

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 946 932**

51 Int. Cl.:

H02M 7/537 (2006.01)

G01R 31/28 (2006.01)

G01R 31/42 (2006.01)

H02M 1/12 (2006.01)

H02M 1/32 (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.02.2021** **PCT/EP2021/053437**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.08.2021** **WO21160791**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.02.2021** **E 21703942 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.04.2023** **EP 4046268**

54 Título: **Determinación de los parámetros de filtro en un inversor**

30 Prioridad:

13.02.2020 EP 20157072

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

28.07.2023

73 Titular/es:

FRONIUS INTERNATIONAL GMBH (100.0%)

Froniusstraße 1

4643 Pettenbach, AT

72 Inventor/es:

WIESER, STEFAN;

ROTHBÖCK, MICHAEL;

PIELER, ROLAND y

KREUZER, HARALD

74 Agente/Representante:

LINAGE GONZÁLEZ, Rafael

ES 2 946 932 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

Determinación de los parámetros de filtro en un inversor

- 5 La invención define un procedimiento para la regulación de una disposición de conmutación de un inversor según la reivindicación 1, un inversor correspondiente según la reivindicación 10 y un programa informático que ejecuta las etapas del procedimiento según la reivindicación 11. Formas de realización ventajosas de la invención están definidas en las reivindicaciones dependientes.
- 10 La disposición de conmutación de inversores comprende habitualmente un circuito de puente, por ejemplo, en forma de un regulador de cuatro cuadrantes o topologías similares, que mediante la conmutación sincronizada de los interruptores de semiconductor contenidos en el mismo en el lado de corriente alterna genera una corriente alterna en las correspondientes líneas conductoras de corriente alterna. La regulación de la disposición de conmutación se puede realizar, por ejemplo, en el sentido de una modulación por ancho de pulso, para lograr una buena aproximación a una
- 15 forma de corriente alterna deseada (habitualmente una forma de seno).

Dado que mediante la disposición de conmutación solo se pueden generar pulsos rectangulares, a la disposición de conmutación le sigue en cada fase una etapa de filtro que suaviza la señal de corriente alterna para la aproximación a la forma de seno deseada a través de una disposición de condensadores y bobinas (inductancias).

- 20 Las bases teóricas para tales etapas de filtro son suficientemente conocidas y no representan ningún obstáculo para la optimización de los valores nominales de estos componentes. Sin embargo, en la práctica siempre surgen problemas de nuevo. En particular, los valores característicos reales de los componentes a menudo difieren del valor nominal conocido y los valores característicos pueden cambiar con el tiempo debido al envejecimiento o debido a condiciones
- 25 ambientales cambiantes. Por ejemplo, una etapa de filtro en un inversor monofásico o bifásico se puede componer de al menos una inductancia y al menos un condensador. En el caso de inversores trifásicos están presentes habitualmente al menos tres capacidades y tres inductancias. Los valores característicos de estos componentes tienen una gran influencia en el comportamiento de regulación y la inclinación oscilatoria de un inversor, ya que estos componentes son parámetros de línea de la regulación y, por lo tanto, influyen en el comportamiento de regulación. El
- 30 condensador también tiene una influencia en la regulación de la potencia reactiva del inversor. En la regulación del inversor se almacenan los valores característicos de estos componentes e influyen en los parámetros de regulación del regulador implementado. Si la regulación se basa ahora en valores característicos incorrectos o inexactos, pueden producirse oscilaciones no deseadas, problemas de estabilidad y desviaciones de las potencias reactivas. Por ejemplo, en el caso de valores característicos incorrectos, no se pueden regular los armónicos y las distorsiones de la corriente
- 35 alterna.

Para poder cumplir los estrechos valores límite de la entrega de potencia reactiva de las diferentes directivas nacionales y para poder regular de manera óptima el inversor, se requiere, por lo tanto, un conocimiento exacto de los valores de los componentes y, por lo tanto, de los parámetros de línea de la etapa de filtro.

- 40 Habitualmente, los valores de los componentes se miden durante la fabricación del inversor y se almacenan como parámetros en la regulación. Estos pasos de trabajo son relativamente complejos y tampoco se pueden representar efectos de envejecimiento u otras influencias de funcionamiento que modifiquen los valores de los componentes (por ejemplo, influencias de temperatura). Para lograr una entrega de potencia reactiva predeterminada, se puede realizar
- 45 una medición de corriente adicional en la salida del lado de red del inversor, pero esto representa un gasto considerable.

- Con procedimientos conocidos actualmente del estado de la técnica es posible determinar valores de componentes exactos de capacidades e inductancias. Estos procedimientos generalmente solo son adecuados para una topología determinada. Además, estos procedimientos también alcanzan sus límites a medida que aumenta el número de componentes.

- El documento EP 3232217 A1 da a conocer un procedimiento para la determinación de valores actuales de capacidades de filtro, donde se produce un circuito resonante con capacidad de filtro cargada a través de los
- 55 interruptores de semiconductor, que comprende la(s) capacidad(es) de filtro. La oscilación en el circuito resonante accionada por la capacidad de filtro cargada inicialmente se evalúa para la determinación de un valor actual de esta capacidad de filtro. Los valores de inductancia de filtro necesarios para la determinación se presuponen inmutables y conocidos. La determinación de las capacidades de filtro sirve para la supervisión del estado de las capacidades de filtro. En particular, mediante la comparación con los valores nominales depositados, se comprueba si las capacidades
- 60 de filtro todavía están en condiciones de funcionamiento o no. Por lo tanto, no se puede mejorar una regulación de la disposición de conmutación.

- El documento EP 3069158 B1 da a conocer un procedimiento para la determinación de valores de capacidad de capacidades de una instalación de suministro de energía, donde un inversor trifásico se opera con relés de red
- 65 separados para la construcción de una red aislada. A este respecto se solicitan al menos dos salidas de un puente de inversor con una tensión alterna de la misma fase. A partir de las corrientes que fluyen en las salidas del puente de

inversor y al menos una tensión aplicada a la capacidad de circuito intermedio y/o a una capacidad de filtro se determinan valores de capacidad actuales de las capacidades de filtro y/o de las capacidades de circuito intermedio. Aquí también, la determinación de los valores de capacidad sirve para verificar una función de las capacidades de filtro. Por lo tanto, no se puede mejorar una regulación de la disposición de conmutación.

5 La presente invención tiene, entre otras cosas, el objetivo de proporcionar un procedimiento con el que se pueda mejorar la regulación de la disposición de conmutación de un inversor con un circuito de filtro.

Estos y otros objetivos se logran según un primer aspecto mediante un procedimiento según la reivindicación 1 y
10 mediante un inversor con una regulación correspondiente según la reivindicación 10.

Este procedimiento permite la determinación de los parámetros de la línea del circuito de filtro en una pluralidad de topologías diferentes de inversores y circuitos de filtro. Para ello se determina un efecto resultante en suma de una o varias combinaciones de componentes interconectados entre sí, sin tener que conocer una combinación concreta o valores de componentes individuales. A este respecto, el desarrollo de corriente se puede medir, por ejemplo, en una
15 de las inductancias. La determinación de un desarrollo de tensión se puede medir preferentemente entre los dos conductores que participan en el circuito resonante o entre uno de los conductores frente a otro potencial de referencia, por ejemplo, un centro de estrella o un centro de circuito intermedio. Para la regulación es suficiente el conocimiento de la inductancia de filtro y la capacidad de filtro efectivas. De este modo, la regulación se puede seguir en los valores
20 de componente cambiantes en el circuito de filtro, de modo que se puede compensar un comportamiento de regulación cambiante del inversor.

De manera ventajosa, las etapas del procedimiento de la aplicación de un pulso de tensión, la producción de un circuito resonante y la determinación y evaluación de un desarrollo de corriente y/o tensión se pueden repetir en varios pares
25 de conductores diferentes. De este modo, en particular en el caso de inversores multifásicos, se pueden determinar la inductancia de filtro y capacidad de filtro efectivas de cada fase. Según sea necesario, en una realización de este tipo también se pueden determinar valores de componentes más detallados de los componentes eléctricos del circuito de filtro. Para el pulso de tensión se puede utilizar energía almacenada en un condensador de circuito intermedio.

De manera ventajosa, como parámetro de línea se determina al menos un valor actual de una capacidad de filtro efectiva del circuito de filtro y al menos un valor actual de una inductancia de filtro efectiva del circuito de filtro. A este respecto, como capacidad de filtro o inductancia de filtro "efectivas" se designa en relación con la divulgación en cuestión un valor determinado que corresponde actualmente a un componente individual de un circuito de filtro o un valor determinado que corresponde actualmente a un componente computacional de un circuito equivalente del circuito
30 de filtro, dependiendo de si el respectivo circuito de filtro da como resultado la determinación de un valor de un componente real o si solo se pueden determinar los valores de un circuito equivalente. Las capacidades de filtro o las inducciones de filtro "efectivas" se pueden correlacionar aún más a través de dependencias matemáticas para convertirlas en un valor efectivo utilizable para una regulación.

Dependiendo de la topología del inversor, se pueden utilizar diferentes conductores para la determinación de la inductancia de filtro efectiva y la capacidad de filtro efectiva. En el caso de un inversor con un conductor previsto para la realimentación de la disposición de filtro a la disposición de conmutación se utiliza ventajosamente uno de los otros conductores del inversor como primer conductor y como segundo conductor el conductor previsto para la realimentación de la disposición de filtro a la disposición de conmutación. Por consiguiente, se pueden determinar
40 directamente los valores efectivos de las fases individuales. A este respecto, también se puede evitar un *clamping* no deseado en la determinación de la inductancia de filtro y capacidad de filtro efectivas.
45

En el caso de un inversor sin un conductor previsto para la realimentación de la disposición de filtro a la disposición de conmutación se utiliza ventajosamente uno de los conductores disponibles del inversor como primer conductor y
50 como segundo conductor otro de los conductores disponibles del inversor. En principio, esto también es posible en el caso de un inversor con conexión de conductor neutro. A este respecto, para evitar un *clamping* no deseado, puede estar previsto que un conductor del inversor no utilizado para la determinación de la inductancia de filtro y capacidad de filtro efectivas se pone a un potencial de circuito intermedio a través de la disposición de conmutación. Por lo tanto, se puede evitar un potencial flotante libre de este conductor no utilizado, lo que puede conducir al *clamping*. Esto
55 permite una determinación más precisa de la inductancia de filtro y capacidad de filtro efectivas.

Un conductor previsto para la realimentación de la disposición de filtro a la disposición de conmutación es un conductor que no está conectado en absoluto al relé de red o que se conecta a través del relé de red a un conductor neutro de la red eléctrica.

60 De manera ventajosa, a partir del desarrollo de corriente y/o tensión se puede determinar una frecuencia de resonancia del circuito resonante, donde se puede determinar un valor de una inductancia de filtro efectiva según la fórmula

$$L_m = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{res0}} \cdot \frac{U}{I}$$

De manera ventajosa, a partir del desarrollo de corriente y/o tensión se puede determinar una frecuencia de resonancia del circuito resonante, donde se determina un valor de una capacidad de filtro efectiva según la fórmula

$$C_m = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{reso}} \cdot \frac{I}{U}$$

5

En una realización ventajosa del procedimiento se puede determinar un comportamiento de decrecimiento y tenerse en cuenta en la regulación. De este modo se puede calcular, por ejemplo, la calidad o la atenuación del circuito resonante. La resistencia resistiva asociada del circuito resonante también se puede determinar a partir de esto y se puede utilizar para la regulación. El comportamiento de decrecimiento se puede tener en cuenta, por ejemplo, en el

10

diseño del regulador de la regulación, por ejemplo, en la determinación de los parámetros del regulador.

En otra forma de realización ventajosa, la fabricación de un circuito resonante cerrado se puede realizar inmediatamente después del pulso de tensión. De este modo se puede generar una oscilación en el circuito resonante incluso con condensadores completamente descargados. En relación con la divulgación en cuestión, se designa como

15

"inmediatamente después del pulso de tensión" un período de tiempo dentro del cual no se han producido cambios relevantes en los estados de tensión y corriente en los componentes involucrados. Este es en particular el caso cuando los valores correspondientes entre el final del pulso de tensión y la producción del circuito resonante han cambiado en menos del 10%, con respecto a su ancho de fluctuación total.

20 En otro aspecto, la divulgación en cuestión se refiere a un inversor realizado de manera correspondiente, para la conexión a una red eléctrica a través del relé de red.

La presente divulgación se refiere además a un programa informático con código de programa para la realización de las etapas del procedimiento descritas anteriormente, cuando el programa informático se ejecuta en un control de

25

sistema de un inversor. El programa informático puede determinar a este respecto una topología del inversor de manera ventajosa antes de la realización de las etapas del procedimiento. La topología de la disposición de conmutación del inversor puede seleccionarse, por ejemplo, de H5, HERIC, REFU, FB-DCBP, FB-ZVR, NPC, Conergy-NPC y con estas topologías relacionadas. Las topologías designadas de esta manera son conocidas en el área técnica y, por lo tanto, no deben explicar con más detalle aquí.

30

El experto en la materia es capaz de aplicar las enseñanzas aquí divulgadas a todas las topologías mencionadas. Esto también permite utilizar el mismo programa informático en una pluralidad de inversores diferentes y también facilita el mantenimiento remoto de los inversores.

35 La presente invención se explica con más detalle a continuación en referencia a las figuras 1 a 11, que muestran a modo de ejemplo, esquemática y no limitativa configuraciones ventajosas de la invención. A este respecto muestra

Fig. 1 un inversor en una representación esquemática, genérica,

Fig. 2 una representación esquemática de un circuito de un inversor,

40

Fig. 3 una parte de un circuito de un inversor con una realización alternativa de un circuito de filtro,

Fig. 4 una representación esquemática de otro circuito de un inversor,

Fig. 5 una representación esquemática de un circuito de un inversor con cuatro conductores que se pueden conectar a los conductores exteriores y a un conductor neutro de una red eléctrica,

Fig. 6 una representación esquemática de un circuito de un inversor con tres conductores,

45

Fig. 7 una representación esquemática adicional de un circuito de un inversor con cuatro conductores,

Fig. 8 una representación esquemática de un circuito equivalente con capacidades de suma equivalente,

Fig. 9 una representación esquemática del pulso de tensión, desarrollo de corriente y desarrollo de tensión como pueden resultar, por ejemplo, para el procedimiento en cuestión,

Fig. 10 una regulación de un inversor y

50

Fig. 11 un circuito equivalente de un circuito de filtro.

La fig. 1 muestra un inversor 1 que convierte una tensión continua generada por una fuente de tensión continua 5 en una tensión alterna que se puede alimentar en una red eléctrica 7 (también como red aislada). El inversor 1 de la figura 1 está realizado de forma trifásica con tres fases L1, L2, L3 y con un conductor neutro N.

55

La fuente de tensión continua 5 genera una diferencia de potencial U_{DC} , que se aplica a través de dos entradas DC_1 y DC_2 del lado de corriente continua a una disposición de conmutación 2 del inversor 1. Dependiendo del sistema, las entradas DC_1 , DC_2 del lado de corriente continua pueden provenir directamente de la fuente de tensión continua 5 o de un convertidor de tensión continua o *tracker* MPP aguas arriba. La disposición de conmutación 2 comprende de manera conocida un circuito intermedio, que se compone de al menos un condensador de circuito intermedio C_{ZK} (no dibujado), y varios interruptores de semiconductor T, que se conmutan de forma síncrona a través de un control de sistema 6 de acuerdo con un esquema de modulación. En paralelo a los interruptores de semiconductor T están dispuestos habitualmente diodos de marcha libre D. Los interruptores de semiconductor T están dispuestos a menudo

60

en forma de circuitos de semipunto, donde por fase está previsto al menos un semipunto que se compone de al menos dos interruptores de semiconductor T conectados en serie. La tensión alterna generada de este modo se puede aplicar a través de una o varias salidas de conductor W de la disposición de conmutación 2 al conductor P correspondiente. Por cada fase del inversor está previsto al menos un conductor P, donde también se pueden combinar 5 varias salidas de conductor W para formar una fase (las denominadas topologías de inversor anidadas (*interleaved*)).

Los conductores P están conducidos a través de un circuito de filtro 3 a un relé de red 4, donde en el relé de red cerrado 4 están conectados los conductores P del inversor 1 a los conductores correspondientes de la red eléctrica 7 (es decir, por ejemplo, conductores de fase o de línea L₁, L₂, L₃ y conductores neutros N, dado el caso también se 10 puede tener en cuenta un conductor de protección).

Los conductores P, a los que se puede aplicar una corriente alterna a través de la disposición de conmutación 2, también se denominan "conductores de fase" en relación con la descripción en cuestión. En el contexto de la presente divulgación, tanto los conductores de fase o de línea, así como también los conductores neutros, se denominan en 15 general como "conductores". Si una distinción entre conductor de fase y conductor neutro es razonable o necesaria, se indicará explícitamente en el texto, a menos que se desprenda lógica y obligatoriamente del contexto.

El circuito de filtro 3 comprende en general al menos una inductancia de filtro LF (bobina), que está dispuesta en un conductor P directamente a continuación en la salida de conductor W correspondiente, y al menos una capacidad de 20 filtro CF, que conecta entre sí dos conductores P, preferiblemente "detrás" de la inductancia de filtro LF (es decir, entre la inductancia de filtro LF y el relé de red 4). Si es necesario, la conexión se puede realizar en topologías multifásicas a través de un centro de estrella y otra capacidad de filtro CF.

En relación con la divulgación en cuestión, los componentes y elementos que aparecen varias veces en forma similar 25 o idéntica en un dibujo se identifican con una combinación de letras mayúsculas que identifica el elemento (por ejemplo, entrada DC del lado de corriente continua, interruptor de semiconductor T, salida de conductor W, conductor P, inductancia de filtro LF, capacidad de filtro CF, etc.) y se numeran en cada caso mediante índices con subíndice. Esta diferenciación solo sirve para una mejor diferenciación y no se debe interpretar de manera restrictiva.

Dependiendo de la forma de realización del inversor 1, este puede estar equipado con dos, tres o cuatro conductores P. Los inversores con dos conductores P₁, P₂ se pueden conectar, por ejemplo, a dos fases L₁, L₂ de la red eléctrica 7 o a una fase L y al conductor neutro N. Los inversores 1 con tres conductores P₁, P₂, P₃ se pueden conectar, por 30 ejemplo, a las tres fases L₁, L₂, L₃ de una red eléctrica trifásica 7. Los inversores 1 con cuatro conductores P₁, P₂, P₃, P₄ se pueden conectar, por ejemplo, a las tres fases L₁, L₂, L₃ de una red eléctrica trifásica 7 y a su conductor neutro 35 N.

La divulgación en cuestión no está limitada a una topología determinada del inversor 1, en particular de la disposición de conmutación 2 y del circuito de filtro 3. Más bien, las enseñanzas aquí divulgadas se pueden aplicar a una pluralidad 40 de topologías diferentes, siempre que se cumplan ciertas condiciones, que se explican a continuación a modo de ejemplo con referencia a algunos circuitos concretos realizados de forma más detallada.

El inversor 1, en concreto la disposición de conmutación 2 del inversor 1, se regula por una regulación 16, tal como se representa de forma simplificada en la fig.10. La regulación 16 está implementada en un control de sistema 6, preferentemente un hardware basado en microprocesador, preferentemente como software. Pero, el control de 45 sistema 6 con la regulación 16 también puede estar realizado como un circuito integrado, por ejemplo, como un circuito integrado específico de la aplicación (ASIC) o una matriz de puertas programable en campo (FPGA), o también como un circuito analógico.

Para la regulación 16 está previsto un regulador R(RP) con parámetros de regulación RP, donde los parámetros de 50 regulación RP se adaptan a los parámetros de línea SP de la línea de regulación a regular para conseguir el comportamiento de regulación deseado. El circuito de filtro 3 influye en la regulación 16 del inversor 1, de modo que los parámetros de línea SP derivados de ello se tienen en cuenta en la regulación 16, concretamente en el regulador R, por ejemplo, en forma de un parámetro de regulación RP o en el que los parámetros de línea SP influyen en el valor de un parámetro de regulación RP. Además de los parámetros de línea SP, que se derivan del circuito de filtro 3, por 55 supuesto, se pueden tener en cuenta otros parámetros de línea en la regulación 16. El diseño de un regulador R con una ley de regulación predeterminada (por ejemplo, regulador PI, regulador PID, etc.) en base a la cual se determinan los parámetros de regulación RP y su dependencia de los parámetros de línea SP, es suficientemente conocido por el experto en la materia, de modo que no es necesario entrar en más detalles. Para la regulación del inversor 1, concretamente de la disposición de conmutación 2 o del interruptor de semiconductor T de la disposición de 60 conmutación 2, el regulador R determina, en función de una magnitud nominal SG predeterminada, por ejemplo, una corriente deseada por fase o una tensión deseada por fase, magnitudes de ajuste ST para la disposición de conmutación 2, por ejemplo, comandos de conmutación para los interruptores de semiconductor T o un grado de palpación de una modulación por ancho de pulsos (PWM), que luego se convierte en comandos de conmutación.

Para regular el inversor 1, para el circuito de filtro 3 se utiliza para cada fase del inversor 1 un circuito equivalente de 65 una inductancia de filtro efectiva L_m, que resulta de la al menos una inductancia de filtro LF de la fase del circuito de

filtro 3 y de la topología del circuito de filtro 3, y una capacidad de filtro efectiva C_m , que resulta de la al menos una capacidad de filtro CF de la fase del circuito de filtro 3 y de la topología del circuito de filtro 3 (fig.11). La capacidad de filtro efectiva C_m y la inductancia de filtro efectiva L_m son parámetros de línea SP para la regulación 16 de la disposición de conmutación 2 y se determinan a partir de valores medidos de una corriente eléctrica $i(t)$ y una tensión eléctrica $u(t)$ como se describe a continuación, por ejemplo, en el control de sistema 6.

Las fig. 2 y 4 muestran, a modo de ejemplo, inversores 1 para la conexión con un conductor de línea L1 y un conductor neutro N, en los que se determinan parámetros de línea como la capacidad de filtro efectiva C_m y la inductancia de filtro efectiva L_m .

La fig. 2 muestra una forma de realización de un inversor 1 con un circuito de puente en H convencional, en el que a través de cuatro interruptores de semiconductor T₁-T₄ se puede aplicar la diferencia de potencial U_{DC} entre un potencial alto (polo positivo DC⁺) y un potencial bajo (polo negativo DC⁻) de diferentes maneras a las dos salidas de conductor W₁ y W₂. A la salida de conductor W₁ está conectada en esta forma de realización una fase L1 y a la salida de conductor W₂ está conectado el conductor neutro N de la red eléctrica 7. Durante el funcionamiento, los interruptores de semiconductor T se excitan a través de un control de sistema 6 según un esquema de modulación, donde se pueden utilizar cuatro estados de conmutación:

- Flujo de corriente positivo: T₁ y T₄ cerrados, T₃ y T₂ abiertos
- Flujo de corriente negativo: T₂ y T₃ cerrados, T₁ y T₄ abiertos
- cero voltios sobre DC⁺: T₁ y T₃ cerrados, T₂ y T₄ abiertos
- cero voltios sobre DC⁻: T₂ y T₄ cerrados, T₁ y T₃ abiertos

Los esquemas de modulación correspondientes se conocen suficientemente en el área técnica y, por lo tanto, no es necesario describirlos con más detalle en el presente documento.

Independientemente de la topología, el circuito de los interruptores de semiconductor T según un esquema de modulación en las salidas de conductor W genera en cada caso una corriente alterna que discurre rectangularmente, que se debe transformar en una onda sinusoidal que discurre lo más uniformemente posible antes de la alimentación a la red eléctrica 7. Esto se garantiza por el circuito de filtro 3 y las inductancias de filtro LF₁, LF₂ y la capacidad de filtro CF previstas en el mismo. Mediante la topología de filtro concreta del circuito de filtro 3 y los valores característicos de las capacidades de filtro CF e inductancias de filtro LF presentes en el filtro se confiere al circuito de filtro 3 un comportamiento de filtro determinado que se puede describir mediante los valores de componente. Los valores dependen de la frecuencia respectiva, donde para la regulación de la disposición de conmutación 2 se pueden tener en cuenta no solo el comportamiento en la frecuencia de la corriente alterna (típicamente, por ejemplo, 16,7 Hz, 50 Hz, 60 Hz), sino también, dado el caso, en frecuencias de interferencia y/o en frecuencias que se utilizan para señales de control circulares del operador de red. En el funcionamiento del inversor 1 fluyen corrientes reactivas a través de la capacidad de filtro CF, que se deben regular mediante la regulación en el control de sistema 6. Por lo tanto, la capacidad de filtro CF y las inductancias de filtro LF₁, LF₂ influyen en la regulación del inversor 1.

Por lo tanto, para el aumento de la precisión del valor de la potencia reactiva a regular y/o para la optimización de la regulación 16 del control de sistema 6, es esencial conocer los valores característicos de los parámetros de línea SP para la regulación de la disposición de conmutación 2 con la mayor precisión posible. Sin embargo, estos parámetros de línea SP, o los componentes del circuito de filtro 3, que se resumen en los parámetros de línea SP para la regulación, están sujetos a modificaciones relacionadas con el envejecimiento o cambios en las influencias ambientales.

Dependiendo de la topología del circuito de filtro 3, los valores individuales de los componentes de la(s) capacidad(es) de filtro CF y la(s) inductancia(s) del filtro LF solo se pueden determinar de manera costosa. Por lo tanto, para la regulación 16 según la invención se utiliza por fase un circuito equivalente 15 del circuito de filtro 3 con una capacidad de filtro efectiva C_m y una inductancia de filtro efectiva L_m , como se representa a modo de ejemplo en la fig. 11. En el circuito equivalente 15 para una fase del inversor 1 se resumen o descuidan todas las inductancias de filtro LF de la fase en la inductancia de filtro efectiva L_m (L_{oem}). Del mismo modo, todas las capacidades de filtración CF de la fase se resumen en la capacidad de filtración efectiva C_m . Es evidente que el modo y manera en que se debe realizar este resumen depende de la topología del circuito de filtro 3. Pero, un experto en la materia en este campo es en cualquier caso capaz de determinar a partir de un circuito de filtro concreto 3 la capacidad de filtro efectiva C_m y la inductancia de filtro efectiva L_m del circuito equivalente 15. La regulación 16, en concreto los parámetros de regulación RP del regulador R de la regulación 16, se diseña mediante el circuito equivalente 15.

A continuación se describe, con referencia al circuito representado en la fig. 2, un procedimiento con el que se pueden determinar de forma rápida, sencilla y exacta los parámetros de línea actuales SP del circuito de filtro 3 del inversor 1. De manera óptima, el procedimiento se puede llevar a cabo inmediatamente antes de que el inversor 1 se conecte a la red eléctrica 7 cerrando el relé de red 4. Por lo tanto, los parámetros de línea SP se pueden llevar a cabo, por ejemplo, regularmente o según sea necesario, antes del cierre del relé de red 4 o también después de la apertura del relé de red 4, con lo que siempre se pueden determinar parámetros de línea SP actuales y tenerlos en cuenta en la regulación. Por lo tanto, una modificación de los parámetros de línea SP se puede tener en cuenta continuamente en

la regulación.

El procedimiento se lleva a cabo con el relé de red 4 abierto, es decir, el inversor 1 está separado de la red eléctrica 7, o bien su conductor de línea L₁, L₂, L₃ y conductor neutro N, y todos los interruptores de semiconductor T están
5 abiertos. Mediante un corto cierre del primer y del cuarto interruptor de semiconductor T₁ y T₄, por ejemplo, durante un periodo de unos pocos microsegundos (por ejemplo, 5 microsegundos), se aplica un pulso de tensión a las salidas de conductor W₁ y W₂, aplicando una tensión de circuito intermedio durante este periodo. Alternativamente, el pulso de tensión también se puede generar en polaridad inversa mediante el cierre del segundo y del tercer interruptor de semiconductor T₂ y T₃. Inmediatamente después se establece en la disposición de conmutación 2 una conexión de las
10 salidas de conductor W₁ y W₂, de modo que se establece un circuito resonante 8, que discurre partiendo de la primera salida de conductor W₁ a través de la primera línea P₁, la primera línea de inductancia de filtro LF₁, la capacidad de filtro CF, la segunda línea P₂, la segunda inductancia de filtro LF₂ a la segunda salida de conductor W₂, y se cierra mediante la conexión entre W₁ y W₂. El circuito resonante 8 está indicado en la fig. 2 mediante una línea de puntos y trazos. La conexión entre W₁ y W₂ se puede realizar en la topología representada ya sea cerrando los interruptores de semiconductor "superiores" T₁ y T₃ o cerrando los interruptores de semiconductor "inferiores" T₂ y T₄. En muchas topologías, sin embargo, también es posible conectar las salidas de conductor W entre sí, sin que se aplique una diferencia de potencial en estas. Dado el caso, pueden estar previstos para este propósito otros interruptores de semiconductor, tal como, por ejemplo, el interruptor de semiconductor T₅ representado en líneas de trazos, con el que se puede separar el circuito de puente del polo positivo DC⁺.

20 Si la capacidad de filtro CF está cargada antes de la aplicación del pulso de tensión, se pueden evitar problemas con sobrecorriente, por ejemplo, si el condensador está demasiado cargado, con una forma de realización ventajosa del procedimiento. En principio, se puede evitar una sobrecorriente con un pulso de tensión suficientemente corto, y adicionalmente con la polaridad seleccionada correspondientemente. En otra forma de realización del procedimiento, la capacidad de filtro CF se descarga antes de la aplicación del pulso de tensión para excluir una sobrecorriente y
25 poder llevar a cabo una determinación recurrente de los parámetros de línea en condiciones comparables.

También en el caso de una capacidad de filtro CF completamente descargada al principio se configura inmediatamente después del pulso de tensión en el circuito resonante 8 una oscilación libre, que se puede determinar como desarrollo
30 de corriente i(t) (por ejemplo, medición de corriente 9 en la primera o segunda inductancia de filtro LF₁, LF₂) y desarrollo de tensión u(t) (medición de tensión 13 a través de la capacidad de filtro CF). La frecuencia del desarrollo de corriente (y del desarrollo de tensión) corresponde a la frecuencia de resonancia f_{reso} del circuito resonante 8. A partir del desarrollo de corriente i(t) y del desarrollo de tensión u(t) se pueden determinar así la frecuencia de resonancia f_{reso}, la amplitud de tensión U y la amplitud de corriente I. A partir de estos valores se puede determinar
35 para el circuito de filtro 3 una inductancia de filtro efectiva L_m y una capacidad de filtro efectiva C_m.

Mediante el kit de conservación de energía aplicado al circuito resonante 8 con el circuito equivalente 15 del circuito de filtro 3

$$40 \quad L_m \cdot I^2 = C_m \cdot U^2 \quad (\text{Glg. 1})$$

y la ecuación de oscilación hertziana

$$f_{reso} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_m \cdot C_m}} \quad (\text{Glg. 2})$$

45 se obtiene para la inductancia de filtro efectiva

$$L_m = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{reso}} \cdot \frac{U}{I} \quad (\text{Glg. 3})$$

50 y la capacidad de filtración efectiva

$$C_m = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{reso}} \cdot \frac{I}{U} \quad (\text{Glg. 4}).$$

La inductancia de filtro efectiva L_m y la capacidad de filtro efectiva C_m pueden resultar de un único o varios componentes
55 físicos de un circuito de filtro 3.

En el circuito de filtro 3 simple representado en la fig. 2, la capacidad de filtro efectiva C_m determinada corresponde al valor actual de la capacidad de filtro CF. La inductancia de filtro efectiva L_m corresponde a la suma de las dos

inductancias del filtro LF_1 y LF_2 .

Mediante la determinación del comportamiento de decrecimiento de la oscilación libre se puede calcular la calidad o la atenuación del circuito resonante 8. La resistencia óhmica asociada también se puede determinar a partir de esto.

- 5 La calidad, o bien la atenuación del circuito resonante 8 y la resistencia óhmica se pueden utilizar a continuación como otros parámetros para la regulación del inversor 1 para la generación de corriente alterna y tensión alterna o para la optimización de la regulación.

Es evidente que para la determinación de la capacidad de filtro efectiva C_m y de la inductancia de filtro efectiva L_m en un inversor 1 como en la figura 2 es irrelevante si este está conectado a un conductor de fase L_1 y a un conductor neutro N (como en la fig. 2) o a dos conductores de fase L_1 , L_2 . En el relé de red abierto 4 solo existen los conductores P del inversor 1, que se utilizan para la configuración de un circuito resonante 8. Tampoco es decisiva para ello la realización concreta de la disposición de conmutación 2.

- 15 Como se explica esto con referencia a la fig. 3, el procedimiento anterior también se puede aplicar a circuitos de filtro 3 más complejos. El circuito de filtro 3 comprende en el primer conductor P_1 una inductancia de filtro LF_1 y como segunda inductancia una bobina de CEM L_{CEM1} para la atenuación de interferencias de alta frecuencia. También el segundo conductor P_2 comprende, además de la segunda inductancia de filtro LF_2 , una bobina de CEM L_{CEM2} . En lugar de una única capacidad de filtro CF, en el circuito de filtro 3 están dispuestas dos capacidades de filtro paralelas CF_1 y CF_2 , donde las dos bobinas de CEM L_{CEM} están dispuestas entre la primera capacidad de filtro CF_1 y la segunda capacidad de filtro CF_2 . El circuito restante del inversor 1, no representado en la fig. 3, puede corresponder, por ejemplo, a la fig. 2.

- 25 El circuito resonante 8 de la fig. 3 se divide por lo tanto entre las dos inductancias de filtro LF_1 y LF_2 en dos ramas paralelas, donde la primera rama comprende la primera capacidad de filtro CF_1 y la segunda rama comprende en serie la primera bobina de CEM L_{CEM1} , la segunda capacidad de filtro CF_2 y la segunda bobina de CEM L_{CEM2} .

- Con vistas al procedimiento descrito anteriormente para la determinación de los parámetros de línea SP, se pueden despreciar las bobinas de CEM L_{CEM} en el cálculo. Dado que las bobinas de CEM están diseñadas habitualmente para una frecuencia significativamente más alta que las inductancias de filtro LF y son comparativamente muy pequeñas, no hay desventajas en esto. En el comportamiento de oscilación del circuito resonante 8, las bobinas de CEM tienen una influencia despreciable. Por lo tanto, la inductancia de filtro efectiva L_m para el circuito equivalente 15 se puede determinar de manera análoga al procedimiento descrito anteriormente y corresponde a su vez a la suma de las dos inductancias del filtro LF_1 y LF_2 . La capacidad de filtro efectiva C_m también se puede determinar de manera análoga y, en este caso, corresponde a la suma de las dos capacidades de filtro paralelas CF_1 y CF_2 .

- Para la regulación 16 de la disposición de conmutación 2 es suficiente un conocimiento de la capacidad de filtro efectiva C_m e inductancia de filtro efectiva L_m , de modo que no es necesario y se puede suprimir el gasto adicional para una determinación de los valores individuales de las capacidades de filtro paralelas CF_1 y CF_2 y de las dos inductancias de filtro LF_1 y LF_2 .

- La fig. 4 muestra otro ejemplo en forma de un inversor 1 multietapa (*multi-level*), donde la disposición de conmutación 2 corresponde en el caso a una denominada "topología NPC". "NPC" significa en el caso "Neutral Point Clamped", es decir, que una salida de conductor W de la disposición de conmutación 2, en el caso representado, la segunda salida de conductor W_2 , a la que está conectado el segundo conductor P_2 , está puesta en el centro de circuito intermedio MP entre dos condensadores de circuito intermedio C_{ZK1} , C_{ZK2} . El segundo conductor P_2 está conectado al circuito de filtro 3 y en este ejemplo de realización está conectado, con el relé de red 4 cerrado, al conductor neutro N de la red eléctrica 7. En la salida de conductor W_1 de la disposición de conmutación, a la que está conectado el primer conductor P_1 , se pueden ajustar ahora más de dos niveles de tensión (DC+, DC-) debido a la topología de la disposición de conmutación 2. En la configuración según la fig. 4, ahora también se puede ajustar el nivel de tensión 0 a través de los interruptores de semiconductor internos T_2 , T_3 y los diodos *clamping* D_{11} , D_{12} . Los cuatro interruptores de semiconductor T_1 a T_4 del puente semiconductor NPC se pueden conmutar en particular en los siguientes estados:

- Flujo de corriente positivo: T_1 y T_2 cerrados, T_3 y T_4 abiertos
- 55 - Flujo de corriente negativo: T_3 y T_4 cerrados, T_1 y T_2 abiertos
- Marcha libre (cero voltios) a través de los dos diodos de marcha libre: T_2 y T_3 cerrados, T_1 y T_4 abiertos

- Para la determinación de los parámetros de línea SP se aplica a su vez, con el relé de red 4 abierto, un pulso de tensión a una salida de conductor W_1 , W_2 (por ejemplo, mediante el cierre de los dos interruptores de semiconductor "superiores" T_1 y T_2 o de los dos interruptores de semiconductor inferiores T_3 y T_4), aplicándose una tensión de circuito intermedio e inmediatamente después se conecta mediante la apertura de los dos interruptores de semiconductor exteriores T_1 , T_4 y cierre de los dos interruptores de semiconductor centrales T_2 y T_3 la primera salida de conductor W_1 a través de uno de los dos diodos *clamping* D_{11} , D_{12} con la segunda salida de conductor W_2 y se produce un circuito resonante 8.

- 65 La determinación de los parámetros de línea SP se realiza de nuevo según el procedimiento descrito anteriormente,

donde en este caso solo se deben tener en cuenta una inductancia de filtro LF y una capacidad de filtro CF. Por lo tanto, los valores de los componentes de filtro individuales se pueden determinar directamente. La capacidad de filtro efectiva C_m a tener en cuenta por la regulación corresponde al valor actual de la capacidad de filtro CF y la inductancia de filtro efectiva L_m corresponde al valor actual de la inductancia de filtro LF. Sin embargo, habitualmente están previstas topologías más complejas del circuito de filtro 3, de modo que una asignación sencilla de este tipo es inusual y solo sirve para la explicación.

Con ayuda de las enseñanzas divulgadas a modo de ejemplo en relación con la descripción de las fig. 2 a 4 para inversores monofásicos o bifásicos, la divulgación en cuestión se puede aplicar también a otros numerosos inversores monofásicos, bifásicos o trifásicos que presentan una topología diferente. Ejemplos de tales topologías incluyen, pero no se limitan a, las topologías conocidas bajo la designación H5, HERIC, REFU, FB-DCBP, FB-ZVR, NPC, Conergy-NPC, así como topologías relacionadas o similares.

Las enseñanzas en cuestión se pueden aplicar ventajosamente a inversores trifásicos 1 con una realimentación del circuito de filtro 3 a la disposición de conmutación 2 por medio de un conductor P_4 , como se explica a continuación a modo de ejemplo con referencia a las fig. 5 y 7. El conductor P_4 utilizado para la realimentación puede estar conectado, con el relé de red cerrado 4, también al conductor neutro N de la red eléctrica 7. Una ventaja esencial consiste en que el procedimiento de determinación de los parámetros de línea SP es aplicable independientemente del número de capacidades.

Los inversores trifásicos 1 se pueden fabricar, por ejemplo, combinando tres inversores monofásicos. Por otro lado, también se pueden utilizar circuitos específicos para inversores de tres fases (con o sin realimentación). La estructura y la topología de los inversores monofásicos, bifásicos y trifásicos son conocidas por el experto en la materia. Las topologías indicadas y descritas en relación con los inversores 1 mencionados anteriormente también se pueden utilizar para sistemas trifásicos mediante una ampliación correspondiente del circuito. En principio, la divulgación en cuestión no está limitada a ciertas topologías, a menos que razones técnicas concretas (por ejemplo, una topología incompatible) se opongan a la implementación de las enseñanzas divulgadas en este documento.

La fig. 5 muestra un inversor 1 con una disposición de conmutación 2 con cuatro salidas de conductor W_1 - W_4 , donde los correspondientes tres primeros conductores P_1 - P_3 están conectados a través del relé de red 4 a los conductores de línea L_1 - L_3 de la red eléctrica 7, y donde el cuarto conductor P_4 está conectado al conductor neutro N (lo que no es obligatorio). En los tres primeros conductores P_1 - P_3 está prevista en cada caso directamente a continuación de la correspondiente salida de conductor W una inductancia de filtro LF_1 - LF_3 y detrás de ella está dispuesta respectivamente una capacidad de filtro CF_1 - CF_3 entre el correspondiente conductor P_1 - P_3 (conductor de fase) y el cuarto conductor P_4 (que sirve para la realimentación del circuito de filtro 3 a la disposición de conmutación 2 y está conectado en el caso del relé de red cerrado 4 al conductor neutro N), que están dispuestos de este modo en una disposición en estrella. Los conductores de fase P_1 - P_3 se pueden cargar por la disposición de conmutación 2 en cada caso con una tensión alterna (en particular modulada por ancho de pulsos). El cuarto conductor P_4 para la realimentación se puede colocar en la disposición de conmutación 2 en un centro de circuito intermedio MP entre dos capacidades de circuito intermedio C_{ZK1} , C_{ZK2} (comparable con la conexión P2 en la fig.4).

El procedimiento divulgado anteriormente en relación con inversores monofásicos o bifásicos 1 para la determinación de parámetros de línea es adecuado en principio para inversores 1 que pueden producir un circuito resonante 8 entre respectivamente dos salidas del puente de conmutación a través de un circuito de filtro 3 y se puede aplicar, por ejemplo, a la topología de filtro de la fig. 5.

Para la determinación de los parámetros de línea SP se carga primero una de las tres primeras salidas de conductor W_1 - W_3 con un pulso de tensión. Inmediatamente después del pulso de tensión, partiendo de esta salida de conductor se monta un circuito resonante 8' a través del conductor P asociado, a través del circuito de filtro 3 y del conductor P 4 previsto para la realimentación y conectado a la salida de conductor W_4 . El circuito resonante 8' se puede guiar a través de la correspondiente inductancia de filtro LF, la correspondiente capacidad de filtro CF y el cuarto conductor P_4 previsto para la realimentación, conectando la correspondiente salida de conductor W_1 - W_3 a través de la disposición de conmutación 2 a la cuarta salida de conductor W_4 . Un circuito resonante 8' de este tipo está representado en la fig. 5 por la línea de puntos y trazos entre la salida de conductor W_1 y la salida de conductor W_4 . En este sentido, el procedimiento también se aplica a las demás salidas de conductor W_1 - W_3 . De esta manera, se obtiene la capacidad de filtro efectiva C_m y la inductancia de filtro efectiva L_m de cada fase del inversor 1 como se describió anteriormente.

La fig. 7 muestra otra forma de realización de un inversor trifásico 1 con un conductor P_4 previsto para la realimentación desde el circuito de filtro 3 a la disposición de conmutación 2, donde la disposición de conmutación 2 corresponde a una topología 3L-NPC (Three Level Neutral Point Clamped). De los cuatro conductores P_1 - P_4 , en el caso de un relé de red cerrado 4, los tres primeros conductores P_1 - P_3 están asignados respectivamente a una fase L_1 - L_3 de la red eléctrica 7 (conductor de fase), el cuarto conductor P_4 está asignado al conductor neutro N y conectado a un centro de circuito intermedio MP del circuito intermedio. Pero, esta conexión del conductor P_4 a un conductor neutro N en el caso de relé de red cerrado 4 no está necesariamente presente.

El circuito de filtro 3 comprende por conductor P_1 , P_2 , P_3 en cada caso una inductancia de filtro LF_1 - LF_3 . Además, en

cada conductor P_1 , P_2 , P_3 está prevista una bobina de CEM L_{CEM} , donde las bobinas CEM L_{CEM} a su vez se pueden despreciar para la determinación de los parámetros de línea SP como ya se ha explicado. Entre las inducciones de filtro LF_1 - LF_3 y las bobinas de CEM L_{CEM} está dispuesto un primer circuito en estrella con tres capacidades de filtro CF_1 - CF_3 y después de las bobinas de CEM L_{CEM} está dispuesto un segundo circuito en estrella con otras tres capacidades de filtro CF_4 - CF_6 . Los centros de estrella de los dos circuitos en estrella están conectados respectivamente con el cuarto conductor P_4 previsto para la realimentación a la disposición de conmutación 2.

Con la disposición de conmutación 2 representada se puede aplicar a cada uno de los tres conductores L (es decir, los tres primeros conductores P_1 - P_3), es decir, para cada fase del inversor 1, o bien un potencial positivo (polo positivo DC⁺), un potencial negativo (polo negativo DC⁻) o el potencial neutro intermedio del centro de circuito intermedio MP del circuito intermedio en forma de un pulso de tensión (el circuito correspondiente de los interruptores de semiconductor T se corresponde con el modo de proceder descrito en relación con la fig. 4). Por lo tanto, para cada fase del inversor 1 se puede fabricar un circuito resonante 8 que, partiendo del centro MP, discurre sobre los dos diodos *clamping* D_{x1} , D_{x2} y los dos interruptores de semiconductor centrales T_{x2} , T_{x3} de la fase respectiva, la salida de conductor W de la fase respectiva, la inductancia de filtro LF y las dos capacidades de filtro paralelas CF de la fase respectiva y el cuarto conductor P_4 para la realimentación al centro de circuito intermedio MP.

Como pulso de tensión se puede aplicar un pulso de tensión positivo (interruptores de semiconductor T_{x1} y T_{x2} cerrados) o un pulso de tensión negativo (interruptores de semiconductor T_{x3} y T_{x4} cerrados). A continuación, se produce a su vez el circuito resonante 8 como se ha descrito anteriormente y se mide y evalúa el desarrollo de corriente y/o tensión. Este proceso se lleva a cabo para cada una de las tres fases. De este modo, como parámetro de línea SP se pueden determinar de nuevo en particular los valores de la inductancia de filtro efectiva L_m y de la capacidad de filtro efectiva C_m para cada fase.

En la fig. 7, el circuito resonante 8 para la primera fase, es decir, a través del conductor P_1 , está representado por una línea de puntos y trazos. La evaluación del comportamiento de este circuito resonante 8 permite la determinación del valor de la inductancia de filtro efectiva L_m en forma de la primera inductancia de filtro LF_1 y de la capacidad de filtro efectiva C_m , que en el caso corresponde a la suma de las dos capacidades de filtro paralelas CF_1 y CF_4 de este circuito resonante 8 y se determina como una capacidad de suma. Las inductancias efectivas del filtro L_m y las capacidades de filtro efectivas C_m de las otras dos fases se determinan de forma análoga. Debido a la conexión del punto de estrella de condensador de los condensadores de filtro CF con el centro de circuito intermedio MP, las inductancias de filtro efectivas L_m y las capacidades de filtro efectivas C_m de las fases individuales se pueden formar de manera sencilla con un circuito resonante 8 entre una de las salidas de conductor W_1 , W_2 , W_3 de los conductores P_1 , P_2 , P_3 y la salida de conductor W_4 del conductor P_4 previsto para la realimentación.

Por otro lado, dos "salidas de fase" (es decir, dos de las tres primeras salidas de conductor W_1 - W_3) también se pueden conectar entre sí a través de la disposición de conmutación 2. Esto es posible tanto para los ejemplos de la fig. 5 y fig. 7, pero es especialmente adecuado para el ejemplo de la fig. 6 y fig. 8, ya que aquí no está presente ninguna realimentación del circuito de filtro 3 a la disposición de conmutación 2. El circuito resonante 8" correspondiente es algo más complejo y está representado a modo de ejemplo en la fig. 5 y fig. 6 por una línea de punto, punto y trazo entre las salidas de conductor W_2 y W_3 . Este circuito resonante 8" a modo de ejemplo comprende en la fig. 5 en un circuito en serie la segunda inductancia de filtro LF_2 , la segunda capacidad de filtro CF_2 , la tercera capacidad de filtro CF_3 y la tercera inductancia de filtro LF_3 .

Por lo tanto, en una realización según la fig. 5 o fig. 7 están disponibles seis circuitos resonantes diferentes 8', 8" (mientras que en el caso descrito a continuación del circuito representado en la fig. 6 están disponibles tres circuitos resonantes diferentes 8"). En el caso sencillo representado en la fig. 5 (circuito 8') también es posible exactamente una determinación de los parámetros exactos de todas las capacidades de filtro CF e inductancias de filtro LF mediante una evaluación de los tres circuitos resonantes 8' guiados a través del conductor L_4 previsto para la realimentación (es decir, la cuarta salida de conductor W_4). Para el circuito de la fig. 6, por ejemplo, con los procedimientos divulgados en el presente documento no se pueden determinar parámetros referidos a capacidades de filtro individuales, pero sí la inductancia de filtro efectiva L_m y la capacidad de filtro efectiva C_m , lo que es suficiente para la regulación del inversor 1. Por lo tanto, la variante en cada caso preferida del procedimiento depende de la topología concreta de la disposición de conmutación 2 o del circuito de filtro 3 conectado con ella.

Si existen otras capacidades de filtro CF en el circuito de filtro 3 (como se indica, por ejemplo, en la fig. 5 mediante las capacidades de filtro CF_4 a CF_6 dibujadas a trazos), a su vez se puede determinar como capacidad de filtro efectiva C_m el valor de suma de capacidades de filtro paralelas en el circuito resonante.

La fig. 6 muestra un inversor trifásico 1, que sin embargo presenta un circuito de filtro 3, sin realimentación a la disposición de conmutación 2. Tres salidas de conductor W_1 - W_3 están conectadas en cada caso a un conductor P_1 - P_3 , donde los conductores se pueden conectar en cada caso a una fase L_1 - L_3 de la red eléctrica 7.

El circuito de filtro 3 comprende (en la dirección de las salidas de conductor W a los relés de red 4) tres inductancias de filtro LF_1 - LF_3 (uno por conductor), un circuito en estrella con tres capacidades de filtro CF_1 - CF_3 y un punto de estrella libre, tres bobinas de CEM L_{CEM1} - L_{CEM3} (uno por conductor) y tres capacidades de filtro CF_4 - CF_6 en el circuito de

triángulo. El punto de estrella libre podría estar conectado con el relé de red cerrado 4 también a un conductor neutro N de la red eléctrica 7.

Cualquier combinación de circuitos en estrella y/o triangulares de condensadores se puede representar como un
5 circuito equivalente en forma de un circuito en estrella puro o en forma de un circuito en triángulo puro. En este sentido, para el circuito de estrella triangular en la fig. 6, el circuito de triángulo de CF₄, CF₅, CF₆ se puede sustituir mentalmente, por ejemplo, por un circuito de estrella equivalente. De este modo, con el circuito en estrella de CF₁, CF₂, CF₃ resultan dos circuitos en estrella, que a su vez se pueden resumir en un único circuito en estrella equivalente. Así, para la fig.
10 6 se obtiene un circuito equivalente 15 con las capacidades de filtro efectivas C_{m1}, C_{m2}, C_{m3}, como capacidades de suma equivalentes, según la fig. 8.

Para la determinación de los parámetros de línea SP en la fig. 6 se carga a su vez en primer lugar una de las tres salidas de conductor W₁-W₃ con un pulso de tensión. Inmediatamente después del pulso de tensión se monta, partiendo de esta salida de conductor, un circuito resonante de 8" a través del circuito de filtro 3, donde esta salida de
15 conductor se cortocircuita a través de la disposición de conmutación 2 con una de las dos salidas de conductor W₁-W₃ restantes. El correspondiente circuito resonante 8" discurre a este respecto como antes el pulso de tensión en paralelo a través del circuito en estrella y el circuito en triángulo del circuito de filtro 3, donde se desprecian a su vez las bobinas CEM L_{CEM}. Por cálculo se obtienen las capacidades de filtro efectivas C_{m1}, C_{m2}, C_{m3} del circuito equivalente 15 en la fig. 6 con la determinación de las capacidades de suma equivalentes en la fig. 8.

20 Si se utiliza un circuito en estrella como circuito equivalente 15 como en la fig. 8 para la fig. 6, se pueden determinar tres capacidades de suma C_{m12}, C_{m23}, C_{m31} a través del procedimiento descrito anteriormente. Estas corresponden, en el caso de un circuito equivalente en estrella, a las capacidades de suma del circuito en serie de dos capacidades totales equivalentes (C_{m1}, C_{m2}, C_{m3}). Con las capacidades de suma C_{m12}, C_{m23} y C_{m31} determinadas permiten
25 establecer el siguiente sistema de ecuaciones:

$$C_{m12} = \frac{C_{m1} * C_{m2}}{C_{m1} + C_{m2}}$$

$$C_{m23} = \frac{C_{m2} * C_{m3}}{C_{m2} + C_{m3}}$$

$$C_{m31} = \frac{C_{m1} * C_{m3}}{C_{m1} + C_{m3}}$$

A partir de este sistema de ecuaciones se pueden determinar las capacidades de filtro efectivas C_{m1}, C_{m2}, C_{m3} de las
30 fases individuales, resolviendo el sistema de ecuaciones anterior de acuerdo con las capacidades de filtro efectivas C_{m1}, C_{m2}, C_{m3}, lo que resulta en las siguientes ecuaciones:

$$C_{m1} = \frac{2 * C_{m12} * C_{m23} * C_{m31}}{C_{m12} * C_{m23} - C_{m12} * C_{m31} + C_{m23} * C_{m31}}$$

$$C_{m2} = - \frac{2 * C_{m12} * C_{m23} * C_{m31}}{C_{m12} * C_{m23} - C_{m12} * C_{m31} - C_{m23} * C_{m31}}$$

$$C_{m3} = \frac{2 * C_{m12} * C_{m23} * C_{m31}}{C_{m12} * C_{m23} + C_{m12} * C_{m31} - C_{m23} * C_{m31}}$$

35 Para ilustración, la fig. 9 muestra en un primer desarrollo de diagrama un pulso de tensión 10 y en otros dos diagramas se representa la reacción del circuito resonante 8", por ejemplo, según la fig. 8, al pulso de tensión 10. El circuito resonante de 8" se compone en el ejemplo representado de las capacidades de filtro efectivas C_{m2}, C_{m3} y las inductancias de filtro LF₂, LF₃ (que en este ejemplo corresponden a las inductancias de filtro efectivas L_m). A través del desarrollo de corriente 11 determinado o del desarrollo de tensión 12 se puede determinar, entre otros, una
40 frecuencia de resonancia (f_{reso}= 1593,8 Hz), una amplitud de corriente (I = 32,9A) así como una amplitud de tensión (U = 32,9 V). Insertado en la ecuación 4 resulta para la capacidad total efectiva C_{m23} un valor de C_{m23}= 100mF. Del

mismo modo, con el procedimiento se puede determinar C_{m12} y C_{m31} . Por lo tanto, con el sistema de ecuaciones anterior se pueden determinar las capacidades de filtro efectivas C_{m1} , C_{m2} , C_{m3} .

Las capacidades de filtro efectivas C_{m1} , C_{m2} , C_{m3} corresponden a los valores actuales necesarios para la regulación y, a su vez, en caso necesario por medio de la transformación de estrella - triángulo se pueden transformar en capacidades de filtro efectivas para un circuito equivalente en triángulo de condensadores si una regulación necesita las capacidades de filtro efectivas C_{m1} , C_{m2} , C_{m3} en esta forma.

A través del procedimiento descrito anteriormente se pueden determinar igualmente según la fig. 8 tres inductancias de suma L_{m12} , L_{m23} , L_{m31} . Con estos se puede establecer el siguiente sistema de ecuaciones:

$$L_{m12} = LF_1 + LF_2$$

$$L_{m23} = LF_3 + LF_2$$

$$L_{m31} = LF_1 + LF_3$$

De forma análoga a la determinación de la capacidad de suma C_{m23} , la inductancia de suma L_{m23} se puede calcular por medio de la ecuación 3 y los valores determinados según la fig. 9 con $L_{m23} = 100\text{mH}$. De la misma manera, con el procedimiento se pueden determinar las inductancias de suma L_{m12} y L_{m31} . Por lo tanto, se puede resolver el sistema de ecuaciones anterior según las inducciones de filtro efectivas $L_{m1}=LF_1$, $L_{m2}=LF_2$ y $L_{m3}=LF_3$ y calcular los valores actuales:

$$L_{m1} = \frac{1}{2} (L_{m12} - L_{m23} + L_{m31})$$

$$L_{m2} = \frac{1}{2} (L_{m12} + L_{m23} - L_{m31})$$

$$L_{m3} = \frac{1}{2} (-L_{m12} + L_{m23} + L_{m31})$$

20

El pulso de tensión 10 a modo de ejemplo en la fig. 9 se genera mediante la disposición de conmutación 2 de un inversor 1 en el momento $t = 1\text{ ms}$ con $u_1 = 600\text{V}$. En el estado de reposo anterior (por ejemplo, antes de un funcionamiento normal), en este ejemplo, el o los condensadores de filtro afectados por el pulso de tensión 10 están descargados ($u_2 = 0\text{V}$) y no fluye corriente a través de la(s) inductancia(s) de filtro afectada(s) ($i = 0\text{A}$). El desarrollo de corriente 11 muestra el flujo de corriente a través de la inductancia de filtro efectiva L_m . En el caso de la corriente máxima, la tensión medida a través de la capacidad de filtro efectiva C_m es mínima o nula según el desarrollo de tensión 12 y toda la energía del circuito resonante 8 se almacena en el campo magnético de la inductancia de filtro efectiva C_m . El circuito resonante 8 se configura inmediatamente después del pulso. Justo antes de $t = 1,2\text{ ms}$, el flujo de corriente 11 es mínimo o nulo debido a la inductancia de filtro efectiva L_m y toda la energía del circuito resonante 8 se almacena en la capacidad de filtro efectiva C_m , donde el desarrollo de tensión 12 presenta la tensión máxima. La ecuación 1 se basa en este contexto.

Por lo tanto, sobre la base de los sistemas de ecuaciones se pueden determinar así los valores actuales para la capacidad de filtro efectiva C_m y los valores actuales para la inductancia de filtro efectiva L_m .

Sin embargo, en el caso de inversores 1 con tres o más conductores de fase P_1 , P_2 , P_3 y sin estado cero definido, tal como, por ejemplo, una topología como en la fig. 6, pueden surgir ciertas dificultades en la determinación de las capacidades de filtro efectivas C_m y las inductancias de filtro efectivas L_m de las fases individuales. En el caso de test representado en la fig. 6, la tensión de oscilación se divide en las capacidades de filtro CF_2 , CF_3 . En el caso ideal, ambas capacidades de filtro CF_2 , CF_3 son del mismo tamaño, por lo que en el punto de estrella del condensador común se ajusta el potencial, que se ha aplicado por la disposición de conmutación 2 para el pulso de tensión (por ejemplo, DC+ o DC-). Pero, si las dos capacidades de filtro CF_2 y CF_3 no son del mismo tamaño, lo que es perfectamente posible en la realidad, esto ya no se aplica. En este caso, el potencial del punto de estrella del condensador oscila. Esta oscilación del potencial del punto de estrella del condensador también hace oscilar el potencial en la salida del conductor W_1 a través de la inductancia del filtro LF_1 , porque W_1 se debe considerar abierto para este caso de test. Esta oscilación no deseada de la salida del conductor W_1 puede conducir a que se sobrepase el potencial de la tensión

de circuito intermedio positiva DC+ o a que se quede por debajo del potencial de la tensión de circuito intermedio negativa DC-. En ambos casos, uno de los diodos de marcha libre D de los interruptores de semiconductor T se convertiría en conductor en la rama de conmutación de la salida de conductor W_1 , con lo que una corriente fluye en el circuito intermedio y distorsiona la medición de corriente y tensión, lo que conduce a una determinación inexacta de las capacidades de filtro efectivas C_m y las inductancias de filtro efectivas L_m . Este efecto se designa como "clamping". Este efecto de clamping es independiente de si los condensadores de filtro CF_1 , CF_2 , CF_3 están dispuestos en un circuito en estrella o triangular y también puede ocurrir con inductancias de filtro LF_1 , LF_2 , LF_3 de diferentes tamaños. Es evidente que este clamping también puede ocurrir en otros circuitos resonantes formados 8" como se muestra en el caso de test de la fig. 6. Mediante una medición de corriente de la corriente a través de las inductancias de filtro LF (que se implementará de todos modos para el procedimiento según la invención) se puede reconocer un clamping de este tipo y, en caso necesario, se puede tener en cuenta para la regulación.

Para evitar un clamping de este tipo, se puede utilizar una topología con un conductor P_4 utilizado como realimentación del circuito de filtro 3 a la disposición de conmutación 2, que está conectado a un estado cero definido. Una topología de este tipo sería, por ejemplo, una topología como la representada en la fig. 7, donde el conductor P_4 está colocado en el centro de circuito intermedio MP, o como en la fig. 5, cuando el conductor P_4 está puesto igualmente en un centro de circuito intermedio MP. Por lo tanto, se puede evitar un potencial oscilante en el punto de estrella del condensador.

Otra posibilidad para impedir el clamping sería no dejar flotar libremente el potencial de la fase no utilizada para el caso de test respectivo (en el caso de test de la fig. 6 la fase P_1), sino ponerlo a través de la disposición de conmutación al potencial que se ha utilizado para el pulso de tensión (es decir, DC+ o DC-), con lo que se impide la oscilación del potencial en la correspondiente salida de conductor W. Sin embargo, debido a este circuito, la inductancia de filtro LF_1 y las capacidades de filtro CF_1 de la fase P_1 no utilizada para el caso de test están involucradas en el circuito resonante 8" del caso de test y, por lo tanto, se deben tener en cuenta en la determinación de las capacidades de filtro efectivas C_m e inductancias de filtro efectivas L_m . Las ecuaciones explicadas anteriormente serían un poco más complejas, pero en el modo de proceder básico para la determinación de las capacidades de filtro efectivas C_m y las inductancias de filtrado efectivas L_m no cambiaría esto nada.

El comportamiento de decrecimiento del circuito resonante no está representado en la fig. 9, sin embargo, partiendo de ello los parámetros para ello también se pueden determinar y también se pueden tener en cuenta en la regulación. Debido al comportamiento de decrecimiento, es importante determinar la amplitud de tensión y corriente U, I del desarrollo de tensión y corriente 11, 12 lo más cerca posible en el tiempo para la precisión de los parámetros de línea SP determinados, de modo que se puede suponer un balance de energía de acuerdo con la ecuación 1. El lapso de tiempo depende de la frecuencia de resonancia y el comportamiento de decrecimiento y es, por ejemplo, uno o unos pocos períodos de duración de la frecuencia de resonancia. El procedimiento representado en la fig. 9 también se puede transferir a todas las demás topologías previamente reveladas y también a otras topologías.

Para el fin de la regulación 16 de la conversión de energía o de la disposición de conmutación 2 del inversor 1 son suficientes parámetros de línea SP en forma de capacidades de filtro C_m efectivas y/o inductancias de filtro efectivas L_m de un circuito de filtro 3. No se requiere una determinación de los valores individuales de los componentes, pero puede resultar en ciertos casos. Para valores de capacidades de filtro efectivas C_m también se puede definir un rango de valores permitido, donde para valores fuera del rango de valores permitido se pueden definir mensajes de error o estados de error de un inversor 1.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la regulación de una disposición de conmutación (2) de un inversor (1) con una regulación (16), donde el inversor (1) presenta la disposición de conmutación (2), un circuito de filtro (3) y un relé de red (4) y la regulación (16) tiene en cuenta los parámetros de línea del circuito de filtro (3) del inversor (1), donde la disposición de conmutación (2) presenta al menos dos salidas de conductor (W_1, W_2, W_3, W_4) y cada salida de conductor (W_1, W_2, W_3, W_4) está conectada al circuito de filtro (3) con un conductor (P_1, P_2, P_3, P_4) y los conductores (P_1, P_2, P_3, P_4) del inversor (1) previstos para la conexión a una red eléctrica (7) se conectan al relé de red (4), donde el circuito de filtro (3) se forma por al menos una inductancia de filtro (LF) dispuesta en un conductor (P_1, P_2, P_3, P_4) y al menos una capacidad de filtro (CF) que conecta entre sí dos conductores (P_1, P_2, P_3, P_4), y para el circuito de filtro (3) se utiliza un circuito equivalente (15) de una inductancia de filtro efectiva (L_m), que resulta de la al menos una inductancia de filtro (LF) del circuito de filtro (3) y de la topología del circuito de filtro (3), y una capacidad de filtro efectiva (C_m), que resulta de la al menos una capacidad de filtro (CF) del circuito de filtro (3) y de la topología del circuito de filtro (3), donde la inductancia de filtro efectiva (L_m) y la capacidad de filtro efectiva (C_m) se utilizan como parámetros de línea y donde el procedimiento presenta las siguientes etapas, que se llevan a cabo con el relé de red abierto (4):
- aplicación de un pulso de tensión entre una primera salida de conductor (W_1, W_2, W_3, W_4) y una segunda salida de conductor (W_1, W_2, W_3, W_4),
 - conexión de esta primera salida de conductor (W_1, W_2, W_3, W_4) y de esta segunda salida de conductor (W_1, W_2, W_3, W_4) a través de la disposición de conmutación (2) para la producción de un circuito resonante cerrado (8, 8', 8''), que discurre partiendo desde la primera salida de conductor (W_1, W_2, W_3, W_4), el primer conductor (P_1, P_2, P_3, P_4) conectado a la primera salida de conductor (W_1, W_2, W_3, W_4) a través del circuito de filtro (3) y el segundo conductor (P_1, P_2, P_3, P_4) a la segunda salida de conductor (W_1, W_2, W_3, W_4) conectada al segundo conductor (P_1, P_2, P_3, P_4),
 - determinación de un desarrollo de corriente y/o tensión (11, 12) en el circuito resonante (8, 8', 8''),
 - evaluación del desarrollo de corriente y/o tensión (11, 12) para la determinación de al menos un valor actual de la inductancia de filtro efectiva (L_m) y la capacidad de filtro efectiva (C_m) del circuito de filtro (3) como parámetros de línea del circuito de filtro (3)
- y la disposición de conmutación (2) del inversor (1) se regula con el relé de red cerrado (4) teniendo en cuenta los valores actuales determinados de la inductancia de filtro efectiva (L_m) y la capacidad de filtro efectiva (C_m) del circuito de filtro (3).
2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** se repiten las etapas del procedimiento de aplicación de un pulso de tensión, de producción de un circuito resonante (8, 8', 8'') y de determinación y evaluación de un desarrollo de corriente y/o tensión (11, 12) en varios pares de conductores diferentes.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado porque** en un inversor (1) con un conductor (P_4) previsto para una realimentación desde la disposición de filtro (3) a la disposición de conmutación (2), uno de los otros conductores (P_1, P_2, P_3, P_4) del inversor (1) se utiliza como primer conductor (P_1, P_2, P_3, P_4) y como segundo conductor se utiliza el conductor (P_4) previsto para la realimentación desde la disposición de filtro (3) a la disposición de conmutación (2).
4. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado porque** en un inversor (1) sin un conductor (P_4) previsto para la realimentación desde la disposición de filtro (3) a la disposición de conmutación (2), uno de los conductores disponibles (P_1, P_2, P_3) del inversor (1) se utiliza como primer conductor (P_1, P_2, P_3) y como segundo conductor se utiliza otro de los conductores disponibles (P_1, P_2, P_3) del inversor (1).
5. Procedimiento según la reivindicación 4, **caracterizado porque** un conductor (P_1, P_2, P_3, P_4) del inversor (1) no utilizado para la determinación de la inductancia de filtro efectiva (L_m) y la capacidad de filtro efectiva (C_m) se pone a un potencial de circuito intermedio (DC+, DC-) a través de la disposición de conmutación (2).
6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado porque** a partir del desarrollo de corriente y tensión (11, 12) se determina una frecuencia de resonancia (f_{reso}) del circuito resonante (8, 8', 8''), donde se determina un valor de la inductancia de filtro efectiva (L_m) según la fórmula
- $$L_m = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{reso}} \cdot \frac{U}{I}$$
7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado porque** a partir del desarrollo de corriente y tensión (11, 12) se determina una frecuencia de resonancia (f_{reso}) del circuito resonante (8, 8', 8''), donde se determina un valor de la capacidad de filtro efectiva según la fórmula

$$C_m = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{reso}} \cdot \frac{I}{U}$$

8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado porque** se determina un comportamiento de decrecimiento del desarrollo de corriente y/o tensión (11, 12) en el circuito resonante (8, 8', 8'') y se tiene en cuenta el comportamiento de decrecimiento en la regulación.

9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado porque** la producción de un circuito resonante cerrado (8, 8', 8'') se realiza inmediatamente después del pulso de tensión.

10. Inversor que comprende una disposición de conmutación (2) con interruptores de semiconductor (T) y un control de sistema (6), en el que está implementada una regulación (16) con un regulador (R) con parámetros de regulación (RP) para la regulación de la conmutación de los interruptores de semiconductor (T), donde el inversor (1) comprende adicionalmente un circuito de filtro (3) y un relé de red (4) y la regulación (16) está configurada para tener en cuenta parámetros de línea del circuito de filtro (3) del inversor (1), donde en la disposición de conmutación (2) están previstas al menos dos salidas de conductor (W₁, W₂, W₃, W₄) y cada salida de conductor (W₁, W₂, W₃, W₄) está conectado al circuito de filtro (3) a través de un conductor (P₁, P₂, P₃, P₄) y los conductores (P₁, P₂, P₃, P₄) del inversor (1) previstos para la conexión a una red eléctrica (7) están conectados al relé de red (4), donde en el circuito de filtro (3) está prevista al menos una inductancia de filtro (LF) dispuesta en un conductor (P₁, P₂, P₃, P₄) y al menos una capacidad de filtro (CF), que conecta entre sí los dos conductores (P₁, P₂, P₃, P₄), **caracterizado porque** como parámetro de línea están previstos una inductancia de filtro efectiva (L_m), que resulta de la al menos una inductancia de filtro (LF) del circuito de filtro (3) y de la topología del circuito de filtro (3), y una capacidad de filtro efectiva (C_m), que resulta de la al menos una capacidad de filtro (CF) del circuito de filtro (3) y de la topología del circuito de filtro (3), de un circuito equivalente (15) del circuito de filtro (3), **porque** la disposición de conmutación (2) está configurada para aplicar, con el relé de red (4) abierto, un pulso de tensión entre una primera salida de conductor (W₁, W₂, W₃, W₄) y una segunda salida de conductor (W₁, W₂, W₃, W₄), **porque** la disposición de conmutación (2) está configurada para conectar, después de la aplicación del pulso de tensión, esta primera salida de conductor (W₁, W₂, W₃, W₄) y esta segunda salida de conductor (W₁, W₂, W₃, W₄) para la producción de un circuito resonante cerrado (8, 8', 8''), que discurre partiendo desde la primera salida de conductor (W₁, W₂, W₃, W₄), el primer conductor (P₁, P₂, P₃, P₄) conectado a ella a través de la circuito de filtro (3), el segundo conductor (P₁, P₂, P₃, P₄) a la segunda salida de conductor (W₁, W₂, W₃, W₄) conectada a él, **porque** el control de sistema (6) está configurado para determinar un valor actual de la inductancia de filtro efectiva (L_m) y de la capacidad de filtro efectiva (C_m) del circuito de filtro (3) a partir de una corriente eléctrica determinada en el circuito resonante (8, 8', 8'') y/o una tensión eléctrica determinada en el circuito resonante (8, 8', 8''), y **porque** el control de sistema (6) está configurado para regular el inversor (1) en el relé de red cerrado (4) con los valores actuales determinados de la inductancia de filtro efectiva (L) y la capacidad de filtro efectiva (C_m) del circuito de filtro (3).

11. Programa informático con código de programa para llevar a cabo todas las etapas del procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, cuando el programa informático se ejecuta en un control de sistema (6) de un inversor (1).

40

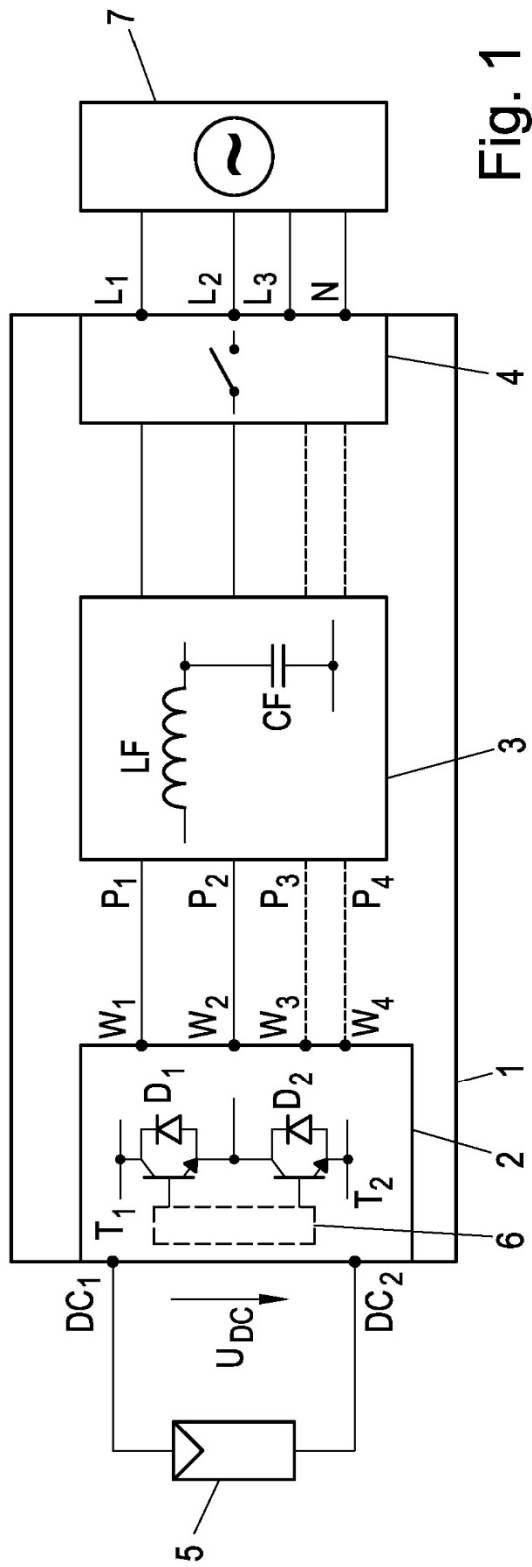


Fig. 1

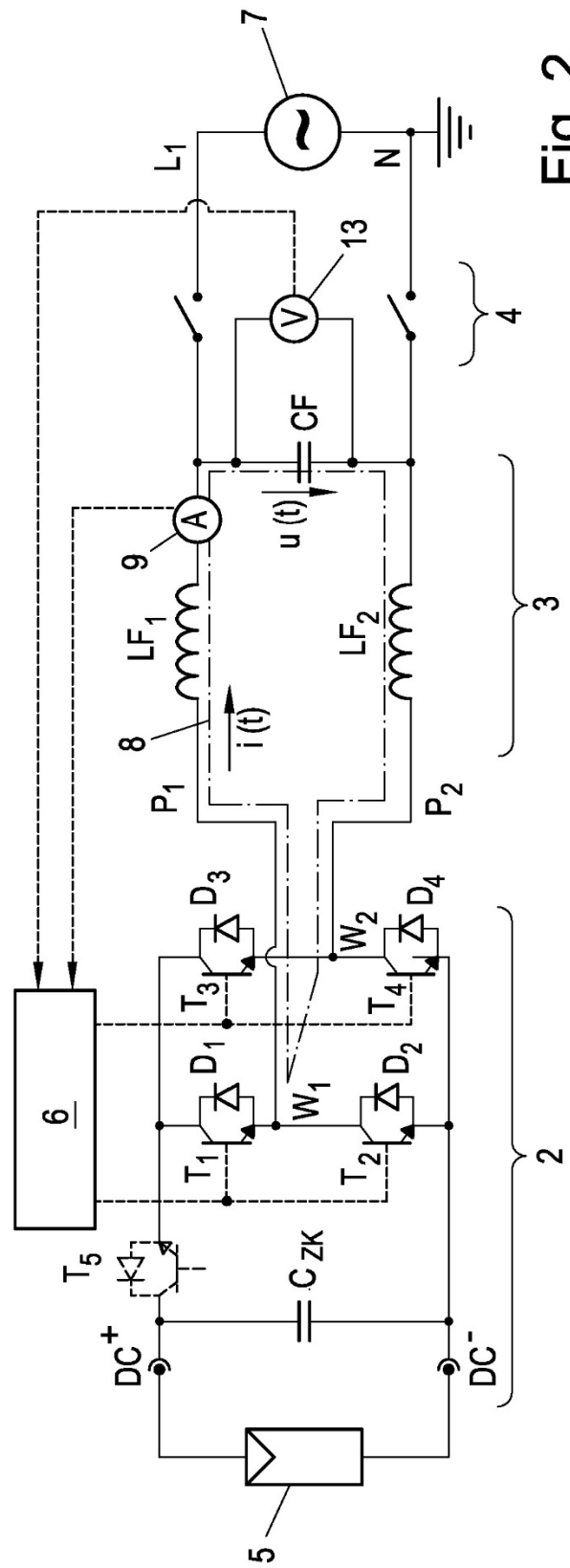


Fig. 2

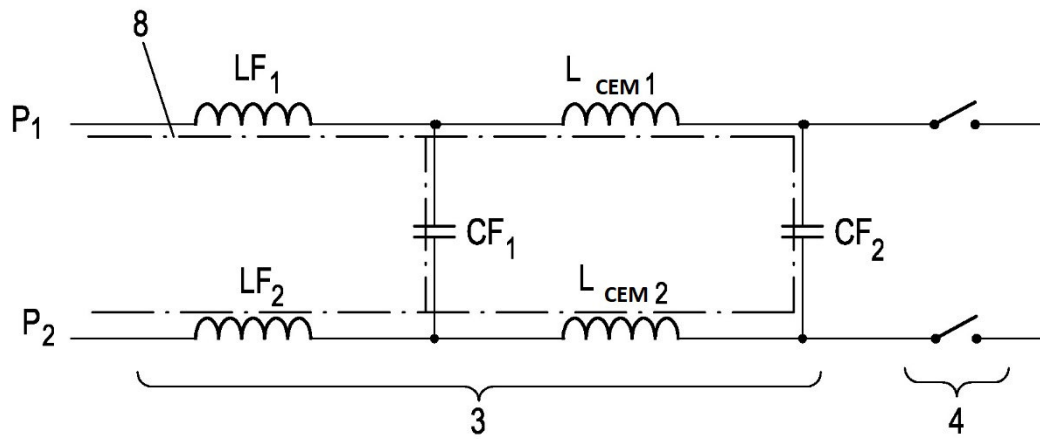


Fig. 3

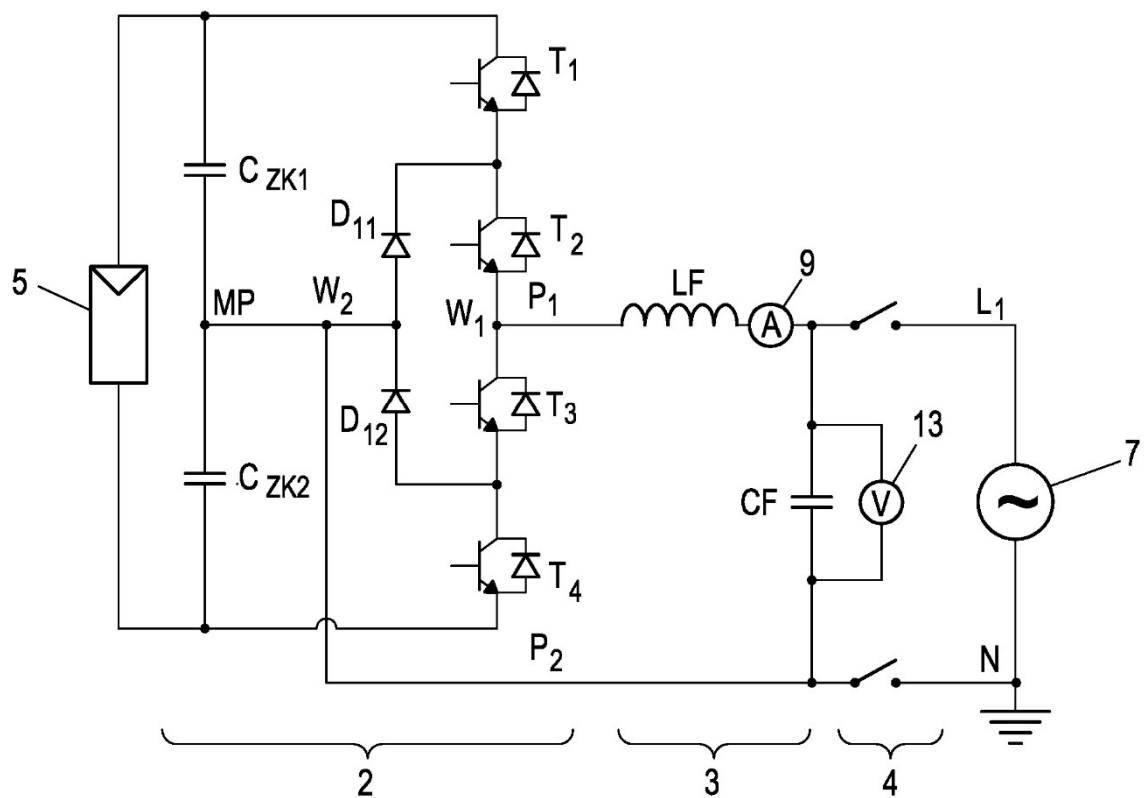
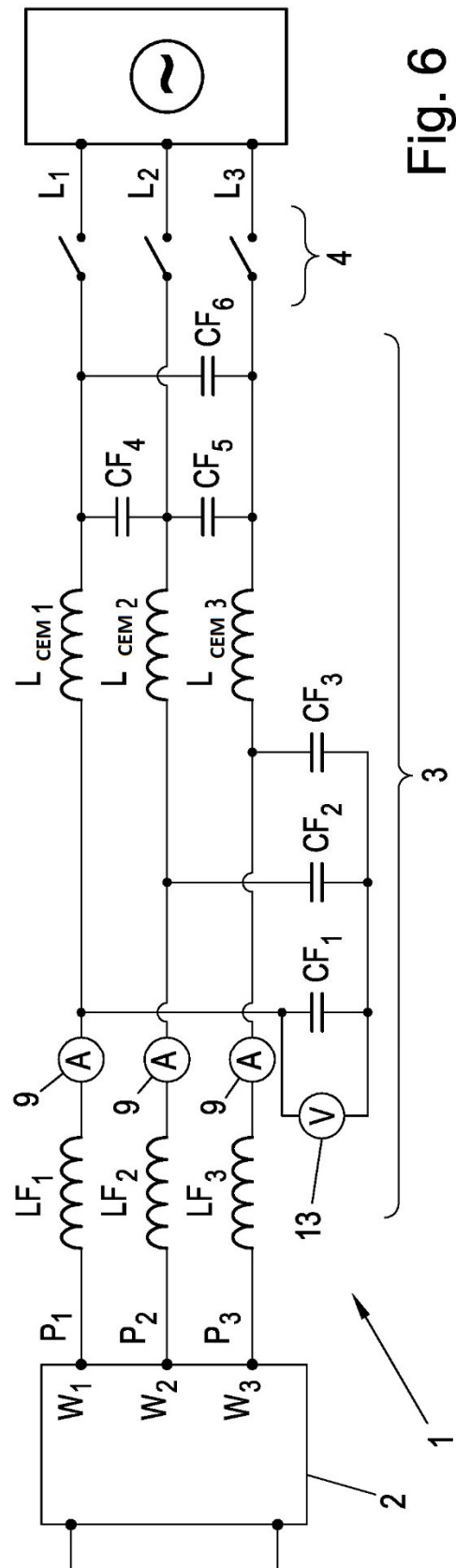
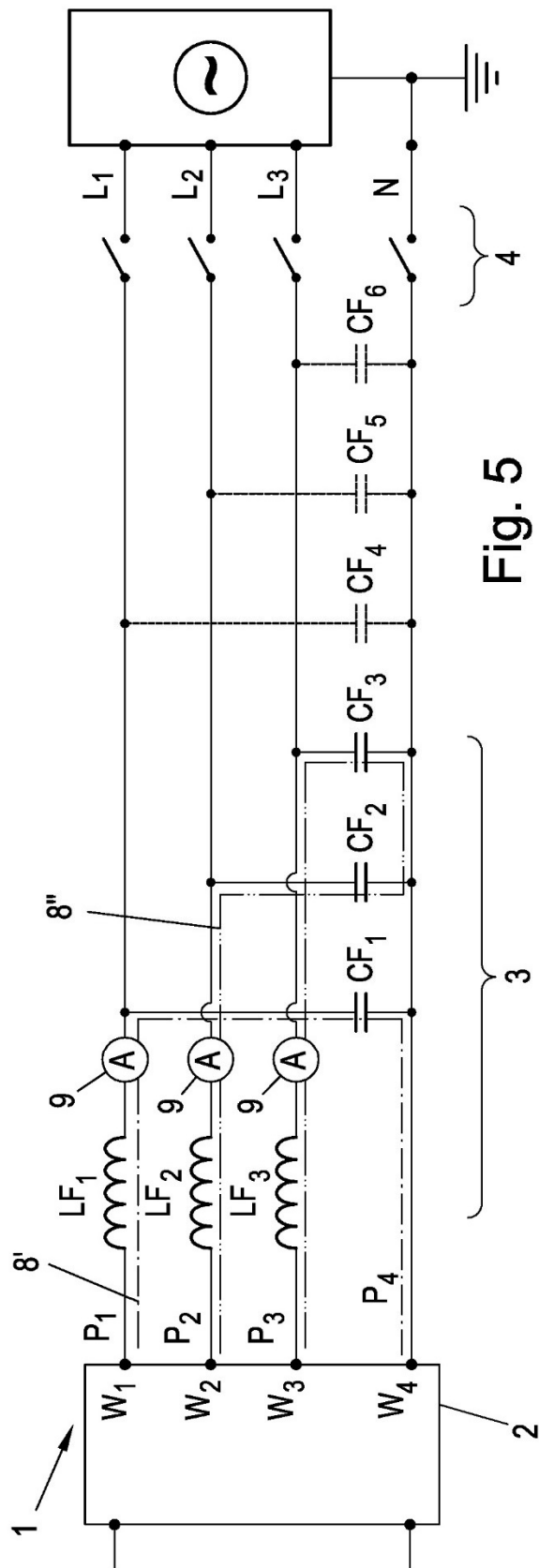


Fig. 4



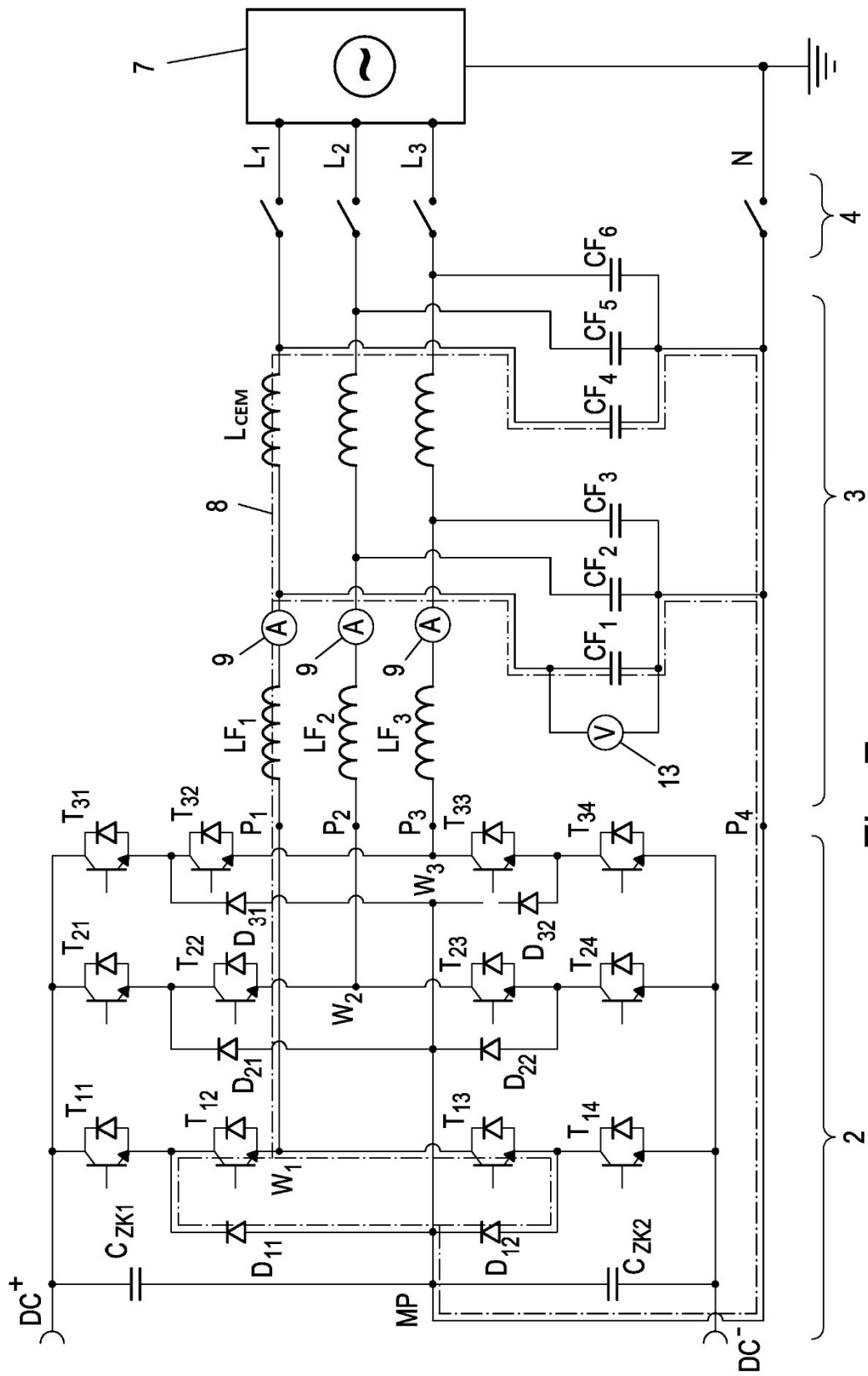


Fig. 7

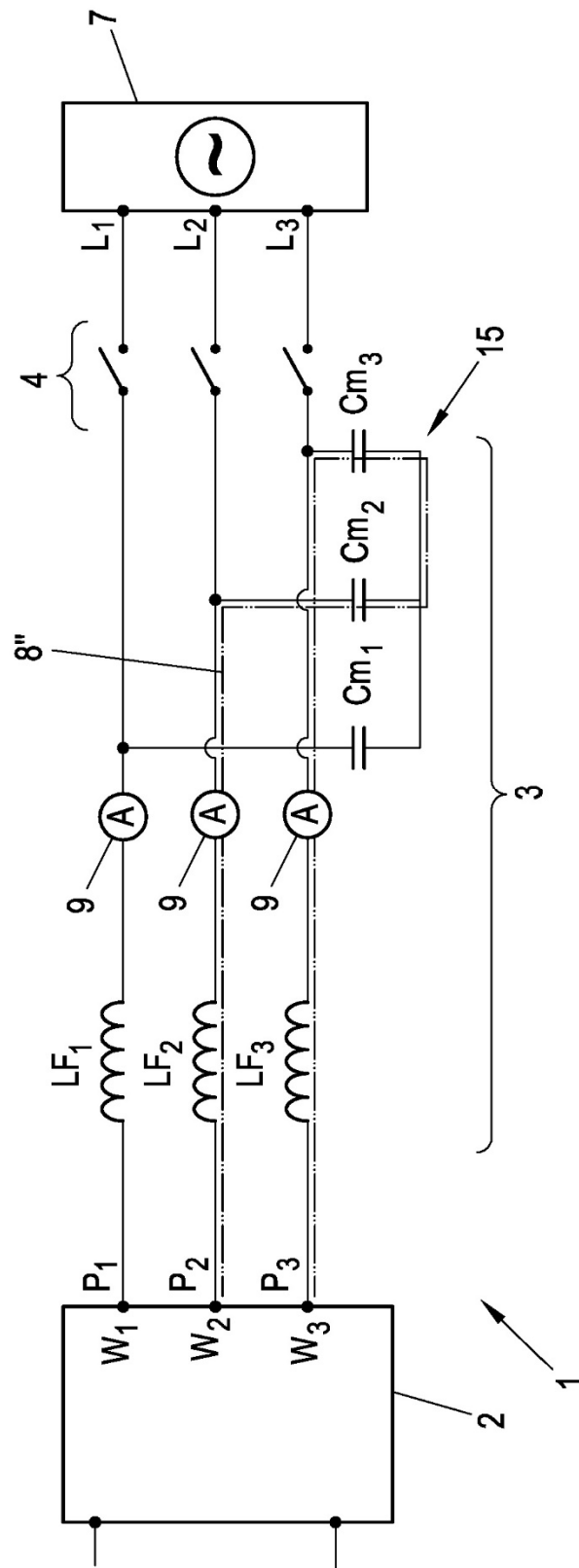


Fig. 8

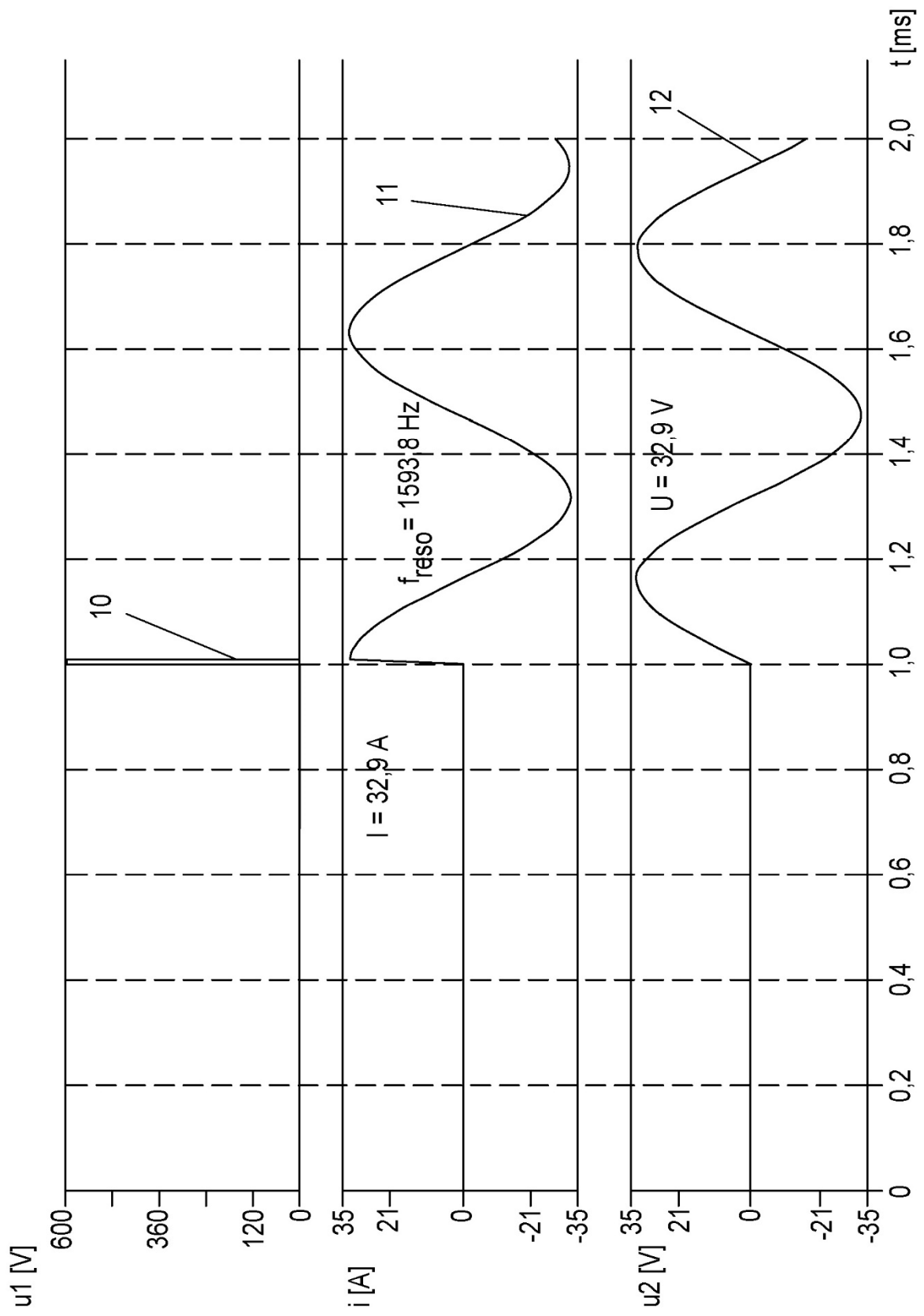


Fig. 9

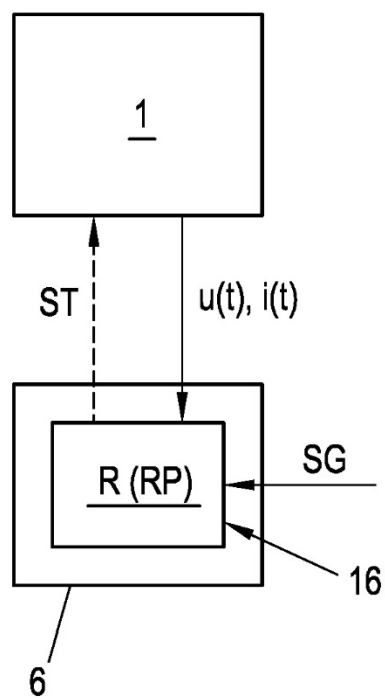


Fig. 10

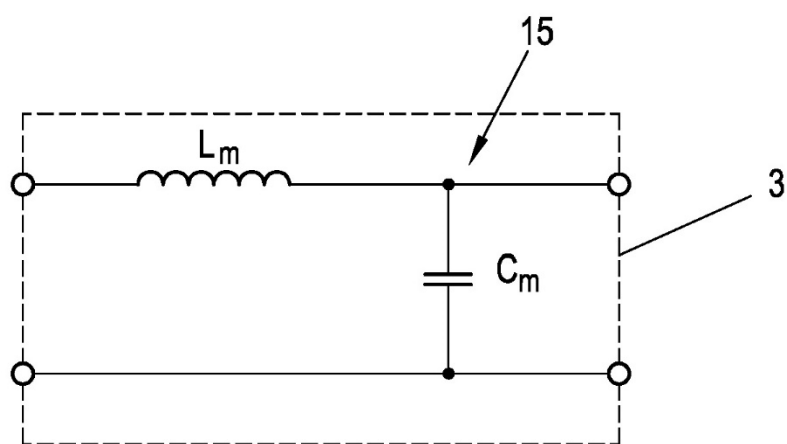


Fig. 11