25 A medida que el PMG genera energía cada vez que se hace rotar, se necesita un dispositivo de protección en forma de, por ejemplo, un disyuntor controlable lo más cerca posible del PMG. El disyuntor controlable está configurado para desconectar e interrumpir la energía generada del PMG en caso de un fallo, tal como en el caso de un cortocircuito asociado con uno de los devanados de estátor, es decir, en uno de los circuitos/bucles cerrados.

30 En el caso de un cortocircuito en uno de los circuitos/bucles cerrados, el PMG, debido a su naturaleza, continuará alimentando energía en el fallo hasta que el disyuntor asociado con el circuito/bucle defectuoso haya interrumpido la corriente de fallo de PMG. Sin embargo, una corriente de fallo de PMG a menudo es muy difícil de interrumpir por un disyuntor por las siguientes razones:

- 35 - La corriente de fallo de PMG puede ser extremadamente inductiva, lo que es más difícil de interrumpir
- La corriente de fallo de PMG es normalmente muy asimétrica donde no se garantiza un cruce por cero de corriente dentro de los primeros ciclos
- 40 - El periodo transitorio, es decir, antes de que se alcance la corriente de estado estacionario, puede ser más largo que 500 ms.
- Se desarrolla una arquitectura de disyuntor estándar para una frecuencia de red fija, tal como 50/60 Hz. Sin embargo, la frecuencia de PMG puede ser mucho mayor, lo que aumenta el riesgo de encendido de nuevo en los conductos de arco de disyuntor
- 45 - El acoplamiento mutuo de otros conjuntos de devanados de estátor en el PMG contribuirá a la corriente de fallo de PMG
- 50 - Recuperación de la tensión de fuerza contraelectromotriz (BEMF) después de la interrupción de fallo

Debido a las dificultades enumeradas anteriormente, es una tarea muy desafiante identificar disyuntores que sean adecuados para interrumpir corrientes de fallo de PMG.

55 Por lo tanto, puede verse como un objeto de realizaciones de la presente invención proporcionar un método y una disposición para reducir o interrumpir las corrientes de fallo de PMG de manera segura.

Puede verse como un objeto adicional de realizaciones de la presente invención proporcionar un método y una disposición que garantice que se interrumpa la corriente de fallo de PMG más pequeña posible.

60 **Descripción de la invención**

El objeto mencionado anteriormente se cumple proporcionando, en un primer aspecto, un método definido por la reivindicación 1 para hacer funcionar un conjunto de generación de energía en caso de un fallo, en el que el conjunto de generación de energía comprende un PMG que comprende al menos los conjuntos primero y segundo de devanados de estátor, en el que cada conjunto de devanados de estátor está conectado a un convertidor de energía a través de un disyuntor controlable, comprendiendo el método las etapas de

- detectar un fallo asociado con el primer conjunto de devanados de estátor, y

5 - reducir, tal como interrumpir, la corriente en el segundo conjunto de devanados de estátor, y, después de un retardo predeterminado, reducir, tal como interrumpir, la corriente en el primer conjunto de devanados de estátor.

10 Por tanto, la presente invención se refiere, en su primer aspecto, a un método donde la corriente en un segundo conjunto en buen estado de devanados de estátor, es decir, devanados de estátor no defectuosos, se reduce, tal como interrumpir, antes de reducir la corriente en el primer conjunto defectuoso de devanados de estátor. Esto es ventajoso porque la corriente en un segundo conjunto en buen estado de devanados de estátor contribuye significativamente a la corriente de fallo de PMG en el primer conjunto de devanados de estátor debido a un acoplamiento mutuo entre conjuntos de devanados de estátor, incluyendo los conjuntos primero y segundo de devanados de estátor, en el PMG. Por lo tanto, al reducir, tal como interrumpir, la corriente en un segundo conjunto en buen estado de devanados de estátor, la corriente de fallo de PMG en el primer conjunto de devanados de estátor también se reduce y, por lo tanto, es más fácil de interrumpir con un disyuntor.

15 El acoplamiento mutuo desde el segundo conjunto en buen estado de devanados de estátor al primer conjunto defectuoso de devanados de estátor puede aumentar la corriente de fallo de PMG en un 320 %.

20 El método según el primer aspecto puede implementarse en uno o más generadores de turbina eólica que forman una planta de energía eólica.

25 En el presente contexto, el término "fallo" debe entenderse como cualquier fallo eléctrico, incluyendo un cortocircuito, en un circuito cerrado y/o en un convertidor de energía asociado con un devanado de estátor.

30 Con respecto a los convertidores de energía, cada convertidor de energía puede comprender al menos un convertidor de CA/CC donde los terminales de CA de cada convertidor de energía están adaptados para recibir energía desde el PMG. Los terminales de CC de cada convertidor de energía pueden estar conectados a una red de CC que puede estar o bien en tierra o bien en alta mar. Alternativamente, cada convertidor de energía puede comprender además un convertidor de CC/CA separado del convertidor de CA/CC por un enlace de CC formando de ese modo un convertidor de frecuencia a escala completa. Los convertidores de CA/CC y CC/CA comprenden conmutadores controlables normalmente en forma de transistores bipolares de puerta aislada (IGBT). La potencia nominal del PMG puede ser de varios MW.

35 Los convertidores de energía y los conjuntos de devanados de estátor del PMG pueden conectarse de diversas maneras. En un enfoque, se puede conectar un convertidor de energía distinto y separado a cada conjunto de devanados de estátor, mientras que en otro enfoque se puede conectar un convertidor de energía a varios conjuntos de devanados de estátor.

40 El término "reducido" debe entenderse ampliamente. Por lo tanto, las corrientes en los conjuntos primero y segundo de devanados de estátor pueden, en principio, reducirse a niveles de corriente más bajos en caso de un fallo, aunque una interrupción de las corrientes, y, por lo tanto, una anulación completa de las corrientes, en los conjuntos primero y segundo de devanados de estátor pueden preferirse en caso de un fallo.

45 La corriente en el segundo conjunto de devanados de estátor puede interrumpirse llevando el disyuntor controlable conectado al segundo conjunto de devanados de estátor a un estado de funcionamiento no conductor. De manera similar, la corriente en el primer conjunto de devanados de estátor puede interrumpirse llevando el disyuntor controlable conectado al primer conjunto de devanados de estátor a un estado de funcionamiento no conductor. Al llevar los disyuntores conectados a los conjuntos primero y segundo de devanados de estátor a estados de funcionamiento no conductores, las corrientes en estos conjuntos de devanados de estátor se interrumpen de manera eficaz, es decir, se anulan.

50 Debe indicarse que los IGBT controlables de los conversores de CA/CC y/o CC/CA también pueden controlarse opcionalmente de manera que se reduzca/interrumpa la corriente en el primer y/o segundo conjunto de devanados de estátor. Por ejemplo, la corriente en el segundo conjunto de devanados de estátor (devanados de estátor en buen estado) puede interrumpirse usando los IGBT controlables si el PMG está funcionando a r. p. m. más bajas y, por lo tanto, con una VBEMF más baja. Con una VBEMF más baja, el disyuntor controlable asociado tiene una capacidad de interrupción de corriente aumentada debido a la tensión más baja. Además, la formación de arco a través de los polos abiertos del disyuntor controlable es menos severa.

55 El retardo predeterminado (entre reducir/interrumpir la corriente en el segundo conjunto de devanados de estátor, y reducir/interrumpir la corriente en el primer conjunto de devanados de estátor) puede ser inferior a 25 ms, tal como inferior a 20 ms, tal como inferior a 15 ms, tal como inferior a 10 ms. Un retardo entre 5-10 ms debe ser suficiente para garantizar que el acoplamiento mutuo entre los conjuntos primero y segundo de devanados de estátor ha terminado, por lo que el disyuntor conectado al primer conjunto de devanados de estátor puede, de manera segura, llevarse a un estado de funcionamiento no conductor ya que solo se interrumpe la corriente desde un único conjunto de devanados

de estátor.

Los PMG pueden comprender más de dos conjuntos de devanados de estátor. El método según el primer aspecto puede comprender además la etapa de interrumpir la corriente en uno o más conjuntos adicionales de devanados de estátor del PMG antes de interrumpir la corriente en el primer conjunto de devanados de estátor. La interrupción de las corrientes en el uno o más conjuntos adicionales de devanados de estátor y, después del retardo predeterminado, en el primer conjunto de devanados de estátor puede proporcionarse llevando respectivos disyuntores controlables conectados al uno o más conjuntos adicionales de devanados de estátor y el primer conjunto de devanados de estátor a un estado de funcionamiento no conductor.

Con respecto a la temporización, la corriente en el segundo conjunto de devanados de estátor y la corriente en el uno o más conjuntos adicionales de devanados de estátor pueden interrumpirse esencialmente de manera simultánea. Este enfoque es ventajoso debido a su implementación simple donde la corriente en todos los conjuntos en buen estado de devanados de estátor se interrumpe esencialmente al mismo tiempo. Alternativamente, la corriente en el segundo conjunto de devanados de estátor y la corriente en el uno o más conjuntos adicionales de devanados de estátor puede interrumpirse según una secuencia predeterminada que tiene una duración que no excede el retardo predeterminado. Un enfoque puede implicar que las corrientes en el segundo conjunto y en el uno o más conjuntos adicionales de devanados de estátor se interrumpan según los niveles de corriente respectivos de modo que la corriente más alta se interrumpa en primer lugar.

Independientemente del método aplicado, la corriente en el segundo conjunto de devanados de estátor y la corriente en el uno o más conjuntos adicionales de devanados de estátor es necesario que se reduzcan significativamente, tal como que se interrumpan completamente, antes de que se interrumpa la corriente en el primer conjunto de devanados de estátor.

El primer conjunto, segundo conjunto y/o uno o más conjuntos adicionales de devanados de estátor pueden comprender conjuntos de devanados de estátor de múltiples fases, tales como conjuntos de devanados de estátor trifásicos. En caso de que los devanados de estátor impliquen devanados de estátor trifásicos, los devanados pueden estar acoplados en una conexión en estrella. Con respecto a los valores nominales, los conjuntos de devanados de estátor pueden tener una tensión nominal dentro del intervalo de 600 a 1000 V RMS, y una frecuencia nominal dentro del intervalo de 100 a 160 Hz. En escenarios de velocidad excesiva, la frecuencia puede alcanzar 180 Hz.

En un segundo aspecto, la presente invención se refiere a un conjunto de generación de energía definido por la reivindicación 8 que comprende un PMG que comprende al menos los conjuntos primero y segundo de devanados de estátor, en el que cada conjunto de devanados de estátor está conectado a un convertidor de energía a través de un disyuntor controlable, en el que el conjunto de generación de energía comprende además

- un sensor configurado para detectar un fallo asociado con el primer conjunto de devanados de estátor, y

- un controlador configurado para reducir, tal como interrumpir, la corriente en el segundo conjunto de devanados de estátor, y, después de un retardo predeterminado, reducir, tal como interrumpir, la corriente en el primer conjunto de devanados de estátor en respuesta al fallo detectado.

Por lo tanto, la presente invención se refiere, en su segundo aspecto, a un conjunto de generación de energía para llevar a cabo el método según el primer aspecto. Según el segundo aspecto, un controlador está configurado para reducir, tal como interrumpir, corriente en un segundo conjunto en buen estado de devanados de estátor, es decir, devanados de estátor no defectuosos, antes de reducir, tal como interrumpir, la corriente en el primer conjunto defectuoso de devanados de estátor. Como ya se mencionó, esto es ventajoso porque la corriente en un segundo conjunto en buen estado de devanados de estátor contribuye significativamente a la corriente de fallo de PMG en el primer conjunto de devanados de estátor debido a un acoplamiento mutuo entre los conjuntos primero y segundo de devanados de estátor, en el PMG. Por lo tanto, al reducir, tal como interrumpir, la corriente en un segundo conjunto en buen estado de devanados de estátor, la corriente de fallo de PMG en el primer conjunto de devanados de estátor también se reduce y, por lo tanto, es más fácil de interrumpir con un disyuntor.

De nuevo, el acoplamiento mutuo desde el segundo conjunto en buen estado de devanados de estátor al primer conjunto defectuoso de devanados de estátor puede aumentar la corriente de fallo de PMG en un 320 %.

El conjunto de generación de energía según el segundo aspecto puede formar parte de un generador de turbina eólica.

De nuevo, el término "fallo" debe entenderse como cualquier fallo eléctrico, incluyendo un cortocircuito, en un circuito cerrado y/o en un convertidor de energía asociado con un devanado de estátor.

Como ya se mencionó, cada convertidor de energía puede comprender al menos un convertidor de CA/CC donde los terminales de CA de cada convertidor de energía están adaptados para recibir energía desde el PMG. Los terminales de CC de cada convertidor de energía pueden estar conectados a una red de CC que puede estar en tierra o en alta mar. Alternativamente, cada convertidor de energía puede comprender además un convertidor de CC/CA separado

del convertidor de CA/CC por un enlace de CC formando de ese modo un convertidor de frecuencia a escala completa. Como se mencionó anteriormente, los convertidores de CA/CC y CC/CA comprenden conmutadores controlables normalmente en forma de IGBT. La potencia nominal del PMG puede ser de varios MW.

5 Como se comentó en relación con el primer aspecto, los convertidores de energía y los conjuntos de devanados de estátor del PMG pueden conectarse de varias maneras. En un enfoque, se puede conectar un convertidor de energía distinto y separado a cada conjunto de devanados de estátor, mientras que en otro enfoque se puede conectar un convertidor de energía a varios conjuntos de devanados de estátor.

10 De nuevo, el término "reducido" debe entenderse ampliamente. Por lo tanto, las corrientes en los conjuntos primero y segundo de devanados de estátor pueden, en principio, reducirse a niveles de corriente más bajos en caso de un fallo, aunque una interrupción de las corrientes, y, por lo tanto, una anulación completa de las corrientes, en los conjuntos primero y segundo de devanados de estátor pueden preferirse en caso de un fallo.

15 El controlador del conjunto de generación de energía puede configurarse para interrumpir la corriente en el segundo conjunto de devanados de estátor enviando una señal de control al disyuntor controlable conectado al segundo conjunto de devanados de estátor para llevar este disyuntor a un estado de funcionamiento no conductor. De manera similar, el controlador puede configurarse para interrumpir la corriente en el primer conjunto de devanados de estátor enviando una señal de control al disyuntor controlable conectado al primer conjunto de devanados de estátor para llevar este disyuntor a un estado de funcionamiento no conductor. Al llevar los disyuntores conectados a los conjuntos primero y segundo de devanados de estátor a estados de funcionamiento no conductores, las corrientes en estos conjuntos de devanados de estátor se interrumpen de manera eficaz, es decir, se anulan.

20 Como se comentó anteriormente, los transistores IGBT controlables de los convertidores de CA/CC y/o CC/CA también pueden controlarse opcionalmente de manera que se reduzca/interrumpa la corriente en el primer y/o segundo conjunto de devanados de estátor. Por ejemplo, la corriente en el segundo conjunto de devanados de estátor (devanados de estátor en buen estado) puede interrumpirse usando los IGBT controlables si el PMG está funcionando a r. p. m. más bajas y, por lo tanto, con una VBEMF más baja. Con una VBEMF más baja, el disyuntor controlable asociado tiene una capacidad de interrupción de corriente aumentada debido a la tensión más baja. Además, la formación de arco a través de los polos abiertos del disyuntor controlable es menos severa.

25 El retardo predeterminado (entre reducir/interrumpir la corriente en el segundo conjunto de devanados de estátor, y reducir/interrumpir la corriente en el primer conjunto de devanados de estátor) puede ser inferior a 25 ms, tal como inferior a 20 ms, tal como inferior a 15 ms, tal como inferior a 10 ms. Como ya se mencionó, un retardo entre 5-10 ms debe ser suficiente para garantizar que el acoplamiento mutuo entre los conjuntos primero y segundo de devanados de estátor ha terminado por lo que el disyuntor conectado al primer conjunto de devanados de estátor puede, de manera segura, llevarse a un estado de funcionamiento no conductor ya que solo se interrumpe la corriente desde un único conjunto de devanados de estátor.

35 Los PMG pueden, como se mencionó anteriormente, comprender más de dos conjuntos de devanados de estátor. Por lo tanto, el controlador puede configurarse para interrumpir la corriente en uno o más conjuntos adicionales de devanados de estátor del PMG antes de interrumpir la corriente en el primer conjunto de devanados de estátor enviando señales de control a respectivos disyuntores controlables conectados al uno o más conjuntos adicionales de devanados de estátor y al primer conjunto de devanados de estátor. La interrupción de las corrientes en el uno o más conjuntos adicionales de devanados de estátor y, después del retardo predeterminado, en el primer conjunto de devanados de estátor puede proporcionarse llevando respectivos disyuntores controlables conectados al uno o más conjuntos adicionales de devanados de estátor y el primer conjunto de devanados de estátor a un estado de funcionamiento no conductor en respuesta a las señales de control enviadas.

40 Con respecto a la temporización, la corriente en el segundo conjunto de devanados de estátor y la corriente en el uno o más conjuntos adicionales de devanados de estátor pueden interrumpirse esencialmente de manera simultánea. Este enfoque es ventajoso debido a su implementación simple donde la corriente en todos los conjuntos en buen estado de devanados de estátor se interrumpe esencialmente al mismo tiempo. Alternativamente, la corriente en el segundo conjunto de devanados de estátor y la corriente en el uno o más conjuntos adicionales de devanados de estátor pueden interrumpirse según una secuencia predeterminada que tiene una duración que no excede el retardo predeterminado. Un enfoque puede implicar que las corrientes en el segundo conjunto y en el uno o más conjuntos adicionales de devanados de estátor se interrumpen según los niveles de corriente respectivos de modo que la corriente más alta se interrumpa en primer lugar.

45 Independientemente del método aplicado, la corriente en el segundo conjunto de devanados de estátor y la corriente en el uno o más conjuntos adicionales de devanados de estátor es necesario que se reduzcan significativamente, tal como que se interrumpen completamente, antes de que se interrumpa la corriente en el primer conjunto de devanados de estátor.

50 El primero conjunto, segundo conjunto y/o uno o más conjuntos adicionales de devanados de estátor pueden comprender conjuntos de devanados de estátor de múltiples fases, tales como conjuntos de devanados de estátor

trifásicos. En caso de que los devanados de estátor impliquen devanados de estátor trifásicos, los devanados pueden estar acoplados en una conexión en estrella. Con respecto a los valores nominales, los conjuntos de devanados de estátor pueden tener una tensión nominal dentro del intervalo de 600 a 1000 V RMS, y una frecuencia nominal dentro del intervalo de 100 a 160 Hz. En escenarios de velocidad excesiva, la frecuencia puede alcanzar 180 Hz.

En un tercer aspecto, la presente invención se refiere a un generador de turbina eólica que comprende un conjunto de generación de energía según el segundo aspecto. El generador de turbina eólica puede comprender además una torre sobre la que se dispone una góndola rotatoria. El PMG, los disyuntores controlables y los convertidores de energía pueden estar dispuestos dentro de la góndola del generador de turbina eólica. Alternativamente, los disyuntores controlables y los convertidores de energía pueden estar dispuestos en tierra, tal como junto a la torre del generador de turbina eólica.

Además, un conjunto de palas de rotor rotatorio está conectado operativamente al árbol del PMG, normalmente a través de una caja de engranajes. El generador de turbina eólica según el tercer aspecto puede formar parte de una planta de energía eólica que comprende una pluralidad de generadores de turbina eólica.

En general, los diversos aspectos de la invención pueden combinarse y acoplarse de cualquier manera posible dentro del alcance de la invención. Estos y otros aspectos, las características y/o ventajas de la invención serán evidentes y se aclararán con referencia a las realizaciones descritas a continuación en el presente documento.

Breve descripción de los dibujos

La presente invención se explicará ahora con detalles adicionales con referencia a las figuras adjuntas, en las que

la figura 1 muestra un ejemplo de una corriente de fallo de PMG (curva inferior) sin cruces por cero dentro de los primeros semiperíodos,

la figura 2 muestra un PMG con cuatro conjuntos de devanados de estátor trifásicos durante el funcionamiento normal,

la figura 3 muestra un PMG con cuatro conjuntos de devanados de estátor trifásicos donde la corriente en tres conjuntos de devanados de estátor se interrumpe debido a un fallo de cortocircuito en el conjunto superior de devanados de estátor trifásicos,

la figura 4 muestra un PMG con cuatro conjuntos de devanados de estátor trifásicos donde la corriente en todos los conjuntos de devanados de estátor se interrumpe, y

la figura 5 muestra cómo los conjuntos de devanados de estátor trifásicos pueden compartir convertidores de energía.

Aunque la invención es susceptible a diversas modificaciones y formas alternativas, se han mostrado realizaciones específicas a modo de ejemplos en los dibujos y se describirán en detalle en el presente documento. Debe entenderse, sin embargo, que la invención no se pretende que se limite a las formas particulares dadas a conocer. En su lugar, la invención va a cubrir todas las modificaciones, equivalentes, y alternativas que caen dentro del espíritu y alcance de la invención como se define en las reivindicaciones adjuntas.

Descripción detallada de la invención

En general, la presente invención se refiere a un método para hacer funcionar un conjunto de generación de energía que comprende un PMG que comprende una pluralidad de conjuntos de devanados de estátor. La presente invención se refiere, en particular, a un método para hacer funcionar el conjunto de generación de energía cuando al menos uno de los conjuntos de devanados de estátor del PMG está expuesto a un fallo, tal como un cortocircuito. La presente invención se refiere además a un conjunto de generación de energía que comprende un PMG que comprende una pluralidad de conjuntos de devanados de estátor conectados a respectivos convertidores de energía a través de respectivos disyuntores controlables, y a un generador de turbina eólica que comprende un conjunto de generación de energía de este tipo.

Con referencia ahora a la figura 1, se representa un resultado típico de un evento de cortocircuito de PMG. Como se ve en la figura 1, una fase 103 está desplazada con respecto a las otras dos fases 101, 102. La fase desplazada 103 no tiene cruces por cero dentro de los primeros cuatro semiperíodos. La falta de cruces por cero es desventajosa porque se vuelve muy difícil interrumpir la corriente de fallo de PMG con un disyuntor controlable ya que el arco eléctrico no se extinguirá hasta que se alcance el primer cruce por cero. Esta falta de extinción puede dañar y/o aumentar el desgaste y, por lo tanto, acortar la vida útil del disyuntor controlable.

Volviendo ahora a la figura 2, se representa un conjunto de generación de energía que comprende un PMG 201 y una unidad de disyuntor/convertidor 206. Como se ve en la figura 2, el PMG 201 comprende cuatro conjuntos de devanados de estátor trifásicos 202-205. Cada conjunto de devanados de estátor 202-205 está acoplado en una conexión en estrella. El número de conjuntos de devanados de estátor del PMG 201 puede, por supuesto, diferir de los cuatro

conjuntos representados en la figura 2. Además, el número de fases puede diferir de las tres fases representadas en la figura 2. La tensión nominal del PMG 201 puede ser de alrededor de 800 V RMS, y la frecuencia nominal puede estar dentro del intervalo de 100 a 160 Hz, e incluso 180 Hz en escenarios de velocidad excesiva. La potencia nominal del PMG 201 puede ser de varios MW.

5 Los cuatro conjuntos de devanados de estátor 202-205 se acoplan mutuamente dentro del estátor del PMG 201 como se indica por los símbolos 219-221 por lo que la corriente que fluye en un conjunto de devanados de estátor influirá en la corriente que fluye en uno o más otros conjuntos de devanados de estátor. Esta influencia puede ser de hasta el 320 %. La unidad de disyuntor/convertidor 206 comprende para cada conjunto de devanados de estátor 202-205
10 respectivos disyuntores controlables 215-218 y respectivos convertidores de energía 207-210. Por lo tanto, un conjunto de generación de energía representado en la figura 2 está configurado de la siguiente manera:

- los devanados de estátor 202 están conectados al convertidor de energía 207 a través del disyuntor controlable 215,
- 15 - los devanados de estátor 203 están conectados al convertidor de energía 208 a través del disyuntor controlable 216,
- los devanados de estátor 204 están conectados al convertidor de energía 209 a través del disyuntor controlable 217,
y
- 20 - los devanados de estátor 205 están conectados al convertidor de energía 210 a través del disyuntor controlable 218.

Como se representa adicionalmente en la figura 2, un controlador 211-214 está asociado con cada uno de los disyuntores controlables 215-218. Los controladores 211-214, que están configurados para enviar señales de control a los respectivos disyuntores controlables 215-218, pueden ser controladores distintos y, por lo tanto, separados o
25 pueden formar parte de los respectivos convertidores de energía 207-210.

En términos de funcionamiento de la figura 2 representa un estado de funcionamiento normal en el que todos los disyuntores controlables 215-218 están en un estado de funcionamiento conductor, y se puede proporcionar energía desde todos los conjuntos de devanados de estátor 202-205 a los respectivos convertidores de energía 207-210.
30

Tanto el PMG 201 como la unidad de disyuntor/convertidor 206 pueden estar dispuestos dentro de una góndola de un generador de turbina eólica. Alternativamente, la unidad de disyuntor/convertidor 206 puede estar dispuesta en el suelo junto a la torre del generador de turbina eólica.

35 Con referencia ahora a la figura 3, se ha detectado un cortocircuito 315 en la unidad de disyuntor/convertidor 306 en relación con el conjunto superior de devanados de estátor 302 del PMG 301 mientras que los circuitos asociados con otros conjuntos de devanados de estátor 303-305 están en buen estado. De nuevo, los devanados de estátor 302 están conectados al convertidor de energía 307 a través del disyuntor controlable 316 aunque se ha detectado el cortocircuito 315. Los conjuntos en buen estado de devanados de estátor 303-305 se han desconectado de los
40 respectivos convertidores de energía 308-310 llevando los respectivos disyuntores controlables 312-314 a un estado de funcionamiento no conductor. La razón de esto se explicará con más detalle a continuación. Además, un controlador 311-314 para enviar señales de control está asociado con cada uno de los disyuntores controlables 316-319. De nuevo, los controladores 311-314 pueden ser controladores distintos y, por lo tanto, separados o pueden formar parte de los respectivos convertidores de energía 307-310.
45

La corriente de cortocircuito detectada en el circuito en relación con el conjunto superior del devanado del estátor 302 del PMG 301 es significativamente mayor que la corriente nominal. Además, siempre que los disyuntores controlables 317-319 estén en un estado de funcionamiento conductor (como se representa en la figura 2) el acoplamiento mutuo entre los conjuntos de devanados de estátor en el PMG 301 aumentará aún más la corriente de cortocircuito en el
50 circuito relacionado con el conjunto superior de devanados de estátor 302. Este aumento adicional no intencionado de la corriente de cortocircuito es desventajoso porque puede, por ejemplo, dañar el disyuntor controlable 316.

Con el fin de evitar el aumento adicional no intencionado de la corriente de cortocircuito (debido al acoplamiento mutuo entre los conjuntos de devanados de estátor), los disyuntores controlables 317-319, como se representa en la figura
55 3, se llevan a un estado de funcionamiento no conductor mediante lo cual se interrumpe la corriente que fluye en los circuitos asociados con los conjuntos de devanados de estátor 303-305. Esta interrupción termina el acoplamiento mutuo al conjunto superior de devanados de estátor 302 mediante lo cual la corriente de cortocircuito disminuye significativamente de modo que el disyuntor controlable 316 puede llevarse a un estado de funcionamiento no conductor después de un retardo predeterminado. Como se comentó anteriormente, el retardo predeterminado puede ser inferior a 25 ms, tal como inferior a 20 ms, tal como inferior a 15 ms, tal como inferior a 10 ms. De hecho, un retardo predeterminado entre 5-10 ms debería ser suficiente para garantizar que solo se interrumpe la corriente de cortocircuito cuando el disyuntor controlable 316 se lleva a un estado de funcionamiento no conductor como se representa en la
60 figura 4.

65 Los disyuntores controlables 317-319 pueden llevarse al estado de funcionamiento no conductor esencialmente de manera simultánea enviando señales de control desde los controladores 312-314 a los disyuntores controlables 317-

319 esencialmente al mismo tiempo. Alternativamente, los disyuntores controlables 317-319 pueden llevarse al estado de funcionamiento no conductor según una secuencia predeterminada que tiene una duración que no excede el retardo predeterminado. Como ejemplo, las corrientes de los circuitos en buen estado asociados con los conjuntos de devanados de estátor 303-305 pueden interrumpirse, es decir, anularse, según los niveles de las corrientes donde la corriente más alta se interrumpe en primer lugar.

Volviendo ahora a la figura 4, todos los disyuntores controlables 416-419 en la unidad de disyuntor/convertidor 406 se han llevado al estado de funcionamiento no conductor, y se ha superado la influencia del cortocircuito 415. De nuevo, los cuatro conjuntos de devanados de estátor 402-405 están configurados para conectarse a los respectivos convertidores de energía 407-410 a través de los respectivos disyuntores controlables 416-419, estando cada uno controlado por los respectivos controladores 411-414 que pueden ser distintos y, por lo tanto, controladores separados, o controladores que forman parte de los respectivos convertidores de energía 407-410.

Una configuración diferente del conjunto de generación de energía (PMG 501 y unidad de disyuntor/convertidor 506) se representa en la figura 5 donde el convertidor de energía 507 está adaptado para recibir energía desde dos conjuntos de devanados de estátor 502, 503 a través de los respectivos disyuntores controlables 513, 514 controlados por los respectivos controladores 509, 510, y el convertidor de energía 508 está adaptado para recibir energía de dos conjuntos de devanados de estátor 504, 505 a través de los respectivos disyuntores controlables 515, 516 controlados por los respectivos controladores 511, 512. En esta configuración, los convertidores de energía 507, 508 son capaces de gestionar la energía no solo desde un conjunto de devanados de estátor, sino dos conjuntos de devanados de estátor. La configuración representada en la figura 5 es ventajosa porque se reduce el número total de dispositivos de energía del conjunto de generación de energía. Además, la fusión de dos convertidores de energía más pequeños en un convertidor de energía más grande también puede reducir los costes globales.

La tensión nominal de los PMG en las figuras 2-5 puede ser aproximadamente 800 V RMS, y la frecuencia nominal puede estar dentro del intervalo de 100 a 160 Hz, e incluso 180 Hz en escenarios de velocidad excesiva. La potencia nominal de los PMG puede ser de varios MW. Además, el número de conjuntos de devanados de estátor de los PMG puede diferir de los cuatro conjuntos representados, y el número de fases de cada conjunto puede diferir de las tres fases representadas.

Aún más, cada uno de los conversores de energía representados en las figuras 2-5 puede comprender al menos un convertidor de CA/CC adaptado para recibir energía desde un PMG, y proporcionar energía a una red de CC que puede estar en tierra o en alta mar. Alternativamente, cada convertidor de energía puede comprender además un convertidor de CC/CA separado del convertidor de CA/CC por un enlace de CC formando de ese modo un convertidor de frecuencia a escala completa. Tanto el convertidor de CA/CC como el convertidor de CC/CA comprenden conmutadores controlables normalmente en forma de IGBT. Como se mencionó anteriormente, los IGBT controlables del convertidor de CA/CC y/o el convertidor de CC/CA también pueden controlarse opcionalmente de manera que se reduzca la corriente en uno o más conjuntos de devanados de estátor en caso de un evento de fallo.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un método para hacer funcionar un conjunto de generación de energía en caso de un fallo, en el que el conjunto de generación de energía comprende un generador de imanes permanentes que comprende al menos los conjuntos primero y segundo de devanados de estátor, en el que cada conjunto de devanados de estátor está conectado a un convertidor de energía a través de un disyuntor controlable, comprendiendo el método las etapas de

 - 10 - detectar un fallo asociado con el primer conjunto de devanados de estátor, y
 - reducir, tal como interrumpir, la corriente en el segundo conjunto de devanados de estátor, y, después de un retardo predeterminado, reducir, tal como interrumpir, la corriente en el primer conjunto de devanados de estátor.
- 15 2. Un método según la reivindicación 1, en el que la corriente en el segundo conjunto de devanados de estátor se interrumpe llevando el disyuntor controlable conectado al segundo conjunto de devanados de estátor a un estado de funcionamiento no conductor.
- 20 3. Un método según la reivindicación 1 o 2, en el que la corriente en el primer conjunto de devanados de estátor se interrumpe llevando el disyuntor controlable conectado al primer conjunto de devanados de estátor a un estado de funcionamiento no conductor.
- 25 4. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el retardo predeterminado es inferior a 25 ms, tal como inferior a 20 ms, tal como inferior a 15 ms, tal como inferior a 10 ms.
- 30 5. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además la etapa de interrumpir la corriente en uno o más conjuntos adicionales de devanados de estátor del generador de imanes permanentes antes de interrumpir la corriente en el primer conjunto de devanados de estátor llevando respectivos disyuntores controlables conectados al uno o más conjuntos adicionales de devanados de estátor y al primer conjunto de devanados de estátor a un estado de funcionamiento no conductor.
- 35 6. Un método según la reivindicación 5, en el que la corriente en el segundo conjunto de devanados de estátor y la corriente en el uno o más conjuntos adicionales de devanados de estátor se interrumpen esencialmente de manera simultánea, o en el que la corriente en el segundo conjunto de devanados de estátor y la corriente en el uno o más conjuntos adicionales de devanados de estátor se interrumpen según una secuencia predeterminada que tiene una duración que no excede el retardo predeterminado.
- 40 7. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el primer conjunto, segundo conjunto y/o uno o más conjuntos adicionales de devanados de estátor comprenden conjuntos de devanados de estátor de múltiples fases, tales como conjuntos de devanados de estátor trifásicos.
- 45 8. Un conjunto de generación de energía que comprende un generador de imanes permanentes que comprende al menos los conjuntos primero y segundo de devanados de estátor, en el que cada conjunto de devanados de estátor está conectado a un convertidor de energía a través de un disyuntor controlable, en el que el conjunto de generación de energía comprende además
- 50 - un sensor configurado para detectar un fallo asociado con el primer conjunto de devanados de estátor, caracterizado por
- un controlador configurado para reducir, tal como interrumpir, la corriente en el segundo conjunto de devanados de estátor, y, después de un retardo predeterminado, reducir, tal como interrumpir, la corriente en el primer conjunto de devanados de estátor en respuesta al fallo detectado.
- 55 9. Un conjunto de generación de energía según la reivindicación 8, en el que el controlador está configurado para interrumpir la corriente en el segundo conjunto de devanados de estátor enviando una señal de control al disyuntor controlable conectado al segundo conjunto de devanados de estátor para llevar este disyuntor a un estado de funcionamiento no conductor.
- 60 10. Un conjunto de generación de energía según la reivindicación 8 o 9, en el que el controlador está configurado para interrumpir la corriente en el primer conjunto de devanados de estátor enviando una señal de control al disyuntor controlable conectado al primer conjunto de devanados de estátor para llevar este disyuntor a un estado de funcionamiento no conductor.
- 65 11. Un conjunto de generación de energía según cualquiera de las reivindicaciones 8-10, en el que el retardo predeterminado es inferior a 25 ms, tal como inferior a 20 ms, tal como inferior a 15 ms, tal como inferior a 10 ms.

- 5 12. Un conjunto de generación de energía según cualquiera de las reivindicaciones 8-11, en el que el controlador está configurado para interrumpir la corriente en uno o más conjuntos adicionales de devanados de estátor del generador de imanes permanentes antes de interrumpir la corriente en el primer conjunto de devanados de estátor enviando señales de control a respectivos disyuntores controlables conectados al uno o más conjuntos adicionales de devanados de estátor y al primer conjunto de devanados de estátor para llevar los respectivos disyuntores a un estado de funcionamiento no conductor.
- 10 13. Un conjunto de generación de energía según la reivindicación 12, en el que el controlador está configurado para interrumpir la corriente en el segundo conjunto de devanados de estátor e interrumpir la corriente en el uno o más conjuntos adicionales de devanados de estátor esencialmente de manera simultánea, o en el que el controlador está configurado para interrumpir la corriente en el segundo conjunto de devanados de estátor e interrumpir la corriente en el uno o más conjuntos adicionales de devanados de estátor según una secuencia predeterminada que tiene una duración que no excede el retardo predeterminado.
- 15 14. Un conjunto de generación de energía según cualquiera de las reivindicaciones 8-13, en el que los conjuntos de devanados de estátor comprenden conjuntos de devanados de estátor de múltiples fases, tales como conjuntos de devanados de estátor trifásicos.
- 20 15. Un generador de turbina eólica que comprende un conjunto de generación de energía según cualquiera de las reivindicaciones 8-14.

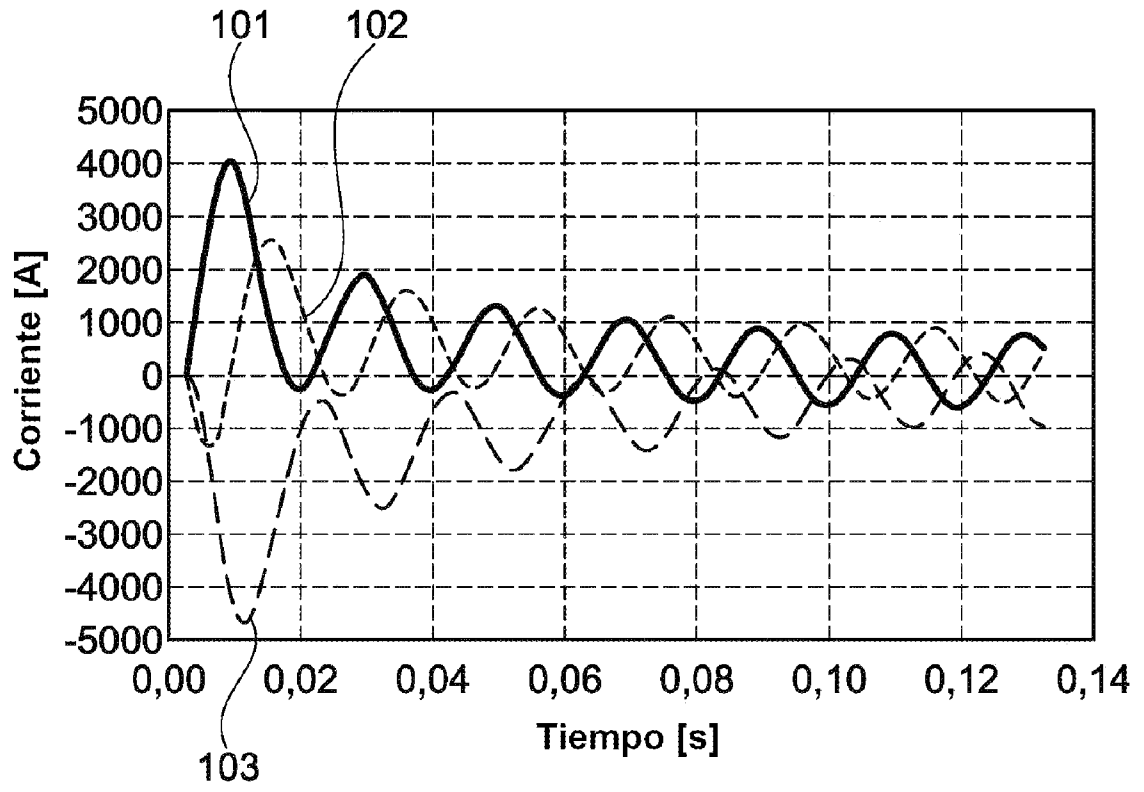


Fig. 1

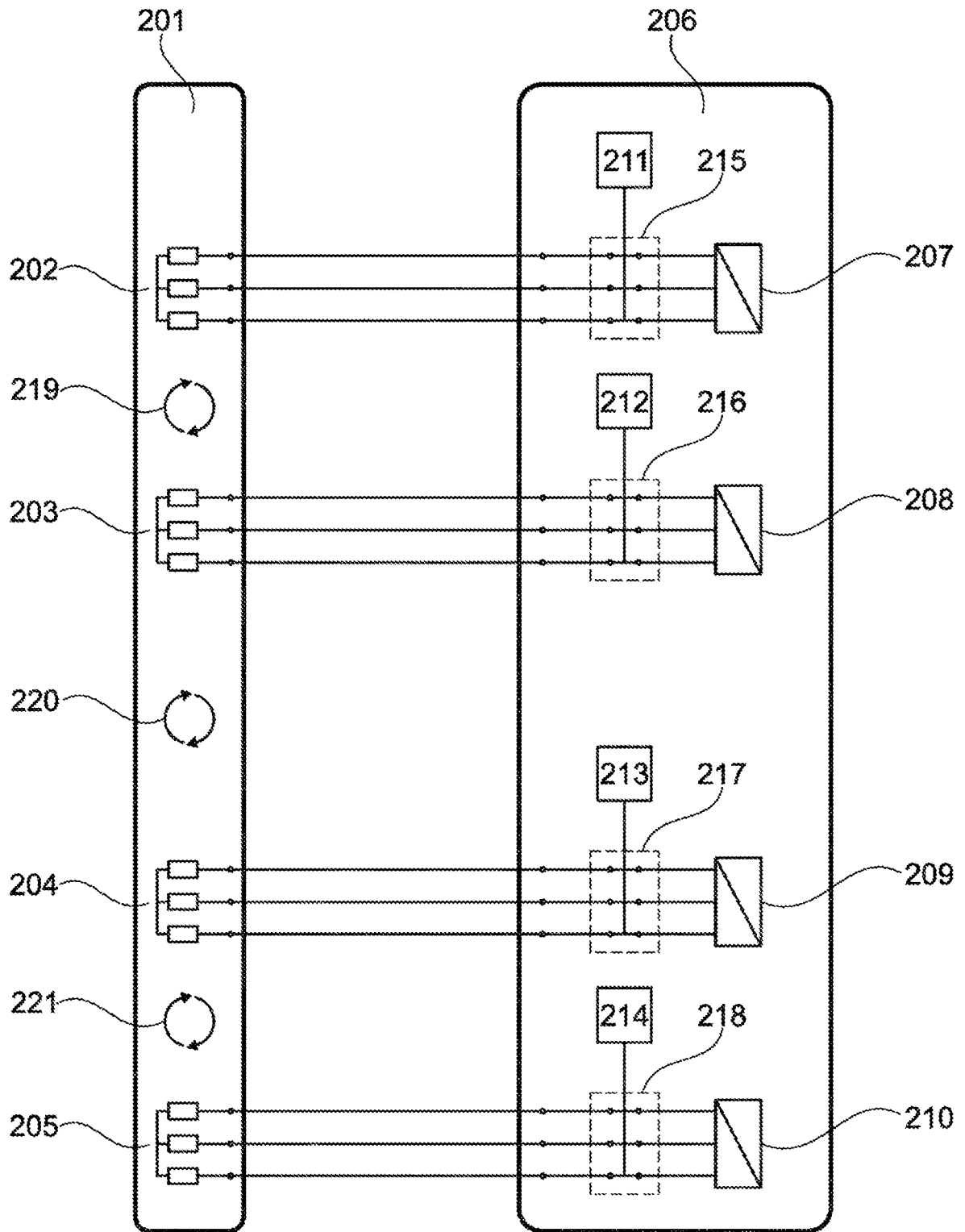


Fig. 2

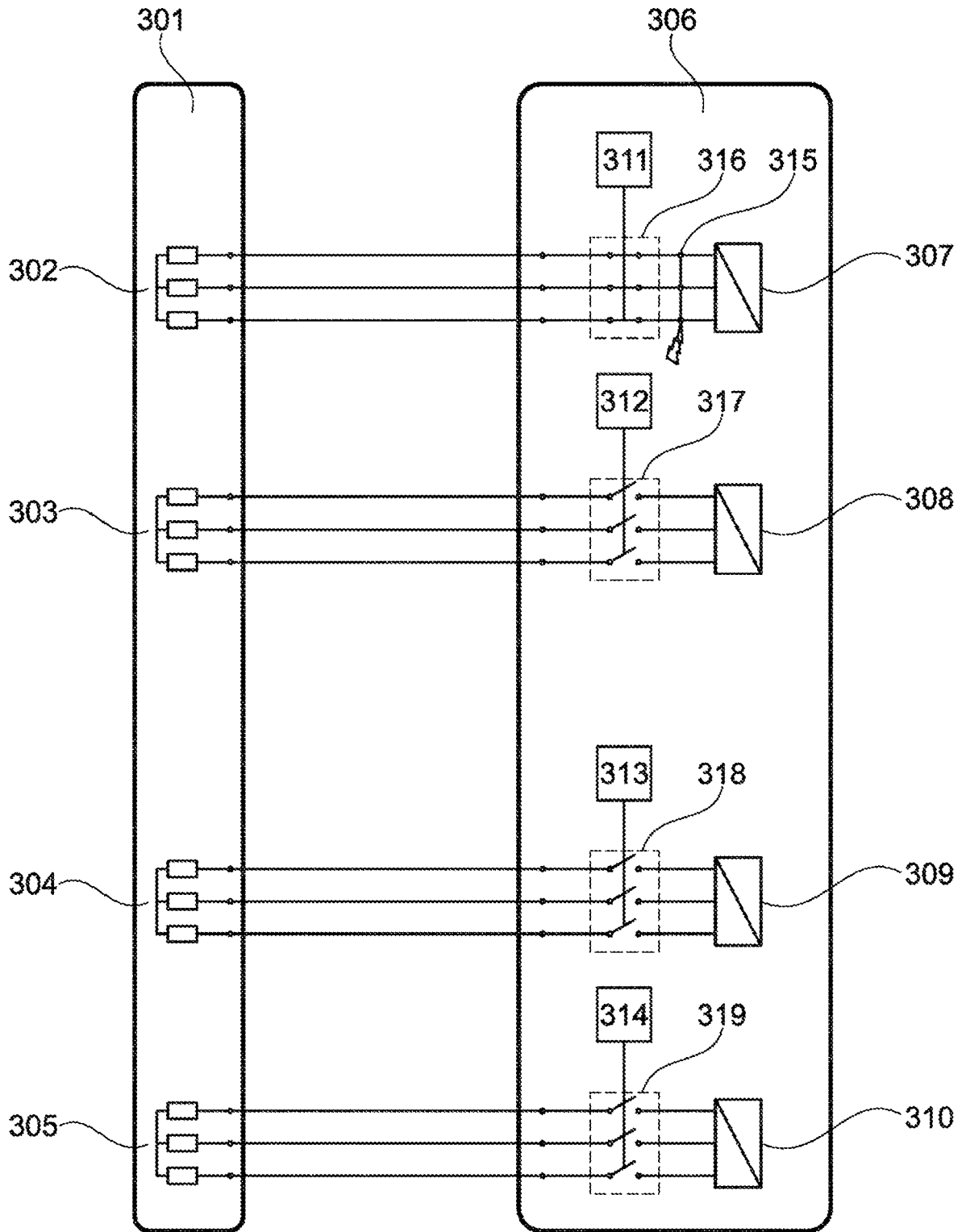


Fig. 3

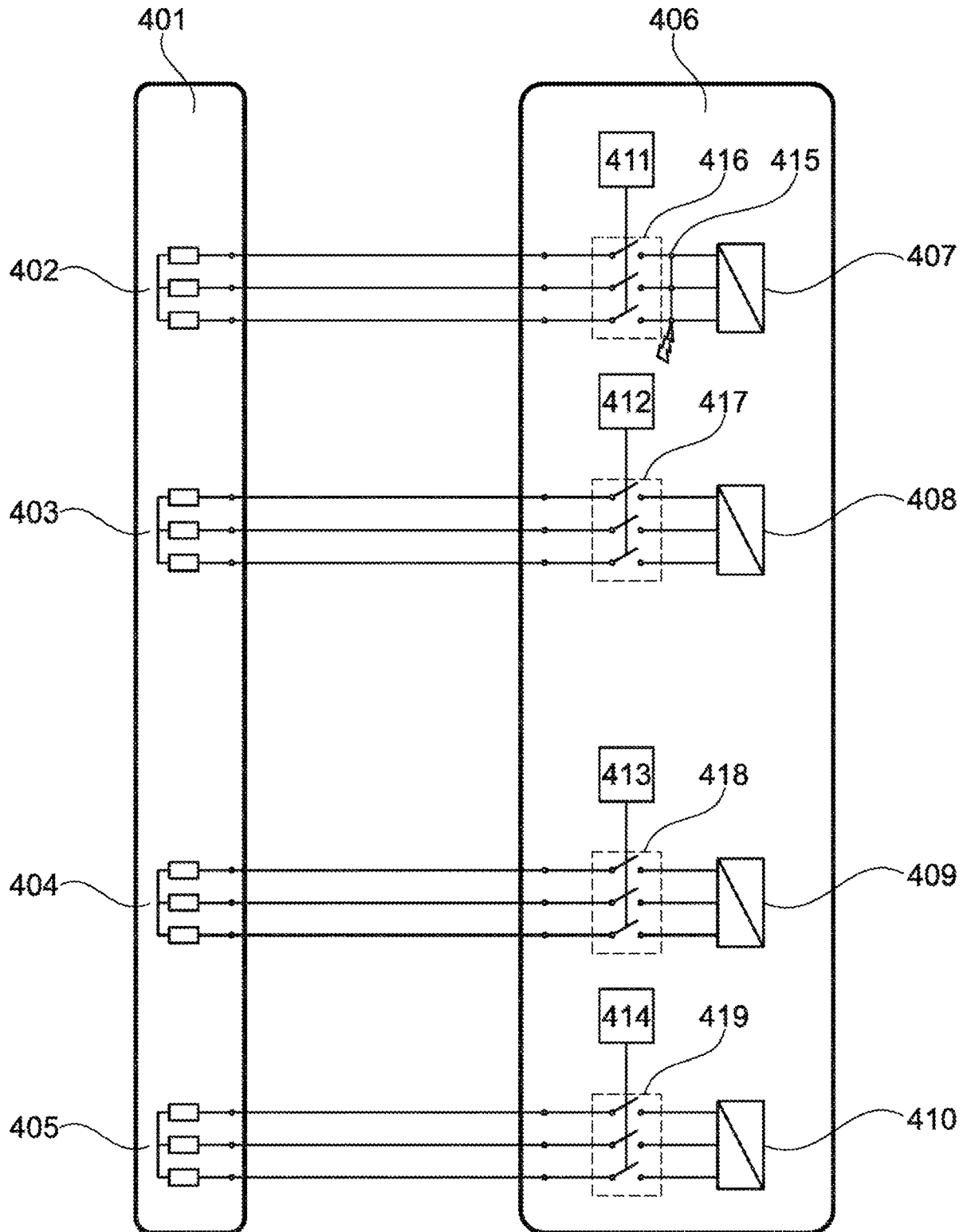


Fig. 4

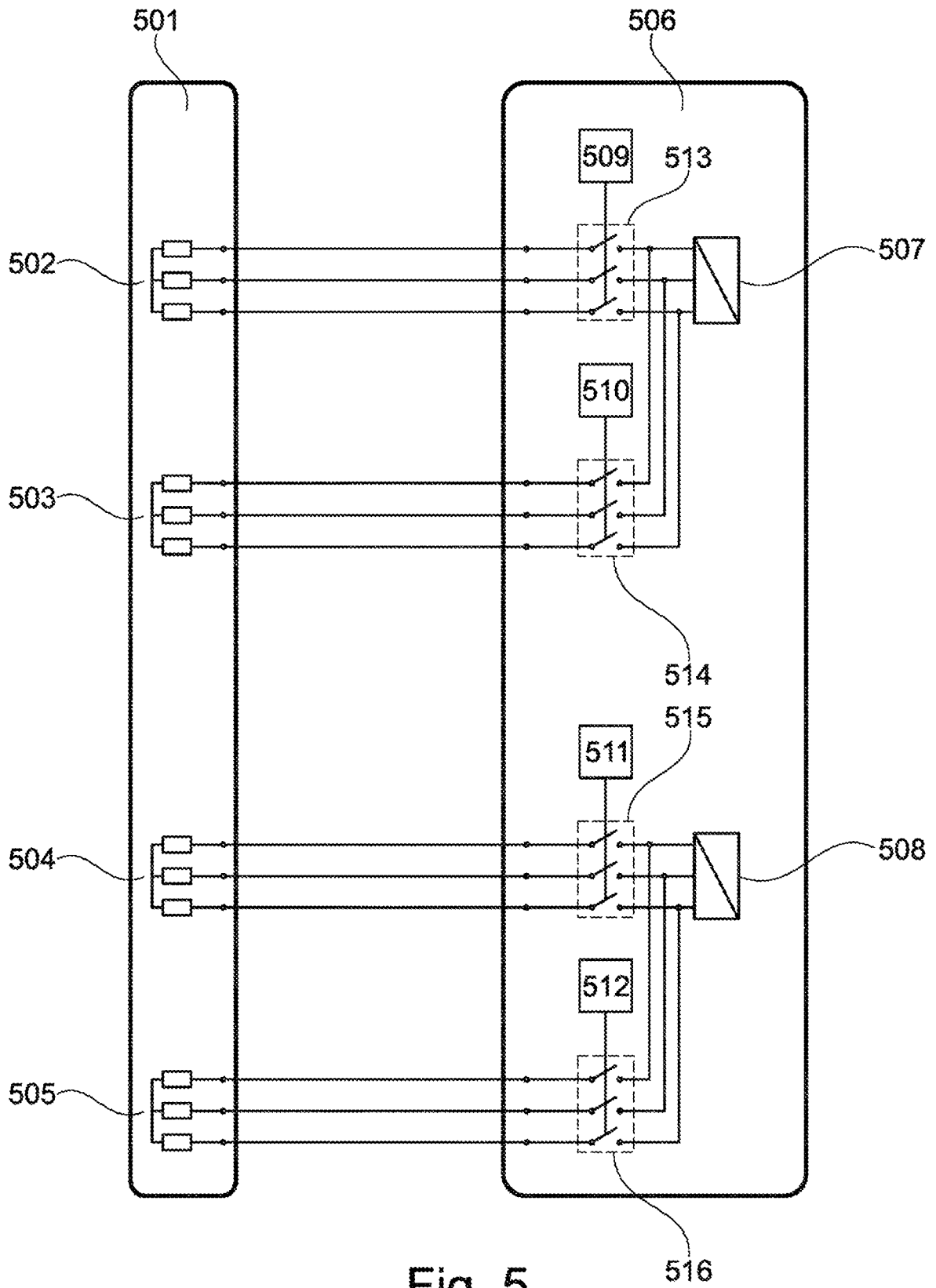


Fig. 5