

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 735 723**

51 Int. Cl.:

H02M 7/483 (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.04.2015** **E 15163313 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.05.2019** **EP 2945272**

54 Título: **Convertidor de potencia multinivel**

30 Prioridad:

13.05.2014 FR 1454238

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

20.12.2019

73 Titular/es:

**SCHNEIDER TOSHIBA INVERTER EUROPE SAS
(100.0%)
33, rue André Blanchet
27120 Pacy sur Eure, FR**

72 Inventor/es:

LAVIEVILLE, JEAN-PAUL

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 735 723 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 de potencia multinivel

Campo técnico

5 La presente invención se refiere a los convertidores de potencia multinivel más particularmente destinados a funcionar en el campo de la media tensión.

Estado de la técnica anterior

10 Los convertidores de potencia de media tensión conocidos utilizan en general interruptores de semiconductores en serie para permitir una elevación de la tensión. La dificultad principal de la puesta en serie de estos interruptores de semiconductores es obtener unas tensiones idénticas en los bornes de todos estos interruptores de semiconductores en cada instante. Si aparecen unas sobrecargas transitorias o permanentes, puede producirse la destrucción de los interruptores de semiconductores.

Se han desarrollado técnicas basadas en el entrelazado de las órdenes de los interruptores asociados a la utilización de transformadores, permitiendo gestionar el reparto de las tensiones y reconstituir las formas de onda. Pero los transformadores tienen un coste no despreciable e impiden la realización de convertidores compactos.

15 Otra solución surge, se trata de células de tipo NPC (por neutral point clamped o fijación por neutro) con dos pares de interruptores de semiconductores en serie, dos diodos en serie conectados por un lado al punto común entre los dos interruptores del primer par y por otro al punto común entre los dos interruptores del segundo par. Se encuentra además, una serie de dos condensadores conectados a los bornes del conjunto formado por los pares de interruptores de semiconductores. El punto común entre los dos diodos en serie se conecta al punto común entre los
20 dos condensadores de la serie.

Este tipo de célula conduce a una forma de onda satisfactoria y a una reducción de las restricciones de tensión sobre los interruptores de semiconductores. Por el contrario, pueden producirse desequilibrios de la tensión en los bornes de los condensadores.

25 Se presentan mejoras de la topología original NPC, sustituyendo los dos diodos por un par de interruptores de semiconductores. Esta topología se denomina ANPC de 3 niveles de tensión.

Para aumentar aún más el nivel de tensión aceptable, se ha propuesto poner más interruptores en serie y añadir condensadores, lo que conduce a la topología denominada ANPC de 5 niveles de tensión. Las células de tipo ANPC de 5 niveles de tensión están actualmente limitadas a unos niveles de tensión del orden de 6,9 kV, lo que no es claramente suficiente.

30 Se conocen también unos convertidores multinivel moduladores (MMC por modular multilevel converter) en los que cada brazo a montar en los bornes de una fuente de tensión de continua incluye dos conjuntos en serie, teniendo un borne común a unir a una fuente de corriente alterna. Cada conjunto incluye varios módulos, formado cada uno por al menos dos interruptores elementales en serie y un condensador conectado en paralelo con ellos. Se realiza una conexión entre el punto común para los dos interruptores elementales de un módulo y un extremo de la serie de interruptores elementales del módulo vecino. En función del estado conductor o bloqueado de los interruptores elementales del módulo, el condensador está en cortocircuito o en el circuito. Los condensadores tienen el mismo valor y una tensión soportada idéntica igual a la relación entre la tensión continua aplicada a un brazo dividida por el número de módulos del brazo. El valor de los condensadores depende de la frecuencia de la señal de salida del lado de alterna en el caso de un funcionamiento como ondulator o de la señal de entrada en el caso de un
35 funcionamiento como rectificador. Su tensión soportada está limitada a lo que permite limitar las sobretensiones generadas por sus inductancias parásitas. En el caso de un variador de velocidad, la frecuencia de alimentación del motor varía de cero al valor nominal, lo que hace que no sea posible evitar un condensador de valor razonable.

45 Se ha propuesto también realizar unas células de tipo de condensador flotante, conocidas igualmente bajo la denominación de células elementales imbricadas. Una célula así de tipo de condensador flotante permite unir una fuente de tensión a una fuente de corriente asociando un número cualquiera de células elementales en serie. Cada célula elemental incluye dos interruptores de semiconductor en serie y un condensador que conecta entre ellas dos células elementales vecinas a la manera de una escala. Esta solución presenta sin embargo inconvenientes vinculados a la presencia del condensador flotante entre dos células elementales. Cuanto más aumenta el número de células elementales, más aumenta el sobre coste vinculado a los condensadores y mayor es la cantidad de energía almacenada en estos condensadores. Los condensadores tienen el mismo valor, pero sus tensiones soportadas son diferentes, la tensión soportada aumenta con el rango de la célula elemental, vale kE/n siendo k el rango de la célula elemental, siendo n el número total de células elementales y E la tensión aplicada en la entrada de la célula elemental de rango uno. El valor de los condensadores está vinculado esencialmente a la frecuencia de corte. El tamaño de los condensadores es tanto mayor cuanto más elevada sea su tensión soportada. Esto es lo
50 mismo para la inductancia parásita que poseen. Estas inductancias parásitas están en el origen de sobretensiones de conmutación, las sobretensiones más elevadas aparecerán por tanto sobre las células elementales de rango
55

elevado.

En los artículos [1], [2] cuyas referencias se encuentran al final de la descripción, se ha propuesto una célula de tres interruptores de semiconductores en serie que permiten obtener 4 niveles de tensión incluyendo una célula de tipo condensador flotante. Sin embargo está actualmente limitada, con los interruptores de semiconductores existentes, a unos niveles de tensión del orden de 6,6 kV lo que no es suficiente en ciertas aplicaciones, no correspondiendo este nivel más que a una fracción del intervalo útil de la media tensión. El número de niveles de tensión actúa sobre la resistencia con el tiempo de los aislamientos del motor que estará alimentado por la célula. Cuanto más pequeño es el número de niveles de tensión, más reducida es la duración de vida útil de los aislantes. Están sometidos a unos escalones de tensión de gran amplitud.

5

10 **Exposición de la invención**

La presente invención tiene por objeto proponer un convertidor multinivel que pueda trabajar con unos niveles de tensión superiores a los de la técnica anterior, sin tener necesidad de recurrir a los transformadores, ni de multiplicar el número de interruptores de semiconductores puestos en serie.

15

Otro objetivo de la invención es proponer un convertidor multinivel que sea menos caro y más fiable que los convertidores multinivel de la técnica anterior, para un nivel de tensión dado.

También otro objeto de la invención es proponer un convertidor multinivel que utilice unos conjuntos de condensadores estándar de tensión soportada limitada.

Un objeto suplementario de la invención es proponer un convertidor multinivel que limite la aparición de inductancias parásitas y su influencia.

20

Para lograrlo la presente invención propone realizar un convertidor multinivel que incluye al menos un brazo formado por varias etapas de rango uno a n (n entero superior a uno) montadas en cascada, estando destinada la etapa de rango 1 a conectarse a una fuente de corriente y estando destinada la etapa de rango n a conectarse a una fuente de tensión. La etapa de rango uno incluye una única estructura de conmutación de cuatro niveles de tensión. Una etapa de rango i (i comprendido entre dos y n) incluye i estructuras de conmutación de cuatro niveles de tensión idénticas montadas en serie. Cada una de estas estructuras de conmutación incluye una célula de tipo de condensador flotante de tres niveles de tensión que comprende un cuarteto de interruptores elementales en serie que poseen un nodo medio, presentando dos células de base formadas cada una por un par de interruptores elementales en serie dos bornes extremos y un punto medio y un puente divisor capacitivo que tiene dos extremos que incluyen un triplete de dispositivos de almacenamiento de energía montados en serie entre los que los dos dispositivos de almacenamiento de energía están en posiciones extremas. Cada dispositivo de almacenamiento de energía en posición extrema se conecta a los bornes extremos de una célula de conmutación de base diferente, se conecta un punto medio de cada célula de conmutación de base a un extremo diferente del cuarteto de interruptores elementales. El nodo medio de cada célula de tipo de condensador flotante de la etapa de rango i se conecta a un extremo del puente divisor capacitivo de una estructura de conmutación de cuatro niveles de tensión de la etapa de rango i-1.

25

30

35

El convertidor así definido permite alcanzar un nivel de tensión del orden de 13,8 kV con interruptores de tensión soportada limitada (6,5 kV) disponibles actualmente, limitando el número de etapas a dos y por tanto utilizando solamente seis interruptores elementales en serie.

40

Para equilibrar en tensión las estructuras de conmutación de cuatro niveles de tensión, los dispositivos de almacenamiento de energía de un mismo puente divisor capacitivo tienen una misma capacidad de almacenamiento de energía y una misma tensión soportada.

Para respetar las reglas de conexión entre fuente de tensión y fuente de corriente, el nodo medio de al menos una célula de tipo de condensador flotante de la etapa de rango i se conecta a un extremo del puente divisor capacitivo de la etapa de rango i-1 a través de una inductancia.

45

Cuando varias inductancias conectan la etapa de rango i a la etapa de rango i-1, estas inductancias tienen un mismo valor.

Los dos pares de interruptores elementales de las dos células de conmutación de base de una misma etapa poseen una misma función de conmutación.

50

En funcionamiento, los interruptores elementales de un mismo par siempre están en estados complementarios salvo por el valor del tiempo muerto.

En el cuarteto de interruptores elementales de una célula de tipo de condensador flotante, dos están en posición extrema y dos están en posición media, los dos interruptores elementales en posición extrema están siempre en estados complementarios y los dos interruptores elementales en posición mediana están siempre en estados complementarios, siendo uno conductor y estando el otro bloqueado.

Los interruptores elementales incluyen cada uno un conmutador electrónico de potencia controlable asociado con un diodo conectado en anti-paralelo.

Los dispositivos de almacenamiento de energía se eligen entre un condensador, una batería, una pila de combustible.

- 5 La presente invención se refiere igualmente a un variador de velocidad que incluye una cascada con un convertidor así caracterizado funcionando como rectificador CA/CC y un convertidor así caracterizado funcionando como ondulator CC/CA, conectados entre sí por sus lados de continua por medio de una fuente de tensión.

Breve descripción de los dibujos

10 La presente invención se comprenderá mejor con la lectura de la descripción de ejemplos de realización dados a título puramente indicativo y en ningún caso limitativo haciendo referencia a los dibujos adjuntos en los que:

- la figura 1A ilustra, de manera muy esquemática, un brazo de convertidor multinivel objeto de la invención con n etapas montadas en cascada, la figura 1B es un convertidor multinivel monofásico que incluye dos brazos similares a los de la figura 1A;
- la figura 2 muestra unas estructuras de conmutación de 4 niveles de tensión del convertidor multinivel objeto de la invención;
- la figura 3A muestra un brazo de un convertidor objeto de la invención de dos etapas en un funcionamiento como ondulator y la figura 3B muestra un brazo de un convertidor objeto de la invención de dos etapas en un funcionamiento como rectificador;
- las figuras 4.1 a 4.13 ilustran unos cronogramas de la señal de consigna V_{ref} (Fig. 4.1), de las portadoras utilizadas con la tensión de consigna V_{ref} para el control de los interruptores elementales de la estructura de conmutación de 4 niveles de tensiones de la figura 2: K1, K1' (Fig. 4.2), K2, K2' (Fig. 4.3), K3u, K3'u, K3l, K3'l (Fig. 4.4), unas señales de control de los interruptores elementales de la estructura de conmutación de 4 niveles de tensión de la figura 2: K1 (Fig. 4.5), K1' (Fig. 4.6), K2 (Fig. 4.7), K2' (Fig. 4.8), K3u (Fig. 4.9), K3'u (Fig. 4.10), K3l (Fig. 4.11), K3'l (Fig. 4.12), de la tensión de salida V_s de la estructura de conmutación de 4 niveles de tensión (Fig. 4.13), en un funcionamiento de conversión CC/CA;
- las figuras 5.1 a 5.14 ilustran unos cronogramas de la señal de consigna V_{ref} (Fig. 5.1), de las portadoras utilizadas con la tensión de consigna V_{ref} para el control de los interruptores elementales del brazo del convertidor multinivel de la figura 3A: T1, T1' (Fig. 5.2), T2, T2' (Fig. 5.3), T3u, T3'u, T3l, T3'l (Fig. 5.4), T4u, T4'u, T4l, T4'l (Fig. 5.5), T5u, T5'u, T5l, T5'l (Fig. 5.6), T6u, T6'u, T6l, T6'l, T7u, T7'u, T7l, T7'l (Fig. 5.7), unas funciones de conmutación utilizadas para el control de los interruptores elementales del brazo del convertidor multinivel de la figura 3A: F10 (Fig. 5.8), F20 (Fig. 5.9), F30 (Fig. 5.10), F40 (Fig. 5.11), F50 (Fig. 5.12), F60 (Fig. 5.13), de la tensión de salida V_s del brazo del convertidor multinivel de la figura 3A (Fig. 5.14) en un funcionamiento de conversión CC/CA;
- la figura 6 ilustra un ejemplo de variador de velocidad que asocia dos convertidores multinivel objeto de la invención, funcionando uno como rectificador y el otro como ondulator.

Exposición detallada de modos de realización particulares

40 Se hace referencia a la figura 1A que muestra un esquema eléctrico de un brazo B de un convertidor multinivel objeto de la invención, en una estructura general. Permite trabajar con unas tensiones en el campo de la media tensión hasta aproximadamente 13,8 kV mientras que la tensión soportada de los interruptores de semiconductores existentes actualmente está limitada a 6,5 kV.

Se va a describir en un primer momento en un ejemplo de un brazo de convertidor CC/CA.

45 El convertidor multinivel objeto de la invención, como el que se ilustra en la figura 1B, incluye uno o varios brazos B similares al representado en la figura 1A. Están destinados a ramificarse cada uno de entre dos mismas fuentes de alimentación eléctrica, entre ellas una fuente de tensión VCC y una fuente de corriente I. Dos brazos se utilizan en un convertidor monofásico. Se utilizarían tres brazos en un convertidor trifásico.

50 El brazo B de la figura 1A está destinado a conectarse entre la fuente de tensión VCC y la fuente de corriente I. El convertidor puede funcionar entonces como convertidor CC/CA (ondulator) o bien como convertidor CA/CC (rectificador). En el caso de un convertidor CC/CA, la fuente de corriente es alterna y puede ser por ejemplo un motor eléctrico, por ejemplo, y la fuente de tensión es continua y puede ser por ejemplo un bus de corriente continua ramificado a la salida de un rectificador.

En el caso de un convertidor CA/CC, la fuente de corriente es alterna y puede ser, por ejemplo, la red de alimentación y la fuente de tensión es continua y puede ser, por ejemplo, un condensador o una batería.

55 El brazo B del convertidor incluye n etapas Et1, Et2,...Eti, ...Etn conectadas en conjunto en cascada. n es un número entero superior o igual a dos. La primera etapa Et1 o etapa de salida, en la aplicación de ondulator, está destinada a ser ramificada a la fuente de corriente I. Se representa formada por una resistencia R y una inductancia L en serie en la figura 3A.

La etapa de rango n Etn o etapa de entrada, en la aplicación de ondulator, está destinada a ser ramificada a la fuente de tensión VCC.

5 En una configuración de convertidor CA/CC, la primera etapa Et1 o etapa de entrada se ramificaría a una fuente de corriente y la etapa de rango n Etn o etapa de entrada se ramificaría a una fuente de tensión. La entrada y la salida del convertidor se invierten cuando se pasa del funcionamiento como ondulator al funcionamiento como rectificador y viceversa.

La descripción que sigue se basa en la figura 1A y el funcionamiento en tanto que convertidor CC/CA.

La etapa de rango uno Et1 incluye una única estructura de conmutación de cuatro niveles de tensión Ce10.

10 Una etapa de rango i (i entero comprendido entre 2 y n) Eti incluye i estructuras Ce1, Ce2...Ceii de conmutación de cuatro niveles de tensión, idénticas, conectadas en serie. Cada una de las i estructuras Ce1, Ce2...Ceii de conmutación de cuatro niveles de tensión de la etapa de rango i Eti se conecta por medio de una inductancia Lauxi1, Lauxi2, ..., Lauxii a la etapa de rango i-1. La etapa de rango i-1 no se representa. De ese modo en la figura 1A, la etapa de rango 2, Et2 incluye dos estructuras Ce21, Ce22 de conmutación de cuatro niveles de tensión que se unen a través de dos inductancias Laux21, Laux22 a la etapa de rango 1 Et1.

15 La etapa de rango n Etn incluye n estructuras Cen1, Cen2,...Cen(n-1), Cenn de conmutación de cuatro niveles de tensión que se conectan a través de n inductancias Lauxn1, Lauxn2,...Lauxn(n-1), ...Lauxnn a la etapa de rango n-1. La etapa de rango i-1 no se representa. Cada una de estas inductancias es asimilable a una fuente de corriente para respetar las reglas de conexión entre fuente de tensión y fuente de corriente. Las inductancias que conectan dos mismas etapas son del mismo valor. Por el contrario, unas inductancias que no conecten dos mismas etapas no tienen forzosamente los mismos valores, pero por razones de simplificación, se les puede elegir del mismo valor.

20 Es posible que el enlace de una estructura de conmutación de una etapa de rango cualquiera con la etapa que le precede, se realice directamente sin la presencia de una inductancia. Es suficiente que permanezcan una o varias inductancias entre esta etapa de rango cualquiera y la etapa que le precede. La o las inductancias que subsisten tendrán entonces un valor aumentado con relación al que tendrían si todas las inductancias estuvieran presentes entre las dos etapas. Se realiza de manera que el valor total de las inductancias que conectan dos etapas sucesivas sea la misma cualquiera que sea el número de inductancias. Se ha representado para ilustrar este principio, en la figura 1A, la inductancia Laux22 en línea de puntos, lo que significa que puede omitirse.

25 Se observa que la tensión VCC aplicada a la etapa de rango n Etn se ha escindido en n tensiones iguales asociadas en serie. Estas son las tensiones de entrada de las estructuras de conmutación de cuatro niveles de tensión de la etapa de rango n. Estas tensiones se referencian En1, En2, En(n-1), Enn.

Cada estructura Ce10 a Cenn de conmutación de cuatro niveles de tensión incluye, como se verá más adelante, con referencia la descripción de la figura 3A, un puente divisor capacitivo que materializa una fuente de tensión. Estos puentes divisores capacitivos se referencian Ca10, para la estructura de conmutación de cuatro niveles de tensión Ce10.

35 Como variante, es posible que la fuente de tensión VCC se forme con n fuentes de tensión elementales ramificada cada una en una de las n estructuras Cen1, ...Cenn de conmutación de cuatro niveles de tensión de la etapa n Etn, en los bornes de cada uno de los puentes divisores capacitivos. Las tensiones En1, En2, En(n-1), En son las tensiones en los bornes de los puentes divisores capacitivos de la etapa de rango n.

40 Las salidas de las estructuras Cen1 a Cenn de conmutación de cuatro niveles de tensión se consideran como unas fuentes de tensión flotantes. Se conectan a través de las inductancias a los puentes divisores capacitivos de las estructuras de conmutación de cuatro niveles de tensión de la etapa de rango n-1. Estas estructuras de conmutación de cuatro niveles de tensión de la etapa de rango n-1 se consideran igualmente como fuentes de tensión flotantes. Las inductancias entre la etapa de rango n y la etapa de rango n-1 son asimilables a unas fuentes de corriente para respetar una alternancia fuente de tensión-fuente de corriente.

45 Se eligen los componentes de la enésima etapa Etn de manera que la tensión de entrada VCC se escinda en n tensiones de entrada iguales aplicadas a cada una de las n estructuras Cen1 a Cenn de conmutación de cuatro niveles de tensión. Se aplica de ese modo VCC/n sobre cada una de las estructuras de conmutación de cuatro niveles de tensión de la enésima etapa Etn.

50 Se puede definir una función f de conversión asociada a cada estructura de conmutación de cuatro niveles de tensión, vincula la tensión Ve de entrada aplicada a dicha estructura de conmutación de cuatro niveles de tensión con la tensión Vs presente en la salida de la misma dicha estructura de conmutación. $V_s = f * V_e$ siendo $-1 \leq f \leq 1$.

55 En cada etapa, se configuran y se controlan las estructuras de conmutación de cuatro niveles de tensión de manera que sus funciones de conversión asociadas sean iguales. De esa manera, las tensiones aplicadas en la entrada de cada una de las estructuras de conmutación de cuatro niveles de tensión son iguales a VCC/n. Todas las estructuras de conmutación de cuatro niveles de tensión del convertidor deben soportar esta tensión VCC/n. Responde al

objetivo inicial de reducción de las restricciones de tensión sobre los interruptores de semiconductores para una tensión continua dada aplicada a la etapa de rango n.

5 Se describirá, con referencia a la figura 2, una estructura de conmutación de cuatro niveles de tensión del convertidor multinivel objeto de la invención. Esta estructura de conmutación de cuatro niveles de tensión incluye una célula 20 de tipo de condensador flotante de tres niveles de tensión, una primera y una segunda célula 21 y 22 de conmutación de base y un puente 23 divisor capacitivo.

10 La célula 20 de tipo de condensador flotante incluye un cuarteto de interruptores elementales montados en serie denominados K1, K2, K1', K2'. En este cuarteto, un primer interruptor K2 elemental y un segundo interruptor K2' elemental están en posición extrema y un primer interruptor K1 elemental y un segundo interruptor K1' elemental están en posición mediana, los dos interruptores K1, K1' elementales en posición mediana están directamente conectados entre sí en un nodo medio M. En el cuarteto, un interruptor elemental en posición extrema se conecta directamente a un interruptor elemental en posesión mediana. Este enlace permite definir un primer punto medio M1 entre el primer interruptor K2 elemental en posición extrema y el primer interruptor K1 elemental en posición mediana y un segundo punto medio M1' entre el segundo interruptor K2' elemental en posición extrema y el segundo interruptor K1' elemental en posición mediana. Los extremos del cuarteto de interruptores K1, K2, K1', K2' en serie se denominan M2 y M2', estando el extremo M2 del lado del interruptor K2 elemental y estando el extremo M2' del lado del interruptor K2' elemental.

Se conecta a un dispositivo de almacenamiento de energía C entre el primer punto medio M1 y el segundo punto medio M1'.

20 Se definen dos funciones de conmutación en la célula 20 de tipo de condensador flotante. La primera función F1 de conmutación se utiliza para el control de un primer par de interruptores que comprenden el primer interruptor K1 elemental en posición mediana y el segundo interruptor K1' elemental en posesión mediana. La segunda función F2 de conmutación se utiliza para el control de un segundo par de interruptores que comprenden el primer interruptor K2 elemental en posición extrema y el segundo interruptor K2' elemental en posición extrema. Los dos interruptores elementales de un mismo par están siempre en estados complementarios, conductor o bloqueado, salvo por el valor del tiempo muerto. Este tiempo muerto se explicará posteriormente con relación a las figuras 5.

30 Los interruptores K1, K2, K1', K2' elementales de la célula 20 de tipo de condensador flotante son unos interruptores de semiconductor e incluyen cada uno un conmutador Tr1, Tr2, Tr1', Tr2' electrónico de potencia controlable, tal como un transistor de potencia IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) por ejemplo asociado con un diodo D1, D2, D1', D2' conectado en anti-paralelo. En lugar de los transistores IGBT, se pueden diseñar otros conmutadores electrónicos de potencia tal como unos transistores MOSFET u otros.

La función F1 de conmutación vale 1 cuando el interruptor K1 elemental es conductor y el interruptor K1' elemental está bloqueado y vale 0 cuando el interruptor K1 elemental está bloqueado y el interruptor K1' elemental es conductor.

35 La función F2 de conmutación vale 1 cuando el interruptor K2 elemental es conductor y el interruptor K2' elemental está bloqueado y vale 0 cuando el interruptor K2 elemental está bloqueado y el interruptor K2' elemental es conductor.

40 Cada una de las células 21, 22 de conmutación de base, incluye un par de interruptores elementales montados en serie. Se referencian K3u, K3'u para la primera célula 21 de conmutación de base y K3l, K3'l para la segunda célula 22 de conmutación de base. En un par, los dos interruptores tienen un punto medio. Para la célula 21 de conmutación de base, el punto medio se conecta en el extremo M2 del cuarteto de la célula 20 de tipo de condensador flotante. Para la célula 22 de conmutación de base, el punto medio se conecta en el extremo M2' del cuarteto de la célula 20 de tipo de condensador flotante.

45 Cada célula 21, 22 de conmutación de base incluye igualmente un primer y segundo bornes extremos. El primer borne extremo se denomina M3, el segundo borne extremo se denomina M4 para la primera célula 21 de conmutación de base. El primer borne extremo se denomina M3', el segundo borne extremo se denomina M4' para la segunda célula 22 de conmutación de base. Los dos primeros bornes M3 y M3' extremos forman los dos bornes de entrada de la estructura de conmutación de cuatro niveles de tensión, mientras que el borne M forma el borne de salida en un funcionamiento de conversión CC/CA.

50 Los interruptores K3u, K3'u, K3l, K3'l elementales de las dos células 21, 22 de conmutación de base son igualmente unos interruptores de semiconductor e incluyen cada uno un conmutador electrónico de potencia controlable, tal como un transistor de potencia IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor), por ejemplo, asociado con un diodo conectado en anti-paralelo. Estos diodos y transistores de potencia no se han referenciado para no sobrecargar la figura. En lugar de los transistores IGBT, se pueden diseñar igualmente otros conmutadores electrónicos de potencia tal como unos transistores MOSFET u otros.

55 Se define una tercera función F3 de conmutación para controlar los interruptores elementales de las células 21 y 22 de conmutación de base. El interruptor K3u elemental y el interruptor K3l elemental se controlan de manera idéntica.

Los dos interruptores K3u, K3'u elementales de la célula 21 de conmutación de base están siempre en estados opuestos. Es lo mismo para los interruptores K3l, K3'l de la célula 22 de conmutación de base.

5 La función F3 de conmutación vale 1 cuando los interruptores K3u, K3l elementales son conductores y los interruptores K3'u, K3'l elementales están bloqueados y vale 0 cuando los interruptores K3u, K3l elementales están bloqueados y los interruptores K3'u, K3'l elementales son conductores.

10 El puente 23 divisor capacitivo incluye un triplete de dispositivos C100, C200 y C300 de almacenamiento de energía conectados en serie. El primer dispositivo C100 de almacenamiento de energía se monta en los bornes de la primera célula 21 de conmutación de base, entre los bornes M3, M4 extremos. El tercer dispositivo C300 de almacenamiento de energía se monta en los bornes de la segunda célula 22 de conmutación de base, entre su primer y su segundo bornes M3', M4' extremos. El segundo dispositivo C200 de almacenamiento de energía se monta entre la primera célula 21 de conmutación de base y la segunda célula 22 de conmutación de base, entre los segundos bornes extremos de estas células de conmutación de base. El puente 23 divisor capacitivo posee dos bornes M3 y M3' extremos que son comunes respectivamente a la primera célula 21 de conmutación de base y a la segunda célula 22 de conmutación de base.

15 Los dispositivos de almacenamiento de energía de esta estructura de conmutación de cuatro niveles de tensión se eligen entre un condensador, una batería, una pila de combustible. Los dispositivos de almacenamiento del puente 23 divisor capacitivo tienen la misma capacidad de almacenamiento y una misma tensión soportada.

20 Según los estados de los interruptores elementales de la estructura de conmutación de la figura 2, la estructura de conmutación de cuatro niveles de tensión puede tomar ocho estados diferentes que conducen a cuatro niveles de tensiones diferentes: 0, Ve/3, 2Ve/3, Ve.

La tabla que sigue reagrupa estos ocho estados numerados del 1 al 8. La función f de conmutación mencionada más arriba depende de las funciones F1, F2 y F3 de conmutación.

Estado	F1	F2	F3	Vs
1	0	0	0	0
2	1	0	1	Ve/3
3	0	1	0	Ve/3
4	1	1	1	2Ve/3
5	0	0	0	Ve/3
6	1	0	1	2Ve/3
7	0	1	0	2Ve/3
8	1	1	1	Ve

25 Con lo que antecede, la tensión Ve de entrada que se aplica en los bornes del puente 23 divisor capacitivo se subdivide en tres tensiones E1, E2, E3 iguales que se aplican cada una respectivamente en los bornes de uno de los dispositivos C100, C200, C300 de almacenamiento de energía. La tensión Vs de salida se expresa por:

$$V_s = (F_1 + F_2 + F_3) V_e/3$$

La tensión Vs se toma entre el nodo M y el nodo M'3.

30 Se ha representado en la figura 4.1 el aspecto de la señal de consigna también llamada tensión Vref de consigna que servirá principalmente para determinar los instantes de conmutación de todos los interruptores elementales de la estructura de conmutación de cuatro niveles de tensión ilustrada en la figura 2. Esta tensión Vref de consigna se utilizará en varias comparaciones, como se verá posteriormente. Es sinusoidal y la tensión Vs de salida que se ilustra en la figura 4.13 está en fase con esta tensión Vref de consigna.

35 Se ha representado en la figura 4.2 un cronograma de la portadora Car1 utilizada con la tensión Vref de consigna para realizar la función F1 de conmutación y determinar los instantes de conmutación de los interruptores K1, K1' elementales de la célula 20 de tipo de condensador flotante. Es una portadora triangular cuya amplitud está comprendida entre -1 y +1.

40 Se ha representado en la figura 4.3 un cronograma de la portadora Car2 utilizada con la tensión Vref de consigna para realizar la función F2 de conmutación y determinar los instantes de conmutación de los interruptores K2, K2' elementales de la célula 20 de tipo de condensador flotante. Es una portadora triangular cuya amplitud está comprendida entre -1 y +1. Las dos portadoras Car1 y Car2 están desfasadas en un semiperíodo del troceado. La frecuencia de troceado es mucho más elevada que la frecuencia de la tensión Vs de salida ilustrada en la figura 2.

Se ha representado en la figura 4.4 un cronograma de la portadora Car3 utilizada con la tensión Vref de consigna

para realizar la función F3 de conmutación y determinar los instantes de conmutación de los interruptores K3u, K3'u, K3l, K3'l elementales de las células 21, 22 de conmutación de base. Es una señal constante de amplitud 0,6.

5 Los instantes de conmutación de los interruptores elementales se obtienen por comparación entre las portadoras triangulares y constante y la señal Vref de consigna. Se puede definir como regla, por ejemplo, un instante de conmutación de interruptor elemental aparece a partir de que la señal de consigna sea estrictamente superior a la portadora. Se habría podido por supuesto fijar como regla que un instante de conmutación del interruptor elemental aparece a partir de la señal de consigna sea superior o igual a la portadora.

10 La figura 4.5 es un cronograma de la señal de control del interruptor K1 elemental de la célula 20 de tipo de condensador flotante. Es una señal en almena cuyo periodo es igual a la de la señal Vref de consigna. El interruptor K1 elemental es conductor en tanto que la tensión Vref de consigna sea superior a la portadora Car1.

La figura 4.6 es un cronograma de la señal de control del interruptor K1' elemental de la célula 20 de tipo de condensador flotante. Es una señal en almena en oposición de fase con relación a la señal de control del interruptor K1 elemental salvo por el valor del tiempo muerto.

15 La figura 4.7 es un cronograma de la señal de control del interruptor K2 elemental de la célula 20 de tipo de condensador flotante. Es una señal en almena cuyo periodo es igual al de la señal Vref de consigna. El interruptor K2 elemental es conductor en tanto que la tensión Vref de consigna sea superior a la portadora Car2.

La figura 4.8 es un cronograma de la señal de control del interruptor K2' elemental de la célula 20 de tipo de condensador flotante. Es una señal en almena en oposición de fase con relación a la señal de control del interruptor K2 elemental salvo por el valor del tiempo muerto.

20 La figura 4.9 es un cronograma de la señal de control del interruptor K3u elemental de la célula 21 de conmutación de base. Es una señal en la almena cuyo periodo es igual al de la señal Vref de consigna. El interruptor K3u elemental es conductor en tanto que la tensión Vref de consigna sea superior a la portadora Car3. No es conductor más que una única vez por periodo de la señal Vref de consigna.

25 La figura 4.10 es un cronograma de la señal de control del interruptor K3'u elemental de la célula 21 de conmutación de base. Es una señal en almena en oposición de fase con relación a la señal de control del interruptor K3u elemental salvo por el valor del tiempo muerto.

30 La figura 4.11 es un cronograma de la señal de control del interruptor K3l elemental de la célula 22 de conmutación de base. Es una señal en la almena cuyo periodo es igual al de la señal Vref de consigna. El interruptor K3l elemental es conductor en tanto que la tensión Vref de consigna sea superior a la portadora Car3. No es conductor más que una única vez por periodo de la señal Vref de consigna.

La figura 4.12 es un cronograma de la señal de control del interruptor K3'l elemental de la célula 22 de conmutación de base. Es una señal en almena en oposición de fase con relación a la señal de control del interruptor K3l elemental salvo por el valor del tiempo muerto.

35 Se ha representado en la figura 4.13 un cronograma de la tensión Vs de salida de la estructura de conmutación de cuatro niveles de tensión de la figura 2 en el que los cuatro niveles de tensión son bien visibles: 0 V, 2000 V, 4000 V, 6000 V.

Se dirige la atención ahora a un ejemplo del brazo B del convertidor objeto de la invención que no incluye más que dos etapas Et1, Et2 y por tanto tres estructuras Ce10, Ce21, Ce22 de conmutación de cuatro niveles de tensión como se describe en la figura 2.

40 Se describirá sucintamente este brazo con referencia a la figura 3A. Este brazo se configura para efectuar una conversión CC/CA. En la descripción que sigue, para simplificar, los dispositivos de almacenamiento de energía se han llamado condensadores. Esto no es limitativo. La única estructura Ce10 de conmutación de cuatro niveles de tensión de la etapa de rango uno Et1 incluye una célula de tipo de condensador flotante formada por unos interruptores T2, T2' elementales extremos, unos interruptores T1, T1' elementales medios y por el condensador C12, una primera célula de conmutación de base con los interruptores T3u y T3'u elementales, una segunda célula de conmutación de base con los interruptores T3l y T3'l elementales, un puente divisor capacitivo con los condensadores C9, C10, C11. El condensador C9 y el condensador C10 tienen un nodo común N7, el condensador C10 y el condensador C11 tienen un nodo común N8.

50 La primera estructura Ce21 de conmutación de cuatro niveles de tensión de la segunda etapa Et2 conectada a través de la inductancia Laux21 a la primera célula de conmutación de base de la primera etapa Et1 al nivel del nodo N6 incluye una célula de tipo de condensador flotante formada por unos interruptores T5u, T5'u elementales extremos, unos interruptores T4u, T4'u elementales medios y el condensador C7, una primera célula de conmutación de base con los interruptores T6u y T6'u elementales, una segunda célula de conmutación de base con los interruptores T7u y T7'u elementales, un puente divisor capacitivo con los condensadores C1, C2, C3. El condensador C1 y el condensador C2 tienen un nodo común N1, el condensador C2 y el condensador C3 tienen un

nodo común N2.

La segunda estructura Ce22 de conmutación de cuatro niveles de tensión de la segunda etapa Et2 conectada a través de la inductancia Laux22 al nivel del nodo N9 a la segunda célula de conmutación de base de la primera etapa Et1 incluye una célula de tipo de condensador flotante formada por unos interruptores T5l, T5'l elementales extremos, unos interruptores T4l, T4'l elementales medios y el condensador C8, una primera célula de conmutación de base con los interruptores T7l y T7'l elementales, una segunda célula de conmutación de base con los interruptores T6l y T6'l elementales, un puente divisor capacitivo con los condensadores C4, C5, C6. El condensador C3 y el condensador C4 tienen un nodo común N3, el condensador C3 y el condensador C6 tienen un nodo común N5.

- 5
- 10 Los dos puentes C1-C3, C4-C6 divisores capacitivos de la segunda etapa Et2 se conectan en serie.

La fuente de tensión VCC está destinada a ser ramificada entre los bornes extremos de los dos puentes divisores capacitivos. De ese modo el borne E+ corresponde a un borne del condensador C1 no conectado a otro condensador y el borne E- corresponde a un borne del condensador C6 no conectado a otro condensador.

- 15 En lo que sigue, por razones de simplificación, la referencia VCC representará a la vez la fuente de tensión y la tensión en los bordes de esta fuente de tensión.

La tensión VCC se ha escindido en dos grupos de tres tensiones E1-E3 y E4-E6 iguales, aplicándose la tensión E1 a los bornes del condensador C1, aplicándose la tensión E2 a los bornes del condensador C2, aplicándose la tensión E3 a los bornes del condensador C3, aplicándose la tensión E4 a los bornes del condensador C4, aplicándose la tensión E5 a los bornes del condensador C5, aplicándose la tensión E6 a los bornes del condensador C6. La tensión en los bornes del condensador C7 se llama E7. La tensión en los bornes del condensador C8 se llama E8. La tensión en los bornes del condensador C12 se llama E12.

- 20

Está disponible una tensión Ef flotante entre los bornes N6, N9 de las inductancias Laux21, Laux22, del lado de la estructura de conmutación de cuatro niveles de tensión de la primera etapa Et1. Esta tensión Ef flotante se utiliza como tensión de entrada de la primera etapa Et1, se subdivide en tres tensiones E9, E10, E11 flotantes iguales que se aplican respectivamente a los bornes de los condensadores C9, C10, C11.

- 25

Se llama fc1 a la función de conversión que vincula la tensión Ef de entrada y la tensión Es de salida de la estructura Ce10 de conmutación de cuatro niveles de tensión de la primera etapa Et1. La tensión Ef de entrada de la estructura Ce10 de conmutación corresponde a E9+E10+E11. La tensión Es de salida de la estructura Ce10 de conmutación se toma entre el nodo N9 y el nodo S.

- 30 Se llama fc2 a la función de conversión que vincula la tensión VCC/2 de entrada y la tensión V_{N3N6} de salida de la primera estructura Ce21 de conmutación de cuatro niveles de tensión de la segunda etapa Et2. La tensión VCC/2 de entrada de la estructura Ce21 de conmutación de cuatro niveles de tensión corresponde a E1+E2+E3. La tensión V_{N6N3} de salida de la estructura Ce21 de conmutación se toma entre el nodo N3 y el nodo N6.

- 35 Se llama fc3 a la función de conversión que vincula la tensión VCC/2 de entrada y la tensión V_{E-N9} de salida de la segunda estructura Ce22 de conmutación de cuatro niveles de tensión de la segunda etapa Et2. La tensión VCC/2 de entrada de la estructura Ce22 de conmutación de cuatro niveles de tensión corresponde a E4+E5+E6. La tensión V_{N9E-} de salida de la estructura Ce22 de conversión se toma entre el nodo E- y el nodo N9.

Eligiendo los componentes de las dos estructuras Ce21 y Ce22 de tensión de cuatro niveles de tensión de la segunda etapa Et2 de manera que las tensiones que se apliquen en los bornes de los dos puentes divisores capacitivos sean iguales a VCC/2 y eligiendo unas funciones fc2 y fc3 de conversión iguales, las tensiones aplicadas en la entrada de cada una de las tres estructuras Ce10, Ce21, Ce22 de conmutación de cuatro niveles de tensión son iguales a VCC/2. Hay un reparto equilibrado de las tensiones entre cada estructura de conmutación de cuatro niveles de tensión. Estas estructuras de conmutación de cuatro niveles de tensión no tienen entonces que soportar más que la mitad de la tensión de entrada, lo que corresponde al objetivo fijado.

- 40
- 45 Sobre el brazo ilustrado en la figura 3A, los controles de los interruptores T3u y T3l elementales son idénticos, los controles de los interruptores T4u y T4l elementales son idénticos, los controles de los interruptores T5u y T5l elementales son idénticos, los controles de los interruptores T6u y T6l elementales son idénticos, los controles de los interruptores T7u y T7l elementales son idénticos. Además, como se ha enunciado más arriba durante la descripción de la figura 2, los comandos de los interruptores elementales T6u y T7u son idénticos y los controles de los interruptores elementales T6l y T7l son idénticos.
- 50

Con sus tres estructuras de conmutación de cuatro niveles de tensión, un brazo B así posee seis funciones F10, F20, F30, F40, F50, F60 de conmutación.

La función F10 de conmutación se utiliza para el control del par de interruptores T1, T1' elementales en posición mediana de la célula de tipo de condensador flotante de la estructura de conmutación de cuatro niveles de tensión de la primera etapa Et1.

- 55

ES 2 735 723 T3

La función F20 de conmutación se utiliza para el control del par de interruptores T2, T2' elementales en posición extrema de la célula de tipo de condensador flotante de la estructura de conmutación de cuatro niveles de tensión de la primera etapa Et1.

5 La función F30 de conmutación se utiliza para el control de los interruptores T3u, T3'u, T3l, T3'l elementales de las células de conmutación de base de la estructura de conmutación de cuatro niveles de tensión de la primera etapa Et1.

La función F40 de conmutación se utiliza para el control de los pares de interruptores T4u, T4'u, T4l, T4'l elementales en posición mediana de las dos células de tipo de condensador flotante situadas en las estructuras de conmutación de cuatro niveles de tensión de la segunda etapa Et2.

10 La función F50 de conmutación se utiliza para el control de los pares de interruptores T5u, T5'u, T5l, T5'l elementales en posición extrema de las dos células de tipo de condensador flotante situadas en las estructuras de conmutación de cuatro niveles de tensión de la segunda etapa Et2.

15 La función F60 se utiliza para el control de los interruptores elementales T6u, T6'u, T7u, T7'u, T7l, T7'l, T6l, T6'l de las células de conmutación de base de las estructuras de conmutación de cuatro niveles de tensión de la segunda etapa Et2. Se puede hacer referencia a la descripción de la figura 2 en lo que se refiere a los valores tomados por estas funciones de conmutación en función del estado conductor o bloqueado de los interruptores elementales.

El convertidor de la figura 3A permite obtener en la salida 7 niveles de tensión diferentes 0, VCC/6, 2VCC/6, 3VCC/6, 4VCC/6, 5VCC/6, VCC entre los nodos S y E- y 64 estados en función del estado conductor o bloqueado de sus interruptores elementales.

20 Se han reagrupado en la tabla siguiente los 64 estados diferentes así como los 7 niveles de tensión Vs correspondientes en la salida de la primera etapa Et1. La tensión Vs se toma entre el nodo S y el borne E-. La tensión de salida, Vs, se expresa por:

$$V_s = [F_{10} + F_{20} + F_{30} + F_{40} + F_{50} + F_{60}] V_{CC}/2$$

Estado	F10	F20	F30	F40	F50	F60	Vs
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	1	VCC/6
3	0	0	0	0	1	0	VCC/6
4	0	0	0	0	1	1	2VCC/6
5	0	0	0	1	0	0	VCC/6
6	0	0	0	1	0	1	2VCC/6
7	0	0	0	1	1	0	2VCC/6
8	0	0	0	1	1	1	3VCC/6
9	0	0	1	0	0	0	VCC/6
10	0	0	1	0	0	1	2VCC/6
11	0	0	1	0	1	0	2VCC/6
12	0	0	1	0	1	1	3VCC/6
13	0	0	1	1	0	0	2VCC/6
14	0	0	1	1	0	1	3VCC/6
15	0	0	1	1	1	0	VCC/6
16	0	0	1	1	1	1	3VCC/6
17	0	1	0	0	0	0	VCC/6
18	0	1	0	0	0	1	2VCC/6
19	0	1	0	0	1	0	2VCC/6
20	0	1	0	0	1	1	2VCC/6
21	0	1	0	1	0	0	2VCC/6
22	0	1	0	1	0	1	3VCC/6
23	0	1	0	1	1	0	3VCC/6
24	0	1	0	1	1	1	4VCC/6
25	0	1	1	0	0	0	2VCC/6

(continuación)

Estado	F10	F20	F30	F40	F50	F60	Vs
26	0	1	1	0	0	1	3VCC/6
27	0	1	1	0	1	0	3VCC/6
28	0	1	1	0	1	1	4VCC/6
29	0	1	1	1	0	0	3VCC/6
30	0	1	1	1	0	1	4VCC/6
31	0	1	1	1	1	0	4VCC/6
32	0	1	1	1	1	1	4VCC/6
33	1	0	0	0	0	0	VCC/6
34	1	0	0	0	0	1	2VCC/6
35	1	0	0	0	1	0	2VCC/6
36	1	0	0	0	1	1	3VCC/6
37	1	0	0	1	0	0	2VCC/6
38	1	0	0	1	0	1	3VCC/6
39	1	0	0	1	1	0	3VCC/6
40	1	0	0	1	1	1	4VCC/6
41	1	0	1	0	0	0	2VCC/6
42	1	0	1	0	0	1	3VCC/6
43	1	0	1	0	1	0	3VCC/6
44	1	0	1	0	1	1	4VCC/6
45	1	0	1	1	0	0	3VCC/6
46	1	0	1	1	0	1	4VCC/6
47	1	0	1	1	1	0	4VCC/6
48	1	0	1	1	1	1	4VCC/6
49	1	1	0	0	0	0	2VCC/6
50	1	1	0	0	0	1	3VCC/6
51	1	1	0	0	1	0	3VCC/6
52	1	1	0	0	1	1	4VCC/6
53	1	1	0	1	0	0	3VCC/6
54	1	1	0	1	0	1	4VCC/6
55	1	1	0	1	1	0	4VCC/6
56	1	1	0	1	1	1	4VCC/6
57	1	1	1	0	0	0	3VCC/6
58	1	1	1	0	0	1	4VCC/6
59	1	1	1	0	1	0	4VCC/6
60	1	1	1	0	1	1	5VCC/6
61	1	1	1	1	0	0	4VCC/6
62	1	1	1	1	0	1	5VCC/6
63	1	1	1	1	1	0	5VCC/6
64	1	1	1	1	1	1	VCC

5 Analizando esta tabla, se observa que diversos estados y por tanto diversas configuraciones de los interruptores elementales conducen a una misma tensión Vs. Este grado de libertad es interesante para mantener el equilibrio de las tensiones flotantes. Se utilizará este grado de libertad para mantener el equilibrio de las tensiones de los condensadores.

10 Se ha representado en la figura 5.1 el aspecto de la tensión Vref de consigna que servirá principalmente para determinar los instantes de conmutación de todos los interruptores elementales del brazo B ilustrado en la figura 3A. Corresponde a la ilustrada en la figura 4.1. Está en fase con la tensión Vs a la salida de la etapa Et1 tomada entre el nodo S y el nodo E-, ilustrado en la figura 5.14.

Se ha representado en la figura 5.2 un cronograma de la portadora Car10 utilizada con la tensión Vref de consigna

para realizar la función F10 de conmutación y determinar los instantes de conmutación de los interruptores T1, T1' elementales de la estructura Ce10 de conmutación de cuatro niveles de tensión de la primera etapa Et1. Es una portadora triangular cuya amplitud está comprendida entre -1 y +1.

5 Se ha representado en la figura 5.3 un cronograma de la portadora Car20 utilizada con la tensión Vref de consigna para realizar la función F20 de conmutación y determinar los instantes de conmutación de los interruptores T2, T2' elementales en posición extrema de la célula de tipo de condensador flotante de la estructura Ce10 de conmutación de cuatro niveles de tensión de la primera etapa Et1. Es una portadora triangular cuya amplitud está comprendida entre -1 y +1. La portadora Car20 está desfasada en π o en $1/2fsw$ con relación a la portadora Car10. La magnitud fsw representa la frecuencia de troceado, es mucho más elevada que la frecuencia de la tensión Vs de salida
10 ilustrada en la figura 5.14.

15 Se ha representado en la figura 5.4 un cronograma de la portadora Car30 utilizada con la tensión Vref de consigna para realizar la función F30 de conmutación y determinar los instantes de conmutación de los interruptores T3u, T3'u, T3l, T3'l elementales de las células de conmutación de base de la estructura Ce10 de conmutación de cuatro niveles de tensión de la primera etapa Et1. La portadora Car30 está desfasada en $\pi/2$ o en $1/fsw$ con relación a la portadora Car10.

20 Se ha representado en la figura 5.5 un cronograma de la portadora Car40 utilizada con la tensión Vref de consigna para realizar la función F40 de conmutación y determinar los instantes de conmutación de los interruptores T4u, T4'u, T4l, T4'l elementales en posición mediana de las dos células de tipo de condensador flotante situadas en las estructuras Ce21, Ce22 de conmutación de cuatro niveles de tensión de la segunda etapa Et2. Es una señal constante de amplitud -2/3.

25 Se ha representado en la figura 5.6 un cronograma de la portadora Car50 utilizada con la tensión Vref de consigna para realizar la función F50 de conmutación y determinar los instantes de conmutación de los interruptores T5u, T5'u, T5l, T5'l elementales en posición extrema de las dos células de tipo de condensador flotante situadas en las estructuras Ce21, Ce22 de conmutación de cuatro niveles de tensión de la segunda etapa Et2. Es una señal constante de amplitud nula.

30 Se ha representado en la figura 5.7 un cronograma de la portadora Car60 utilizada con la tensión Vref de consigna para realizar la función F60 de conmutación y determinar los instantes de conmutación de los interruptores T6u, T6'u, T7u, T7'u, T7l, T7'l, T6l, T6'l elementales de las células de conmutación de base de las estructuras Ce21, Ce22 de conmutación de cuatro niveles de tensión. Es una señal constante de amplitud +2/3.

35 Los instantes de conmutación de los interruptores elementales se obtienen por comparación entre las portadoras triangulares y constantes y la señal Vref de consigna. Se puede definir como regla, por ejemplo, que un instante de conmutación de un interruptor elemental se produce a partir de que la señal de consigna es estrictamente superior a la portadora. Se habría podido por supuesto fijar como regla que un instante de conmutación del interruptor elemental se produce a partir de que la señal de consigna sea superior o igual a la portadora.

40 La figura 5.8 es un cronograma de la función F10 de conmutación utilizada para el control del par de interruptores T1, T1' elementales en posición mediana de la célula de tipo de condensador flotante de la estructura de conmutación de cuatro niveles de tensión de la primera etapa Et1. Es una señal en almena cuyo periodo es igual a la de la frecuencia fsw de troceado. La función F10 de conmutación está a un nivel 1 mientras que la tensión Vref de consigna sea superior a la portadora Car10.

45 Los controles de los dos interruptores T1 y T1' del par se obtienen a partir de la función F10 de conmutación. El control del interruptor T1 elemental es similar a la función F10 de conmutación con la diferencia de que el frente ascendente de las almenas se retarda en un tiempo muerto con relación al frente ascendente de las almenas de la función F10 de conmutación. Por el contrario, el frente descendente de las almenas para el control del interruptor T1 elemental se sincroniza con el de las almenas de la función F10 de conmutación. El control del interruptor T1' elemental es similar a la función complementaria de la función F10 con la diferencia de que el frente ascendente de las almenas se retarda en el tiempo muerto con relación al frente ascendente de las almenas de la función complementaria. Por el contrario, el frente descendente de las almenas para el control del interruptor T1' elemental se sincroniza con el de las almenas de la función complementaria de la función F10 de conmutación. Los dos interruptores T1, T1' elementales del par están en unos estados complementarios salvo por el valor del tiempo
50 muerto.

55 La figura 5.9 es un cronograma de la función F20 de conmutación utilizada para el control del par de interruptores T2, T2' elementales de la estructura Ce10 de conmutación de cuatro niveles de tensión de la primera etapa Et1. Es una señal en almena cuyo periodo es igual al de la frecuencia fsw de troceado. La función F20 de conmutación está a un nivel 1 mientras que la tensión Vref de consigna sea superior a la portadora Car20. Lo que se acaba de explicar para el control de los interruptores T1, T1' elementales y unos tiempos muertos se aplica para el control del par de interruptores T2, T2' elementales sobre la base de la señal en almena de la función F20 de conmutación. Los dos interruptores T2, T2' elementales del par están en unos estados complementarios salvo por el valor del tiempo muerto.

5 La figura 5.10 es un cronograma de la función F30 de conmutación utilizada para el control de los pares de interruptores (T3u, T3'u) y (T3l, T3'l) elementales de las células de conmutación de base de la estructura Ce10 de conmutación de cuatro niveles de tensión de la primera etapa Et1. Es una señal en almena cuyo periodo es igual al de la frecuencia fsw de troceado. La función F30 de conmutación está a un nivel 1 mientras que la tensión Vref de consigna sea superior a la portadora Car30. Lo que se acaba de explicar para el control de los interruptores T1, T1' elementales y unos tiempos muertos se aplica para el control de los pares de interruptores (T3u, T3'u) y (T3l, T3'l) elementales sobre la base de la señal en almena de la función F30 de conmutación. Los dos interruptores (T3u, T3'u) y (T3l, T3'l) elementales de cada par están en unos estados complementarios salvo por el valor del tiempo muerto.

10 La figura 5.11 es un cronograma de la función F40 de conmutación utilizada para el control de los pares de interruptores (T4u, T4'u) y (T4l, T4'l) elementales en posición mediana de las dos células de tipo de condensador flotante situadas en las estructuras Ce21, Ce22 de conmutación de cuatro niveles de tensión de la segunda etapa Et2. Es una señal en almena cuyo periodo es igual al de la señal Vref de consigna. La función F40 de conmutación está a un nivel 1 mientras que la tensión Vref de consigna sea superior a la portadora Car40. Lo que se acaba de explicar para el control de los interruptores T1, T1' elementales y unos tiempos muertos se aplica para el control de los pares de interruptores (T4u, T4'u) y (T4l, T4'l) elementales sobre la base de la señal en almena de la función F40 de conmutación. Los dos interruptores (T4u, T4'u) y (T4l, T4'l) elementales de cada par están en unos estados complementarios salvo por el valor del tiempo muerto.

20 La figura 5.12 es un cronograma de la función F50 de conmutación utilizada para el control de los pares de interruptores (T5u, T5'u) y (T5l, T5'l) elementales en posición extrema de las dos células de tipo de condensador flotante situadas en las estructuras Ce21, Ce22 de conmutación de cuatro niveles de tensión de la segunda etapa Et2. Es una señal en almena cuyo periodo es igual al de la señal Vref de consigna. La función F50 de conmutación está a un nivel 1 mientras que la tensión Vref de consigna sea superior a la portadora Car50. Lo que se acaba de explicar para el control de los interruptores T1, T1' elementales y unos tiempos muertos se aplica para el control de los pares de interruptores (T5u, T5'u) y (T5l, T5'l) elementales sobre la base de la señal en almena de la función F50 de conmutación. Los dos interruptores (T5u, T5'u) y (T5l, T5'l) elementales de cada par están en unos estados complementarios salvo por el valor del tiempo muerto.

30 La figura 5.13 es un cronograma de la función F60 de conmutación utilizada para el control de los pares de interruptores (T6u, T6'u), (T7u, T7'u) y (T6l, T6'l), (T7l, T7'l) elementales de las células de conmutación de base de las estructuras Ce21, Ce22 de conmutación de cuatro niveles de tensión de la segunda etapa Et2. Es una señal en almena cuyo periodo es igual al de la señal Vref de consigna. La función F60 de conmutación está a un nivel 1 mientras que la tensión Vref de consigna sea superior a la portadora Car60. Lo que se acaba de explicar para el control de los interruptores T1, T1' elementales y unos tiempos muertos se aplica para el control de los pares de interruptores (T6u, T6'u), (T7u, T7'u) y (T6l, T6'l), (T7l, T7'l) elementales sobre la base de la señal en almena de la función F60 de conmutación. Los dos interruptores (T6u, T6'u), (T7u, T7'u) y (T6l, T6'l), (T7l, T7'l) elementales de cada par están en unos estados complementarios salvo por el valor del tiempo muerto.

Se ha representado en la figura 5.14 un cronograma de la tensión Vs de salida del brazo de convertidor ilustrado en la figura 3A en el que son bien visibles siete niveles de tensión: 0 V, 1000 V, 2000 V, 3000 V, 4000 V, 5000 V, 6000 V. La tensión varía en escalones, de 1000 V en el ejemplo descrito.

40 No se describirá más en detalle el brazo del convertidor de la figura 3B. Tiene la misma estructura que el de la figura 3A con la excepción del hecho de que el nodo S que correspondería a la salida en la figura 3A se llama ahora nodo E puesto que corresponde ahora a la entrada. Está destinado a ser conectado a una fuente de corriente alterna (no representada). Igualmente los bornes de entrada E+, E- en la figura 3A, en cuyo nivel la fuente de tensión VCC se ha de conectar se llaman ahora S+ y S- en la figura 3B, corresponden a la salida del convertidor y están destinados a alimentar una fuente de tensión continua (no representada). En funcionamiento como rectificador, circula una corriente IE del nodo E hacia los bornes de salida S+ y S- mientras que en funcionamiento como ondulator circularían unas corrientes IE+ e IE- desde los bornes E+, E- hacia el nodo S. En funcionamiento como rectificador aparecerían unas corrientes IS+ e IS- en los bornes S+ y S-, son unas corrientes de salida y en funcionamiento ondulator la corriente de salida llamada Is aparecería en el nodo S.

50 Pueden utilizarse varios tipos de controles para hacer conductores o bloquear los interruptores elementales y por tanto asegurar la conversión. Puede utilizarse un control tradicional basado en la modulación del ancho de impulsos PWM. Por supuesto, se controlan de la misma manera los interruptores elementales homólogos de las dos estructuras Ce21, Ce22 de conmutación de cuatro niveles de tensión de la segunda etapa Et2.

55 En las figuras 3A, 3B, se ha representado una única fuente de tensión VCC continua. Se sobreentiende que esta fuente de tensión VCC continua podría estar constituida por varias fuentes de tensión continua elementales independientes, montada cada una en los bornes de al menos un dispositivo C1 a C6 de almacenamiento de energía. Estas fuentes de tensión continua podrían ser rectificadores. Esta configuración es interesante en un sistema de conversión no reversible con un transformador de varios arrollamientos.

Con referencia a la figura 6, se ha representado un variador de velocidad que incluye en cascada un convertidor 1

5 objeto de la invención funcionando como rectificador CA/CC y un convertidor 2 objeto de la invención funcionando como ondulator CC/CA colocando entre los dos, del lado de continua, una fuente 3 de tensión tal como un dispositivo de almacenamiento de energía. El rectificador 1 está destinado a conectarse en la entrada a una red Re de alimentación eléctrica alterna asimilable a una fuente de corriente. El ondulator 2 está destinado a conectarse en la salida a un dispositivo de usuario asimilable a una fuente de corriente tal como un motor Mo de corriente alterna. La figura 6, ilustra un ejemplo en el que los dos convertidores 1 y 2 son trifásicos. Incluirían cada uno tres brazos tales como los representados en las figuras 3A, 3B.

10 El convertidor multinivel objeto de la invención es mucho más compacto y ligero que los convertidores de la técnica anterior con transformador. Es mucho más fácil de instalar y de transportar. Puede utilizarse con o sin transformador de aislamiento.

15 Permite minimizar la contaminación armónica de la red eléctrica y la corrección del factor de potencia cuando se utiliza un rectificador activo regenerativo. El convertidor objeto de la invención es compatible con la red alterna hasta 13,8 kV dada la tensión soportada por los componentes semiconductores existentes hoy en día, ya sea funcionando como ondulator o como rectificador. Debido a esto, no es obligatorio utilizar un transformador de adaptación del nivel de tensión, solución clásicamente utilizada.

El convertidor CC/CA objeto de la invención puede utilizarse para alimentar unos parques de motores asíncronos o síncronos tanto si son nuevos como existentes.

20 El convertidor objeto de la invención tiene una estructura modular gracias al empleo de las estructuras de conmutación de cuatro niveles de tensión como las de la figura 2. De donde resulta que los gastos de mantenimiento son reducidos y la fiabilidad es buena.

La forma de onda de alimentación de la carga es de buena calidad y las sobretensiones del lado de la fuente de corriente están limitadas y no están vinculadas más que a los cables de los enlaces.

El bus de continua común puede servir para alimentar varios convertidores objeto de la invención.

Documentos citados

25 [1] "A novel hybrid-clamped four-level converters", Kui Wang et al, Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 2012 Twenty-Seventh Annual IEEE, 5-9 feb. 2012, páginas 2442-2447.
[2] "Voltage balancing control of a four-level hybrid-clamped inverter using modified phase-shifted PWM" Kui Wang et al, Power Electronics and Applications (EPE), 2013 15th European Conference on Power Electronics and Applications, 2-6 sept. 2013, páginas 1-10.

30

REIVINDICACIONES

1. Convertidor multinivel que incluye al menos un brazo (B) formado por varias etapas (Et1, Et2, ..., Etn) de rango uno a n (n entero superior a uno) montadas en cascada, estando destinada la etapa (Et1) de rango 1 a conectarse a una fuente de corriente (I) y estando destinada la etapa (Etn) de rango n a conectarse a una fuente de tensión (VCC), **caracterizado porque** la etapa (Et1) de rango uno incluye una única estructura (Ce10) de conmutación de cuatro niveles de tensión y una etapa de rango i (i comprendido entre dos y n) incluye i estructuras (Ce11, Ce12, ... Ceii) de conmutación de cuatro niveles de tensión idénticas montadas en serie, incluyendo cada una de estas estructuras de conmutación una célula (T1, T2, T1', T2', C12) de tipo de condensador flotante de tres niveles de tensión que comprende un cuarteto de interruptores (T1, T2, T1', T2') elementales en serie que poseen un nodo (S) medio, dos células (T3u, T3'u ; T3l, T3'l) de base formadas cada una por un par de interruptores (T3u, T3'u ; T3l, T3'l) elementales en serie presentan dos bornes (N6, N7 ; N8, N9) extremos y un punto medio y un puente (C9, C10, C11) divisor capacitivo que tiene dos extremos formado por un triplete de dispositivos (C9, C10, C11) de almacenamiento de energía montados en serie entre los que los dos dispositivos (C9, C11) de almacenamiento de energía están en posición extrema, conectándose cada dispositivo (C9, C11) de almacenamiento de energía en posición extrema a los bornes (N6, N9) extremos de una célula de conmutación de base diferente, conectándose un punto medio de cada célula de conmutación de base a un extremo diferente del cuarteto de interruptores (T1, T2, T1', T2') elementales, conectándose el nodo medio de cada célula de tipo de condensador flotante de la etapa de rango i a un extremo del puente divisor capacitivo de una estructura de conmutación de cuatro niveles de tensión de la etapa de rango i-1.
2. Convertidor multinivel según la reivindicación 1, en el que los dispositivos (C9, C10, C11) de un mismo puente divisor capacitivo tienen una misma capacidad de almacenamiento de energía y una misma tensión soportada.
3. Convertidor multinivel según una de las reivindicaciones 1 o 2, en el que el nodo medio de al menos una célula de tipo de condensador flotante de la etapa de rango i se conecta a un extremo del puente divisor capacitivo de la etapa de rango i-1 a través de una inductancia (Lau21, Lau22).
4. Convertidor multinivel según la reivindicación 3, en el que cuando varias inductancias conectan la etapa de rango i a la etapa de rango i-1, estas inductancias tienen un mismo valor.
5. Convertidor multinivel según una de las reivindicaciones 1 a 4, en el que los dos pares de interruptores (T3u, T3'u ; T3l, T3'l) elementales de las dos células de conmutación de base de una misma etapa poseen una misma función de conmutación.
6. Convertidor multinivel según una de las reivindicaciones 1 a 5, en el que en funcionamiento, los interruptores elementales de un mismo par están en estados complementarios salvo por un valor del tiempo muerto.
7. Convertidor multinivel según una de las reivindicaciones 1 a 6, en el que en el cuarteto de interruptores (T1, T2, T1', T2') elementales de una célula de tipo de condensador flotante dos están en posición extrema y dos están en posición mediana, los dos interruptores (T2, T2') elementales en posición extrema están siempre en estados complementarios y los dos interruptores (T1, T1') elementales en posición mediana están siempre en estados complementarios, siendo uno conductor y estando el otro bloqueado.
8. Convertidor multinivel según una de las reivindicaciones 1 a 7, en el que los interruptores (T1, T2, T1', T2') elementales incluyen cada uno un conmutador electrónico de potencia controlable con un diodo conectado en anti-paralelo.
9. Convertidor multinivel según una de las reivindicaciones 1 a 8, en el que los dispositivos (C1-C12) de almacenamiento de energía se eligen entre un condensador, una batería, una pila de combustible.
10. Variador de velocidad que incluye una cascada con un convertidor (1) según una de las reivindicaciones anteriores funcionando como rectificador CA/CC y un convertidor (2) según una de las reivindicaciones anteriores funcionando como ondulator CC/CA, conectados entre sí por sus lados de continua por medio de una fuente (3) de tensión.

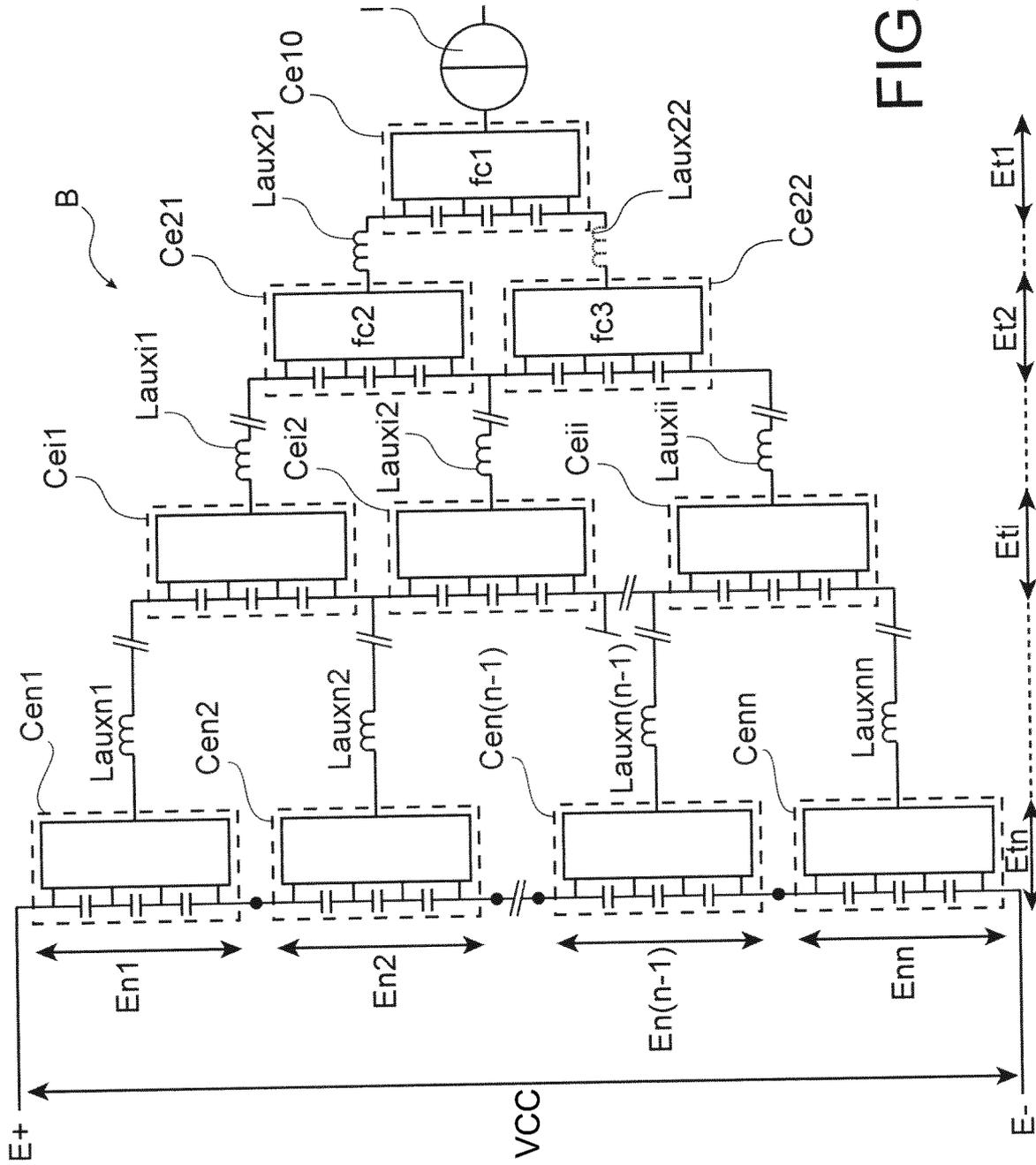
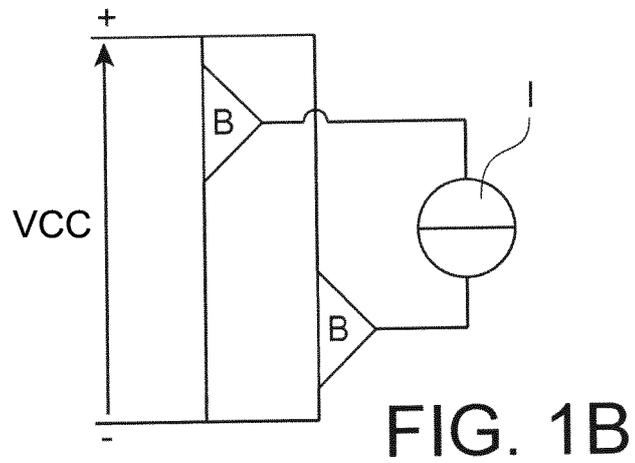
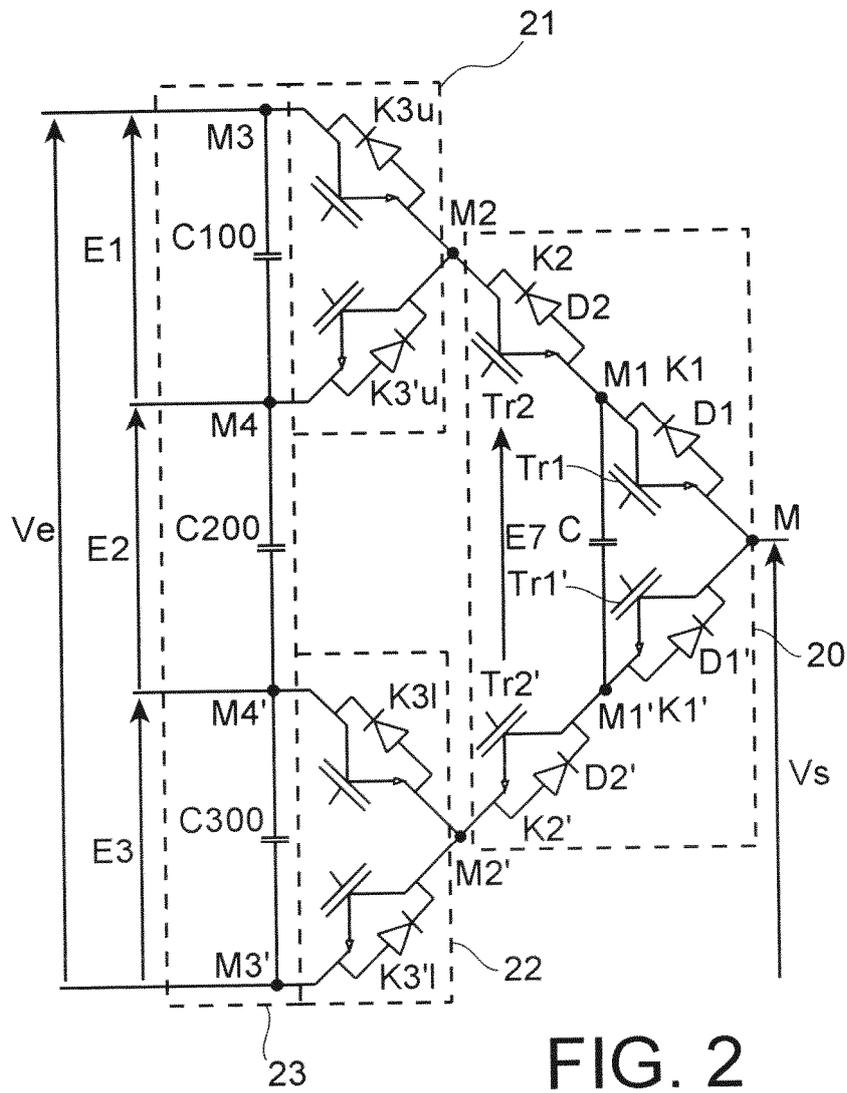


FIG. 1A



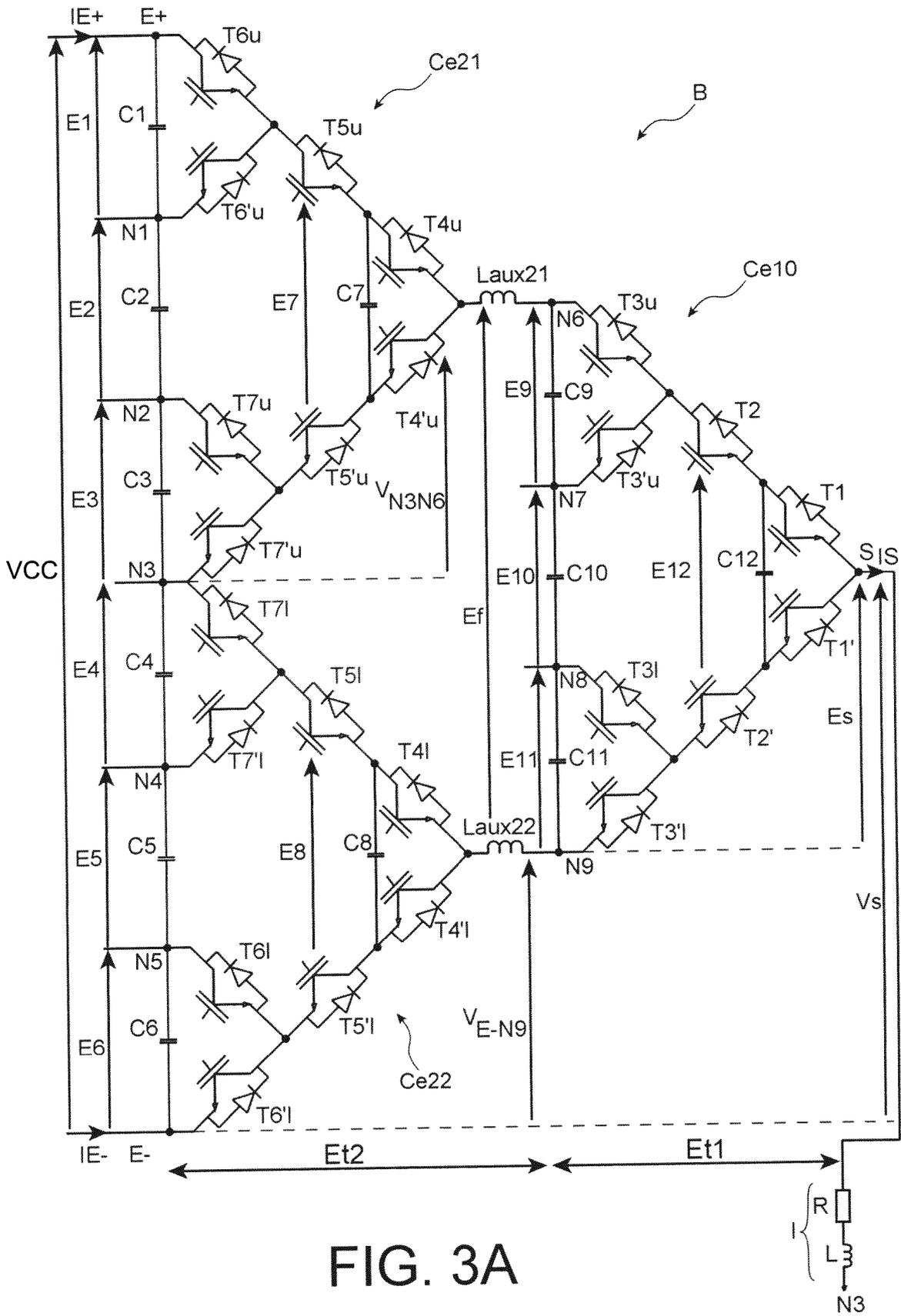


FIG. 3A

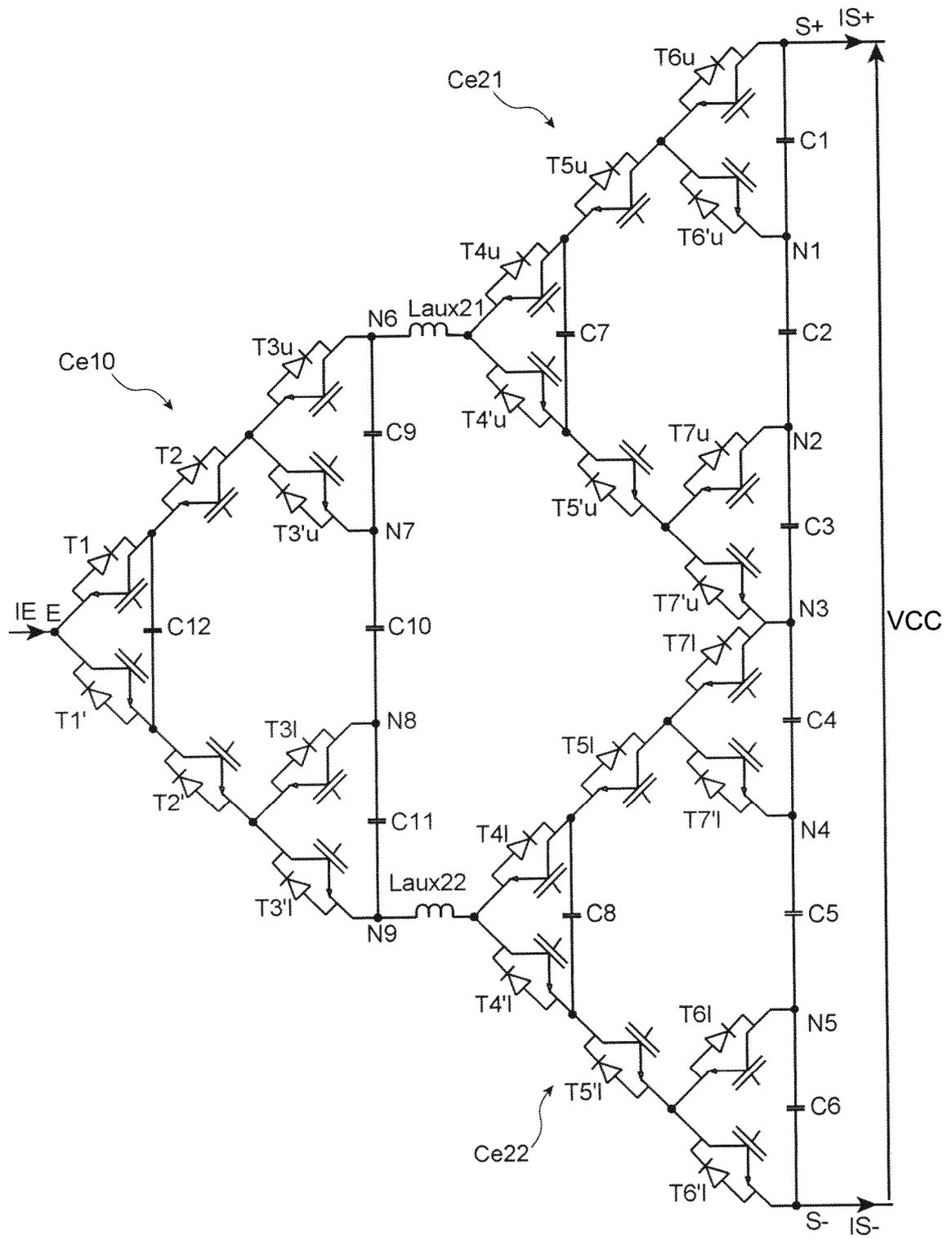


FIG. 3B

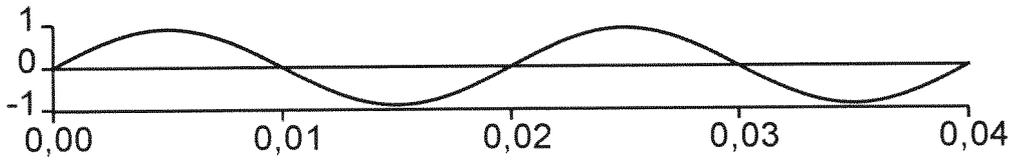


FIG. 4.1

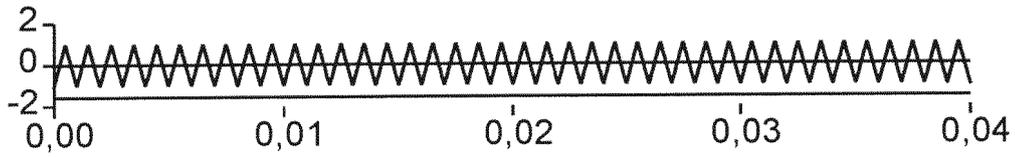


FIG. 4.2

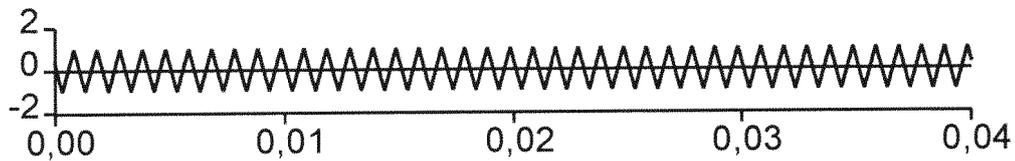


FIG. 4.3

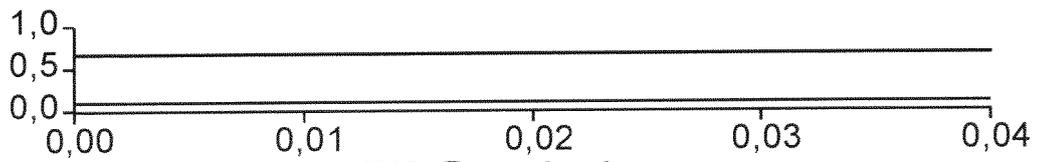


FIG. 4.4

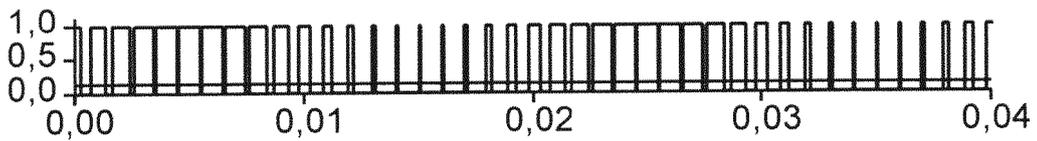


FIG. 4.5

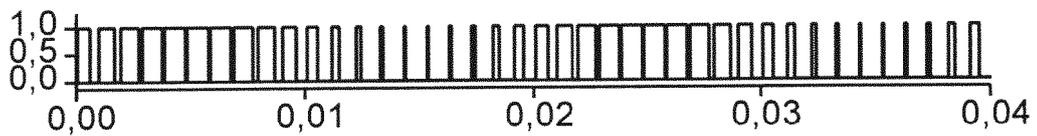


FIG. 4.6

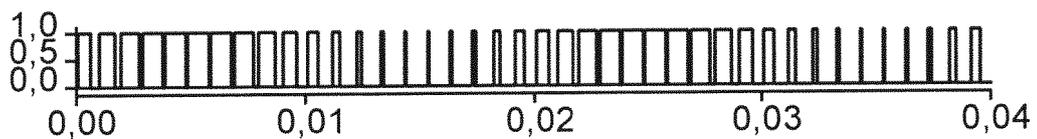


FIG. 4.7

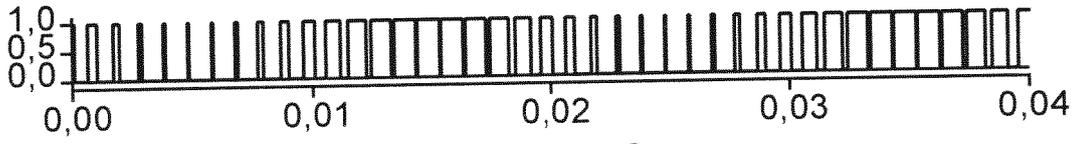


FIG. 4.8

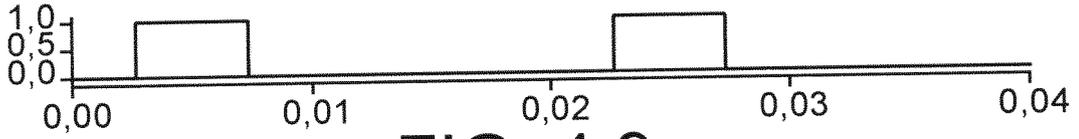


FIG. 4.9

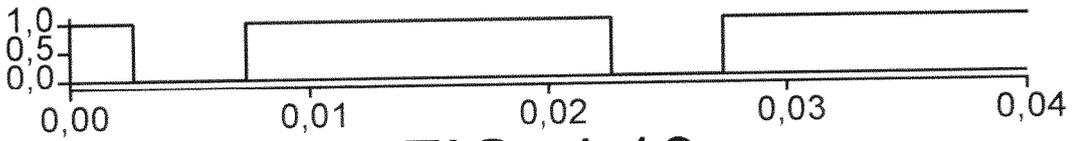


FIG. 4.10

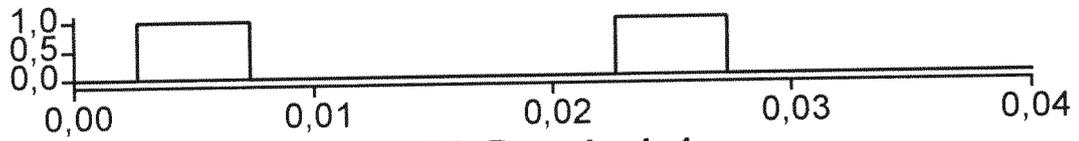


FIG. 4.11

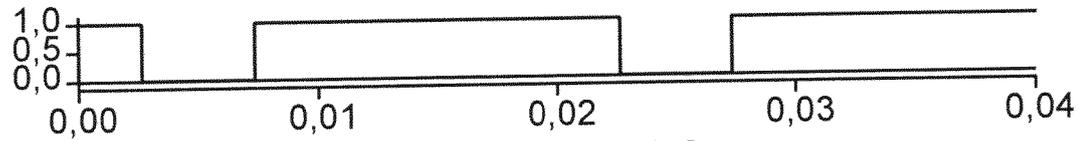


FIG. 4.12

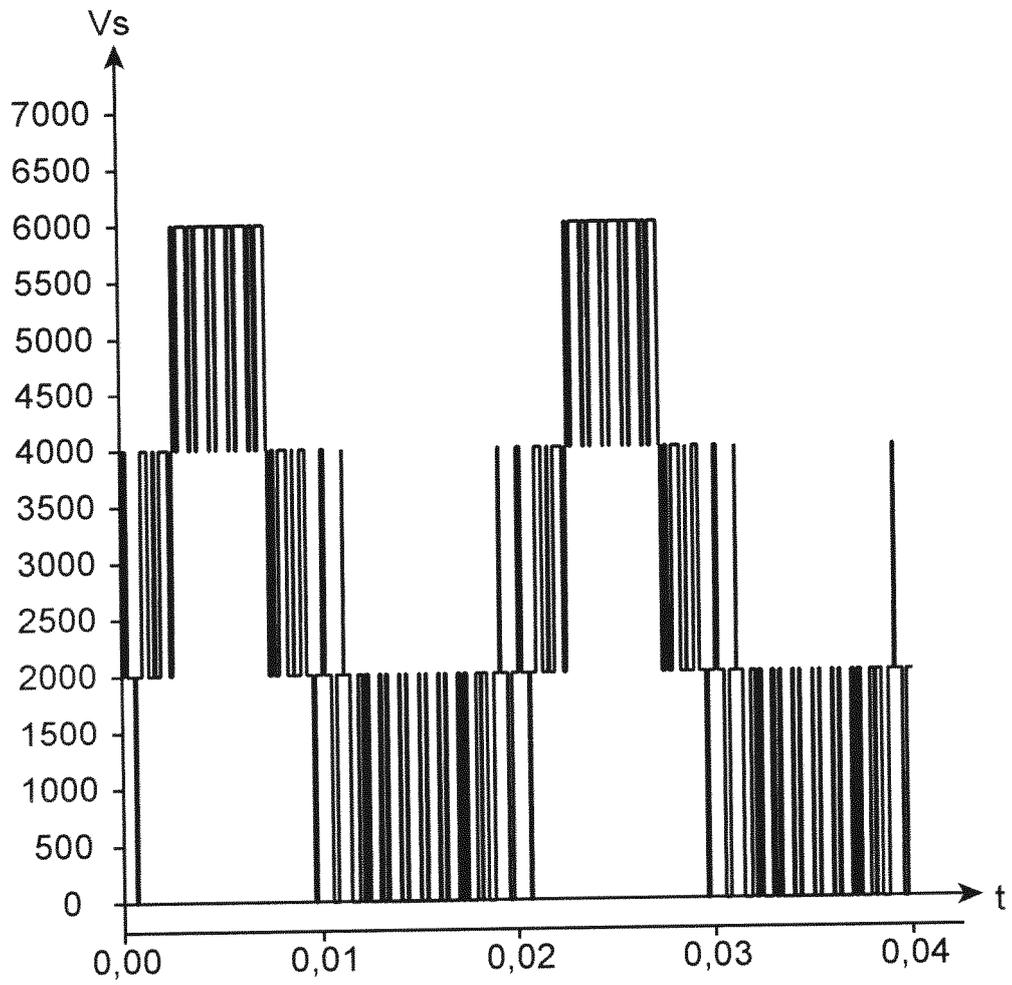


FIG. 4.13

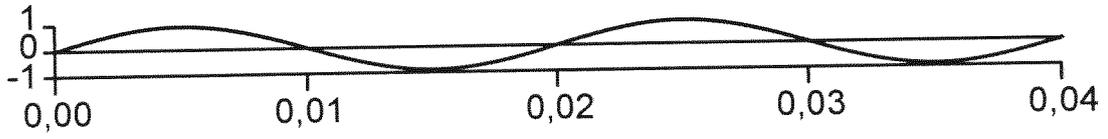


FIG. 5.1

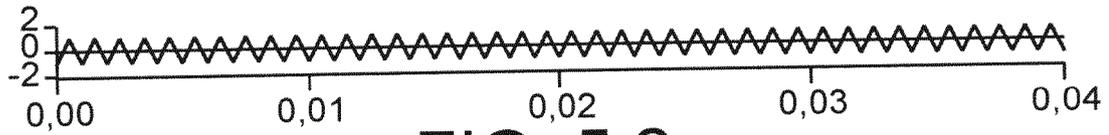


FIG. 5.2

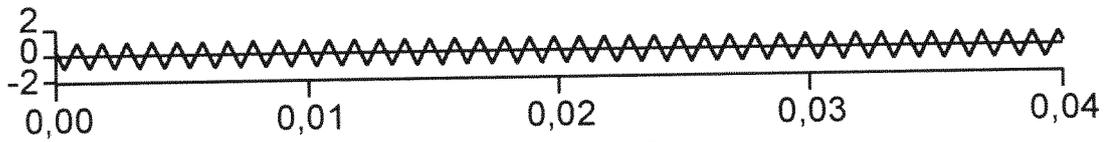


FIG. 5.3

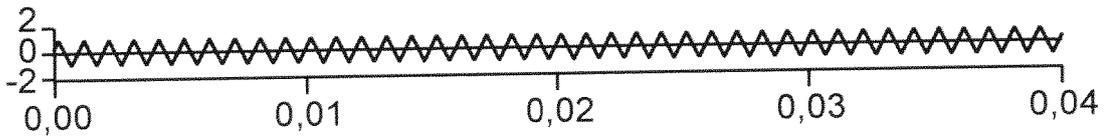


FIG. 5.4

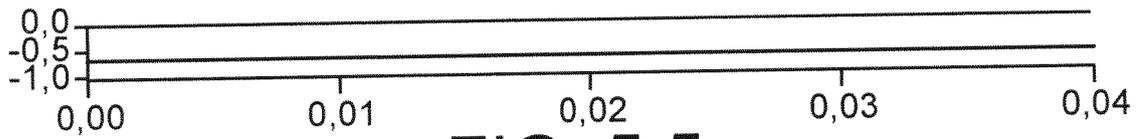


FIG. 5.5

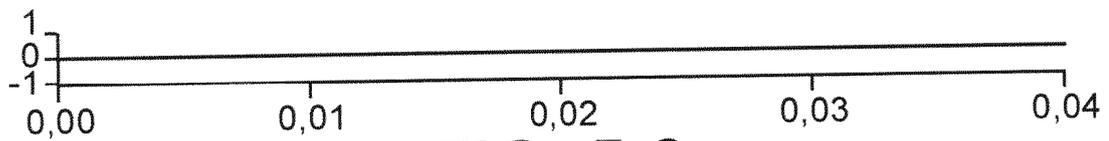


FIG. 5.6

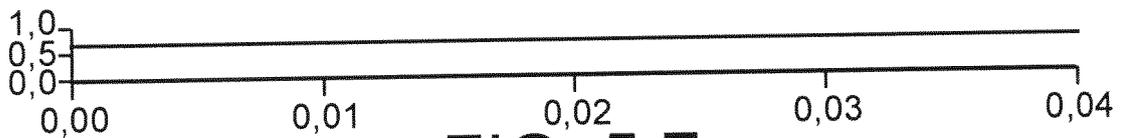


FIG. 5.7

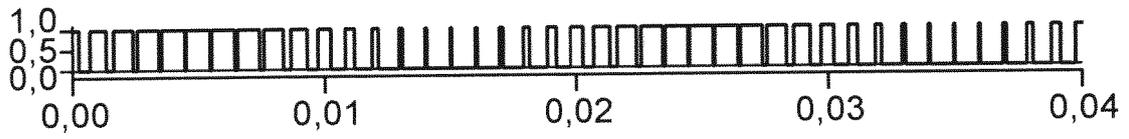


FIG. 5.8

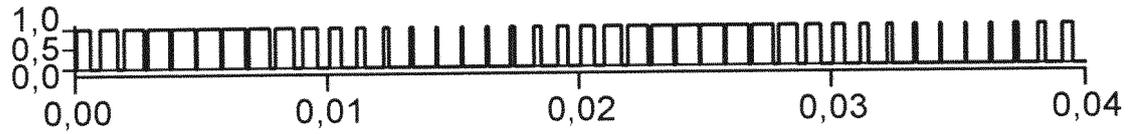


FIG. 5.9

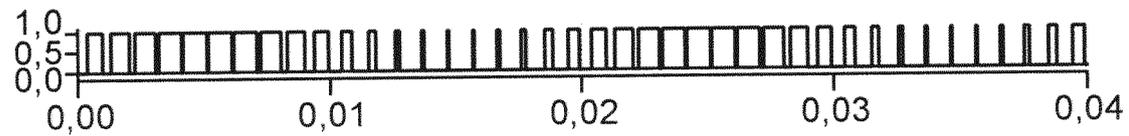


FIG. 5.10

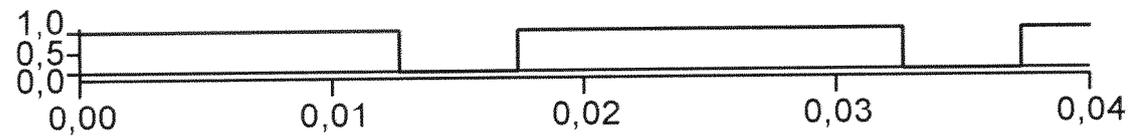


FIG. 5.11

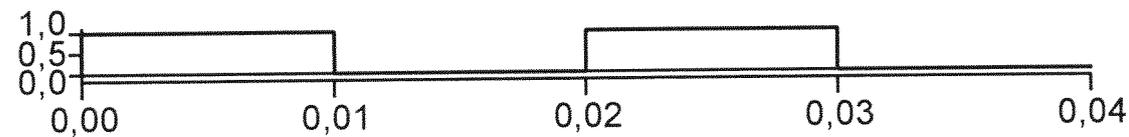


FIG. 5.12

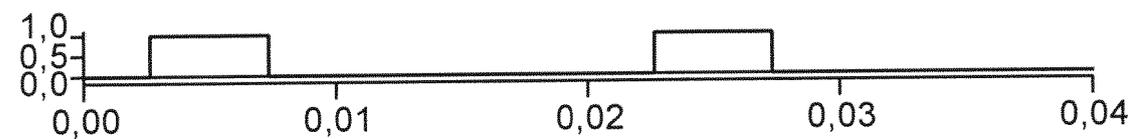


FIG. 5.13

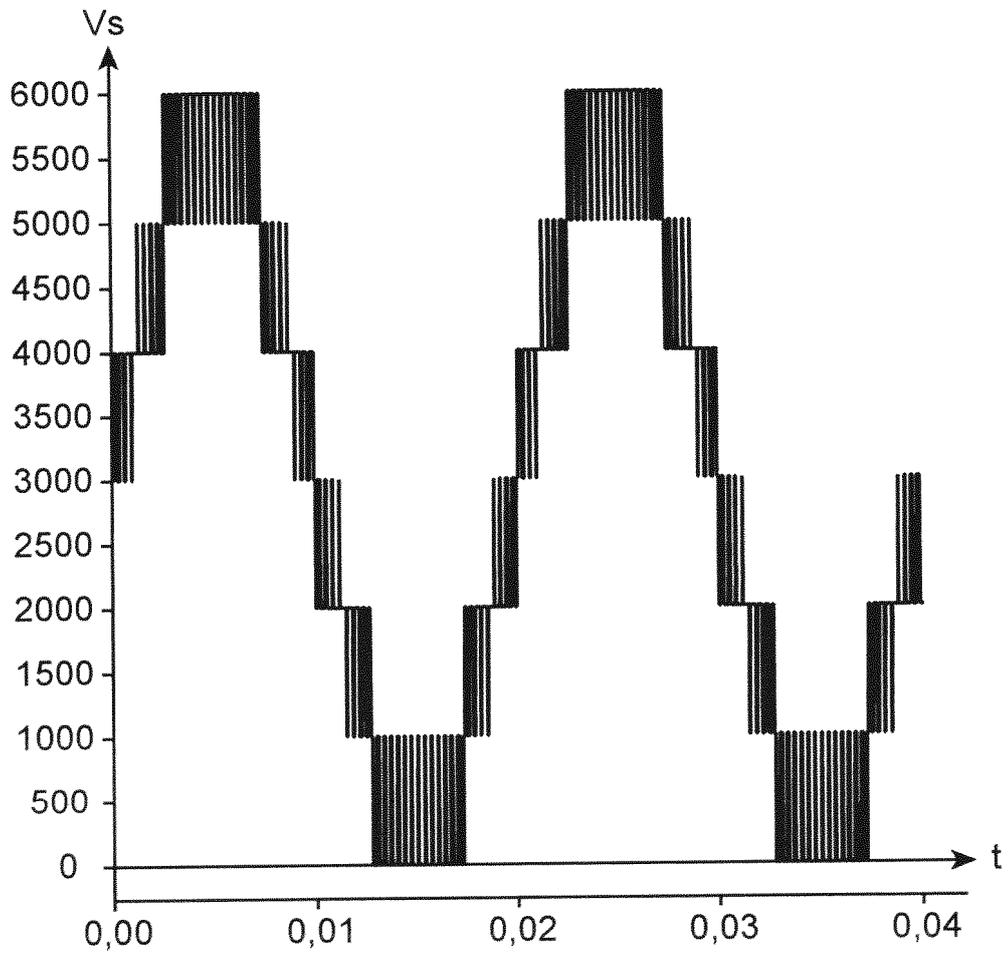


FIG. 5.14

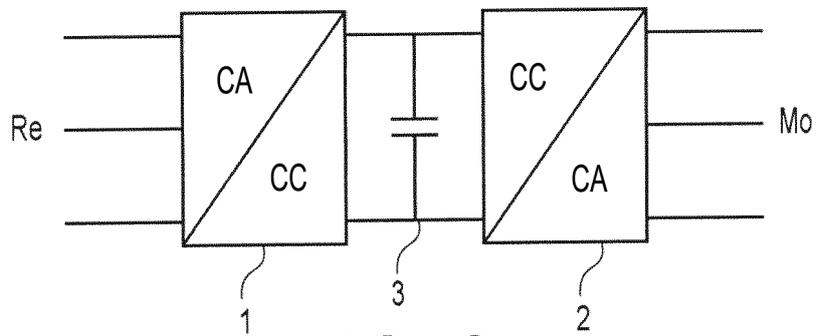


FIG. 6