

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 619 657**

51 Int. Cl.:

H02M 7/487 (2007.01)

H02M 3/158 (2006.01)

H02M 5/42 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.03.2015 E 15157308 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.12.2016 EP 2937985**

54 Título: **Convertidor de potencia multinivel**

30 Prioridad:

03.04.2014 FR 1452963

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

26.06.2017

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 2 619 657 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, de manera más particular destinados a funcionar en el campo de la media tensión.

Estado de la técnica

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

Se han desarrollado unas técnicas basadas en el entrelazado de los controles de los interruptores asociados a la utilización de transformadores, estas permiten gestionar el reparto de las tensiones y reconstituir las formas de ondas. Pero los transformadores tienen un coste significativo e impiden la realización de convertidores compactos.

15 Ha aparecido otra solución, se trata de la topología designada NPC (del inglés *neutral point clamped* o clampeo por el neutro). Una célula de tipo NPC consta de dos pares de interruptores de semiconductor en serie, de dos diodos en serie conectados, por un lado, en el punto común entre los dos interruptores del primer par y, por otro lado, en el punto común entre los dos interruptores del segundo par. Encontramos, además, una serie de dos condensadores conectada a los bornes del conjunto formado por los pares de interruptores de semiconductores. El punto común
20 entre los dos diodos en serie está unido al punto común entre los dos condensadores de la serie.

Esta topología conduce a una forma de onda satisfactoria y a una reducción de las limitaciones de tensión en los interruptores de semiconductores. Por el contrario, pueden producirse desequilibrios de la tensión en los bornes de los condensadores.

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

Otra mejora ha aparecido para aumentar el nivel de tensión aceptable poniendo los interruptores en serie y añadiendo un condensador. Esta topología se denomina ANPC con 5 niveles de tensión. La ha desarrollado la empresa ABB. Sin embargo, está limitada en la actualidad a unos niveles de tensión del orden de 6,9 kV.

30 Otra técnica se basa en la asociación de células de condensador flotante conocidas también con la denominación de células elementales anidadas. Se puede unir una fuente de tensión a una fuente de corriente a través de un número cualquiera de dichas células elementales en serie. Cada célula elemental consta de dos interruptores de semiconductor en serie y de un dispositivo de almacenamiento de energía como un condensador una entre sí dos células elementales contiguas a la manera de una escalera. Esta solución presenta, sin embargo, algunos
35 inconvenientes relacionados con la presencia del condensador flotante entre dos células elementales. Cuanto más aumenta el número de células elementales, más aumenta el sobre coste relacionado con los condensadores y mayor es la cantidad de energía almacenada en estos condensadores.

Frente a las dificultades que resultan de la puesta en serie de numerosos interruptores de semiconductores para alcanzar unos niveles de tensión elevados, se ha recomendado limitar el número de interruptores en serie, y asociar unas etapas con células anidadas en cascada, constanding cada etapa de varias células elementales anidadas.

40 De este modo, en la solicitud de patente US 2007/0025126, se describe un convertidor de potencia multinivel que consta al menos de dos brazos configurados con unas células elementales anidadas unidas entre sí por unos condensadores.

45 En una primera configuración, cada brazo consta de una cascada de 3 etapas. Cada una de estas etapas tiene un rango diferente comprendido entre uno y tres. Cada etapa consta de tantos pares de células elementales anidadas como el rango de la etapa. Estos pares de células elementales anidadas pueden adoptar tres niveles de tensión. El inconveniente de esta primera configuración es que utiliza muchos interruptores y condensadores, lo que la hace cara y poco fiable.

50 En una segunda configuración, cada brazo consta de una cascada de dos etapas, una de rango uno y la otra de rango dos. Cada etapa consta de tantos tripletes de células elementales de base anidadas. Estos tripletes de células elementales pueden adoptar cuatro niveles de tensión. En esta segunda variante, los condensadores utilizados se encargarán de unos niveles de tensión diferentes según si pertenecen a la primera etapa o a la segunda etapa. Esto presenta una limitación para la estandarización. Por otra parte, las inductancias parásitas de los condensadores son más elevadas cuando aumenta la resistencia en tensión. Las sobretensiones de conmutación para las células de niveles de tensión más importantes van a limitar la atracción del montaje.

Los documentos ZHIGUO PAN y otros: "A diode-clamped multilevel converter with reduced number of clamping diodes", DE 102012214666A1 y ALIAN CHEN y otros: "Research on Hybrid-Clamped Multilevel-Inverter Topologies" dan a conocer unos convertidores de potencia multinivel.

Descripción de la invención

5 La presente invención tiene como objetivo proponer un convertidor multinivel que puede trabajar en unos niveles de tensión superiores a los de la técnica anterior, sin tener la necesidad de recurrir a los transformadores ni de multiplicar el número de interruptores de semiconductores.

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

10 Otro objetivo más de la invención es proponer un convertidor multinivel que utiliza unos lotes de condensadores estándar de resistencia en tensión limitada.

Un objetivo adicional de la invención es proponer un convertidor multinivel que limita la aparición de inductancias parásitas.

Estos objetivos se consiguen mediante la asociación de células de tipo NPC y de células capacitivas.

15 De manera más particular, la presente invención es un convertidor multinivel que consta de uno o varios brazos, configurados para conectarse cada uno entre una fuente de tensión y una fuente de corriente. El o cada brazo comprende dos etapas conectadas en cascada con una primera etapa destinada a conectarse a la fuente de tensión y una segunda etapa destinada a conectarse en la fuente de corriente. La primera etapa consta de n etapas elementales de rango de uno a n (n superior a uno) conectadas en cascada, estando la etapa elemental de rango uno conectada a la segunda etapa y estando la etapa elemental de rango n destinada a conectarse en la fuente de tensión. Cada etapa elemental consta de un par de células de tipo NPC idénticas conectadas en serie, siendo directa la conexión en la etapa elemental de rango uno, haciéndose la conexión a través de $n-1$ células capacitivas para cada etapa elemental de rango n (n superior a uno). La segunda etapa consta por su parte de una célula de tipo de condensador flotante.

20 25 En este convertidor multinivel, una célula capacitiva consta de dos dispositivos de almacenamiento de energía dispuestos en serie, teniendo estos dispositivos de almacenamiento de energía la misma capacidad de almacenamiento de energía.

30 En una etapa elemental, las células de tipo NPC constan de un puente capacitivo con dos dispositivos de almacenamiento de energía con la misma capacidad de almacenamiento de energía. Cada dispositivo de almacenamiento de energía de una célula capacitiva de esta etapa elemental tiene la misma capacidad de almacenamiento de energía que uno de los dispositivos de almacenamiento de energía de una célula de tipo NPC.

De este modo, todos los dispositivos de almacenamiento de energía de la primera etapa tienen la misma capacidad de almacenamiento de energía.

35 Para cumplir con las normas de conexión en fuente de tensión y fuente de corriente, al menos una de las células de tipo NPC de una etapa elemental está conectada a una célula de tipo NPC de una etapa elemental contigua a través de una inductancia.

40 En el convertidor objeto de la invención, una célula de tipo NPC consta de un cuádruple de interruptores elementales dispuestos en serie de los cuales dos están en la posición extrema y dos están en la posición central. Un interruptor elemental en la posición extrema y un interruptor elemental en la posición central que no están unidos directamente están siempre en estados complementarios, siendo uno conductor y estando el otro bloqueado, estos dos interruptores elementales forman una célula de conmutación elemental.

45 Una célula de tipo NPC tiene una función de conversión que une la tensión aplicada en la entrada de dicha célula a la tensión presente en la salida de dicha célula. Las dos células de conmutación elementales de dicha célula tienen cada una también una función de conversión. La función de conversión de la célula de tipo NPC depende de las funciones de conversión de las dos células de conmutación elementales.

Además, las células de tipo NPC de una misma etapa elemental tienen la misma función de conversión.

En las dos células de tipo NPC de una misma etapa elemental, los interruptores elementales homólogos se controlan de manera idéntica.

50 En el convertidor objeto de la invención, una célula del tipo de condensador flotante consta de un cuádruple de interruptores elementales dispuestos en serie de los cuales dos están en la posición extrema y dos están en la posición central. Los dos interruptores elementales en la posición extrema están siempre en estados complementarios, los dos interruptores elementales en la posición central están siempre en estados complementarios, siendo uno conductor y estando el otro bloqueado. Los dos interruptores elementales en la

posición extrema forman una primera célula de conmutación elemental. Los dos interruptores elementales en la posición central forman una segunda célula de conmutación elemental.

Los interruptores elementales constan cada uno de un conmutador electrónico de potencia controlable asociado con un diodo conectado en antiparalelo.

- 5 Los dispositivos de almacenamiento de energía se seleccionan entre un condensador, una batería o una pila de combustible.

La presente invención se refiere también a un variador de velocidad que consta de una cascada con un convertidor así caracterizado que funciona como rectificador CA/CC y un convertidor así caracterizado que funciona como inversor CC/CA, unidos entre sí por sus lados en corriente continua por medio de una fuente de tensión.

10 **Breve descripción de los dibujos**

La presente invención se entenderá mejor con la lectura de la descripción de unos ejemplos de realización, dados a título meramente indicativo y en modo alguno limitativo, que hacen referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- 15 la figura 1A ilustra, de manera muy esquemática, un brazo de convertidor multinivel objeto de la invención con una primera etapa y una segunda etapa montadas en cascada, siendo la primera etapa una cascada de n etapas elementales; la figura 1B es un convertidor multinivel monofásico que consta de dos brazos similares a los de la figura 1A;
- 20 la figura 2A muestra una célula de tipo NPC del convertidor multinivel objeto de la invención y las figuras 2B, 2C, 2D ilustran la circulación de la corriente en esta célula que conduce a los tres estados de la célula de tipo NPC;
- la figura 3A muestra una célula de tipo de condensador flotante con tres niveles de tensión del convertidor multinivel objeto de la invención y las figuras 3B, 3C, 3D, 3E ilustran la circulación de la corriente en esta célula de condensador flotante que conduce a los cuatro estados de la célula de condensador flotante;
- 25 las figuras 4A y 4B ilustran unos ejemplos de brazos de convertidor multinivel objeto de la invención en el que la primera etapa es una cascada de dos primeras etapas elementales, la figura 4A es relativa a un inversor y la figura 4B es relativa a un rectificador;
- 30 las figuras 5A y 5B ilustran respectivamente unas señales triangulares para el control de los interruptores elementales de las dos células de conmutación elementales de una célula de condensador flotante como la célula Ce10 de la figura 4A en el caso de un control de tipo modulación de ancho de pulso MAP; las figuras 5C y 5D ilustran respectivamente unas señales triangulares para el control de los interruptores elementales de las dos células de conmutación elementales de una célula de tipo NPC como la célula Ce11 de la figura 4A en el caso de un control de tipo modulación de ancho de pulso MAP; la figura 5E ilustra una señal de consigna que hay que comparar con las señales triangulares para determinar unos instantes de conmutación de los interruptores elementales de las células de conmutación elementales;
- 35 las figuras 6 a 9 ilustran unas señales en el caso de un convertidor, como el de la figura 4A, con una carga 10 de tipo RL enchufada entre el nodo S y el nodo N3;
- las figuras 6.00 a 6.04 ilustran respectivamente la señal de consigna Vref que hay que comparar con la portadora Car3 para el control de los interruptores elementales T4u y T3u, con la portadora Car4 para el control de los interruptores elementales T5u y T6u, con la portadora Car1 para el control del interruptor elemental T1, con la portadora Car2 para el control del interruptor elemental T2;
- 40 las figuras 6.1 a 6.8 son unos cronogramas que corresponden a la primera etapa elemental E11: las figuras 6.1 y 6.2 ilustran respectivamente la señal de control de los interruptores elementales T3u, T4u; las figuras 6.3 a 6.7 ilustran respectivamente la corriente que circula desde el nodo N8 hacia el interruptor elemental T4u, la corriente que circula desde el nodo N9 hacia los diodos D7 y D8, la corriente que circula desde el nodo N10 hacia los interruptores elementales T3'u y T4l, la corriente que circula desde el nodo N11 hacia los diodos D9 y D10, la corriente que circula desde el nodo N12 hacia el interruptor elemental T3'l; la figura 6.8 ilustra la corriente la corriente de salida del brazo y que alimenta la carga 10;
- 45 las figuras 7.1 a 7.9 son unos cronogramas que corresponden a la segunda etapa elemental E12: las figuras 7.1 y 7.2 ilustran respectivamente la señal de control de los interruptores elementales T5u, T6u; las figuras 7.3 a 7.8 ilustran respectivamente la corriente que circula desde el borne E+ que debe estar conectado a la fuente de tensión VCC hacia el interruptor elemental T6u, la corriente que circula desde el nodo N1 hacia los diodos D1 y D2, la corriente que circula desde el nodo N2 hacia el interruptor elemental T5'u, la corriente que circula desde el nodo N4 hacia el interruptor elemental T6l, la corriente que circula desde el nodo N5 hacia los diodos D5 y D6, la corriente que circula desde el borne E- que debe estar conectado a la fuente de tensión VCC hacia el interruptor elemental T5'l; la figura 7.9 ilustra la corriente de salida del brazo y que alimenta la carga 10;
- 50 las figuras 8.1 a 8.5 son unos cronogramas que corresponden a la segunda etapa E2, las figuras 8.1 y 8.2 ilustran respectivamente la señal de control de los interruptores elementales T1, T2 con una primera base de tiempo, la misma que la de las figuras 6.03 y 6.04; las figuras 8.3 y 8.4 ilustran respectivamente la corriente que circula desde el interruptor elemental T2 hacia el interruptor elemental T1 y la corriente que circula desde el interruptor elemental T2 hacia el condensador Cf; la figura 8.5 ilustra la corriente de salida del brazo y que alimenta la carga 10; las figuras 8.6 y 8.7 ilustran de nuevo la señal de control de los interruptores elementales T1, T2 con una segunda base de tiempo, la misma que la de las figuras 8.3 a 8.5;
- 60 las figuras 9.1 y 9.2 ilustran respectivamente un cronograma de la tensión Vs en los bornes de la carga 10 y de la

corriente I_s de salida del brazo y que alimenta la carga 10;
la figura 10 muestra un ejemplo de variador de velocidad que asocia dos convertidores multinivel objeto de la invención, funcionando uno como rectificador y el otro como inversor.

5 **Descripción detallada de unas formas particulares de realización**

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 del campo de la media tensión hasta aproximadamente 13,8 kV.

Este se va a describir, en primer lugar, en un ejemplo de un brazo de convertidor CC/CA.

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

15 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 por tanto funcionar como convertidor CC/CA (inversor) 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, y la fuente de tensión es continua y puede ser, por ejemplo, un bus de corriente continua enchufado en la salida de un rectificador.

20 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.

El brazo B de convertidor consta de dos etapas Et1, Et2 conectadas juntas en cascada. La primera etapa Et1 o etapa de entrada está destinada a enchufarse en la fuente de tensión VCC que es continua y la segunda etapa Et2 o etapa de salida está destinada a enchufarse en la fuente de corriente I en la configuración de convertidor CC/CA que se ilustra en la figuras 1.

25 En una configuración de convertidor CA/CC, la primera etapa Et1 o etapa de salida estaría enchufada en una fuente de tensión continua y la segunda etapa Et2 o etapa de entrada estaría enchufada en una fuente de corriente alterna. La entrada y la salida del convertidor se invierten cuando se pasa del funcionamiento como inversor al funcionamiento como rectificador y viceversa.

30 La primera etapa Et1 está formada por n etapas elementales E11, E12,..., E1n con un rango comprendido entre 1 y n (n entero superior a uno) conectados en cascada. La etapa elemental E11 de rango 1 está conectada a la segunda etapa Et2. La etapa elemental E1n de rango n está destinada a enchufarse en la fuente de tensión VCC.

La segunda etapa Et2 está formada por una célula de tipo de condensador flotante Ce10 con tres niveles de tensión.

35 Cada etapa elemental E11, E12,..., E1n de la primera etapa Et1 consta de un par de células de tipo NPC (Ce11, Ce12), (Ce21, Ce22),..., (Cen1, Cen2) unidas en serie. La unión entre las dos células de tipo NPC (Ce11, Ce12), (Ce21, Ce22),..., (Cen1, Cen2) de una misma etapa elemental E11, E12,...E1n de rango 1 a n, se hace por n-1 células capacitivas. Para la etapa elemental E11 de rango 1, la unión entre sus dos células de tipo NPC Ce11, Ce12 es por tanto directa. Cuando n-1 es superior a uno, hay n-1 células capacitivas que están conectadas en serie. La célula capacitiva de la etapa elemental E12 de rango 2 lleva la referencia Ca2(1) y por analogía las de la etapa elemental En de rango n Can(1) a Can((n-1)). Cada célula capacitiva consta de un par de dispositivos de almacenamiento de energía en serie. Los dos dispositivos de almacenamiento de energía de una célula capacitiva tienen la misma capacidad de almacenamiento de energía. Además, todos los dispositivos de almacenamiento de energía de las células capacitivas de la primera etapa Et1 tienen el mismo valor de almacenamiento de energía.

40 Los dispositivos de almacenamiento de energía utilizados en el convertidor objeto de la invención, ya sea en las células de tipo NPC o de condensador flotante o bien también en las células capacitivas se pueden realizar mediante cualquier dispositivo capaz de almacenar energía eléctrica y restituirla en forma de tensión. Los dispositivos de almacenamiento de energía pueden adoptar la forma de un condensador, de una batería, de una pila de combustible...

A continuación, en aras de la simplificación, la referencia VCC representará a la vez la fuente de tensión y la tensión en los bornes de esta fuente de tensión.

50 Se observa que la tensión VCC se ha escindido en n+1 tensiones asociadas en serie, de las cuales dos más extremas, denominadas E1n1 y E1n(n+1), son las tensiones de entrada de las células de tipo NPC Cen1 y Cen2.

En el funcionamiento como inversor, se ha representado una única fuente de tensión VCC. Se sobreentiende que esta fuente de tensión VCC podría estar constituida por un conjunto de n+1 fuentes de tensión elementales independientes.

Cada célula de tipo NPC consta, como se verá más adelante haciendo referencia a la descripción de la figura 3A, de un puente divisor capacitivo de entrada que materializa una fuente de tensión. Las tensiones E_{1n1} , $E_{1n(n+1)}$ son las tensiones en los bornes de estos puentes capacitivos.

5 Las tensiones E_{1n2} a E_{1nn} son unas tensiones flotantes que se aplican a las $n-1$ células capacitivas $Can(1)$ a $Can(n-1)$. Estas $n-1$ células capacitivas $Can(1)$ a $Can(n-1)$ forman unas fuentes de tensión flotantes.

De la misma manera, las salidas de las células de tipo NPC $Cen1$ y $Cen2$ de la etapa elemental E_{1n} se consideran como unas fuentes de tensión flotantes.

10 La unión entre dos etapas elementales contiguas, se hace entre dos células de tipo NPC respectivas, a través de una inductancia $Laux_{11}$, $Laux_{21}$,... $Laux_{1(n-1)}$, $Laux_{2(n-1)}$. Cada una de estas inductancias es asimilable a una fuente de corriente para cumplir con las normas de conexión entre fuente de tensión y fuente de corriente. Los valores de estas dos inductancias son los mismos. Por el contrario, dos inductancias que no unen dos mismas etapas no tienen necesariamente los mismos valores. En una variante, sería posible utilizar solo una inductancia para unir una primera etapa elemental y una segunda etapa elemental contigua. Esta se colocaría entre una célula de tipo NPC de la primera etapa elemental y una célula de tipo NPC de la segunda etapa elemental contigua. La otra
15 célula de tipo NPC de la primera etapa elemental se uniría directamente a la otra célula de tipo NPC de la segunda etapa elemental contigua. Es para esquematizar esta variante por lo que se ha representado con línea discontinua la inductancia $Laux_{21}$ en la figura 1A. Esto significa que es opcional. En este caso, la única inductancia utilizada tendría como valor la suma de las dos inductancias del montaje con dos inductancias.

20 A la altura de la etapa elemental E_{12} de rango 2, las salidas de las células de tipo NPC Ce_{21} y Ce_{22} están conectadas a través de las inductancias $Laux_{11}$, $Laux_{21}$ con dos fuentes de tensión flotantes constituidas por los puentes capacitivos de las dos células de tipo NPC Ce_{11} , Ce_{12} . Estas dos fuentes de tensión tienen un punto común. Las referencias E_{111} , E_{112} corresponden a las tensiones en los bornes de estos puentes capacitivos.

25 Las salidas de las células de tipo NPC Ce_{11} y Ce_{12} realizan una fuente de tensión flotante E_2 que se aplica en la entrada de la célula de tipo condensador flotante Ce_{10} de la segunda etapa Et_2 . La estructura y el funcionamiento de una célula de tipo de condensador flotante con tres niveles de tensión se describen haciendo referencia a las figuras 3A a 3E.

30 Se seleccionan las componentes de la n -ésima etapa elemental E_{1n} de manera que la tensión de entrada V_{CC} se escinda en $n+1$ tensiones de entrada iguales aplicadas a cada una de las dos células de tipo NPC $Cen1$, $Cen2$ y de las $n-1$ células capacitivas $Can(1)$,..., $Can(n-1)$. De este modo, se aplica $V_{CC}/n+1$ en cada una de las células de la n -ésima etapa elemental.

Se puede definir una función f de conversión asociada a cada célula de tipo NPC o de condensador flotante, esta une la tensión de entrada V_e aplicada a dicha célula con la tensión V presente en la salida de la misma célula.

$$V = f \cdot V_e / 2 \text{ siendo } -1 \leq f \leq 1$$

35 En cada etapa elemental de la primera etapa, se configuran y se controlan las dos células de tipo NPC de manera que sus funciones de conversión asociadas sean iguales de dos en dos. De esta forma, las tensiones aplicadas en la entrada de cada una de las células de la primera etapa pero también de la segunda etapa son iguales a $V_{CC}/n+1$. Todas las células de tipo NPC o de condensador flotante del convertidor deben soportar esta tensión $V_{CC}/n+1$. Esto cumple con el objetivo inicial de reducción de las limitaciones de tensión en los interruptores de semiconductores para una tensión continua dada aplicada a la etapa elemental de rango n de la primera etapa.

40 Se va a describir rápidamente la estructura de una célula de tipo NPC con tres niveles de tensión, haciendo referencia a las figuras 2A a 2D.

45 Esta célula de tipo NPC consta de un cuádruple de interruptores elementales montados en serie denominados K_{11} , K_{12} , K_{21} , K_{22} . En este cuádruple, un primer interruptor K_{11} elemental y un segundo interruptor K_{22} elemental están en la posición extrema y un primer interruptor K_{12} y un segundo interruptor K_{21} elemental están en la posición central, los dos interruptores elementales en la posición central están directamente unidos entre sí en el nodo M_3 . En el cuádruple, un interruptor elemental en la posición extrema está directamente unido a un interruptor elemental en la posición central. Esta unión permite definir un primer punto M_1 central entre el primer interruptor K_{11} elemental en la posición extrema y el primer interruptor K_{12} elemental en la posición central y un segundo punto M_2 medio entre el segundo interruptor K_{22} elemental en la posición extrema y el segundo interruptor K_{21} elemental en la posición central.
50

55 Los interruptores K_{11} , K_{12} , K_{21} , K_{22} elementales son unos interruptores de semiconductor y constan cada uno de un conmutador T_{11} , T_{12} , T_{21} , T_{22} electrónico de potencia controlable, como un transistor de potencia IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*) asociado con un diodo D_{11} , D_{12} , D_{21} , D_{22} , conectada en antiparalelo. En lugar de los transistores IGBT, se pueden considerar otros conmutadores electrónicos de potencia como unos transistores MOSFET u otros. Para no sobrecargar las figuras, se ha omitido representar los medios de control de los conmutadores electrónicos de potencia.

Un primer diodo D100 y un segundo diodo D200 en serie están conectados entre el primer punto M1 medio y el segundo punto M2 medio. El diodo D100 tiene su cátodo conectado al primer punto M1 medio, el diodo D200 tiene su ánodo conectado al segundo punto M2 medio. Un puente divisor capacitivo, con un primer dispositivo C100 de almacenamiento de energía y un segundo dispositivo C200 de almacenamiento de energía está conectado a los bornes extremos del cuadruplete de interruptores K11, K12, K21, K22 elementales. Los dos dispositivos C100 y C200 de almacenamiento de energía tienen la misma capacidad de almacenamiento de la energía eléctrica. El punto A medio entre los dos dispositivos C100, C200 de almacenamiento de energía en serie está unido al punto B medio entre los dos diodos D100, D200 en serie. El diodo D100 tiene su ánodo conectado al punto B medio, el diodo D200 tiene su cátodo conectado en el punto B medio.

Se definen dos funciones de conmutación. La primera función F1 de conmutación se utiliza para el control de una primera célula G1 de conmutación elemental que comprende el primer interruptor K11 elemental en la posición extrema y el segundo interruptor K21 elemental en la posición central. La segunda función F2 de conmutación se utiliza para el control de una segunda célula G2 de conmutación elemental que comprende el primer interruptor K12 elemental en la posición central y el segundo interruptor K22 elemental en la posición extrema. Los interruptores elementales de una misma célula G1 o G2 de conmutación elemental no se conectan directamente entre sí y siempre están en estados complementarios, siendo uno conductor y estando el otro bloqueado.

La primera tensión V1 de entrada se aplica a los bornes del primer dispositivo C100 de almacenamiento de energía. La segunda tensión V2 de entrada se aplica a los bornes del segundo dispositivo C200 de almacenamiento de energía.

La tensión V de salida se toma entre el punto A medio entre los dos dispositivos C100, C200 de almacenamiento de energía y el nodo M3 común a los dos interruptores K12, K21 elementales en la posición central.

Estado	K11	K21	F1 G1	K12	K22	F2 G2	V
1	conductor	bloqueado	1	conductor	bloqueado	1	V1
2	bloqueado	conductor	0	conductor	bloqueado	1	0
3	bloqueado	conductor	0	bloqueado	conductor	0	-V2

La combinación K12 bloqueado y K11 conductor no se permite en este montaje que emite tres niveles de tensión. El estado 1 se ilustra en la figura 2B, el estado 2 se ilustra en la figura 2C, el estado 3 se ilustra en la figura 2D.

Se va a describir rápidamente la estructura de una célula de tipo de condensador flotante con tres niveles de tensión, haciendo referencia a las figuras 3A a 3E.

Esta célula de tipo condensador flotante consta de un cuadruplete de interruptores elementales montados en serie denominados K110, K120, K210, K220. En este cuadruplete, un primer interruptor K110 elemental y un segundo interruptor K220 elemental están en la posición extrema y un primer interruptor K120 elemental y un segundo interruptor K210 elemental están en la posición central, los dos interruptores K120, K210 elementales en la posición central están directamente unidos entre sí en el nodo M30. En el cuadruplete, un interruptor elemental en la posición extrema está directamente unido a un interruptor elemental en la posición central. Esta unión permite definir un primer punto M10 medio entre el primer interruptor K110 elemental en la posición extrema y el primer interruptor K120 elemental en la posición central y un segundo punto M20 medio entre el segundo interruptor K220 elemental en la posición extrema y el segundo interruptor K210 elemental en la posición central.

Estos interruptores K110, K120, K210, K220 elementales son unos interruptores de semiconductor y constan cada uno de un conmutador T110, T120, T210, T220 electrónico de potencia controlable, como un transistor de potencia IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*) por ejemplo asociado con un diodo D110, D120, D210, D220, conectado en antiparalelo. En lugar de los transistores IGBT, se pueden considerar otros conmutadores electrónicos de potencia como unos transistores MOSFET u otros.

Un dispositivo C101 de almacenamiento de energía está conectado entre el primer punto M10 medio y el segundo punto M20 medio.

Se definen dos funciones de conmutación. La primera función F10 de conmutación se utiliza para el control de una primera célula J1 de conmutación elemental que comprende el primer interruptor K110 elemental en la posición extrema y el segundo interruptor K220 elemental en la posición extrema. La segunda función F20 de conmutación se utiliza para el control de una segunda célula J2 de conmutación elemental que comprende el primer interruptor K120 elemental en la posición central y el segundo interruptor K210 elemental en la posición central. Los interruptores elementales de una misma célula de conmutación elemental están siempre en estados complementarios, conductor o bloqueado.

La tensión Ve de entrada es la tensión en los bornes del cuadruplete de interruptores K110, K120, K210, K220. La

tensión V de salida es la tensión en los bornes del conjunto formado por el segundo interruptor K210 elemental en la posición intermedia y el segundo interruptor K220 elemental en la posición extrema.

Estado	K110	K220	F10 J1	K120	K210	F20 J2	V
1	conductor	bloqueado	1	conductor	bloqueado	1	Ve
2	conductor	bloqueado	1	bloqueado	conductor	0	Ve/2
3	bloqueado	conductor	0	conductor	bloqueado	1	Ve/2
4	bloqueado	conductor	0	bloqueado	conductor	0	0

Según el estado de los interruptores elementales, los tres niveles de tensión de salida que se pueden obtener son: 0, Ve/2, Ve. El estado 1 se ilustra en la figura 3B, el estado 2 se ilustra en la figura 3C, el estado 3 se ilustra en la figura 3D y el estado 4 se ilustra en la figura 3E.

Los interruptores elementales de las células descritas más arriba son bidireccionales en corriente, lo que vuelve al convertidor objeto de la invención reversible.

A continuación nos centramos en las figuras 4A, 4B que muestran de manera más detallada el esquema eléctrico de un brazo de un convertidor multinivel objeto de la invención. En la figura 4A el convertidor objeto de la invención funciona como inversor CC/CA. Su salida en el lado de corriente alterna está destinada a alimentar una carga 10 representada formada por una resistencia R y por una inductancia L en serie y equivalente a una fuente de corriente. En la figura 4B, el convertidor objeto de la invención funciona como rectificador CA/CC. Los dispositivos de almacenamiento de energía se han llamado condensadores. Esto no es limitativo.

En este ejemplo, la primera etapa Et1 del brazo solo consta de n = 2 etapas E11, E12 elementales de rangos 1 y 2. La primera etapa E11 elemental consta de dos células de tipo NPC Ce11 y Ce12. La célula de tipo NPC Ce11 consta de cuatro interruptores elementales de los cuales dos son extremos T4u, T3'u y dos centrales T3u, T4' así como de dos condensadores C7, C9 y de dos diodos D7, D8. Estos componentes se disponen como en la figura 2A.

Los interruptores elementales de la célula de tipo NPC Ce11 se reparten en dos células Gr4 de conmutación elementales con T4u y T4'u y Gr3 con T3u y T3'u. De este modo, la célula Gr4 de conmutación elemental tiene un nivel 0 cuando T4u está bloqueado y T4'u es conductor y un nivel 1 cuando T4u es conductor y T4'u está bloqueado. Del mismo modo, la célula Gr3 de conmutación elemental tiene un nivel 0 cuando T3u está bloqueado y T3'u es conductor y un nivel 1 cuando T3u es conductor y T3'u está bloqueado.

De manera similar, la célula de tipo NPC Ce12 consta de cuatro interruptores elementales de los cuales dos son extremos T4l, T3'l y dos centrales T3l, T4'l así como de dos condensadores C9, C10 y de dos diodos D9, D10. Estos componentes se disponen como en la figura 2A.

La segunda etapa E12 elemental consta de dos células de tipo NPC Ce21 y Ce22 y de una célula Ca2(1) capacitiva formada por un par de condensadores C3 y C4 en serie. La célula de tipo NPC Ce21 consta de cuatro interruptores elementales de los cuales dos son extremos T6u, T5'u y dos centrales T5u, T6'u, de dos condensadores C1, C2 y de dos diodos D1, D2. Estos componentes se disponen como en la figura 2A.

Los interruptores elementales de la célula de tipo NPC Ce21 se reparten en dos células Gr5 de conmutación elementales con T5u y T5'u y Gr6 con T6u y T6'u. De este modo, la célula Gr5 de conmutación elemental tiene un nivel 0 cuando T5u está bloqueado y T5'u es conductor y un nivel 1 cuando T5u es conductor y T5'u está bloqueado. De este modo, la célula Gr6 de conmutación elemental tiene un nivel 0 cuando T6u está bloqueado y T6'u es conductor y un nivel 1 cuando T6u es conductor y T6'u está bloqueado. Las células de conmutación elementales que pertenecen a unas células NPC de una misma etapa elemental tienen la misma función de conversión.

De manera similar, la célula de tipo NPC Ce22 consta de cuatro interruptores elementales de los cuales dos son extremos T6l, T5'l y dos centrales T5l, T6'l, de dos condensadores C5 y C6 y de dos diodos D5, D6.

Con el fin de cumplir las limitaciones enunciadas con anterioridad, en una misma etapa elemental, los controles de los interruptores T3u y T3l; T4u y T4l; T5u y T5l; T6u y T6l elementales homólogos son idénticos. Por interruptores elementales homólogos, se entienden dos interruptores elementales que pertenecen cada uno a una célula de tipo NPC diferente de la misma etapa elemental y que ocupan exactamente la misma posición en dicha célula.

La primera etapa E11 elemental y la segunda etapa E12 elemental están unidas entre sí por las dos inductancias Laux11, Laux21.

5 La segunda etapa Et2 consta de una célula Ce10 de tipo de condensador flotante tal como se ilustra en la figura 2B. La célula Ce10 consta de cuatro interruptores elementales de los cuales dos son extremos T2, T2' y dos centrales T1, T1' así como de un condensador Cf. Estos interruptores elementales se reparten en dos células de conmutación elementales Gr1 con T1 y T1' y Gr2 con T2 y T2'. De este modo, la célula Gr1 de conmutación elemental tiene un nivel 0 cuando T1 está bloqueado y T1' es conductor y un nivel 1 cuando T1 es conductor y T1' está bloqueado. De este modo, la célula Gr2 de conmutación elemental tiene un nivel 0 cuando T2 está bloqueado y T2' es conductor y un nivel 1 cuando T2 es conductor y T2' está bloqueado.

10 El dimensionamiento del condensador Cf de la célula de tipo de condensador flotante no cumple con las mismas normas que las de los condensadores de las células de tipo NPC. Por el contrario, la resistencia en tensión de todos estos condensadores del convertidor es la misma. Para simplificar, el valor del condensador Cf de la célula con condensador anidado depende de la frecuencia de conmutación de los interruptores elementales de dicha célula. El valor de los condensadores de una célula de tipo NPC es guiado por la frecuencia de la señal de salida de dicha célula.

15 Se ha representado una carga 10 de tipo R, L que hay que enchufar entre el nodo S y el nodo N3. El nodo S está localizado en el punto común entre los dos interruptores T1, T1' elementales centrales de la célula Ce10 de tipo de condensador flotante. En el ejemplo de la figura 4A, este nodo S corresponde a la salida del brazo B en un funcionamiento como convertidor CC/CA. El nodo N3 está localizado en el punto común entre los dos condensadores C3, C4 del par de condensadores de la célula capacitiva Ca2(1). Este nodo N3 corresponde al punto medio de la fuente de tensión VCC de entrada.

20 Se va a describir con más detalle el brazo de convertidor de la figura 4B. Tiene la misma estructura que el de la figura 4A con la excepción del hecho de que el nodo S que correspondía al salida de la figura 4A se llama ahora nodo E puesto que corresponde ahora a la entrada. Está destinado a conectarse a una fuente de corriente alterna (no representada). Del mismo modo, los bornes de entrada E+, E- en la figura 4A en los bornes de los cuales la fuente VCC de tensión hay que enchufarla se llaman ahora S+ y S- en la figura 4B, corresponden a la salida del convertidor y están destinados a alimentar una fuente de tensión continua (no representada). En funcionamiento como rectificador, una corriente IE circula desde el nodo E hacia los bornes de salida S+ y S- mientras que en funcionamiento como inversor de las corrientes IE+ e IE- circulaba desde los bornes E+, E- hacia el nodo S. En funcionamiento como rectificador unas corrientes IS+ e IS- que aparecen en los bornes S+ y S- son unas corrientes de salida, y en funcionamiento como inversor aparece la corriente de salida llamada Is en el nodo S.

30 El convertidor de la figura 4A permite obtener en la salida 7 niveles de tensión diferentes 0, VCC/6, 2VCC/6, 3VCC/6, 4VCC/6, 5VCC/6, VCC y 36 estados en función del nivel de las células Gr1 a Gr6 de conmutación elementales, es decir del estado conductor o bloqueado de sus interruptores elementales.

Se han reagrupado en la siguiente tabla los 36 estados diferentes y permitidos así como los niveles de tensión V correspondientes en la salida de la segunda etapa Et2. La tensión V se toma entre el nodo S y el borne E-.

35 El contenido armónico de la tensión de salida se ve notablemente reducido.

Estado	Gr6	Gr5	Gr4	Gr3	Gr2	Gr1	V
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	1	0	0	2VCC/6
10	0	0	1	1	0	1	3VCC/6
11	0	0	1	1	1	0	3VCC/6

(continuación)

Estado	Gr6	Gr5	Gr4	Gr3	Gr2	Gr1	V
12	0	0	1	1	1	1	4VCC/6
13	0	1	0	0	0	0	VCC/6
14	0	1	0	0	0	1	2VCC/6
15	0	1	0	0	1	0	2VCC/6
16	0	1	0	0	1	1	3VCC/6
17	0	1	0	1	0	0	2VCC/6
18	0	1	0	1	0	1	3VCC/6
19	0	1	0	1	1	0	3VCC/6
20	0	1	0	1	1	1	4VCC/6
21	0	1	1	1	0	0	3VCC/6
22	0	1	1	1	0	1	4VCC/6
23	0	1	1	1	1	0	4VCC/6
24	0	1	1	1	1	1	5VCC/6
25	1	1	0	0	0	0	2VCC/6
26	1	1	0	0	0	1	3VCC/6
27	1	1	0	0	1	0	3VCC/6
28	1	1	0	0	1	1	4VCC/6
29	1	1	0	1	0	0	3VCC/6
30	1	1	0	1	0	1	4VCC/6
31	1	1	0	1	1	0	4VCC/6
32	1	1	0	1	1	1	5VCC/6
33	1	1	1	1	0	0	4VCC/6
34	1	1	1	1	0	1	5VCC/6
35	1	1	1	1	1	0	5VCC/6
36	1	1	1	1	1	1	VCC

5 Al analizar esta tabla, se puede ver que varios estados y, por lo tanto, varias configuraciones de los interruptores elementales conducen a la misma tensión V. Sin embargo, estos estados redundantes pueden generar efectos diferentes en los dispositivos de almacenamiento de energía del convertidor. De este modo, en el estado 2, la corriente pretende descargar el condensador Cf de la célula de tipo de condensador flotante Ce10, mientras que en el estado 3, la corriente circula en el sentido opuesto, lo que conduce a la carga del condensador Cf.

10 Se pueden utilizar varios tipos de control para volver conductores o bloqueados a los interruptores elementales y, por lo tanto, garantizar la conversión. Se puede utilizar un control tradicional basado en la modulación de ancho de pulso MLI. Por supuesto, se controlan de la misma manera los interruptores elementales homólogos de las dos células de tipo NPC de una misma etapa elemental de la primera etapa.

15 Se hace referencia a las figuras 5A a 5D que muestran unas portadoras triangulares utilizadas para definir los instantes de conmutación de los interruptores elementales respectivamente de las dos células de tipo NPC y de tipo de condensador flotante del convertidor objeto de la invención. De manera más particular las figuras 5A y 5B se refieren, respectivamente, al control de los interruptores elementales de las dos células de conmutación elementales de una célula de tipo de condensador flotante como la célula Ce10. Las portadoras triangulares tienen una amplitud

comprendida entre +1 y -1. Estas están desplazadas en fase un medio periodo de corte. Por ejemplo, la portadora triangular de la figura 5A está asociada a la primera célula Gr1 de conmutación elemental y la portadora triangular de la figura 5B está asociada a la segunda célula Gr2 de conmutación elemental.

5 Las figuras 5C y 5D se refieren respectivamente al control de las dos células de conmutación elementales de una célula de tipo NPC como las células de tipo NPC Ce11, Ce12 por ejemplo. Las portadoras triangulares tienen una amplitud comprendida entre 0 y +1 (figura 5C) para la primera célula Gr3 de conmutación elemental y entre -1 y 0 (figura 5D) para la segunda célula Gr4 de conmutación elemental. Estas están en fase. Los instantes de conmutación de los interruptores elementales se obtienen mediante la comparación entre las portadoras triangulares y una señal de consigna, que corresponde a la señal deseada en la salida del convertidor. Se puede definir como norma, por ejemplo, que se produce un instante de conmutación de un interruptor elemental en cuanto la señal de consigna es estrictamente superior a la portadora triangular. Por supuesto, se habría podido fijar como norma que se produce un instante de conmutación de un interruptor elemental en cuanto la señal de consigna es superior o igual a la portadora triangular.

La señal de consigna se ilustra en la figura 5E.

15 Por supuesto, se pueden considerar otros tipos de control como, por ejemplo, un control vectorial o un control directo del par cuando el convertidor alimenta a una máquina giratoria.

Se propone una forma de control original haciendo referencia a las figuras 6 a 9. Se limita a uno el número de estados conductores de los interruptores elementales de las células de tipo NPC de las etapas elementales de la primera etapa durante un periodo de la señal de consigna V_{ref} . Se obtiene un ajuste aproximado de la tensión de salida de dicha etapa elemental.

Al utilizar para controlar los interruptores elementales de la segunda etapa del convertidor una frecuencia de conmutación superior a la utilizada para controlar los interruptores de la primera etapa, se obtiene un ajuste mucho más fino de la tensión de salida del convertidor, cumpliendo al mismo tiempo las limitaciones de funcionamiento de cada uno de los interruptores elementales. Se recuerda que la frecuencia de conmutación de los interruptores elementales está unida a su tecnología y a su calibre. En esta aplicación, esta puede estar, por ejemplo, comprendida entre 500 Hz y 10.000 Hz. La frecuencia de la señal en la salida del convertidor ilustrada en la figura 4A puede variar entre 0 y 150 Hz.

La figura 6.00 ilustra la forma de la señal de consigna también llamada tensión V_{ref} de consigna que va a servir en particular para determinar los instantes de conmutación de todos los interruptores elementales de las células de tipo NPC y de condensador flotante. Esta se va a utilizar en varias comparaciones, como se verá con posterioridad. Está en fase con la tensión V_s en los bornes de la carga 10 enchufada en la salida del brazo B, ilustrada en la figura 9.1, por el contrario la corriente I_s de salida de la figura 9.2 está a su vez en retardo en la tensión de consigna. Esta tiene una amplitud comprendida entre -0,8 y +0,8 en el ejemplo descrito. De manera más general, la tensión V_{ref} de consigna puede variar entre -1 y +1. La amplitud de esta tensión V_{ref} de consigna se utiliza para ajustar la amplitud de la tensión de salida V_s .

La figura 6.01 es un cronograma de la portadora Car3 utilizada con la tensión V_{ref} de consigna para determinar los instantes de conmutación de los interruptores elementales T4u y T3u de la célula de tipo NPC Ce11 de la primera etapa elemental E11 del convertidor. Es una señal de onda cuadrada en fase con la tensión V_{ref} de consigna y cuya amplitud es $V_{ref}/3$.

40 La figura 6.1 es un cronograma de la señal de control del interruptor elemental T3u de la célula de tipo NPC Ce11 de la primera etapa elemental E11 del convertidor. Es una señal de onda cuadrada cuyo periodo es igual al de la señal de consigna V_{ref} . El interruptor elemental T3u solo se bloquea una vez durante este periodo, mientras que la amplitud de la tensión de referencia V_{ref} es inferior a la meseta negativa de la portadora Car3.

45 La figura 6.2 es un cronograma de la señal de control del interruptor elemental T4u de la célula de tipo NPC Ce11 de la primera etapa elemental E11 del convertidor. Es una señal de onda cuadrada cuyo periodo es igual al de la señal de consigna V_{ref} . El interruptor elemental T4u solo es conductor una vez durante este periodo, mientras la tensión V_{ref} de consigna es superior a la meseta positiva de la portadora Car3.

Los interruptores elementales T3u y T4u son unos interruptores elementales en la posición central y extrema directamente conectados, pueden tener el mismo estado como se muestra en la tabla anterior. Esto se verifica dos veces durante un periodo.

La figura 6.3 ilustra un cronograma de la corriente I_{N8} que circula del nodo N8 hacia el interruptor elemental T4u. El nodo N4 es común a la inductancia Laux11 y al interruptor elemental T4u.

La figura 6.4 ilustra un cronograma de la corriente I_{N9} que circula desde el nodo N9 hacia los diodos D7 y D8. El nodo N9 es común a los condensadores C7, C8 y a los diodos D7 y D8.

55 La figura 6.5 ilustra un cronograma de la corriente I_{N10} que circula desde el nodo N10 hacia los interruptores

elementales T3'u y T4l. El nodo N10 es común a los condensadores C8, C9 y a los interruptores elementales T3'u y T4l.

La figura 6.6 ilustra un cronograma de la corriente IN11 que circula desde el nodo N11 hacia los diodos D9 y D10. El nodo N11 es común a los condensadores C9, C10 y a los diodos D9 y D10.

- 5 La figura 6.7 ilustra un cronograma de la corriente IN12 que circula desde el nodo N12 hacia el interruptor elemental T3'l. El nodo N12 es común a la inductancia Laux21 y al interruptor elemental T3'l.

La figura 6.8 ilustra un cronograma de la corriente Is de salida del brazo de convertidor ilustrado en la figura 4A. Los cronogramas de las figuras 6.3 a 6.7 representan unas porciones de la corriente Is ilustrada en la figura 6.8.

- 10 La figura 6.02 es un cronograma de la portadora Car4 utilizada con la tensión Vref de consigna de la figura 6.00 para determinar los instantes de conmutación de los interruptores elementales T6u y T5u de la célula de tipo NPC Ce21 de la segunda etapa elemental E12 del convertidor. Es una señal de onda cuadrada en fase con la tensión Vref de consigna y cuya amplitud es $2V_{ref}/3$. Se ha superpuesto en este cronograma, con línea gruesa, la tensión Vref de consigna.

- 15 La figura 7.1 es un cronograma de la señal de control del interruptor elemental T5u de la célula de tipo NPC Ce21 de la segunda etapa elemental E12 del convertidor. Es una señal de onda cuadrada cuyo periodo es igual al de la señal de consigna Vref. El interruptor elemental T5u solo se bloquea una vez durante este periodo, mientras la amplitud de la tensión Vref de consigna es inferior a la meseta negativa de la portadora Car4.

- 20 La figura 7.2 es un cronograma de la señal de control del interruptor elemental T6u de la célula de tipo NPC Ce21 de la segunda etapa elemental E12 del convertidor. Es una señal de onda cuadrada cuyo periodo es igual al de la señal de consigna Vref. El interruptor elemental T6u solo es conductor una vez durante este periodo, mientras la amplitud de la tensión Vref de consigna es superior a la meseta positiva de la portadora Car4.

Los interruptores elementales T6u y T5u son unos interruptores elementales en la posición central y extrema directamente conectados, pueden tener el mismo estado como se muestra en la anterior tabla. Esto se verifica dos veces durante un periodo.

- 25 La figura 7.3 ilustra un cronograma de la corriente IE+ que circula desde el borne E+, que se debe conectar a la fuente de tensión VCC, hacia el interruptor elemental T6u.

La figura 7.4 ilustra un cronograma de la corriente IN1 que circula desde el nodo N1 hacia los diodos D1 y D2. El nodo N1 es común a los condensadores C1, C2 y a los diodos D1 y D2.

- 30 La figura 7.5 ilustra un cronograma de la corriente IN2 que circula desde el nodo N2 hacia el interruptor elemental T5'u. El nodo N2 es común a los condensadores C2, C3 y al interruptor elemental T5'u.

La figura 7.6 ilustra un cronograma de la corriente IN4 que circula desde el nodo N4 hacia el interruptor elemental T6l. El nodo N4 es común a los condensadores C4, C5 y al interruptor elemental T6l.

La figura 7.7 ilustra un cronograma de la corriente IN5 que circula desde el nodo N5 hacia los diodos D5 y D6. El nodo N5 es común a los condensadores C5, C6 y a los diodos D5 y D6.

- 35 La figura 7.8 ilustra un cronograma de la corriente IE- que circula desde el borne E-, que debe conectarse a la fuente de tensión VCC, hacia el interruptor elemental T5'l.

La figura 7.9 ilustra un cronograma de la corriente Is de salida del brazo de convertidor ilustrado en la figura 4A.

- 40 La figura 6.03 es un cronograma de la portadora Car1 utilizada con la tensión Vref de consigna para determinar los instantes de conmutación del interruptor T1 elemental de la célula Ce10 de tipo de condensador flotante de la segunda etapa E2 del convertidor. Es una señal triangular con una amplitud comprendida entre +1 y -1. La tensión Vref de consigna se superpone a la portadora Car1.

- 45 La figura 6.04 es un cronograma de la portadora Car2 utilizada con la tensión Vref de consigna para determinar los instantes de conmutación del interruptor T2 elemental de la célula Ce10 de tipo de condensador flotante de la segunda etapa E2 del convertidor. Es una señal triangular con una amplitud comprendida entre +1 y -1 de igual frecuencia pero en oposición de fase con respecto a la portadora Car1 de la figura 6.03. La tensión Vref de consigna se superpone a la portadora Car2.

La figura 8.1 ilustra un cronograma de la señal de control del interruptor T1 elemental de la célula Ce10 de tipo de condensador flotante de la segunda etapa Et2. Este interruptor T1 elemental es conductor mientras la tensión Vref de consigna es superior a Car1.

- 50 La figura 8.2 ilustra un cronograma de la señal de control del interruptor T2 elemental de la célula Ce10 de tipo de condensador flotante de la segunda etapa Et2. Este interruptor T2 elemental es conductor mientras la tensión Vref

de consigna es superior a Car2.

Estas dos señales de control son unas señales de onda cuadrada en la frecuencia de las portadoras Car1 y Car2. Esta frecuencia es mucho más elevada que la de las señales de control de los interruptores T4u, T3u, T6u, T5u elementales de la primera etapa ilustrados en las figuras 6.1, 6.2, 7.1, 7.2 que están en la frecuencia de la corriente Is de salida.

5 La figura 8.3 ilustra un cronograma de la corriente IT1 que circula desde el interruptor T2 elemental hacia el interruptor T1 elemental.

La figura 8.4 ilustra un cronograma de la corriente ICf que circula desde el interruptor T2 elemental hacia el condensador Cf.

10 La figura 8.5 ilustra un cronograma de la corriente Is de salida del brazo de convertidor ilustrado en la figura 4A. Estos tres últimos cronogramas hay que compararlos con los cronogramas de las figuras 8.6 y 8.7 que son unos cronogramas de los controles del interruptor T1 elemental y del interruptor T2 elemental. Los cronogramas de las figuras 8.3 a 8.7 tienen la misma base de tiempo. Las bases de tiempo de los cronogramas de las figuras 6.03, 6.04, 8.1, 8.2 se han dilatado para que sean más visibles los instantes de conmutación de los interruptores elementales.

15 La figura 9.1 ilustra un cronograma de la tensión en los bornes de la carga 10 enchufada en la salida del brazo de convertidor ilustrado en la figura 4A, haciéndose la salida en el nodo S común a los interruptores T1 y T1' elementales de la célula Ce10.

La figura 9.2 ilustra un cronograma de la corriente Is de salida que circula en la carga 10 enchufada en la salida del brazo de convertidor ilustrado en la figura 4A.

20 Hay que señalar que la tensión ilustrada en la figura 9.1 está centrada en 0 V, y su amplitud va de -3.000 V a + 3.000 V. Los siete niveles de tensión se ven bien. La tensión varía por mesetas de 1.000 V. Los valores mencionados en la anterior tabla son todos positivos, hay un desplazamiento de VCC/2 entre estas magnitudes. Para la simulación a partir de la cual se obtienen los cronogramas, la resistencia de la carga 10 vale 10 ohmios, la inductancia vale 300 mH, lo que conduce a una corriente máxima de 30 A para un valor eficaz de 20 A.

25 Haciendo referencia a la figura 10, se ha representado un variador de velocidad del que consta en cascada un convertidor 1 objeto de la invención que funciona como rectificador CA/CC y un convertidor 2 objeto de la invención que funciona como inversor CC/CA colocando entre ambos, en el lado de corriente continua, una fuente 3 de tensión como un dispositivo de almacenamiento de energía. El rectificador 1 está destinado a conectarse en la entrada con una red Re de alimentación eléctrica alterna asimilable a una fuente de corriente. El inversor 2 está destinado a conectarse en la salida a un dispositivo de usuario asimilable a una fuente de corriente como un motor M de corriente alterna. La figura 10, ilustra un ejemplo en el que los dos convertidores 1 y 2 son trifásicos. Estos constarían cada uno de tres brazos como los representados en las figuras 4A, 4B.

30 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. Se puede utilizar con o sin transformador de aislamiento. Su conexión directa a la red alterna es posible en funcionamiento como rectificador CA/CC. Permite minimizar la contaminación armónica de la red eléctrica y la corrección del factor de potencia asociándolo a un rectificador activo regenerativo. El convertidor objeto de la invención es compatible con la red alterna hasta 13,8 kV, ya funcione como inversor o como rectificador. Por ello, no es obligatorio utilizar un transformador de adaptación de nivel de tensión, solución clásicamente utilizada.

40 El convertidor CC/CA objeto de la invención se puede utilizar para alimentar unos parques de motores asíncronos o síncronos ya sean nuevos o existentes.

El convertidor objeto de la invención tiene una estructura modular gracias al empleo de unas células de tipo NPC y de condensador flotante y unas células capacitivas. De esto se deriva que los gastos de mantenimiento se reducen y que la fiabilidad es buena.

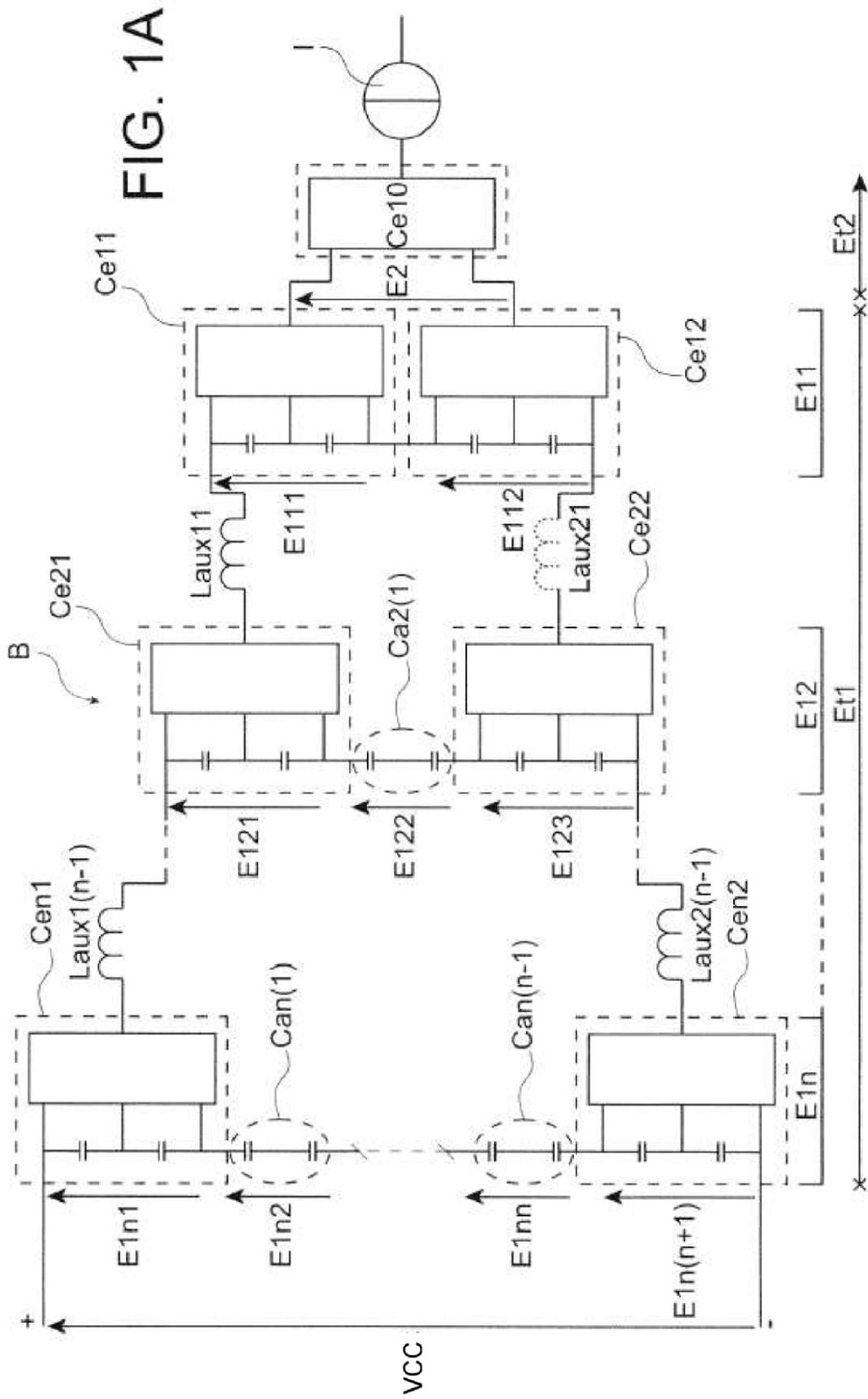
45 La forma de onda de alimentación de la carga es de buena calidad y las sobretensiones en el lado de la fuente de corriente son limitadas y solo están unidas a los cables de conexiones.

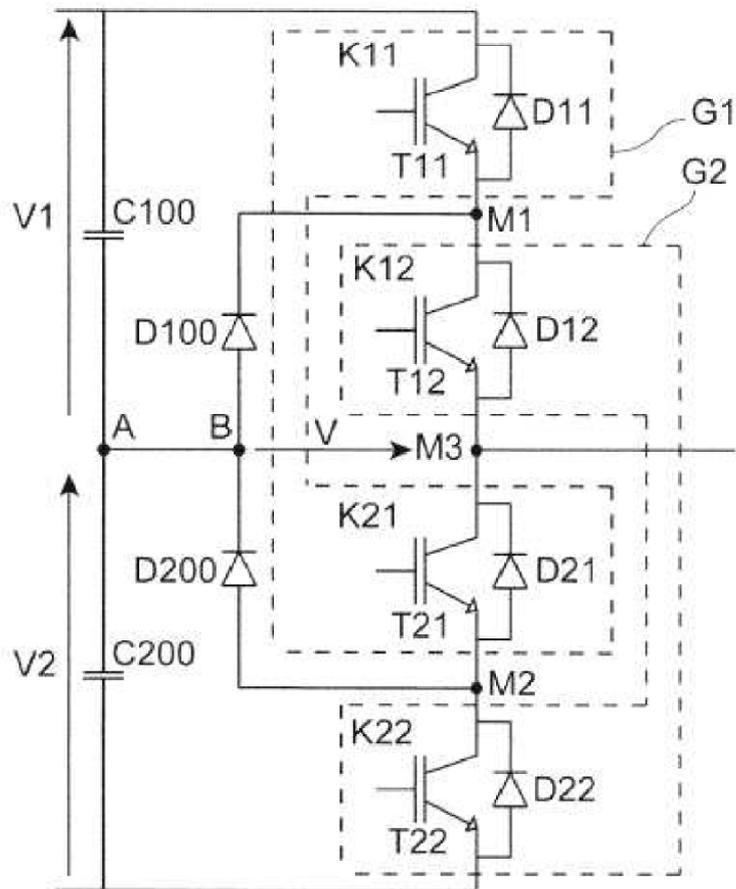
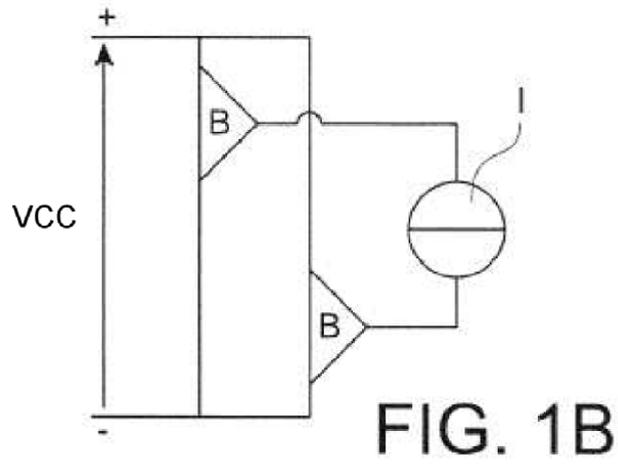
El bus continuo común puede servir para alimentar varios convertidores objeto de la invención.

50 Otra ventaja del convertidor objeto de la invención es que no hay un límite de funcionamiento en baja frecuencia como es el caso para los convertidores de topología MMC (*Modular Multi-level Converter* o convertidor multinivel modular) utilizados en las transmisiones en las redes de energía de alta tensión.

REIVINDICACIONES

1. Convertidor multinivel que consta de uno o varios brazos (B), configurados para estar cada uno conectado entre una fuente de tensión (VCC) y una fuente de corriente (I), en el cual el o cada brazo comprende dos etapas (Et1, Et2) conectadas en cascada con una primera etapa (Et1) destinada a ser conectada a la fuente de tensión (VCC),
5 una segunda etapa (Et2) destinada a ser conectada a la fuente de corriente (I), en el cual la primera etapa (Et1) consta de n etapas (E11,..., E1n) elementales de rango de uno a n (n superior a uno) conectadas en cascada, estando la etapa (E11) elemental de rango uno conectada a la segunda etapa (Et2) y estando la etapa (E1n) elemental de rango n destinada a ser conectada a la fuente de tensión (VCC), **caracterizado porque** cada etapa (E11, E1n) elemental consta de un par de células de tipo NPC (*neutral point clamped* o clampeo por el neutro) (Ce11, Ce12; Cen1, Cen2) idénticas conectadas en serie, siendo la conexión en serie directa en la etapa (E1) elemental de rango 1, haciéndose la conexión en serie a través de n-1 células (Can(1), Can(n-1)) capacitivas para cada etapa elemental de rango n (n superior a uno), constando la segunda etapa (Et2) de una célula de tipo con condensador (Ce10) flotante.
2. Convertidor multinivel según la reivindicación 1, en el que una célula (Ca2(1)) capacitiva consta de dos dispositivos (C3, C4) de almacenamiento de energía dispuestos en serie, teniendo estos dispositivos de almacenamiento de energía una misma capacidad de almacenamiento de energía.
3. Convertidor multinivel según la reivindicación 2, en el que en una etapa elemental, las células (Ce21, Ce22) de tipo NPC constan de un puente capacitivo con dos dispositivos (C1, C2: C5, C6) de almacenamiento de energía con la misma capacidad de almacenamiento de energía, y en el que cada dispositivo de almacenamiento de energía de una célula capacitiva de esta etapa elemental tiene la misma capacidad de almacenamiento de energía que uno de los dispositivos de almacenamiento de energía de una célula de tipo NPC.
4. Convertidor multinivel según la reivindicación 3, en el que todos los dispositivos (C1-C10) de almacenamiento de energía de la primera etapa (Et1) tienen la misma capacidad de almacenamiento de energía.
5. Convertidor multinivel según una de las reivindicaciones 1 a 4, en el que al menos una de las células (Ce21) de tipo NPC de una etapa (E12) elemental está conectada a una célula (Ce11) de tipo NPC de una etapa (E11) elemental contigua a través de una inductancia (Laux11).
6. Convertidor multinivel según una de las reivindicaciones 1 a 5, en el que una célula de tipo NPC consta de un cuádruple de interruptores (K11, K12, K21, K22) elementales dispuestos en serie entre los cuales dos están en la posición extrema y dos están en la posición central, en el que un interruptor (K11, K22) elemental en la posición extrema y un interruptor (K21, K12) elemental en la posición central que no están unidos directamente están siempre en estados complementarios, estando uno habilitado y estando el otro bloqueado, formando estos dos interruptores (K11, K21; K12, K2) elementales una célula de conmutación elemental.
7. Convertidor multinivel según la reivindicación 6, en el que cada célula (Ce21, Ce22) de tipo NPC tiene una función de conversión que une la tensión aplicada en la entrada de dicha célula con la tensión presente en la salida de dicha célula y las dos células de conmutación elementales de dicha célula tienen también una función de conversión.
8. Convertidor multinivel según la reivindicación 7, en el que las células (Ce21, Ce22) de tipo NPC de una misma etapa (E11) elemental tienen la misma función de conversión.
9. Convertidor multinivel según una de las reivindicaciones 1 a 8, en el que una célula de conmutación de tipo de condensador flotante consta de un cuádruple de interruptores (K110, K120, K210, K220) elementales dispuestos en serie entre los cuales dos están en la posición extrema y dos están en la posición central, y en el que los dos interruptores (K110, K220) elementales en la posición extrema están siempre en estados complementarios y los dos interruptores (K120, K210) elementales en la posición central están siempre en estados complementarios, estando uno habilitado y estando el otro bloqueado.
10. Convertidor multinivel según una de las reivindicaciones 6 a 9, en el que en las dos células (Ce21, Ce22) de tipo NPC de una misma etapa elemental, los interruptores (T6u, T6l) elementales homólogos son controlados de manera idéntica.
11. Convertidor multinivel según una de las reivindicaciones 6 a 10, en el que los interruptores (K11, K12) elementales constan cada uno de un conmutador (T11, T12) electrónico de potencia controlable asociado con un diodo (D11, D12) conectado en antiparalelo.
12. Convertidor multinivel según una de las reivindicaciones 2 a 11, en el que los dispositivos (C1-C10, Cf) de almacenamiento de energía se seleccionan entre un condensador, una batería y una pila de combustible.
13. Variador de velocidad que consta de una cascada con un convertidor (1) según una de las reivindicaciones anteriores que funciona como rectificador CA/CC y un convertidor (2) según una de las reivindicaciones anteriores que funciona como inversor CC/CA, unidos entre sí por sus lados de corriente continua por medio de una fuente (3) de tensión.





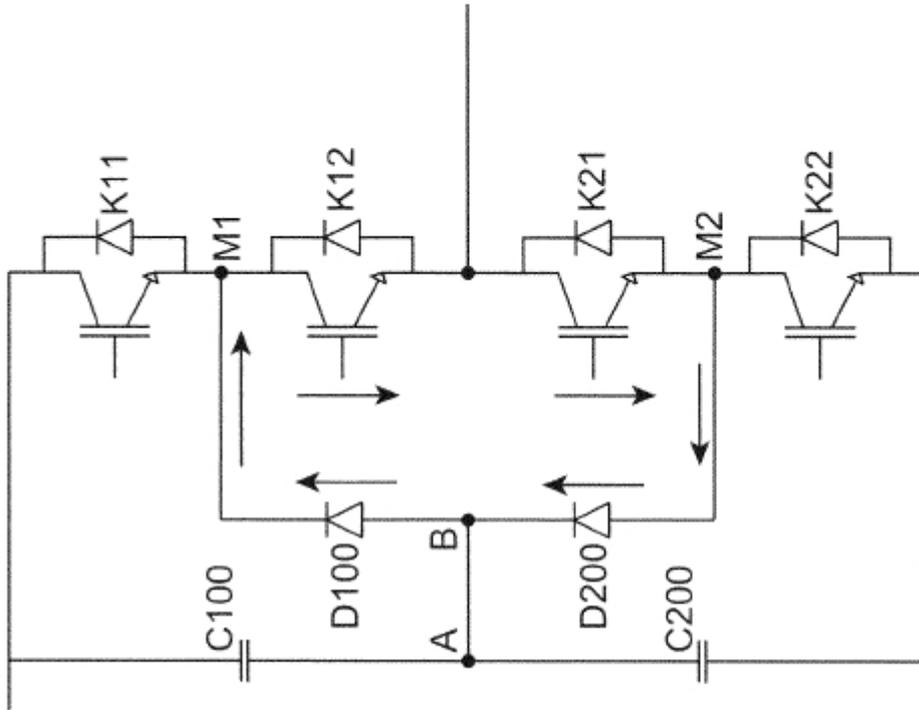


FIG. 2C

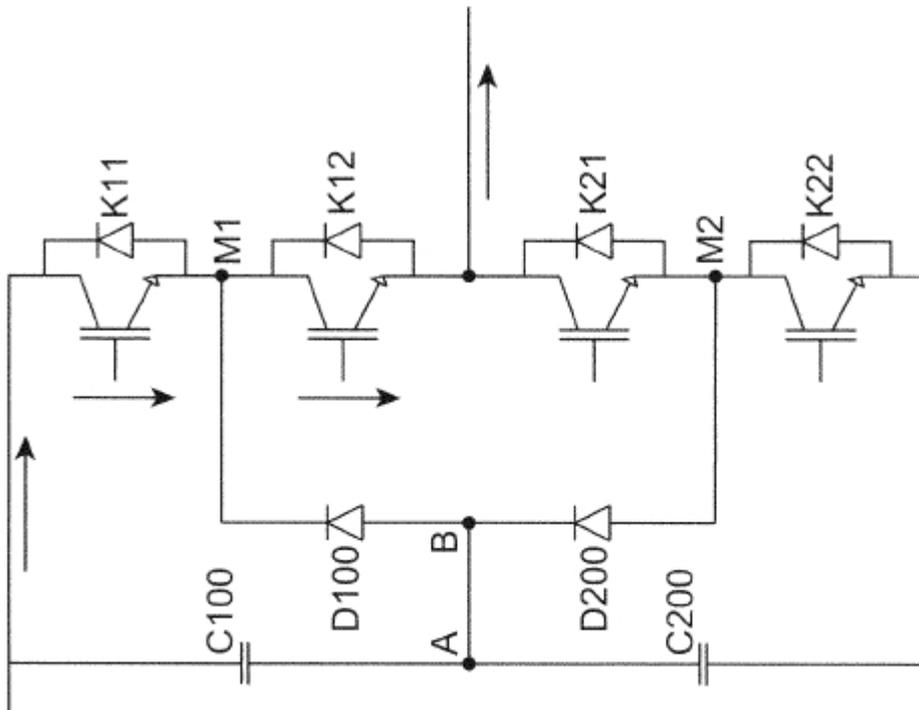


FIG. 2B

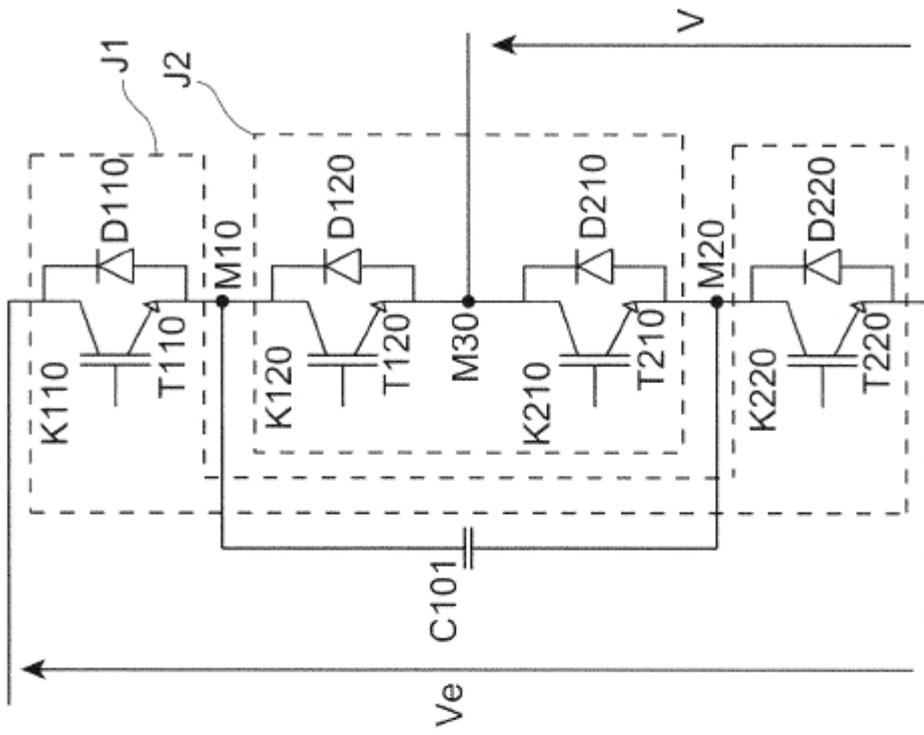


FIG. 3A

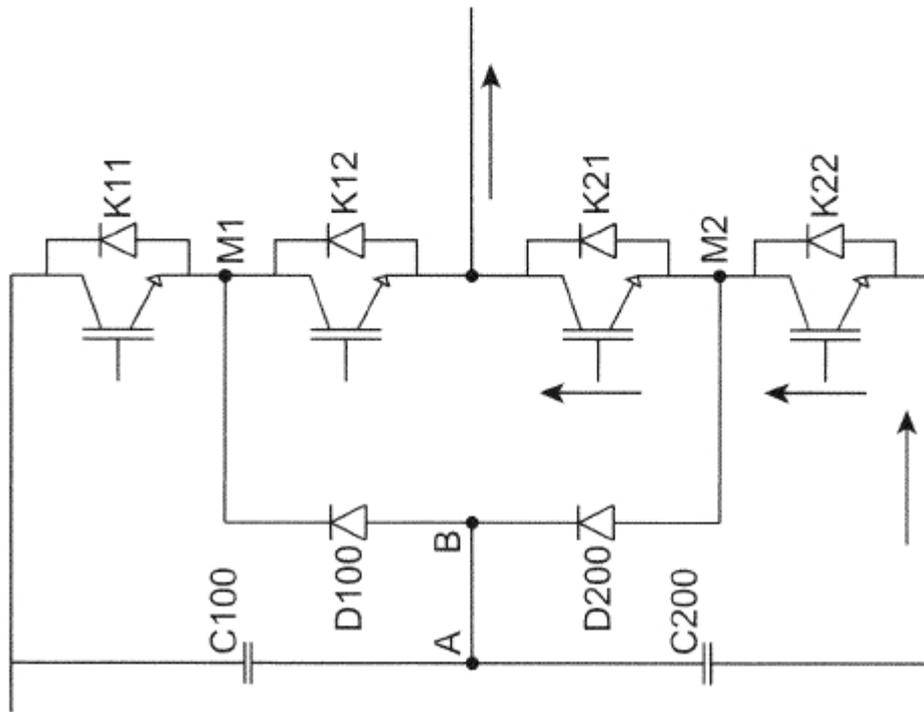


FIG. 2D

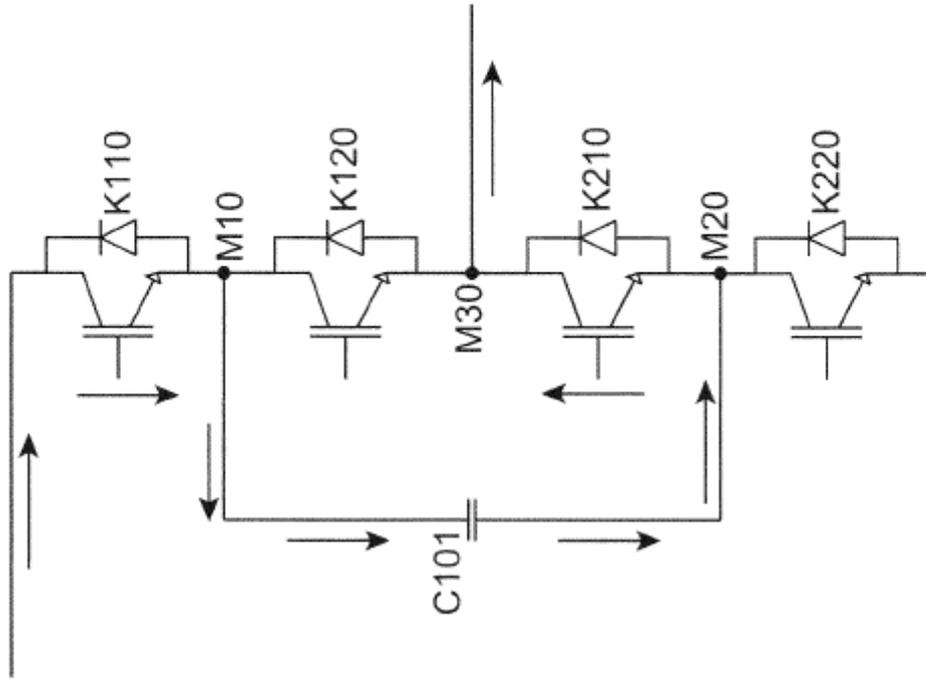


FIG. 3C

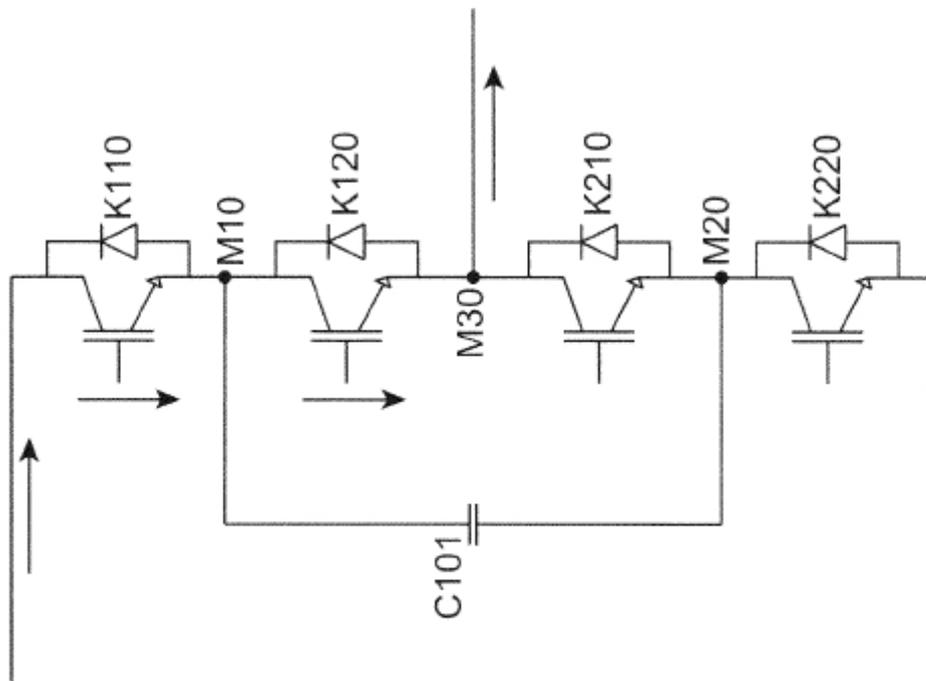


FIG. 3B

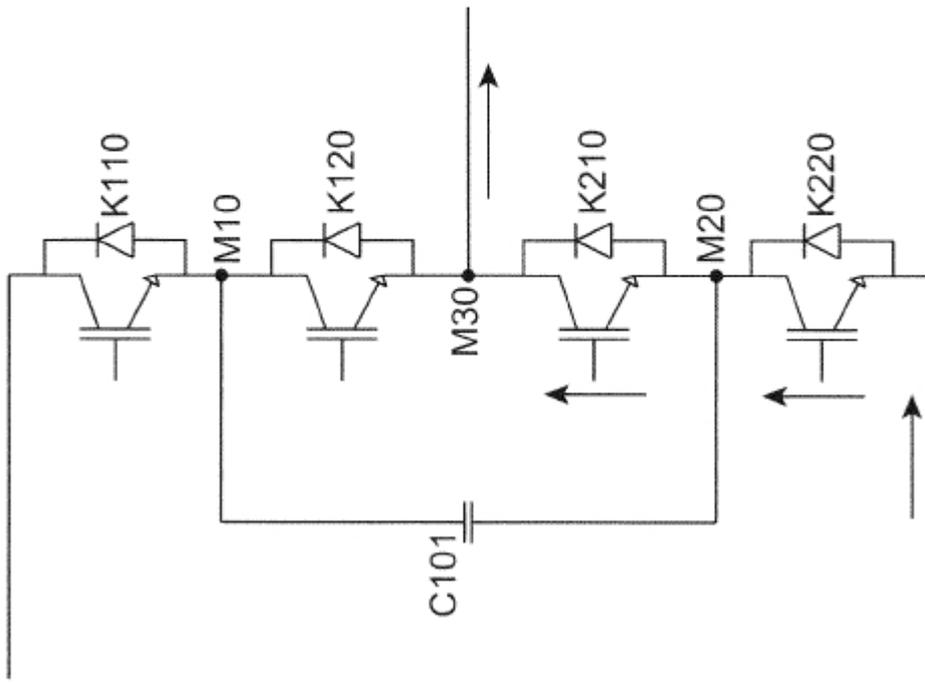


FIG. 3E

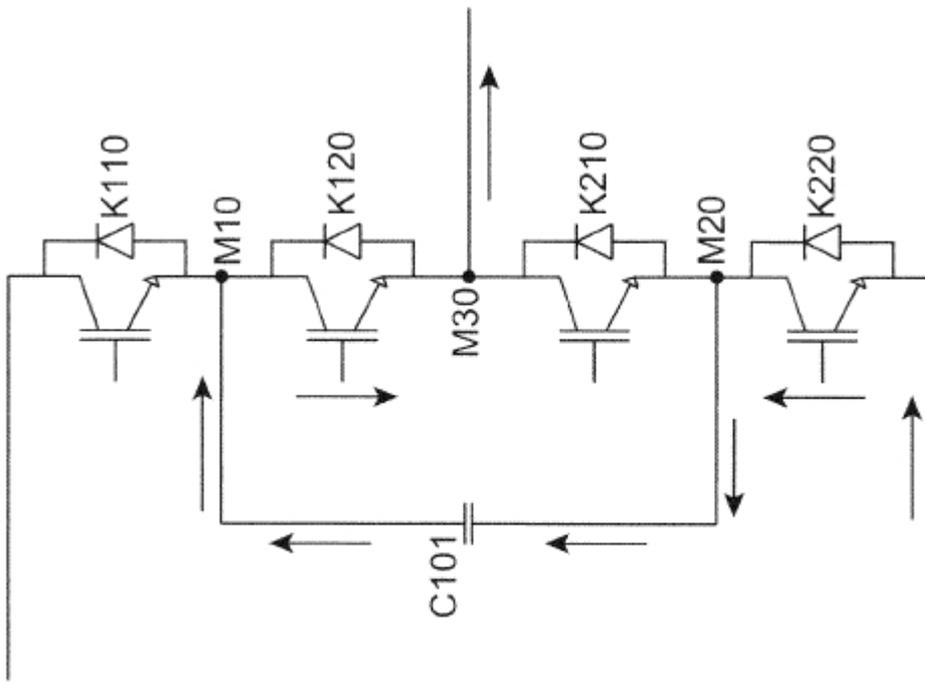
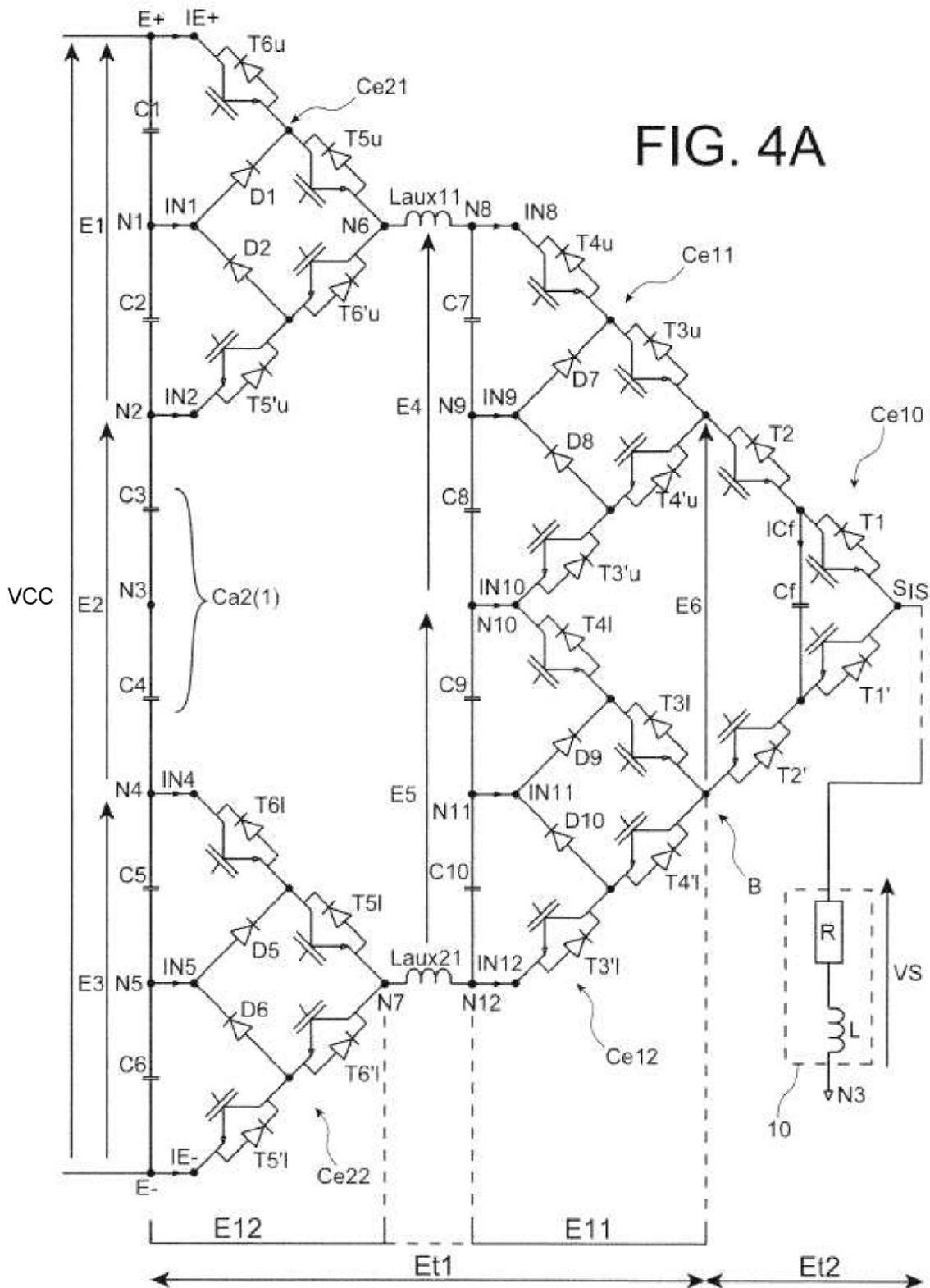


FIG. 3D



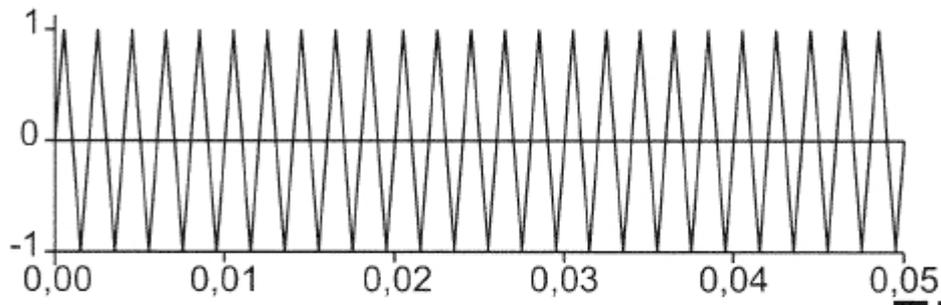


FIG. 5A

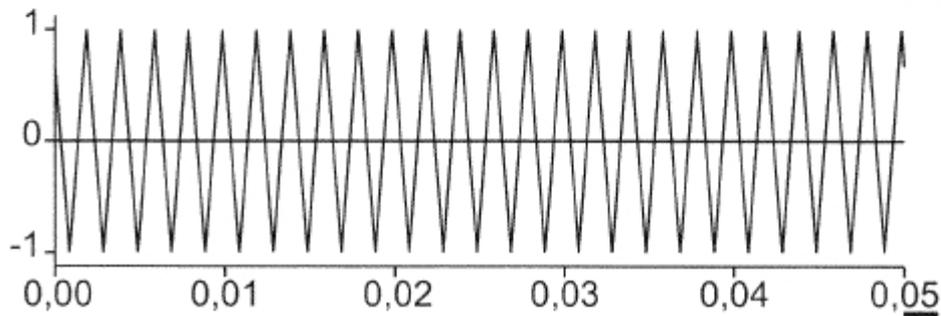


FIG. 5B

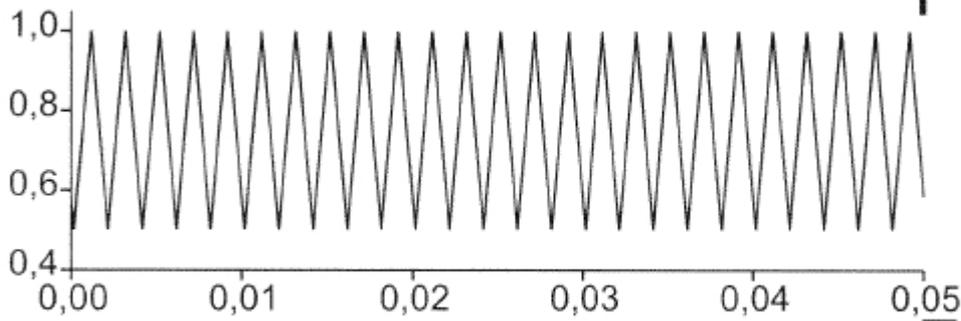


FIG. 5C

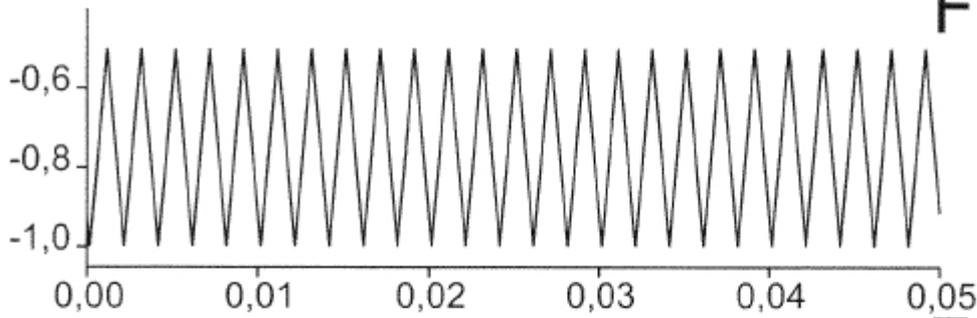


FIG. 5D

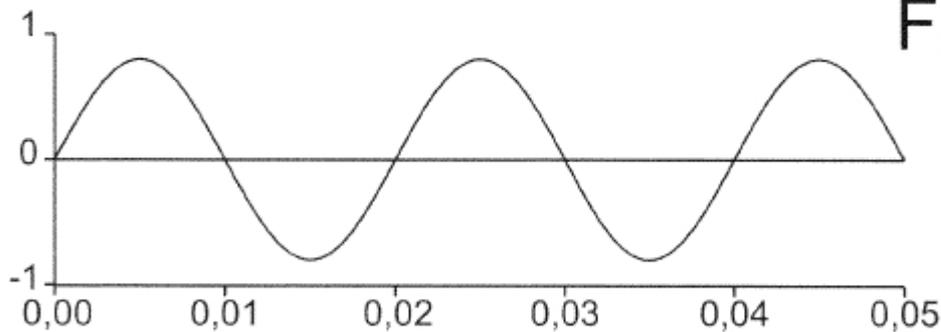


FIG. 5E

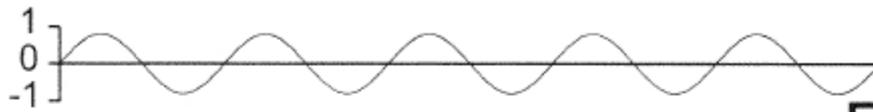


FIG. 6.00

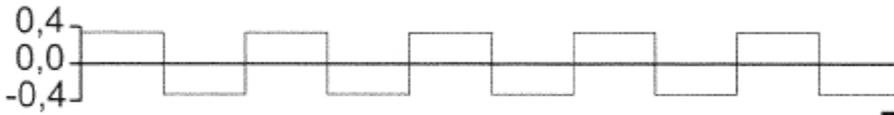


FIG. 6.01

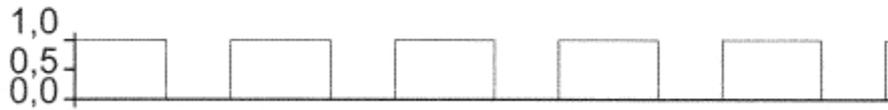


FIG. 6.1



FIG. 6.2

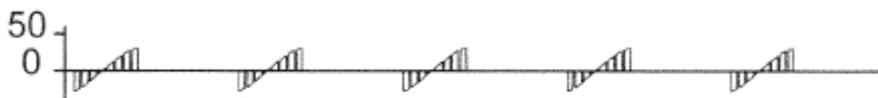


FIG. 6.3



FIG. 6.4

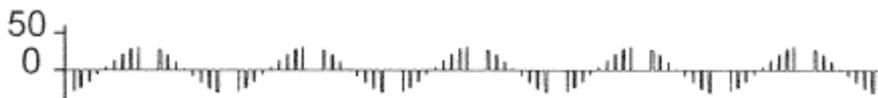


FIG. 6.5



FIG. 6.6

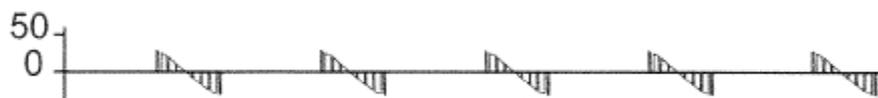


FIG. 6.7



0,40 0,42 0,44 0,46 0,48

FIG. 6.8

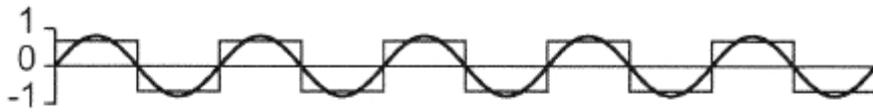


FIG. 6.02

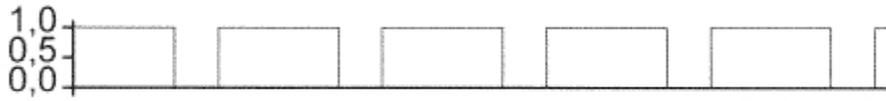


FIG. 7.1



FIG. 7.2



FIG. 7.3

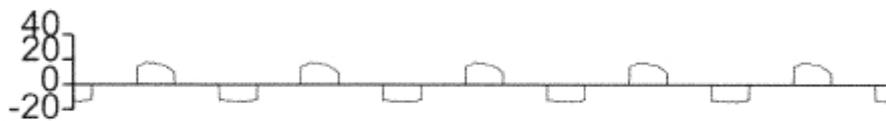


FIG. 7.4

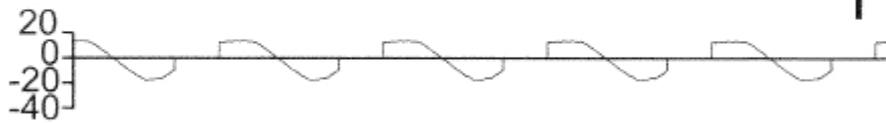


FIG. 7.5



FIG. 7.6

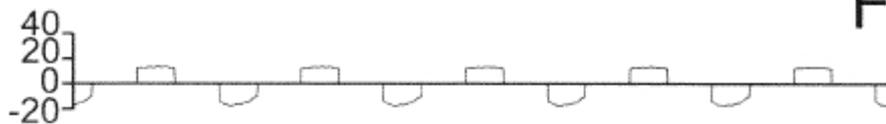


FIG. 7.7



FIG. 7.8

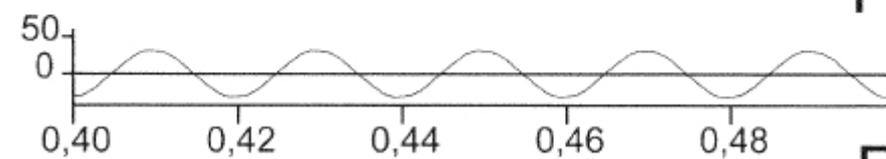


FIG. 7.9

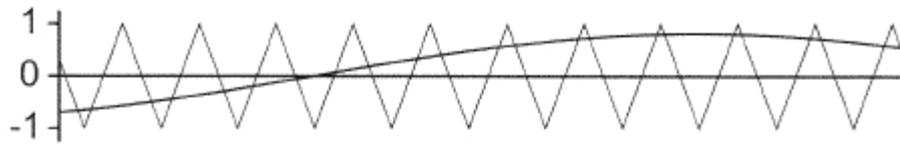


FIG. 6.03

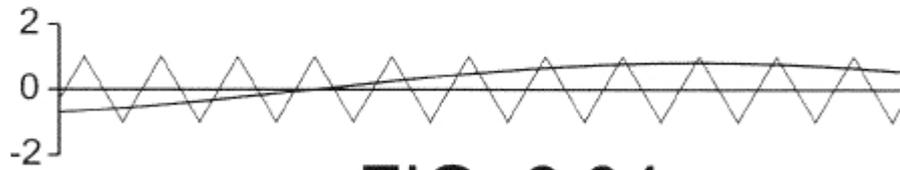


FIG. 6.04

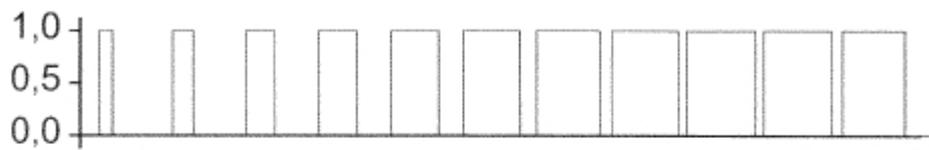


FIG. 8.1

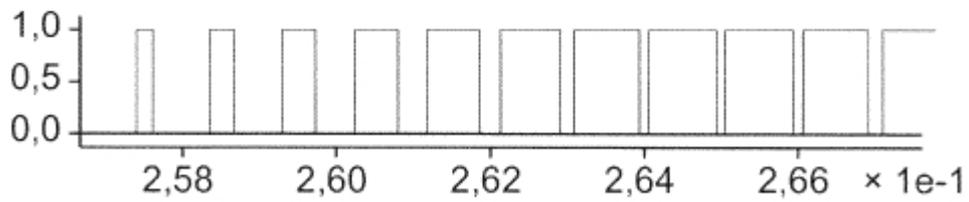


FIG. 8.2

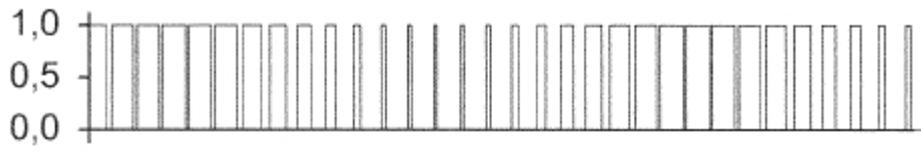


FIG. 8.6

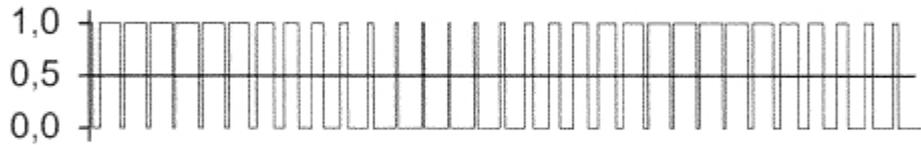


FIG. 8.7

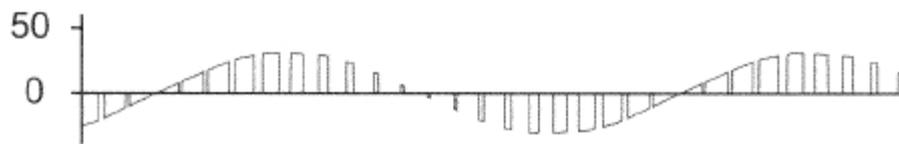


FIG. 8.3



FIG. 8.4

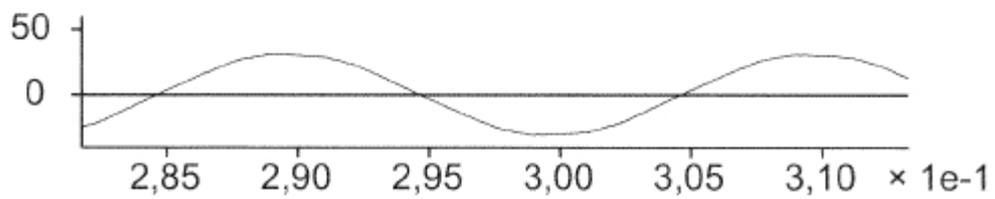


FIG. 8.5

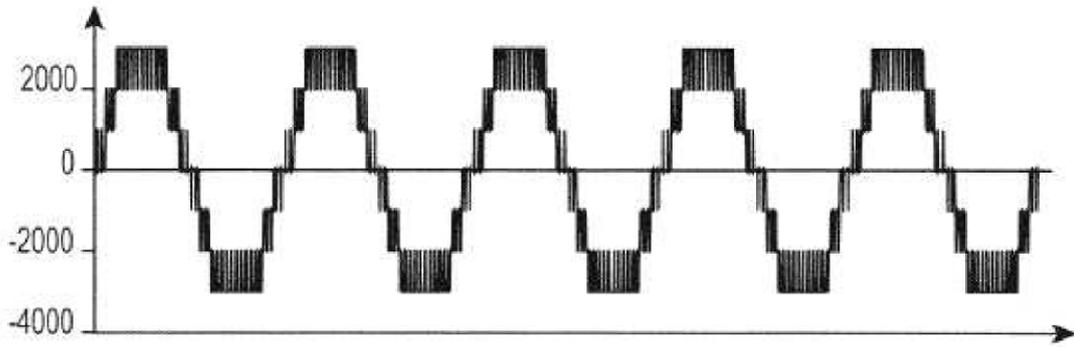


FIG. 9.1

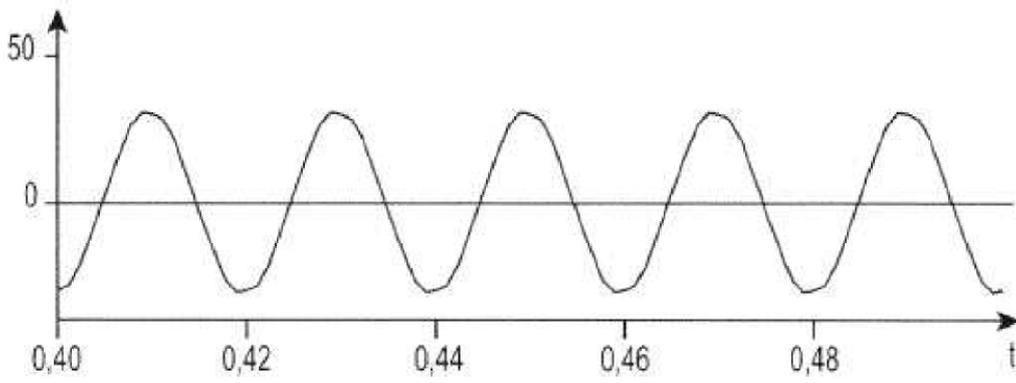


FIG. 9.2

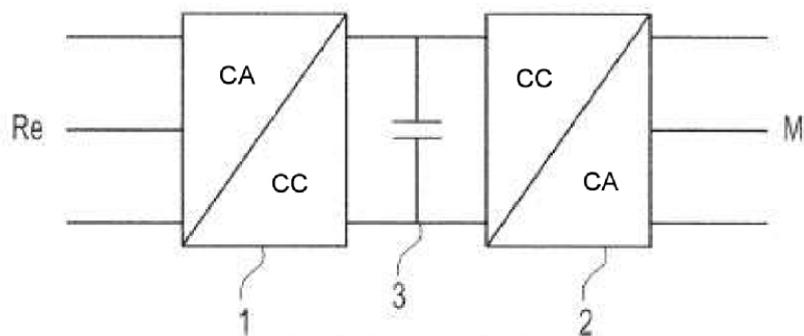


FIG. 10