

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 575 181**

51 Int. Cl.:

H02M 7/797 (2006.01)

H02M 7/483 (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.06.2013 E 13729671 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.04.2016 EP 2845303**

54 Título: **Convertidor y procedimiento operativo para transformar tensiones**

30 Prioridad:

28.06.2012 DE 102012211122

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

27.06.2016

73 Titular/es:

**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)
Wittelsbacherplatz 2
80333 München, DE**

72 Inventor/es:

BAKRAN, MARK-MATTHIAS

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 575 181 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

Convertidor y procedimiento operativo para transformar tensiones

5 La presente invención hace referencia a un convertidor que comprende un transformador de n-fases y un circuito del convertidor con n módulos MMC, donde la cantidad n asciende por lo menos a tres. Cada módulo MMC comprende al menos dos submódulos conectados en serie. Cada submódulo comprende un semipunto del submódulo y una capacidad del submódulo que se encuentra conectada de forma paralela al semipunto del submódulo. Cada rama del submódulo de cada semipunto del submódulo comprende un conmutador semiconductor. Los módulos MMC están conectados en serie y respectivamente se proporciona una toma eléctrica (18) entre módulos MMC conectados eléctricamente unos a otros de forma directa. El convertidor puede denominarse también como
10 "convertidor multipunto modular" o como MMC (convertidor multinivel modular, del inglés modular multilevel converter).

Además, la invención hace referencia a un procedimiento operativo para transformar una tensión continua en una tensión alterna al menos trifásica y a un procedimiento operativo para transformar una tensión alterna al menos trifásica en una tensión continua.

15 En la solicitud WO2011/141059A1 se describe una rama para una fase que comprende una cascada de celdas del convertidor de semipuntos, correspondiente al preámbulo de la reivindicación 1.

Un circuito del convertidor se conoce por la publicación de Rohner, S., "Untersuchung des Modularen Mehrpunktstromrichters M2C für Mittelspannungsanwendungen", Diss., TU Dresden, 2010, página 14, apartado 2.2. El circuito del convertidor conocido es complejo y costoso en cuanto a su fabricación. Debido a que para ello deben realizarse al menos seis módulos MMC, donde cada módulo MMC debe comprender una cantidad suficiente de submódulos para asegurar una tensión no disruptiva suficiente. Además, por cada módulo MMC se necesita una inductancia para suprimir corrientes alternas internas MMC entre los módulos MMC. En el caso de una red de suministro eléctrica en base a corriente continua o también en el caso de una conexión punto por punto de corriente continua con tensiones superiores a uno o a varios 100 kV, con frecuencia debe desacoplarse en un punto intermedio una potencia reducida (por ejemplo con respecto a un consumidor intermedio o a un equipo de la conexión de corriente continua). De manera alternativa o adicional puede ser necesario también acoplar una potencia reducida en un punto intermedio (por ejemplo desde una fuente de energía y/o desde un punto de recepción de energía de otra red de suministro que está situada en la vía de transmisión). Como "potencia reducida" se denomina aquí a una potencia que es marcadamente más reducida que una potencia de transmisión total de la
20 transmisión de corriente continua.
25
30

Es objeto de la presente invención reducir los campos de dispersión y las pérdidas óhmicas en el convertidor conocido por la solicitud WO 2011/141059.

De acuerdo con la invención, dicho objeto se alcanzará debido a que se proporciona un convertidor que comprende un transformador de n fases y un circuito del transformador con n módulos MMC, donde la cantidad n asciende por lo menos a tres. Cada módulo MMC comprende al menos dos submódulos conectados en serie. Cada submódulo comprende un semipunto del submódulo y una capacidad del submódulo que se encuentra conectada de forma paralela al semipunto del submódulo. Cada rama del submódulo de cada semipunto del submódulo comprende cada una un conmutador semiconductor, donde los módulos MMC están conectados en serie y respectivamente se proporciona una toma eléctrica entre módulos MMC conectados unos con otros eléctricamente de forma directa. El convertidor comprende condensadores de desacoplamiento para suministrar energía eléctrica al transformador y/o para extraer energía eléctrica desde el transformador. Cada bobinado de un primer lado del transformador, con cada uno de los condensadores de desacoplamiento, forma un circuito en serie, donde cada uno de los circuitos en serie se encuentra conectado de forma paralela con respecto a cada uno de los módulos MMC. Solamente una línea de alimentación eléctrica común hacia la toma se proporciona para dos circuitos en serie que están conectados
35 eléctricamente a la misma toma.
40
45

Con respecto al procedimiento operativo para transformar una tensión continua en una tensión alterna al menos trifásica, el objeto se alcanzará debido a que el procedimiento operativo comprende los siguientes pasos:

- aplicación de la tensión continua a un circuito en serie de módulos MMC, donde cada uno de los módulos MMC comprende al menos dos submódulos conectados en serie, donde cada submódulo comprende un semipunto del submódulo y una capacidad del submódulo que se encuentra conectada de forma paralela al semipunto del submódulo, donde cada rama del submódulo de cada semipunto del submódulo comprende cada una un conmutador semiconductor;
50

- activación desplazada con respecto a las fases de los módulos MMC para generar y proporcionar varias tensiones desplazadas con respecto a las fases en conexiones de los módulos MMC; y

- aplicación de las tensiones desplazadas con respecto a las fases en bobinados de un primer lado de un transformador polifásico mediante condensadores de desacoplamiento.

5 Cada bobinado de un primer lado del transformador, con cada uno de los condensadores de desacoplamiento, forma un circuito en serie, donde cada uno de los circuitos en serie se encuentra conectado de forma paralela con respecto a cada uno de los módulos MMC. Solamente una línea de alimentación eléctrica común hacia la toma se proporciona para dos circuitos en serie que están conectados eléctricamente a la misma toma.

Con respecto al procedimiento operativo para transformar una tensión alterna al menos trifásica en una tensión continua, el objeto se alcanzará debido a que el procedimiento operativo comprende los siguientes pasos:

- aplicación de la tensión alterna al menos trifásica en un segundo lado de un transformador;

10 - desacoplamiento de tensiones al menos trifásicas en bobinados de un primer lado del transformador polifásico mediante condensadores de desacoplamiento;

15 - activación desplazada con respecto a las fases de los módulos MMC para generar y proporcionar varias tensiones desplazadas con respecto a las fases en conexiones de los módulos MMC; donde cada uno de los módulos MMC comprende al menos dos submódulos conectados en serie, donde cada submódulo comprende un semipunto del submódulo y una capacidad del submódulo que se encuentra conectada de forma paralela al semipunto del submódulo, donde cada rama del submódulo de cada semipunto del submódulo comprende cada una un conmutador semiconductor.

20 Cada bobinado de un primer lado del transformador, con cada uno de los condensadores de desacoplamiento, forma un circuito en serie, donde cada uno de los circuitos en serie se encuentra conectado de forma paralela con respecto a cada uno de los módulos MMC. Solamente una línea de alimentación eléctrica común hacia la toma se proporciona para dos circuitos en serie que están conectados eléctricamente a la misma toma.

Los procedimientos operativos que se describen a continuación (sin pérdida de generalidad) pueden utilizarse con el circuito del convertidor acorde a la invención y con cualquier convertidor acorde a la invención.

25 En el caso de un funcionamiento simétrico de los módulos MMC, cada uno de los módulos MMC es controlado de manera que un valor medio aritmético (es decir, un componente de la tensión continua) de una caída de tensión en el módulo MMC, asciende a un n -ésimo de la tensión continua entre las líneas de tensión continua. Además, en el caso de un funcionamiento simétrico de los módulos MMC, la suma de los componentes de la tensión alterna de las tensiones parciales proporcionadas por los módulos MMC asciende a cero voltios en cualquier instante. De ello se deriva que, en el caso de un funcionamiento simétrico del circuito del inversor acorde a la invención, a través de los
30 módulos MMC en las líneas de tensión continua no se producen corrientes alternas. Puesto que no existen circuitos paralelos desde las ramas MMC, para el bloqueo de la corriente alterna (de las corrientes circulares) entre los módulos MMC, puede prescindirse de las inductancias habituales en los circuitos del convertidor conocidos. Se considera conveniente que una amplitud doble de los componentes de tensión alterna proporcionados por los módulos MMC individuales no sea mayor que un n -ésimo de la tensión continua entre las líneas de tensión continua.

35 Se considera ventajoso que solamente una conexión eléctrica común hacia la toma se proporcione para dos circuitos en serie que están conectados eléctricamente a la misma toma. Gracias a ello pueden compensarse por momentos al menos parcialmente corrientes de circuitos en serie contiguos en cuanto a la técnica de conexión, en una línea de alimentación común. Debido a ello se reducen los campos de dispersión y las pérdidas óhmicas. Para las líneas de alimentación comunes puede seleccionarse una sección transversal total más reducida.

40 Se considera preferente que el convertidor comprenda un controlador MMC para controlar los conmutadores semiconductores para proporcionar varias tensiones desplazadas en cuanto a las fases unas con respecto a otras, mediante el circuito del convertidor. De este modo puede verificarse una compatibilidad del controlador con respecto a los módulos MMC y una conexión de los módulos MMC en el controlador por parte del fabricante, reduciéndose el peligro de deficiencias en el funcionamiento.

45 También puede ser ventajoso que un cociente en base a un valor efectivo de una caída de tensión en uno de los circuitos en serie y de un valor efectivo de una caída de tensión en el condensador de desacoplamiento del circuito en serie sea mayor que 6 ó 10, de forma completamente preferente mayor que 20. Debido a esto se reduce al mínimo una influencia de la capacidad sobre el comportamiento de control.

50 Con respecto al procedimiento operativo se considera preferente que una suma de las caídas de tensión en los módulos MMC sea constante. Gracias a ello se evitan componentes de la tensión alterna y la producción de un componente alterno de un campo eléctrico entre líneas de conexión del lado de tensión continua.

Con respecto al procedimiento operativo se considera preferente que una corriente a través del circuito en serie de los módulos MMC sea constante. Gracias a ello se evitan o al menos se reducen componentes de la corriente alterna y la producción de un componente alterno de un campo magnético entre las líneas de conexión del lado de tensión continua.

- 5 Con respecto al procedimiento operativo, también puede considerarse conveniente que una suma de las caídas de tensión en los módulos MMC sea independiente de la carga. Gracias a ello puede proporcionarse una fuente de tensión alterna o continua que presenta una resistencia interna reducida en cuanto al respectivo consumidor conectado.

A continuación, la invención se explicará en detalle mediante los dibujos añadidos; donde dichos dibujos muestran:

- 10 Figura 1: de manera esquemática, una primera forma de ejecución de un convertidor que comprende un circuito del convertidor y un transformador trifásico;

Figura 2: de manera esquemática, un posible circuito base de un módulo MMC;

Figura 3: de manera esquemática, un posible circuito base de un submódulo MMC;

- 15 Figura 4: de manera esquemática (para la primera y la segunda forma de ejecución) perfiles de tensiones de los módulos MMC y de la tensión total durante un funcionamiento del convertidor;

Figura 5: de manera esquemática, una forma de ejecución acorde a la invención de un convertidor que comprende un circuito del convertidor y un transformador trifásico;

Figura 6: de manera esquemática, un diagrama de flujo para una forma de ejecución de un procedimiento operativo acorde a la invención para transformar una tensión continua en una tensión alterna al menos trifásica;

- 20 Figura 7: de manera esquemática, un diagrama de flujo para una forma de ejecución de un procedimiento operativo acorde a la invención para transformar una tensión alterna al menos trifásica en una tensión continua.

En los ejemplos de ejecución que se describen a continuación en detalle, la forma de ejecución según la figura 5 representa la presente invención.

- 25 Los convertidores en base de módulos MMC (MMC = modular multilevel converter) son adecuados para transformar una tensión continua U_{DC} en una tensión alterna polifásica U_{22} , U_{22}' , U_{22}'' y para transformar una tensión alterna polifásica U_{22} , U_{22}' , U_{22}'' en una tensión continua U_{DC} . La figura 1 muestra una primera forma de ejecución de un convertidor 10. El convertidor 10 comprende un circuito del convertidor 12, un controlador MMC 14, condensadores de desacoplamiento 16, así como tres transformadores individuales 20u, 20v, 20w o un transformador trifásico 20. En el caso de un convertidor 10 con un múltiplo de tres fases (por ejemplo un sistema de doce fases) puede utilizarse un múltiplo correspondiente de transformadores trifásicos. El circuito del convertidor 12 comprende tres módulos MMC 30 conectados en serie.
- 30

- Los convertidores 10 pueden estar configurados colocados espalda contra espalda del lado de tensión continua y pueden ser operados para ser utilizados por ejemplo como convertidores de tensión y/o para cumplir con una o con varias de las siguientes funciones: convertidor de frecuencia, modificador de la cantidad de fases, compensador de potencia aparente, modificador de la resistencia interna, interruptor de descarga, separación de potencial.
- 35

Los convertidores 10 pueden estar configurados colocados espalda contra espalda del lado de tensión alterna y pueden ser operados para ser utilizados por ejemplo como convertidores de tensión continua (convertidores CC/CC) y/o para cumplir con una o con varias de las siguientes funciones: modificador de la resistencia interna, interruptor de descarga, separación de potencial.

- 40 Cada módulo MMC 30 (respectivamente con las conexiones a y b) comprende un circuito en serie en base a m submódulos MMC 40 (respectivamente con las conexiones c y d), cuyo circuito base se explicará en la descripción referida a la figura 3. La cantidad de submódulos MMC 40 asciende por lo menos a 2 y generalmente es varias veces mayor que 2.

- 45 El controlador MMC 14 produce señales de control g_{1i} , g_{2i} para activar los submódulos MMC 40 (contenidos en los módulos MMC 30). En el dibujo, el índice i con respecto a las señales de control g_{1i} , g_{2i} se utiliza para indicar que el controlador 14 se proporciona para producir un par propio de señales de control g_{1i} , g_{2i} para cada submódulo MMC 40, es decir, en total, m pares de señales de control g_{1i} , g_{2i} . El controlador 14, mediante las señales de control g_{1i} , g_{2i} , influencia una relación de las tensiones parciales u_1 , u_2 , u_3 en los módulos MMC 30 conectados en serie.

A cada módulo MMC 30 se encuentra conectado de forma paralela un circuito en serie 17 propio que respectivamente comprende uno de los condensadores de desacoplamiento 16 y respectivamente uno de los bobinados primarios 21 de los transformadores 20u, 20v, 20w.

5 Las formas de ejecución mostradas en las figuras 1 y 5, así como sus variantes, pueden utilizarse también en la dirección de transmisión de potencia inversa, es decir, para rectificar y/o para suministrar una potencia eléctrica hacia un sistema de tensión continua. Con el fin de una simplificación, en la siguiente descripción de las figuras la denominación "bobinado primario" se utiliza también para el caso en el cual el convertidor 10 se utiliza para rectificar (es decir, para generar corriente continua en base a corriente trifásica) en lugar de para ondular (es decir, para generar corriente trifásica en base a corriente continua). Lo mismo se aplica para la denominación "bobinado secundario".
10

En el ejemplo de ejecución de la figura 1, los bobinados secundarios 22 de los transformadores 20u, 20v, 20w, así como del transformador de corriente trifásica 20, se operan como un circuito en estrella. De manera alternativa, los bobinados secundarios 22 pueden operarse en forma de un circuito triangular.

15 El módulo MMC 30 mostrado en la figura 2 comprende un circuito en serie en base a m submódulos MMC 30, cuya estructura y modo de funcionamiento se explicará en detalle a continuación con referencia a la figura 3. La cantidad m asciende por lo menos a 2 y generalmente es varias veces mayor que 2. Cada submódulo MMC 30 posee un par de conexiones de control g_{1i} , g_{2i} , con las cuales puede influenciarse su estado de conmutación desde un controlador MMC 14. Para atenuar componentes de la corriente alterna por encima de la frecuencia de la red, a cada módulo MMC 30 puede estar conectada una inductancia L_{30} y/o con respecto a cada circuito del convertidor 12 puede estar conectada en serie una inductancia L_{12} (véase la figura 1).
20

El submódulo MMC 40 mostrado en la figura 3 comprende un circuito en serie 43 de dos IGBT (del inglés Insulated Gate Bipolar Transistor, transistor bipolar de puerta aislada). Una conexión del emisor 41e de un primer IGBT 41 está conectada eléctricamente a una conexión del colector 42c de un segundo IGBT 42. El circuito en serie 43 de los dos IGBT 41, 42 es puenteado por una capacidad del submódulo 44. Una primera conexión e1 de la capacidad del submódulo 44 está conectada eléctricamente al colector 41c del primer IGBT 41 y una segunda conexión 2e de la capacidad del submódulo 44 está conectada eléctricamente al emisor 42e del segundo IGBT 42. Entre el emisor 41e y el colector 41c del primer IGBT 41 está dispuesto un diodo libre 41d. Entre el emisor 42e y el colector 42c del segundo IGBT 42 se encuentra dispuesto igualmente un diodo libre 42d.
25

30 Si el segundo IGBT 42 no está conectado de forma conductora y en las conexiones c, d del submódulo MMC 40 se aplica una tensión U_{cd} mayor que en la capacidad del submódulo 44, entonces la capacidad del submódulo 44 es cargada mediante el primer diodo libre 41d. Si el primer IGBT 41 está conectado de forma conductora, mientras que el segundo IGBT 42 no está conectado de forma conductora, y en las conexiones c, d del submódulo MMC 44 se aplica una tensión U_{cd} menor que en la capacidad del submódulo 44, entonces la capacidad del submódulo 44 puede cargarse mediante el primer IGBT 41, emitiendo por tanto una energía eléctrica hacia las conexiones c, d del submódulo MMC 40. Si el primer IGBT 41 no está conectado de forma conductora, mientras que el segundo IGBT 42 está conectado de forma conductora, entonces las conexiones c, d del submódulo MMC 40 están cortocircuitadas y la capacidad del submódulo 44 mantiene su estado de carga. Mediante la activación conocida de varios submódulos MMC 40 que están conectados en serie puede regularse casi cualquier perfil de tensión para cada módulo MMC 30. De este modo, puede alcanzarse un comportamiento de funcionamiento de los módulos MMC idéntico a una fuente de tensión controlable que, sin embargo, en promedio no puede reducir ni absorber potencia.
35
40

La figura 4 muestra posibles perfiles de tensión a lo largo del tiempo t para los ejemplos de ejecución de las figuras 1 y 5 y para cada una de las tres tensiones parciales u_1 , u_2 , u_3 . Cada fase posee un componente continuo de 1 y un componente alterno con una amplitud de 1. Las tensiones parciales u_1 , u_2 , u_3 y el componente continuo consisten en magnitudes relativas que se refieren a un factor de escala de por ejemplo 1 MV. En el ejemplo mostrado, el período asciende aproximadamente a 6 ms y la frecuencia f asciende aproximadamente a 167 Hz. Tanto más elevada es la frecuencia f, tanto más espacio puede ahorrarse con respecto al diseño de los transformadores. En el caso de una conexión directa a una red de corriente trifásica, el convertidor puede operarse con la frecuencia de esa red.
45

En el máximo $u_1(t_{max1})$ de una primera fase $u_1(t)$ el componente alterno asciende por tanto a 1, mientras que el componente alterno de las otras dos fases desplazado más o menos en 120° u_2 , u_3 asciende en ese instante a -0,5. De ello resulta en ese instante t_{max1} una suma $\sum u_i(t_{max1})$ de las tensiones parciales $u_1(t_{max1}) + u_2(t_{max1}) + u_3(t_{max1})$ incluyendo los componentes de la tensión continua, $\sum u_i(t_{max1}) = 1+1 + 1-0,5 + 1-0,5 = 3$.
50

al como se comprueba a continuación, lo mencionado se aplica también para cualquier otro instante t. Para un sistema trifásico de corriente trifásica y $\omega t = 2\pi f$ es válido:

$$\begin{aligned}\Sigma u_i(t) &= 3 + u_1(t) + u_2(t) + u_3(t) \\ &= 3 + \cos(\omega t) + \cos(\omega t - 2\pi/3) + \cos(\omega t + 2\pi/3).\end{aligned}$$

En donde

$$\cos(\omega t + 2\pi/3) = \cos \omega t \cos 2\pi/3 - \sin \omega t \sin 2\pi/3$$

y

$$\cos(\omega t - 2\pi/3) = \cos \omega t \cos 2\pi/3 + \sin \omega t \sin 2\pi/3$$

resulta:

$$\cos(\omega t - 2\pi/3) + \cos(\omega t + 2\pi/3) = 2 \cos \omega t \cos 2\pi/3.$$

En donde

$$\cos 2\pi/3 = -1/2$$

10 en base a ello resulta

$$\cos(\omega t - 2\pi/3) + \cos(\omega t + 2\pi/3) = -2/2 \cos \omega t = -\cos \omega t.$$

De este modo asciende a

$$\begin{aligned}\Sigma u_i(t) &= 3 + u_1(t) + u_2(t) + u_3(t) = \\ &= 3 + \cos(\omega t) + \cos(\omega t - 2\pi/3) + \cos(\omega t + 2\pi/3) = 3.\end{aligned}$$

15 En el caso de un perfil desplazado en 120° de los componentes alternos sinusoidales de las tres tensiones parciales $u_1(t)$, $u_2(t)$, $u_3(t)$ los componentes alternos se suprimen por tanto de forma precisa. Lo mencionado se aplica generalmente para sistemas con n fases, cuyas diferencias de fases entre las fases continuas asciende a $2\pi/n$. En el funcionamiento ondulatorio, una tensión continua U_{DC} puede dividirse sin fugas en n tensiones parciales sinusoidales con una diferencia de fases equidistante $2\pi/n$.

20 Lo correspondiente se aplica también en el caso de una dirección de transmisión de potencia inversa, es decir en el funcionamiento de rectificador. En el caso de una alimentación de n fases desde un transformador polifásico 20 con tensiones parciales sinusoidales U_{21} que presentan una diferencia de fases equidistante de $2\pi/n$, en el circuito en serie 43 de los módulos MMC 30 se aplica en todo momento una tensión total $\Sigma u_i(t) = n$ que se compone de una suma de los componentes continuos de las n tensiones parciales.

25 Si una capacidad del condensador de desacoplamiento 16 se selecciona de un tamaño correspondiente, entonces puede lograrse que, en el caso de una carga nominal del transformador 20, un cociente en base a un valor efectivo de una caída de tensión U_{21} en uno de los circuitos en serie 17 y de un valor efectivo de una caída de tensión U_{16} en el condensador de desacoplamiento 16 del circuito en serie 17 sea mayor que 6 ó que 10, de forma completamente preferente mayor que 20.

30 De manera alternativa o adicional, la caída de tensión U_{16} para el funcionamiento ondulatorio puede equilibrarse en cuanto a su efecto al nivel de la tensión inicial U_{22} mediante una reducción de la cantidad de vueltas del bobinado primario 21 y/o mediante un aumento de la cantidad de vueltas del bobinado secundario 22. Para evitar un aumento de la tensión inicial U_{22} debido a una caída de tensión más reducida U_{16} durante el funcionamiento de carga parcial o de marcha en vacío, durante el funcionamiento de carga parcial o de marcha en vacío la amplitud de los componentes alternos de las tensiones parciales $u_1(t)$, $u_2(t)$, $u_3(t)$ puede adaptarse mediante el controlador 14, de manera que la tensión inicial U_{22} (generada por el convertidor) sea ampliamente independiente de la carga. Mediante cada una de las medidas antes mencionadas pueden reducirse los costes para el funcionamiento ondulatorio y puede reducirse la necesidad de espacio de construcción para el condensador de desacoplamiento 16.

5 Para un funcionamiento de rectificador, la caída de tensión U_{16} puede equilibrarse en cuanto a su efecto al nivel de la tensión inicial U_{DC} , de forma alternativa o adicional, mediante un aumento de la cantidad de vueltas del bobinado primario 21 y/o de la reducción de la cantidad de vueltas del bobinado secundario 22. Para evitar un aumento de la tensión inicial U_{DC} (generada a través del circuito del convertidor 12) debido a una caída de presión U_{16} más reducida durante el funcionamiento de carga parcial o de marcha en vacío, durante el funcionamiento de carga parcial o de marcha en vacío la amplitud de los componentes alternos de las tensiones parciales $u_1(t)$, $u_2(t)$, $u_3(t)$ puede adaptarse mediante el controlador 14, de manera que la tensión inicial U_{DC} (generada por el circuito del convertidor 12) sea ampliamente independiente de la carga. A través de cada una de las dos medidas antes mencionadas pueden reducirse los costes para el funcionamiento del rectificador y puede reducirse la necesidad de espacio de construcción para el condensador de desacoplamiento 16.

15 La figura 5 muestra una forma de ejecución de un convertidor 10 acorde a la invención. Una diferencia con respecto a la primera forma de ejecución reside en el hecho de que respectivamente dos líneas de alimentación a", b' (así como a'', b'') hacia circuitos en serie 17, contiguos en cuanto a la técnica de conexión, están reunidos formando una línea de alimentación común. Gracias a ello pueden compensarse por momentos al menos parcialmente corrientes de circuitos en serie 17, contiguos en cuanto a la técnica de conexión, en una línea de alimentación común. Debido a ello se reducen los campos de dispersión y las pérdidas óhmicas. Para las líneas de alimentación comunes puede seleccionarse una sección transversal total más reducida.

20 Además, en el segundo ejemplo de ejecución, el lado secundario 22s del transformador 20 es operado en un circuito en forma de triángulo. El segundo ejemplo de ejecución puede modificarse de manera que el lado secundario 22s del transformador 20 sea operado en un circuito en forma de estrella.

25 La figura 6 muestra un diagrama de flujo del procedimiento operativo 100 acorde a la invención para transformar una tensión continua U_{DC} en una tensión alterna, al menos trifásica, U_{22} , U_{22}' , U_{22}'' . En un primer paso 110, una tensión continua U_{DC} se aplica en un circuito en serie 12 de módulos MMC 30. En un segundo paso 120, los módulos MMC 30, para generar y proporcionar varias tensiones, desplazadas en cuanto a las fases, $u_1(t)$, $u_2(t)$, $u_3(t)$ son activados, desplazados en cuanto a las fases, en conexiones a, b de los módulos MMC 30. En un tercer paso 130, tensiones U_{21} , desplazadas en cuanto a las fases, se aplican en bobinados 21 de un primer lado 21s de un transformador polifásico 20, mediante condensadores de desacoplamiento 16.

30 La figura 7 muestra un diagrama de flujo del procedimiento operativo 200 acorde a la invención para transformar una tensión alterna, al menos trifásica U_{22} , U_{22}' , U_{22}'' en una tensión continua U_{DC} . En un primer paso 210, una tensión alterna, al menos trifásica, U_{22} , U_{22}' , U_{22}'' se aplica a un segundo lado 22s de un transformador 20. En un segundo paso 220, tensiones al menos trifásicas U_{21} , U_{21}' , U_{21}'' se desacoplan en bobinados 21 de un primer lado 21s del transformador polifásico 20, mediante condensadores de desacoplamiento 16. En un tercer paso 230, módulos MMC 30 conectados en serie para generar y proporcionar varias tensiones, desplazadas en cuanto a las fases, $u_1(t)$, $u_2(t)$, $u_3(t)$ son activados en conexiones a, b, c de los módulos MMC 30, de forma desplazada en cuanto a las fases.

35 Tanto en el procedimiento operativo de la figura 6, como también en el procedimiento operativo de la figura 7, cada uno de los submódulos 40 presenta un semipunto 43 del submódulo y una capacidad 44 del submódulo que se encuentra conectada de forma paralela al semipunto 43 del submódulo, donde cada rama del submódulo 41z, 42z de cada semipunto 43 del submódulo presenta un conmutador semiconductor 41, 42.

REIVINDICACIONES

1. Convertidor (10), donde el convertidor (10) comprende un transformador de n-fases (20) y un circuito del convertidor (12) con n módulos MMC (30) y la cantidad n asciende por lo menos a tres, donde cada módulo MMC (30) comprende al menos dos submódulos (40) conectados en serie, donde cada submódulo (40) comprende un semipunto (43) del submódulo y una capacidad (44) del submódulo que se encuentra conectada de forma paralela al semipunto (43) del submódulo, donde cada rama del submódulo (41z, 42z) de cada semipunto (43) del submódulo comprende cada una un conmutador semiconductor (41, 42), donde los módulos MMC (30) están conectados en serie y respectivamente se proporciona una toma eléctrica (18) entre módulos MMC (30) conectados eléctricamente unos a otros de forma directa,
- 5
- 10 donde el convertidor (10) comprende condensadores de desacoplamiento (16) para suministrar energía eléctrica al transformador (20) y/o para extraer energía eléctrica desde el transformador (20), donde cada bobinado (21) de un primer lado (21s) del transformador (20), con cada uno de los condensadores de desacoplamiento (16), forma un circuito en serie (17), donde cada uno de los circuitos en serie (17) se encuentra conectado en forma paralela a uno de los módulos MMC (30),
- 15 caracterizado porque solamente una línea de alimentación eléctrica común hacia la toma (18) se proporciona para dos circuitos en serie (17) que están conectados eléctricamente a la misma toma (18).
2. Convertidor (10) según la reivindicación 1, caracterizado porque el convertidor (10) comprende un controlador MMC (14) para controlar los conmutadores semiconductores (21, 22) para proporcionar varias tensiones desplazadas en las fases unas con respecto a otras (u_1, u_2, u_3) mediante el circuito del convertidor (30) para los circuitos en serie (17).
- 20
3. Procedimiento operativo (100) para transformar una tensión continua (U_{DC}) en una tensión alterna al menos trifásica ($U_{22}, U_{22}', U_{22}''$), donde el procedimiento operativo (100) comprende los siguientes pasos (110, 120, 130):
- aplicación (110) de la tensión continua (U_{DC}) a un circuito en serie de módulos MMC (30), donde cada uno de los módulos MMC (30) comprende al menos dos submódulos (40) conectados en serie, donde cada submódulo (40) comprende un semipunto (43) del submódulo y una capacidad (44) del submódulo que se encuentra conectada de forma paralela al semipunto (43) del submódulo, donde cada rama del submódulo (41z, 42z) de cada semipunto (43) del submódulo comprende cada una un conmutador semiconductor (41, 42);
- 25
- activación desplazada con respecto a las fases (120) de los módulos MMC (30) para generar y proporcionar varias tensiones desplazadas con respecto a las fases (u_1, u_2, u_3) en conexiones (a, b) de los módulos MMC (30); y
- 30 - aplicación (130) de las tensiones desplazadas con respecto a las fases (u_1, u_2, u_3) en bobinados (21) de un primer lado (21s) de un transformador polifásico (20) mediante condensadores de desacoplamiento (16), donde cada bobinado (21) de un primer lado (21s) del transformador (20), con cada uno de los condensadores de desacoplamiento (16), forma un circuito en serie (17),
- 35 donde cada uno de los circuitos en serie (17) se encuentra conectado de forma paralela a cada uno de los módulos MMC (30), donde solamente una línea de alimentación eléctrica común hacia la toma (18) se proporciona para dos circuitos en serie (17) que están conectados eléctricamente a la misma toma (18).
4. Procedimiento operativo (200) para transformar una tensión alterna al menos trifásica ($U_{22}, U_{22}', U_{22}''$) en una tensión continua (U_{DC}), donde el procedimiento operativo (200) comprende los siguientes pasos (210, 220, 230):
- aplicación (210) de al menos una tensión alterna trifásica ($U_{21}, U_{22}', U_{22}''$) en un segundo lado (22s) de un transformador (20);
- 40
- desacoplamiento (220) de tensiones al menos trifásicas (u_1, u_2, u_3) en bobinados (21) de un primer lado (21s) del transformador polifásico (20) mediante condensadores de desacoplamiento (16), donde cada bobinado (21) de un primer lado (21s) del transformador (20), con cada uno de los condensadores de desacoplamiento (16), forma un circuito en serie (17), donde cada uno de los circuitos en serie (17) se encuentra conectado en forma paralela a uno de los módulos MMC (30), donde solamente una línea de alimentación eléctrica común hacia la toma (18) se proporciona para dos circuitos en serie (17) que están conectados eléctricamente a la misma toma (18);
- 45
- activación desplazada con respecto a las fases (230) de los módulos MMC (30) conectados en serie para generar y proporcionar varias tensiones desplazadas con respecto a las fases (u_1, u_2, u_3) en conexiones (a, b) de los módulos MMC (10), donde cada módulo MMC (30) comprende al menos dos submódulos (40) conectados en serie, donde cada submódulo (40) comprende un semipunto (43) del submódulo y una capacidad (44) del submódulo que se
- 50

encuentra conectada de forma paralela al semipunto (43) del submódulo, donde cada rama del submódulo (41z, 42z) de cada semipunto (43) del submódulo comprende cada una un conmutador semiconductor (21, 22).

5. Procedimiento operativo (100, 200) según la reivindicación 3 ó 4, caracterizado porque un cociente en base a un valor efectivo de una caída de tensión (U_{21}) en uno de los circuitos en serie (17) y de un valor efectivo de una caída de tensión (U_{16}) en el condensador de desacoplamiento (16) del circuito en serie (17) es mayor que 6 ó 10, de forma completamente preferente mayor que 20.
6. Procedimiento operativo (100, 200) según una de las reivindicaciones 3 a 5, caracterizado porque una suma (Σu_i) de las caídas de tensión (U_{ab}) en los módulos MMC (30) es constante.
10. 7. Procedimiento operativo (100, 200) según una de las reivindicaciones 3 a 6, caracterizado porque una corriente (I_{12}) es constante a través del circuito en serie (12) de los módulos MMC (30).
8. Procedimiento operativo (100, 200) según una de las reivindicaciones 3 a 7, caracterizado porque una suma (Σu_i) de las caídas de tensión (U_{ab}) en los módulos MMC (30) es independiente de la carga.

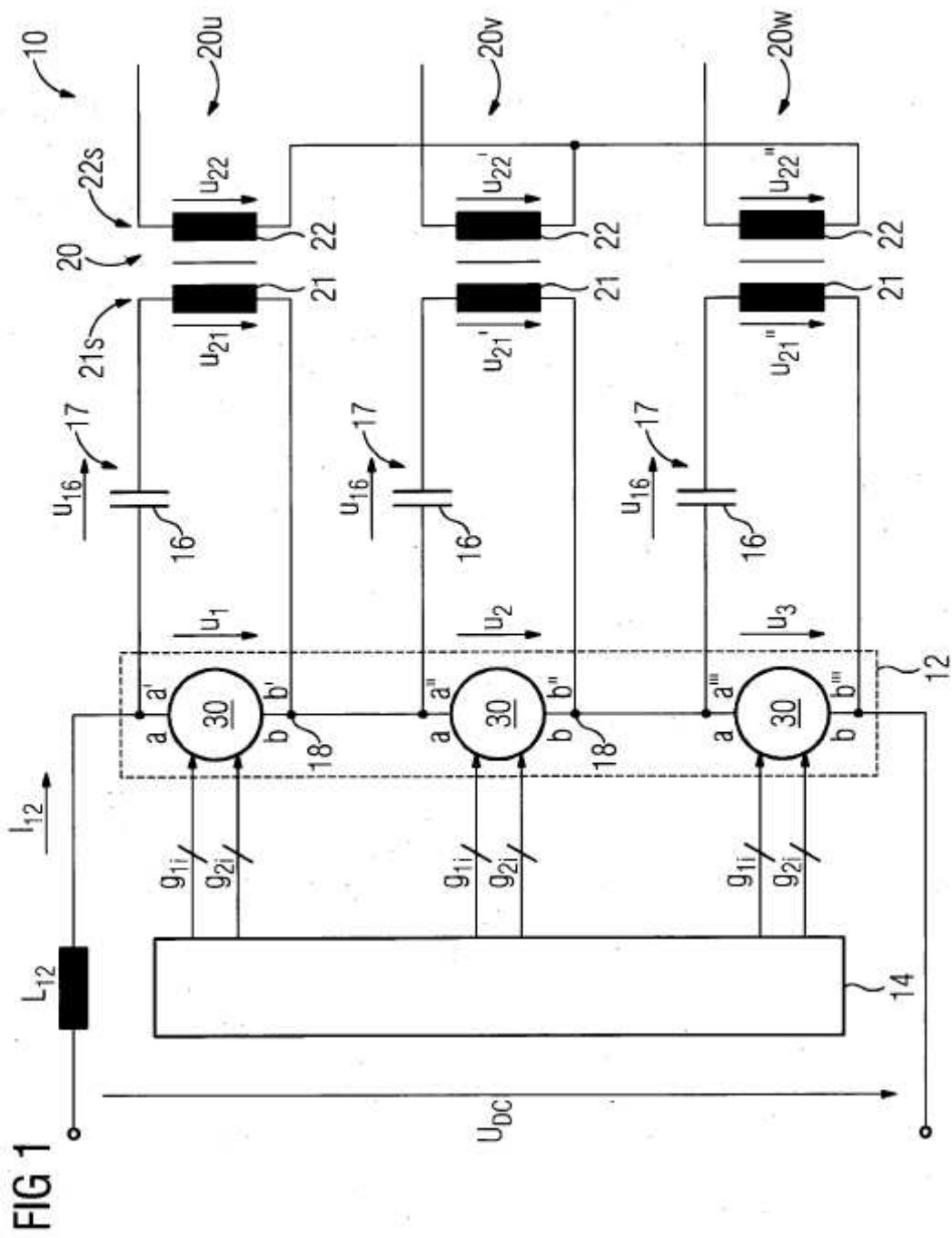


FIG 2

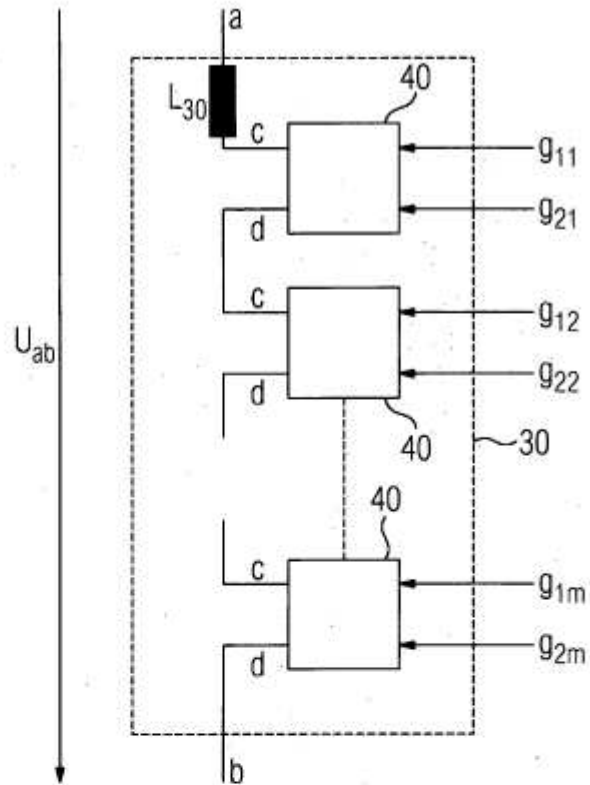
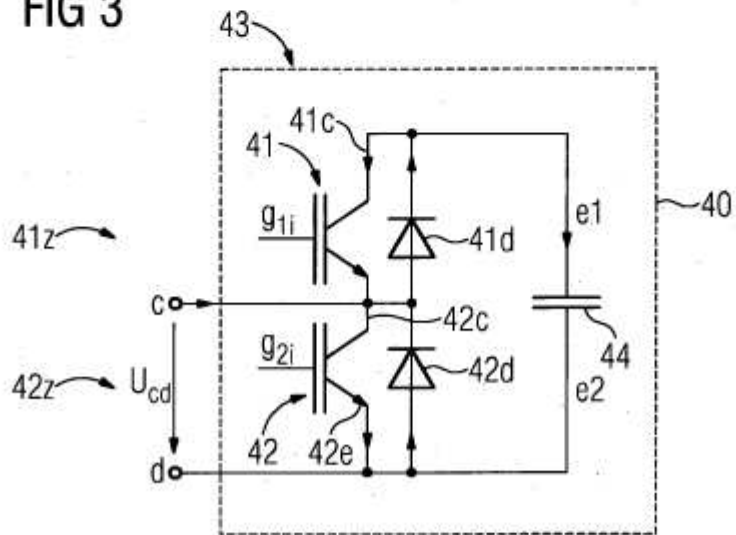


FIG 3



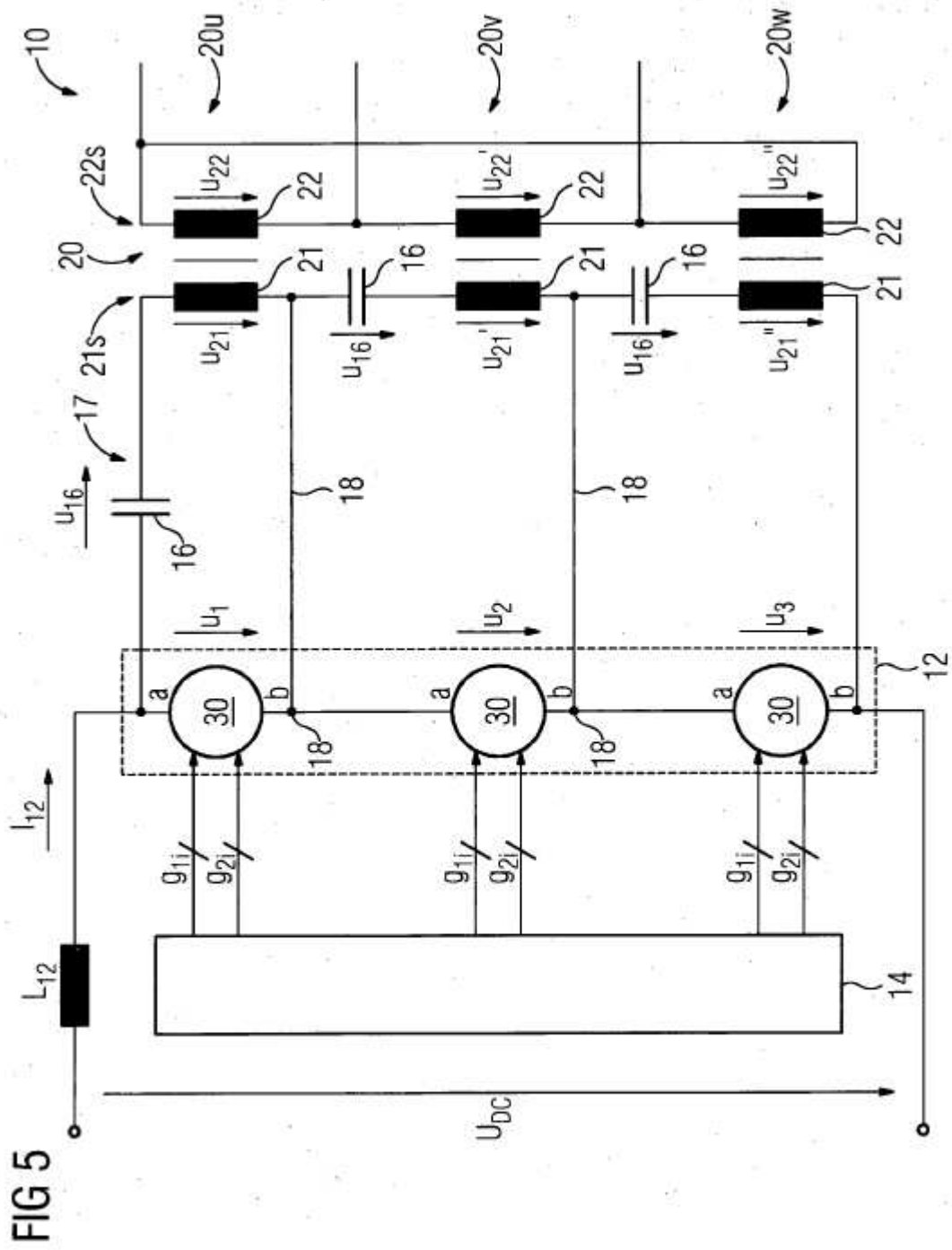


FIG 4

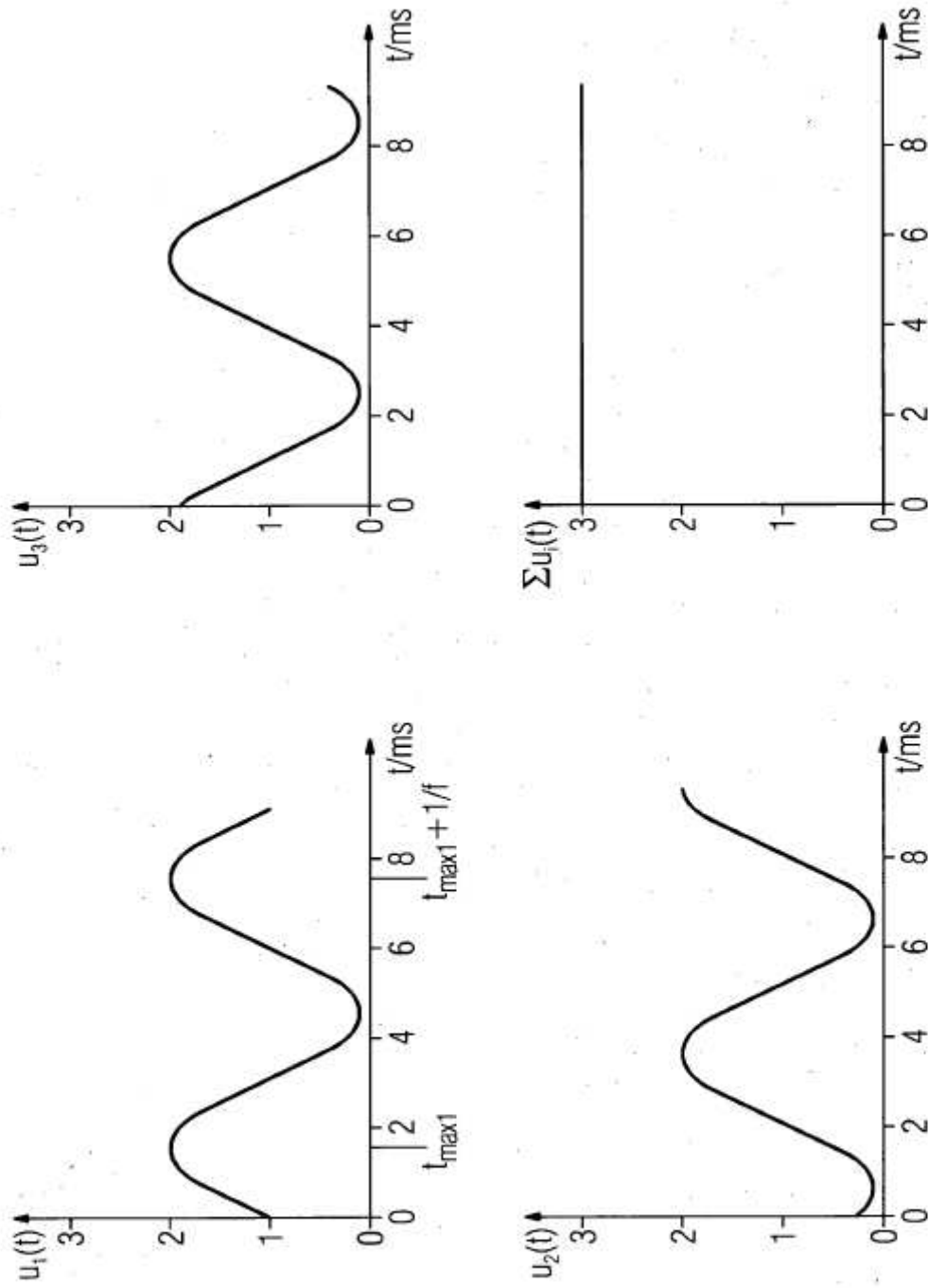


FIG 6

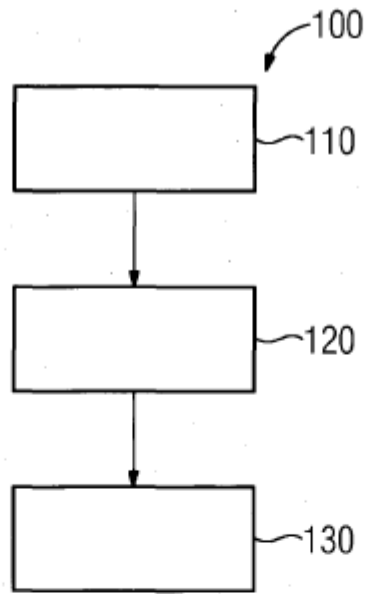


FIG 7

