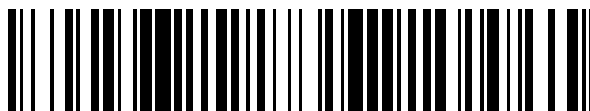


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 710 678**

51 Int. Cl.:

H01F 27/28 (2006.01)

H01F 27/34 (2006.01)

H01F 27/42 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.09.2015 E 15183787 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.11.2018 EP 3139392**

54 Título: **Transformador de frecuencia media y variador de frecuencia de semiconductores con un transformador de frecuencia media**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
26.04.2019

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**DROFENIK, UWE;
ORTIZ, GABRIEL;
GRADINGER, THOMAS y
KEARNEY, DANIEL**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 710 678 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

Transformador de frecuencia media y variador de frecuencia de semiconductores con un transformador de frecuencia media

Campo técnico

5 La invención concierne a variador de frecuencia de semiconductores que presenta un transformador de frecuencia media, especialmente un variador de frecuencia de semiconductores para tensión media.

Antecedentes técnicos

10 Los transformadores en variadores de frecuencia de tensión media se prevén para transmitir altas potencias y tienen que satisfacer también altos requisitos de aislamientos. Para reducir el tamaño de construcción del transformador se hace que éstos operen a frecuencias de funcionamiento relativamente altas de varios kilohercios. Aplicaciones usuales para tales variadores de frecuencia son, por ejemplo, aplicaciones de tracción o redes eléctricas en las que tales transformadores de frecuencia media se hacen funcionar con potencias entre 100 kW y 1000 kW, a tensiones de, por ejemplo, 20 kV, y con frecuencias de transformador comprendidas entre 5 kHz y 15 kHz.

15 Es ciertamente posible que, gracias a la alta frecuencia del funcionamiento de transformador de frecuencia media, se reduzca el tamaño de éste, pero la reducción del tamaño de construcción viene limitada por las distancias de aislamiento requeridas para las aplicaciones a tensión media y por las medidas de refrigeración necesarias.

20 Debido a la alta frecuencia de funcionamiento se emplean generalmente alambres multifilares para los devanados de bobina del transformador de frecuencia media, ya que se dificulta considerablemente la capacidad de bobinado mecánico debido a los altos cortes transversales de bobina normalmente necesarios y, además, se originan efectos de desalojamiento de corriente por espiras contiguas que pueden conducir a altas pérdidas. Cuando se emplea este devanado de bobina, se conectan en paralelos los alambres individuales entre los terminales del transformador.

25 Sin embargo, debido al empleo de devanados de bobina multifilares para transformadores de frecuencia media los campos dispersos fuera del núcleo del transformador o de la culata del transformador conducen a tensiones inducidas en los devanados de bobina que producen flujos de corriente parásitos. Los campos magnéticos dispersos discurren sustancialmente paralelos a la orientación del núcleo o la culata del transformador. Debido a la diferente distancia entre los alambres individuales con respecto a la culata del transformador se generan en los alambres unas corrientes parásitas de sentidos contrarios que pueden conducir a corrientes anulares debido a la conexión en paralelo de los devanados de bobina formados por los alambres. Estas corrientes anulares pueden conducir a altas corrientes en el rango de varios centenares de amperios, ya que los alambres presentan una baja resistencia óhmica y las corrientes anulares están limitadas solamente por la inductividad interior del circuito amperimétrico de las corrientes parásitas.

35 Las corrientes anulares parásitas se superponen a la corriente de funcionamiento a través del devanado de bobina del transformador de frecuencia media, con lo que se produce una distribución de corriente descompensada dentro de los alambres del devanado de bobina. Cuando las corrientes anulares parásitas resultan muy altas, uno de los alambres puede conducir una corriente superior a toda la corriente nominal y otro de los alambres puede conducir una corriente correspondientemente negativa, es decir, desfasada en 180°. De este modo, no solo se reduce en un 50% el factor de relleno de cobre, sino que se originan pérdidas adicionales, y la entrega de potencia máxima del transformador de frecuencia media se reduce en un factor de dos o más.

40 Una solución convencional para compensar este efecto consiste en retorcer los alambres del devanado de bobina para reducir así el desequilibrio de la corriente. Sin embargo, con mayores cortes transversales del alambre el retorcido de alambres durante la fabricación es difícil y conduce a una elevada demanda de espacio de los alambres retorcidos, lo que contrarresta la reducción pretendida del tamaño de construcción. Además, debido al retorcido de alambres con mayores superficies de corte transversal se ejerce un alto esfuerzo de flexión sobre los alambres, con lo que éstos pueden ser dañados mecánicamente y se puede perjudicar su conductividad eléctrica.

45 Se conoce por el documento US 2015/114676 A1 el recurso de reducir un efecto de desalojamiento de corriente por retorcido de alambres de una manera fácil de implementar.

Se conoce por los documentos US 2003/141829 A1 y US 6,323,602 B1 el recurso de prever para ello bobinas de filtro con el fin de compensar una corriente de carga.

50 Por tanto, el cometido de la presente invención consiste en reducir la generación de corrientes anulares en transformadores de frecuencia media para aplicaciones de tensión media y evitar los problemas antes citados, los cuales pueden resultar del retorcido de alambres de mayor superficie en corte transversal.

Exposición de la invención

El problema anterior se resuelve mediante un transformador de frecuencia media según la reivindicación 1 y mediante el variador de frecuencia de semiconductores con un transformador de frecuencia media según la reivindicación paralela.

5 En las reivindicaciones subordinadas se indican otras ejecuciones.

Según un primer aspecto, se ha previsto un transformador, especialmente un transformador de frecuencia media, para uso en un variador de frecuencia, que comprende:

- un núcleo de transformador,

10 - un devanado multifilar con varios alambres que están bobinados alrededor del núcleo del transformador, formando cada uno de los alambres una rama de bobina;

- unos terminales en los que los respectivos extremos correspondientes de los alambres están unidos eléctricamente uno con otro;

- un acoplamiento inductivo para acoplar las ramas de bobina inductivamente una con otra por parejas de modo que se compensan corrientes parásitas en las ramas de bobina.

15 En transformadores de frecuencia media para uso en variadores de frecuencia se emplean, debido a las altas frecuencias de funcionamiento de varios kilohercios, conductores multifilares que, al bobinar el núcleo del transformador, forman dos o más de dos devanados de bobina que están conectados en paralelo en sus terminales. En general, se colocan los alambres de modo que éstos estén formados en diferentes capas de una disposición de devanado multicapa. Debido a flujos dispersos que disminuyen al aumentar la distancia al núcleo del transformador, se inducen en los alambres durante el funcionamiento del transformador unas tensiones diferentes que conducen a corrientes parásitas diferentes en las espiras de las ramas de bobina formadas por los alambres. Debido a la disposición multicapa de los alambres se llega a que las corrientes circulantes producidas en las ramas de bobina sean opuestas una a otra. Dado que las ramas de bobina están unidas en sus terminales, se puede originar así una corriente anular que puede alcanzar altas intensidades de corriente debido a la pequeña resistencia óhmica de los alambres.

20 En el transformador de frecuencia media anterior se acoplan de manera transformadora al menos dos alambres unidos en paralelo uno con otro a través de sus terminales, con lo que una corriente parcial parásita en uno de los alambres conduce a una corriente de compensación parásita correspondientemente dirigida en el mismo sentido en otro de los alambres. Se compensan así mutuamente las componentes de las corrientes de las ramas en cada uno de los alambres así acoplado y éstas se pueden extinguir así total o parcialmente.

25 De esta manera, es posible conseguir un acoplamiento inductivo de los alambres de devanados parciales de un transformador para la compensación mutua de los flujos de corriente parásitos que circulan en ellos, sin que sea necesario un retorcido de los alambres u otras medidas dentro de las ramas de bobina. El espacio de montaje en el transformador puede aprovecharse así de manera óptima incluso en el caso de devanados de bobina con alambres de mayores cortes transversales y se reducen considerablemente las pérdidas en los devanados. Asimismo, la pequeña inductividad dispersa del acoplamiento inductivo que actúa como filtro de cadencia sincrónica puede emplearse para ajustar la inductividad dispersa del transformador. En particular, no se añade ninguna inductividad considerable a la inductividad dispersa del transformador.

30 Asimismo, el acoplamiento inductivo puede presentar entre cada dos alambres un núcleo anular a través del cual se guían en cruz las diferentes ramas de bobina, con lo que éstas discurren en direcciones mutuamente opuestas a través del núcleo anular, referido a la dirección de devanado de las ramas de bobina. Un núcleo anular representa un elemento circular cerrado de material magnéticamente conductivo. Éste puede estar configurado en forma anular o puede presentar otra forma cerrada.

35 Según una forma de realización, el acoplamiento inductivo puede presentar entre cada dos alambres dos núcleos anulares que están acoplados uno con otro a través de un anillo conductor independiente guiado en cruz, siendo guiados los alambres a través de los núcleos anulares con una sección situada entre uno de los terminales y las ramas de bobina y siendo guiado el anillo conductor a través de los núcleos anulares de modo que una corriente anular que circula en el mismo círculo por los núcleos anulares en la misma dirección, referido a las corrientes de las ramas.

40 Asimismo, el acoplamiento inductivo puede presentar un núcleo anular entre cada dos alambres, siendo guiado por el núcleo anular un alambre de una primera de las ramas de bobina en una sección que está situada entre el devanado parcial y un segundo de los terminales, y siendo guiado por el núcleo anular el segundo alambre de una segunda de las ramas de bobina con una sección que está situada entre el devanado parcial y un primero de los terminales.

Según una forma de realización, en caso de que haya más de dos alambres para materializar más de dos devanados parciales, pueden estar previstos unos acoplamientos inductivos entre cada pareja posible de cada dos de las ramas de bobina.

5 Puede estar previsto que el devanado multifilar esté retorcido, en particular que esté retorcido exactamente una sola vez.

Según una forma de realización, los alambres del devanado multifilar pueden estar dispuestos en capas alrededor del núcleo del transformador.

Según otro aspecto, se ha previsto un variador de frecuencia que comprende el transformador anterior y uno o varios inversores.

10 Asimismo, los uno o varios inversores pueden estar configurados de modo que el transformador funcione con una frecuencia comprendida entre 300 Hz y 30 kHz, particularmente entre 1 kHz y 20 kHz.

Breve descripción de los dibujos

A continuación, se explican formas de realización con más detalle ayudándose de los dibujos adjuntos. Muestran:

15 La figura 1, una representación esquemática de un variador de frecuencia de tensión media con un transformador de frecuencia media;

La figura 2, una representación en corte transversal esquemático de un devanado de bobina bifilar con un transformador de frecuencia media;

La figura 3, un esquema de conexiones de un transformador de tensión media con una primera variante de un acoplamiento inductivo de las ramas de bobina;

20 La figura 4, un esquema de conexiones de un transformador de tensión media con otra variante de un acoplamiento inductivo de las ramas de bobina; y

La figura 5, un esquema de conexiones de un transformador de tensión media con otra variante de un acoplamiento inductivo de las ramas de bobina.

Descripción de formas de realización

25 En general, se emplean transformadores de frecuencia media en variadores de frecuencia de semiconductores para tensiones medias en intervalos comprendidos entre 10 kV y 100 kV. Un modo de disposición conocido de transformadores de frecuencia media consiste en disponer éstos entre inversores de semiconductores. Tales variadores de frecuencia de semiconductores pueden emplearse para aplicaciones de tracción o aplicaciones en redes.

30 En la figura 1 se muestra a modo de ejemplo un variador de frecuencia CC/CC 1 con un transformador de frecuencia media 2. Está previsto un convertidor CC/CA 3 del lado de entrada para transformar una tensión continua U_{DC1} del lado de entrada en una primera tensión alterna U_{AC1} de circuito intermedio de una frecuencia de funcionamiento prefijada. La primera tensión alterna U_{AC1} del circuito intermedio se une en el lado del primario con el transformador de frecuencia media 2. En el lado del secundario se obtiene una segunda tensión alterna U_{AC2} de circuito intermedio.
 35 La segunda tensión alterna U_{AC2} del circuito intermedio se une con un convertidor CA/CC 4 del lado de entrada. Las frecuencias de funcionamiento prefijadas están comprendidas típicamente entre 1 y 20 kHz. Los convertidores 3, 4 generan a partir de la tensión continua U_{DC1} del lado de entrada la primera tensión alterna U_{AC1} del circuito intermedio y a partir de la segunda tensión alterna U_{AC2} del circuito intermedio la tensión continua U_{AC2} del lado de salida. En lugar de la tensión continua U_{DC1} del lado de entrada y/o de la tensión continua U_{DC2} del lado de salida se pueden proporcionar también una tensión alterna en el lado de entrada y una tensión alterna en el lado de salida.
 40

En la figura 2 se representa en corte transversal a modo de ejemplo un transformador de tensión media de esta clase. Se aprecia el núcleo 21 del transformador que está bobinado con un conductor de devanado multifilar 22 de modo que un primer alambre 22a está bobinado en una primera capa y forma una primera rama de bobina, y un segundo alambre 22b está bobinado en una segunda capa situada encima de la anterior y forma una segunda rama de bobina. Las ramas de bobina están unidas una con otra en el mismo sentido en dos terminales 23, con lo que estas ramas están conectadas sustancialmente en paralelo. Debido a un campo magnético disperso que se presenta durante el funcionamiento del transformador de frecuencia media y que discurre a través de la zona del devanado de bobina, se inducen en las ramas de bobina unas tensiones que pueden conducir a flujos de corriente parásitos de sentidos mutuamente contrarios. Dado que las ramas de bobina están unidas una con otra en sus terminales, se suman positivamente las corrientes parásitas y éstas forman una corriente circular parásita que puede alcanzar altas intensidades de corriente debido a la baja resistencia óhmica de las ramas de bobina y conduce así a una distribución desigual de la corriente en las ramas de bobina. Esto conduce a un empeoramiento efectivo del factor de relleno de cobre y a pérdidas eléctricas adicionales, con lo que, en ciertas circunstancias, la entrega de potencia máxima del transformador de frecuencia media puede reducirse en un factor de dos o más.
 45
 50

- 5 En la figura 3 se muestra una representación esquemática del diagrama de conexiones del transformador de frecuencia media 2 con un acoplamiento inductivo 5 entre dos ramas de bobina 24a, 24b. El acoplamiento inductivo 5 está dispuesto entre uno de los terminales 23 y las ramas de bobina y está diseñado de modo que una primera corriente parásita en una primera de las ramas de bobina 24a conduzca a una corriente de la misma dirección en una segunda de las ramas de bobina 24b. La corriente parásita en una de las ramas de bobina es así compensada por la corriente parásita en otra de las ramas de bobina o bien es extinguida total o parcialmente. De esta manera, se puede crear un filtro de cadencia sincrónica que presenta una inductividad de bucle suficientemente alta para suprimir las corrientes parásitas en el bucle formado por las ramas de bobina 24a, 24b. Sin embargo, no se añade tampoco una inductividad considerable a la inductividad dispersa del transformador.
- 10 En la figura 3 se ha materializado un acoplamiento inductivo 5 con ayuda de un núcleo anular 51 a través del cual se guían en cruz los alambres 22a, 22b de las diferentes ramas de bobina 24a, 24b, con lo que éstos discurren a través del núcleo anular 51 en direcciones mutuamente opuestas, referido a la dirección de devanado de las ramas de bobina 24a, 24b.
- 15 En la representación de la figura 4 se muestra otra posibilidad de un acoplamiento inductivo 5'. El acoplamiento inductivo 5' presenta dos núcleos anulares 52, 53 que están acoplados uno con otro por medio de un anillo conductor separado 54 guiado en cruz, con lo que se consigue también el efecto del acoplamiento inductivo. En particular, cada uno de los alambres 22a, 22b se guía con una sección entre un terminal 23 y las ramas de bobina a través de uno de los núcleos anulares 52, 53. Asimismo, el anillo conductor 54 se guía a través de los núcleos anulares 52, 53 de modo que una corriente anular circulante en el mismo atraviese los núcleos anulares 52, 53 en la misma dirección con respecto a las corrientes de las ramas.
- 20 La forma de realización de la figura 5 muestra también un acoplamiento inductivo 5'' que se ha formado con ayuda de un núcleo anular 55. A través del núcleo anular 55 se guía una sección del primer alambre 22a de la primera rama de bobina 24a, la cual está situada entre el devanado parcial y un segundo de los terminales 23b. Análogamente, a través del mismo núcleo anular 55 se guía una sección del segundo alambre 22b de la segunda rama de bobina 24b, la cual está situada entre el devanado parcial y un primero de los terminales 23a. Las ramas de bobina 24a, 24b están acopladas así también en sentidos contrarios, con lo que se compensan mutuamente las corrientes de rama parásitas. Esta variante de realización tiene la ventaja de que se pueden evitar fuertes acodamientos de los alambres 22a, 22b, lo que puede representar una considerable simplificación de la fabricación, especialmente en el caso de cortes transversales grandes de los conductores.
- 25
- 30 Si están previstos más de dos alambres para materializar más de dos ramas de bobina, se deben prever entonces acoplamientos inductivos entre cada pareja posible de dos respectivas ramas de bobina a fin de compensar efectivamente las corrientes circulares parásitas.

REIVINDICACIONES

1. Transformador (2), especialmente transformador de frecuencia media, para uso en un variador de frecuencia (1), que comprende:
- un núcleo de transformador (21),
- 5 - un devanado multifilar (22) con varios alambres (22a, 22b) que están bobinados alrededor del núcleo (21) del transformador, formando cada uno de los alambres (22a, 22b) una rama de bobina (24a, 24b);
- unos terminales (23) en los que los respectivos extremos correspondientes de los alambres (22a, 22b) están unidos eléctricamente uno con otro;
- 10 - un acoplamiento inductivo (5) para acoplar inductivamente las ramas de bobina (24a, 24b) una con otra formando parejas de modo que se compensen corrientes parásitas en las ramas de bobina (24a, 24b).
2. Transformador (2) según la reivindicación 1, en el que el acoplamiento inductivo (5) entre cada dos alambres (22a, 22b) presenta un núcleo anular (51) a través del cual se guían en cruz las diferentes ramas de bobina (24a, 24b), con lo que estas ramas discurren a través del núcleo anular (51) en direcciones mutuamente opuestas, referido a la dirección de devanado de las ramas de bobina (24a, 24b).
- 15 3. Transformador (2) según la reivindicación 1, en el que el acoplamiento inductivo (5) entre cada dos alambres (22a, 22b) presenta dos núcleos anulares (52, 53) que están acoplados uno con otro por medio de un anillo conductor separado (54) guiado en cruz, guiándose los alambres (22a, 22b) a través de uno de los núcleos anulares (52, 53) con una sección comprendida entre uno de los terminales (23) y las ramas de bobina (24a, 24b), y guiándose el anillo conductor (54) a través de los núcleos anulares (52, 53) de modo que una corriente anular circulante en el mismo atraviese los núcleos anulares (52, 53) con una misma dirección, referido a las corrientes de las ramas.
- 20 4. Transformador (2) según la reivindicación 1, en el que el acoplamiento inductivo entre cada dos alambres (22a, 22b) presenta un núcleo anular (55), guiándose un alambre (22a) de una primera de las ramas de bobina (24a) a través del núcleo anular (55) en una sección que está situada entre el devanado parcial y un segundo de los terminales (23b), y guiándose el segundo alambre (22b) de una segunda de las ramas de bobina (24b) a través del núcleo anular (55) con una sección que está situada entre el devanado parcial y un primero de los terminales (23a).
- 25 5. Transformador (2) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que, en el caso de más de dos alambres para materializar más de dos devanados parciales, están previstos unos acoplamientos inductivos (5) entre cada pareja posible de cada dos de las ramas de bobina (24a, 24b).
- 30 6. Transformador (2) según las reivindicaciones 1 a 5, en el que el devanado multifilar está retorcido, estando en particular retorcido exactamente una sola vez.
7. Transformador (2) según las reivindicaciones 1 a 6, en el que los alambres del devanado multifilar están dispuestos en capas alrededor del núcleo (21) del transformador.
8. Variador de frecuencia (1) con un transformador (2) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7 y con uno o varios inversores (3, 4).
- 35 9. Variador de frecuencia (1) según la reivindicación 8, en el que los uno o varios inversores (3, 4) están concebidos para hacer que el transformador (2) funcione con una frecuencia comprendida entre 300 Hz y 30 kHz, particularmente entre 1 kHz y 20 kHz.
10. Variador de frecuencia (1) según la reivindicación 8 o 9, en el que los uno o varios inversores (3, 4) están concebidos para hacer que el transformador (2) funcione con una frecuencia comprendida entre 50 Hz y 60 kHz.

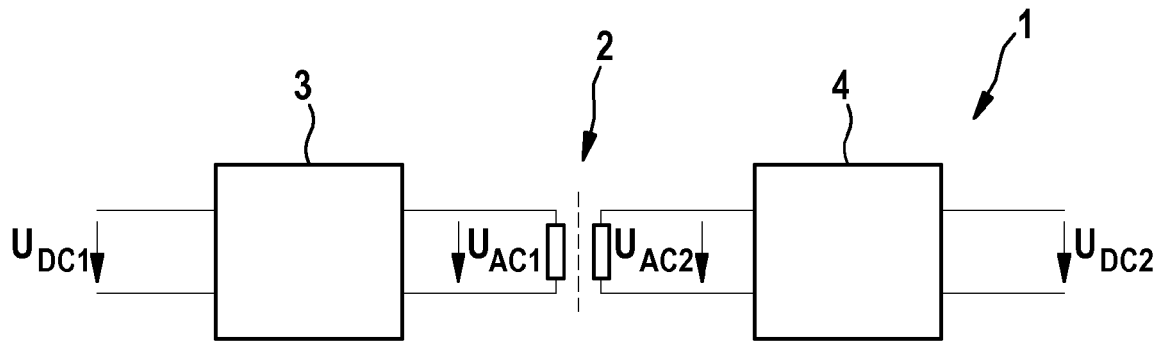


Fig. 1

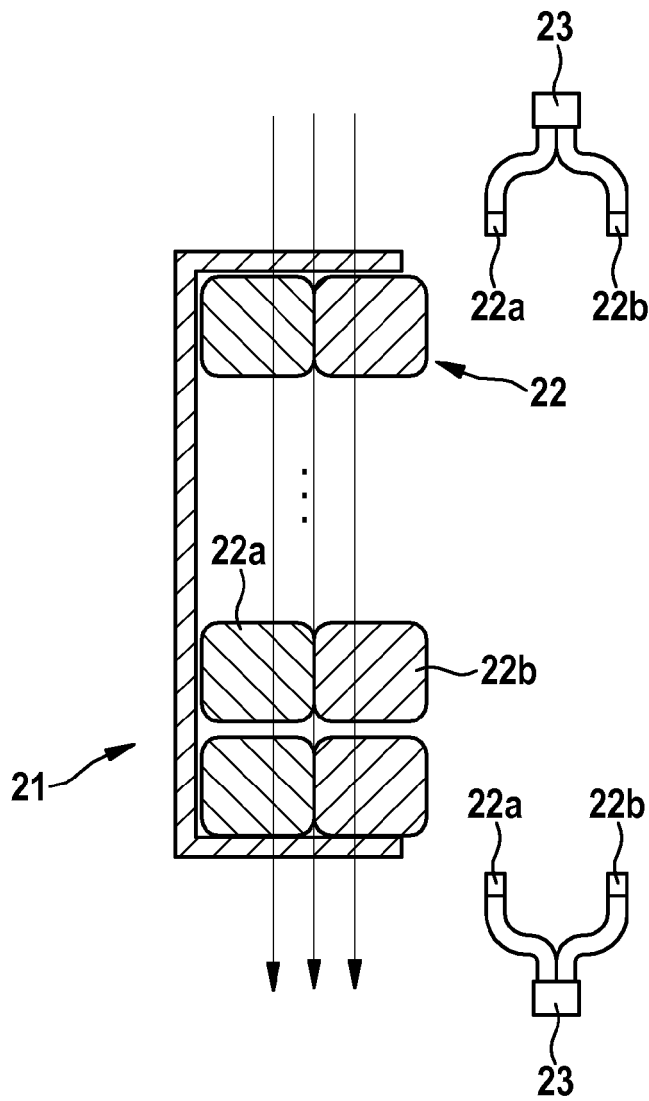


Fig. 2

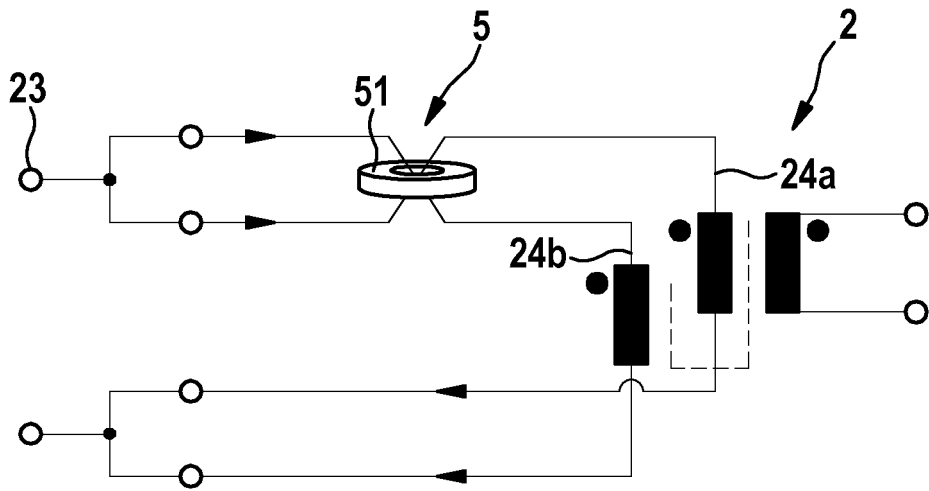


Fig. 3

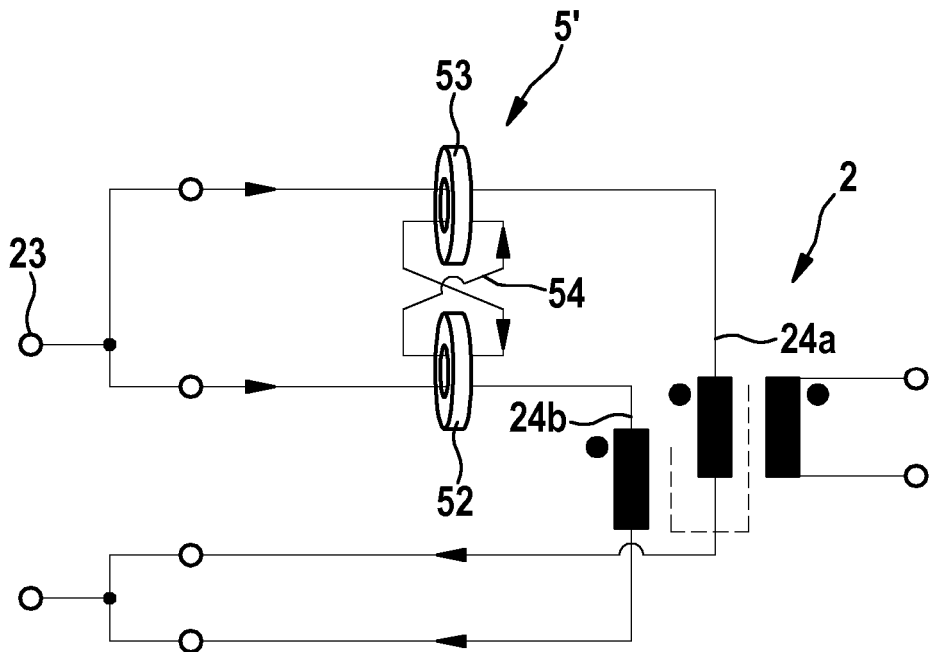


Fig. 4

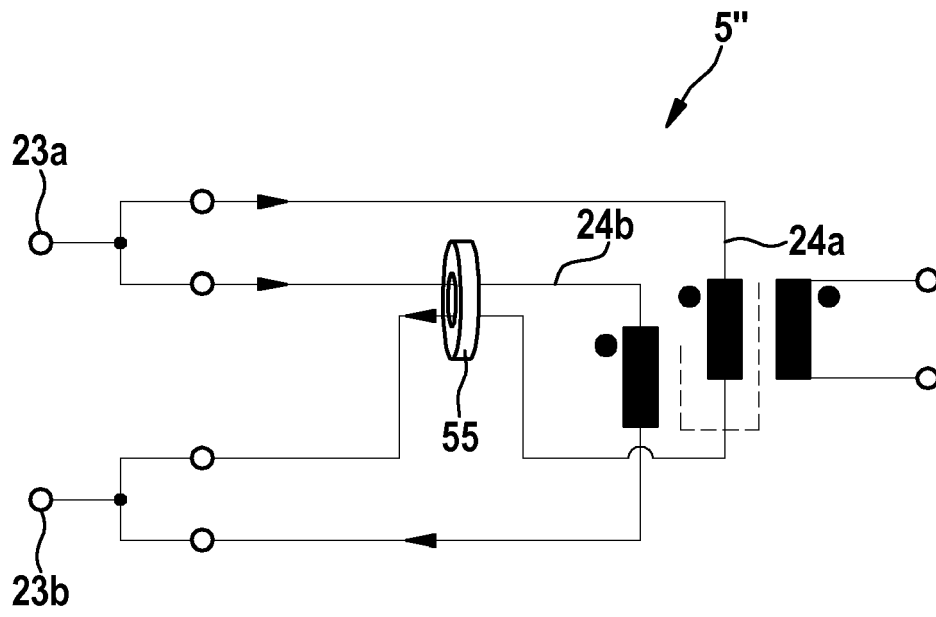


Fig. 5