



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 366 554**

51 Int. Cl.:
H02P 27/06 (2006.01)
H02P 27/08 (2006.01)
H02M 5/458 (2006.01)
G06F 1/025 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **06842096 .7**
96 Fecha de presentación : **05.12.2006**
97 Número de publicación de la solicitud: **1964256**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **03.09.2008**

54 Título: **Procedimiento de control de un ondulator de tensión polifásico.**

30 Prioridad: **22.12.2005 FR 05 13141**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
21.10.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
21.10.2011

73 Titular/es:
VALEO EQUIPEMENTS ELECTRIQUES MOTEUR
2, rue André Boulle
94046 Créteil Cédex, FR

72 Inventor/es: **Hobraiche, Julien y**
Vilain, Jean-Paul

74 Agente: **Justo Bailey, Mario de**

ES 2 366 554 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

Procedimiento de control de un ondulator de tensión polifásico.

5 **Campo de la invención**

La invención se refiere a un procedimiento de mando de un puente de potencia destinado a controlar una carga eléctrica que incorpora varias fases, estando destinado el puente de potencia a unirse con la carga eléctrica a través de varios brazos, al menos uno por fase, y estando destinado a ser gobernado mediante funciones de conmutación, determinando dichas funciones de conmutación vectores de control para controlar la carga, subdividiéndose dichos vectores de control en vectores de control de libre circulación y en vectores de control activos.

La presente invención tiene aplicaciones particularmente ventajosas, aunque no exclusivas, en los campos del sector del automóvil, del sector aeronáutico, del sector industrial.

Una finalidad de la invención es reducir las pérdidas en un ondulator de tensión polifásico.

La invención tiene asimismo por finalidad conservar un control de la carga polifásica aguas abajo del ondulator, reduciendo al propio tiempo las pérdidas por conmutación del ondulator.

20

Estado de la técnica

Generalmente, se utiliza un puente de potencia de tensión polifásico para el accionamiento de una carga eléctrica polifásica. Estas cargas eléctricas son, por ejemplo, máquinas reversibles tales como alterno-arrancadores. El puente va unido aguas arriba a una fuente de alimentación continua e interconectado aguas abajo con los arrollamientos de fase de la carga polifásica. El puente de potencia se alimenta con energía mediante la fuente de alimentación continua en modalidad motor y mediante el alterno-arrancador en modalidad alternador.

El puente de potencia incorpora varios brazos de puente que incorporan cada uno de ellos, por ejemplo, dos interruptores dotados de diodos de libre circulación. Este tipo de puente es un puente de dos niveles. El punto medio de cada par de interruptores de un mismo brazo de puente va unido a un arrollamiento de fase de la carga.

La lógica de control permite controlar los interruptores de un mismo brazo de puente.

35

Actualmente, se pueden generar varias combinaciones de los interruptores de los brazos de puente a los que se puede asociar una representación vectorial de las tensiones de salida del ondulator que se denominarán vectores de control del puente de potencia. Estos vectores de control se componen de vectores activos y de vectores de libre circulación.

40

En el estado de la técnica, se conocen diferentes tipos de técnicas de mando de un ondulator polifásico, entre los que se encuentra el documento "A. M. Hava, R. J. Kerkman, y T. A. Lipo. *A high performance generalized discontinuous pwm algorithm*. IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 34 (Nº 5), Septiembre/Octubre de 1998". Este documento describe técnicas de mando, que utilizan en particular estrategias de modulación de anchura de impulsos discontinuos, que comandan, por una parte, la parte aguas abajo del puente de potencia y, por otra parte, el puente propiamente dicho.

45

Estas técnicas de mando bloquean alternativamente uno de los brazos de puente del puente de potencia. Para este propósito, en función de la estrategia de modulación de anchura de impulsos empleada, se determina una cantidad de neutro para cada desfase tensión-corriente de una fase de la carga. Para cada fase de la carga, una moduladora es determinada y trasladada mediante adición de una cantidad de neutro. Con estas técnicas de mando, un brazo de puente es bloqueado cuando su moduladora se satura a +1 o -1.

50

Tales técnicas de mando presentan inconvenientes. En efecto, no es posible determinar la cantidad de neutro que hay que añadir a las moduladoras cuando el sistema no se halla en régimen permanente. Además, en régimen permanente, esta cantidad de neutro bien se calcula en línea, lo que precisa de un tiempo de cálculo bastante largo, o bien se encuentra tabulada, lo que conlleva un considerable consumo de memoria.

55

Además, para estas técnicas de mando del citado estado de la técnica, es necesario el conocimiento del desfase tensión-corriente de la carga polifásica. Ahora bien, el cálculo o la medición de este desfase es muy complejo de poner en práctica.

60

Igualmente, la implantación digital de estas técnicas plantea problemas de realización. En efecto, en su implantación, hay que tener en cuenta, por una parte, los numerosos puntos de funcionamiento de la carga polifásica (por ejemplo, motor, alternador, arrancador a diferentes velocidades y par de un alterno-arrancador) para aplicar una óptima cantidad de neutro correspondiente; y, por otra parte, distintas estrategias correspondientes a cada cantidad de neutro aplicada. El algoritmo que permite realizar la implantación digital es, así, de puesta en práctica lenta y engorrosa.

65

ES 2 366 554 T3

Por el documento US5.706.186, se conoce un procedimiento que gobierna un puente de potencia destinado a controlar una carga eléctrica que incorpora varias fases. El puente de potencia va unido a la carga eléctrica a través de varios brazos, al menos uno por fase, y es gobernado mediante funciones de conmutación. Estas funciones de conmutación determinan vectores de control para controlar la carga, subdividiéndose los vectores de control en vectores de control de libre circulación y en vectores de control activos. Además, este procedimiento incluye la aplicación de un procedimiento de producción de funciones de conmutación que produce un reducido número de combinaciones de funciones de conmutación correspondientes a vectores de control de libre circulación para producir una sucesión de vectores de control. Se obtiene así una reducción de las pérdidas de conmutación.

Descripción de la invención

La presente invención se refiere a un procedimiento de mando de un puente de potencia según está definido por la reivindicación 1. El procedimiento de la invención recurre a un procedimiento de producción de funciones de conmutación.

El procedimiento de la invención permite de hecho bloquear un brazo de puente en un estado dado y, por lo tanto, reducir las pérdidas por conmutación inducidas en el mismo si se hubiera hecho que conmute en el transcurso del período de troceo. El procedimiento faculta la elección entre dos brazos de puente para bloquear. Al elegir, en determinadas zonas, el brazo de puente bloqueable en el que la corriente es máxima en valor absoluto, se efectúa una elección óptima que permite tener una ganancia máxima en cuanto a pérdidas por conmutación.

Según realizaciones no limitativas, el procedimiento según la invención incorpora las siguientes características suplementarias, consideradas aislada o conjuntamente:

- El procedimiento de producción de funciones de conmutación incluye una etapa de determinación de una moduladora asociada a cada brazo del puente a partir de consignas de tensión escalares.

- La determinación de una moduladora se efectúa según una estrategia de intersección. Así, el cálculo de las moduladoras mediante una estrategia de tipo intersección es el más natural, pues hay entonces una relación simple, fácilmente realizable en un procesador de señales.

- La determinación de una moduladora se efectúa según una estrategia baricéntrica. Buen número de variadores actuales ya calculan las moduladoras de esta forma. Se puede entonces, de manera natural y rápida, adaptar el procedimiento a lo que existe en la lógica de control existente.

- La relación de orden es una comparación entre las moduladoras asociadas a los brazos de puente.

- Los brazos de puente seleccionados corresponden a los brazos de puente que tienen la mayor moduladora y la menor moduladora.

- El brazo de puente que se va a bloquear se elige de entre los brazos de puente seleccionados y es el que incorpora la corriente de fase de mayor valor absoluto de entre las corrientes de fase respectivamente correspondientes a la más grande de las moduladoras y la más pequeña de las moduladoras de entre las moduladoras asociadas a los brazos de puente. Así, el establecimiento de una relación de orden entre las moduladoras y las comparaciones de corrientes en valor absoluto son cálculos elementales, simples en su puesta en práctica en un procesador de señales. Estos permiten, de hecho, determinar con exactitud el brazo de puente óptimo de bloquear para economizar el máximo de pérdidas por conmutación.

- Si el brazo de puente que se va a bloquear es el que corresponde a la mayor de las moduladoras, entonces el brazo de puente es bloqueado en estado alto y, si el brazo de puente que se va a bloquear es el que corresponde a la menor de las moduladoras, entonces el brazo de puente es bloqueado en estado bajo.

- El procedimiento de producción de las funciones de conmutación incluye además una etapa de determinar una cantidad de neutro que ha de añadirse a una moduladora en función de un estado alto o bajo de un brazo de puente que se va a bloquear.

- Así,

- si un brazo se tiene que bloquear en estado alto, entonces la cantidad de neutro es igual a un primer valor máximo menos la moduladora asociada a dicho brazo, y

- si el brazo se tiene que bloquear en estado bajo, entonces la cantidad de neutro es igual a un segundo valor mínimo menos la moduladora asociada a dicho brazo.

- El procedimiento de producción de funciones de conmutación incluye una etapa de comparación de moduladoras trasladadas una cantidad de neutro con una portadora simple, asociándose una moduladora a cada brazo de puente, definiendo dicha comparación unas funciones de conmutación para gobernar dicho puente. Así, un procedimiento de

ES 2 366 554 T3

comparación de moduladoras trasladadas con una portadora permite definir de manera fácil y rápida la evolución de las funciones de conmutación que gobernarán el ondulator. Se trata adicionalmente de un procedimiento que se puede utilizar en los procesadores de señales dedicados al control de la máquina eléctrica. Además, la portadora simple tiene una puesta en práctica sencilla y, en general, está presente de manera nativa en los procesadores dedicados al control de la máquina eléctrica.

- La portadora simple es un triángulo isósceles que incorpora un vértice que se encuentra a un valor máximo y una base que se encuentra a un valor mínimo. Así, una forma de onda de tipo portadora triangular isósceles garantiza el centrado de los impulsos de control alrededor del semiperíodo de troceo, lo que es conocido por disminuir la tasa de distorsión armónica de las corrientes de fase en la carga.

- La etapa de bloqueo de un brazo de puente es función de la posición de un vector tensión de consigna en un dominio del plano determinado por vectores de control, siendo determinado el vector tensión de consigna (\vec{V}^*) a partir de consignas de tensión escalares.

- El dominio del plano queda definido en una marca de referencia estatórica, subdividiéndose dicha marca de referencia estatórica en sectores angulares y porque la etapa de bloqueo de un brazo de puente en un estado alto o un estado bajo es función de la posición del vector tensión de consigna en uno de los sectores angulares.

- Así,

- si el vector tensión de consigna se halla en un primer sector angular, entonces el primer brazo es bloqueado en estado alto,

- si el vector tensión de consigna se halla en un segundo sector angular, entonces el tercer brazo es bloqueado en estado bajo,

- si el vector tensión de consigna se halla en un tercer sector angular, entonces el segundo brazo es bloqueado en estado alto,

- si el vector tensión de consigna se halla en un cuarto sector angular, entonces el primer brazo es bloqueado en estado bajo,

- si el vector tensión de consigna se halla en un quinto sector angular, entonces el tercer brazo es bloqueado en estado alto,

- si el vector tensión de consigna se halla en un sexto sector angular, entonces el segundo brazo es bloqueado en estado bajo.

- La etapa de bloqueo de un brazo de puente es función de un vector corriente.

Breve descripción de los dibujos

Se comprenderá mejor la invención con la lectura de la descripción subsiguiente y con la revisión de las figuras que la acompañan. Éstas se aportan a título indicativo y sin carácter limitativo alguno de la invención. Las figuras muestran:

Figura 1a: Una ilustración de los medios que ponen en práctica el procedimiento, según la invención.

Figura 1b: Una representación de una marca de referencia estatórica utilizada en el procedimiento de la Figura 1a,

Figura 1c: Una representación de una descomposición de un vector consigna en la marca de referencia estatórica de la Figura 1b,

Figura 2: Una ilustración de las etapas de una primera realización y de una segunda realización no limitativa del procedimiento según la invención,

Figura 3: Una representación de una marca de referencia estatórica utilizada en la segunda realización de la Fig. 2,

Figura 4. Una ilustración de una de las etapas del procedimiento de la Fig. 2 que se corresponde con una comparación entre una portadora y las moduladoras de cada uno de los brazos de puente del ondulator.

Descripción detallada de realizaciones de la invención

La Fig. 1a muestra un puente de potencia polifásico 1 unido aguas arriba a un bus de continua 2, aguas abajo de una carga polifásica 3 y controlado mediante vectores de control producidos por una lógica de control 4. El puente de potencia 1 es un dispositivo eléctrico destinado a convertir una tensión continua en varias tensiones sinusoidales, una por fase cuando la carga asociada funciona en modalidad motor. Se le conoce entonces como ondulator. En modalidad alternador (generador), el puente de potencia convierte tensiones de fase sinusoidales a tensión continua para alimentar un dispositivo de consumo, tal como una batería. Se le conoce entonces como puente rectificador controlado.

El puente de potencia 1 incorpora varios brazos de puente (no representados). Cada brazo de puente está constituido por varios interruptores INT controlables electrónicamente.

En otras palabras, el ondulator es un convertidor continua-alterna. Por el lado de alterna, se coloca una carga polifásica. Por el lado de continua, se encuentra el bus de continua. Hay que proporcionar energía a la carga polifásica, que tiene que proceder del bus de continua (modalidad motor). En modalidad alternador, la carga polifásica es la que proporciona energía al bus de continua. La carga polifásica es, pues, una fuente de energía reversible con una característica que es una tensión continua entre sus bornes.

Para lo que resta de memoria descriptiva, se toma como ejemplo no limitativo un puente de potencia trifásico de dos niveles, teniendo presente que puede ser sustituido por otros tipos de puentes de potencia existentes, tales como, en un ejemplo no limitativo, un ondulator trifásico de tres niveles, teniendo entonces éste disponibles tres vectores de libre circulación.

En el resto de la memoria descriptiva, se refiere al caso de que el puente de potencia es un ondulator. Por supuesto, cuanto se describe en lo sucesivo en la memoria descriptiva para el ondulator es asimismo de aplicación a un puente rectificador, con las reservas de la diferencia entre un ondulator y un puente rectificador que acaba de reseñarse anteriormente.

El ondulator 1 es entonces un ondulator trifásico que comanda la carga 3. Éste incorpora por tanto tres brazos de puente B1, B2 y B3. Cada brazo de puente incorpora, en un ejemplo no limitativo, dos interruptores INT bidireccionales en corriente dotados de diodos de libre circulación. Por ejemplo, el primer brazo incorpora los interruptores de alto INT11 y bajo INT12, el segundo brazo, los interruptores de alto INT21 y bajo INT22 y el tercer brazo, los interruptores de alto INT31 y bajo INT32.

El bus de continua 2 incorpora una fuente de tensión continua 5. Esta fuente de tensión continua 5 es, en un ejemplo preferido, una batería o una red rectificadora. Esta fuente de tensión 5 alimenta al ondulator 1. En el ejemplo de la Fig. 1a, la fuente de tensión 5 lleva conectados en serie y/o en paralelo unos dispositivos 6, que son en particular líneas de conexión y/o dispositivos de consumo eléctrico. Estos dispositivos de consumo eléctrico pueden ser, entre otros, para el caso de un vehículo automóvil, faros, una radio, una climatización, lista que no es exhaustiva.

El bus de continua 2 incorpora asimismo un condensador de desacoplo 7 conectado en paralelo a la fuente de tensión 5. Este condensador 7 se halla situado preferentemente lo más cerca posible del ondulator 1. Ello permite disminuir la inductancia de línea entre el condensador y los interruptores. Así, se evita el aumento de las sobretensiones en el momento de las conmutaciones de los interruptores y, por lo tanto, romper dichos interruptores.

La corriente en el condensador 7 representa la parte ondulatoria de la corriente de fuente. El condensador 7 desempeña la función de filtrar la corriente de fuente entrante en el ondulator 1. Ello permite que la fuente de tensión 5 no suministre al ondulator 1 más que el valor medio de dicha corriente de fuente.

La carga 3 puede ser, en ejemplos no limitativos, un motor asíncrono, síncrono, etc. El punto medio de cada par de interruptores de un mismo brazo de puente del ondulator 1 está unido a una fase de la carga 3.

Como se verá con detalle más adelante, el ondulator 1 está gobernado por modulación de impulsos en anchura, corrientemente conocida como MIA, como también PWM en inglés ("Pulse Width Modulation"), por la lógica de control 4. Este tipo de control permite tener una alimentación de tensión de frecuencia variable y nivel de tensión variable. Se puede adaptar, por lo tanto, para cada condición particular de funcionamiento de la carga eléctrica (por ejemplo, de ser en modalidad alternador, se tiene que proporcionar una cierta potencia para alimentar dispositivos de consumo, se necesitará un vector tensión de norma dada, y girando a una velocidad dada), el valor de las corrientes en la carga así como sus frecuencias. En consecuencia, el mando por MIA permite gobernar la carga con precisión.

Para gobernar un ondulator polifásico, la lógica de control 4 define el estado abierto o cerrado del conjunto de los interruptores del ondulator 1. Sin carácter limitativo, la lógica de control 4 permite controlar de manera complementaria los interruptores de un mismo brazo de puente. Ello permite evitar poner en cortocircuito la fuente de alimentación.

El antagonismo de control de los interruptores de un mismo brazo de puente y el número finito de interruptores hace que sea finito el número de posibles configuraciones de los interruptores de los brazos de puente.

ES 2 366 554 T3

Para el ondulator trifásico de dos niveles 1, se pueden generar ocho diferentes configuraciones de los interruptores de los brazos de puente. Con cada una de estas ocho configuraciones se puede asociar una representación vectorial de las tensiones de salida del ondulator, que se denominarán vectores de control del ondulator. Estos vectores de control son comúnmente conocidos como vector de salida del ondulator.

El vector de control es una representación matemática que traduce la resultante de las tensiones reales aplicadas a la carga 3. De entre estas configuraciones, seis son estados activos \vec{V}_1 a \vec{V}_6 correspondientes a una amplitud del vector de control fija y se diferencian por la fase, y dos, \vec{V}_0 y \vec{V}_7 , son estados llamados de “libre circulación” para los que la amplitud del vector de control es nula y su fase ($\varphi = \text{arco tangente } y/x$) no está definida. Se apreciará que la fase de los vectores activos se define como el ángulo orientado entre el eje alfa de una marca de referencia estática (definida con detalle más adelante) y el vector activo correspondiente. Así, para \vec{V}_1 , la fase vale 0, la fase de \vec{V}_2 vale 60° , etc.

En una realización no limitativa, un vector de control producido por la lógica de control 4 incorpora tantas funciones de conmutación SC como fases incorpore la carga 3. En el caso del ejemplo tomado de un ondulator trifásico de tres niveles, controlado complementariamente, se tienen tres funciones de conmutación SC para un vector de control.

Los vectores de control producidos por la lógica de control 4 se pueden representar en una marca de referencia estática ilustrada en la Fig. 1b. La marca de referencia estática es una marca de referencia de eje (α, β) fija relacionada con el estator. El eje α es horizontal y el eje β es vertical. El eje α está a 90 grados del eje β . En un ejemplo preferido, el vector de control \vec{V}_1 se sitúa sobre el eje α . Los extremos de los vectores de control activos \vec{V}_1 a \vec{V}_6 determinan un hexágono. El centro del hexágono está unido a cada uno de los vértices mediante un vector de control activo. En una realización no limitativa, los vectores de control activos \vec{V}_1 a \vec{V}_6 están a 60 grados unos de otros. Así, el hexágono se descompone en seis sectores activos SH, estando conformado cada sector activo por dos vectores activos adyacentes y teniendo su centro en el centro del hexágono.

En un ejemplo, el primer sector SH1 viene representado por los vectores de control \vec{V}_1 y \vec{V}_2 y así sucesivamente hasta el sexto sector SH6, que viene representado por los vectores de control \vec{V}_6 y \vec{V}_1 , incorporando cada uno de los vectores tres funciones de conmutación SC en el ejemplo tomado.

Los vectores de control de libre circulación \vec{V}_0 y \vec{V}_7 , al tener una amplitud nula, se sitúan en la intersección del eje α y del eje β . La intersección del eje α y del eje β es el centro de la marca de referencia estática, que es asimismo el centro del hexágono.

Así, en un ejemplo, las funciones de conmutación SC de dichos vectores vienen representadas en la siguiente tabla. Se tiene una correspondencia entre las combinaciones de las funciones de conmutación SC y los vectores de control asociados.

Vector	SC1	SC2	SC3
\vec{V}_0	0	0	0
\vec{V}_1	1	0	0
\vec{V}_2	1	1	0
\vec{V}_3	0	1	0
\vec{V}_4	0	1	1
\vec{V}_5	0	0	1
\vec{V}_6	1	0	1
\vec{V}_7	1	1	1

Correspondiendo “0” a un control de cierre del interruptor bajo de un brazo de puente y a un control de apertura del interruptor alto del mismo brazo de puente; y correspondiendo “1” a un control de apertura del interruptor bajo de un brazo de puente y a un control de cierre del interruptor alto del mismo brazo de puente.

Por ejemplo, si $SC1 = 1$, $SC2 = 0$ y $SC3 = 0$; el interruptor de alto INT11 del primer brazo B1 está cerrado, el interruptor de bajo INT12 del primer brazo B1 está abierto, el interruptor de alto INT21 del segundo brazo B2 está abierto, el interruptor de bajo INT22 del segundo brazo B2 está cerrado y, por último, el interruptor de alto INT31 del tercer brazo B3 está abierto y el interruptor de bajo INT32 del tercer brazo está cerrado.

ES 2 366 554 T3

La lógica de control 4 que permite controlar los interruptores del ondulator se realiza, a menudo, en forma de circuito integrado. En un ejemplo, Fig. 1a, esta lógica de control 4 incorpora:

- un microprocesador 8,
- una memoria de programa 9,
- y una interfaz de entrada-salida 10, estando interconectados el microprocesador 8, la memoria 9 y la interfaz de entrada-salida 10 mediante un bus 11.

En la práctica, cuando se atribuye una acción a un dispositivo, ésta es realizada por un microprocesador del dispositivo controlado mediante códigos de instrucción grabados en una memoria de programa del dispositivo. La lógica de control 4 es un dispositivo de este tipo.

La memoria de programa 9 está dividida en varias zonas, correspondiendo cada zona a unos códigos de instrucción para realizar una función del dispositivo. Así, la memoria 9 incorpora:

- una zona 12 que incorpora códigos de instrucción para la puesta en práctica de la adquisición de las consignas de tensión,
- una zona 13 que incorpora códigos de instrucción para realizar un cálculo de las moduladoras en función de la estrategia elegida (estrategia de intersección o estrategia baricéntrica) como se va a ver con detalle más adelante,
- una zona 14 que incorpora códigos de instrucción para determinar un vector tensión de consigna \vec{V}^* en función de consignas de tensiones escalares $V1^*$, $V2^*$, $V3^*$ que son las tensiones que se desea aplicar a la carga 3,
- una zona 15 que incorpora códigos de instrucción para realizar una relación de orden entre las moduladoras,
- una zona 16 que incorpora códigos de instrucción para realizar una medición y una comparación de las corrientes de fase de la carga 3,
- una zona 17 que incorpora códigos de instrucción para determinar una cantidad de neutro en función del resultado de la comparación de las corrientes de fase de la carga 3,
- una zona 18 que incorpora códigos de instrucción para determinar una portadora para generar impulsos de anchura variable en función de una o varias moduladoras,
- una zona 19 que incorpora códigos de instrucción para realizar una comparación entre la portadora y las moduladoras trasladadas la cantidad de neutro determinada,
- una zona 20 que incorpora códigos de instrucción para realizar una elección de vectores de control a partir de esta comparación,
- una zona 21 que incorpora códigos de instrucción para realizar una aplicación de dichos vectores de control en el ondulator 1.

La Fig. 2 muestra el procedimiento de funcionamiento de los medios ilustrados en la Fig. 1a. Semejante procedimiento permite escoger, de manera simplificada, una sucesión de vectores de control que comandan el ondulator 1 reduciendo al propio tiempo, en este último, las pérdidas por conmutación.

En una primera etapa 30), la lógica de control 4 adquiere tres consignas de tensiones escalares $V1^*$, $V2^*$ y $V3^*$ de cada uno de los tres brazos del ondulator 1. Estas tres consignas de tensiones escalares $V1^*$, $V2^*$ y $V3^*$ son las tensiones que se desea aplicar a la carga 3. Estas tres consignas de tensiones escalares $V1^*$, $V2^*$ y $V3^*$ pueden ser medidas o calculadas por la lógica de control 4.

Estas consignas pueden ser así calculadas internamente por la lógica de control (gestión, por ejemplo, del lazo de regulación de las corrientes de fase de la carga en la lógica de control). Se puede tener asimismo una lógica de control de supervisión que proporciona las tensiones de consigna a la lógica de control 4 por intermedio de un enlace serie, paralelo o CAN. Será entonces necesario que la lógica de control 4 mida la información proporcionada por el supervisor.

En una segunda etapa 31), la lógica de control 4 determina, para cada brazo de puente del ondulator 1, una moduladora correspondiente mod1, mod2, mod3. La lógica de control 4 puede determinar las moduladoras de varias maneras (estrategia de intersección o estrategia baricéntrica, no limitativas) como se va a ver con detalle a continuación, siendo dichas moduladoras función de las consignas de tensión escalares. Se apreciará que una moduladora representa

ES 2 366 554 T3

un valor normalizado con relación a la tensión de bus de continua de la consigna de tensión escalar de un brazo de puente del ondulator. La intersección moduladora-triángulo va a proporcionar las órdenes de control por MIA del brazo de puente, como se va a ver con detalle más adelante.

5

Estrategia de intersección

En una primera realización no limitativa, la lógica de control puede calcular las moduladoras según una estrategia de intersección. En tal caso, la lógica de control 4 mide o estima la tensión del bus de continua U_{DC} , preferentemente cerca del ondulator 1 para obtener la tensión real disponible en bornes de dicho ondulator 1. La lógica de control 4 determina la moduladora de cada fase de la carga 3. La moduladora es asociada con cada brazo de puente. Esta moduladora es, en un ejemplo no limitativo, un valor normalizado de una consigna de tensión escalar con relación a la tensión de fuente U_{DC} . Así, para cada una de las tres consignas de tensiones escalares $V1^*$, $V2^*$ y $V3^*$, la lógica de control 4 determina respectivamente las tres moduladoras mod1, mod2 y mod3.

15

Así, la normalización se efectúa como sigue:

20

$$\text{mod} = \frac{\text{Máx} - \text{Mín}}{U_{DC}} V^* + \text{Mín}$$

25

siendo Máx el valor más elevado alcanzado por una portadora triangular que se definirá más adelante,

siendo Mín el menor valor alcanzado por la portadora triangular.

30

Lo que da con un valor Mín = -1 y Máx = 1:

$$\text{mod} = \frac{2.V1^*}{U_{DC}} - 1$$

35

Así,

40

$$\text{mod1} = \frac{2.V1^*}{U_{DC}} - 1$$

45

$$\text{mod2} = \frac{2.V2^*}{U_{DC}} - 1$$

$$\text{mod3} = \frac{2.V3^*}{U_{DC}} - 1$$

50

Así, en este caso, la tensión V_s aplicada a la salida de un brazo de puente es igual al control del brazo de puente multiplicado por la tensión continua U_{DC} .

55

Así, para cada una de las tres consignas de tensiones escalares $V1^*$, $V2^*$ y $V3^*$, la lógica de control 4 determina respectivamente las tres moduladoras mod1, mod2 y mod3.

Estrategia baricéntrica

60

En una segunda realización no limitativa, la lógica de control 4 puede determinar las moduladoras mod1, mod2 y mod3 según una estrategia baricéntrica. Según esta estrategia, se utilizan dos vectores activos y los dos vectores de libre circulación sobre el período de control del ondulator 1 para descomponer el vector tensión de consigna. Para tal fin, la lógica de control aplica primero la etapa 32, antes de determinar las tres moduladoras mod1, mod2 y mod3, en la etapa 31.

65

Se apreciará que el periodo de control del ondulator representa el intervalo de tiempo en el que se va a controlar una apertura y un cierre del interruptor alto del brazo de puente (el control del interruptor es complementario). También se habla de período de troceo.

ES 2 366 554 T3

Primeramente, la lógica de control 4 determina, a partir de las tres consignas de tensión escalares $V1^*$, $V2^*$ y $V3^*$, un vector tensión de consigna \vec{V}^* . La lógica de control 4 puede determinar el vector tensión de consigna \vec{V}^* según una transformación “Clarke” conocida del experto en la materia.

5 En tal caso, la lógica de control 4 calcula las dos componentes $V^* x$ y $V^* y$ que forman dicho vector tensión de consigna \vec{V}^* según las siguientes fórmulas:

$$\begin{aligned}
 V^* x &= \frac{2}{3} \left(V1^* - \frac{1}{2} \times V2^* - \frac{1}{2} \times V3^* \right) \\
 V^* y &= \frac{2}{3} \left(\frac{1}{\sqrt{3}} \times V2^* - \frac{1}{\sqrt{3}} \times V3^* \right)
 \end{aligned}$$

Se apreciará que, naturalmente, se pueden utilizar otras transformaciones, tal como la transformación de “Concordia” conocida del experto en la materia. Ésta se distingue por el factor de normalización.

En la etapa 32, la lógica de control 4 determina la posición vectorial del vector tensión de consigna \vec{V}^* en el hexágono formado por los vectores de control \vec{V}_0 a \vec{V}_7 y, más particularmente, la posición del vector tensión de consigna en uno de los sectores activos SH.

Este vector tensión de consigna \vec{V}^* se encuentra en todo momento en uno de los seis sectores activos SH del hexágono.

Así, para determinar su posición, se calcula la fase del vector tensión de consigna que es igual a $\text{atan}(V^*y/V^*x)$. A continuación, se compara este valor con la fase de los vectores tensión activos. Por ejemplo, si $0 < \text{fase del vector tensión de consigna} < 60^\circ$, entonces el vector tensión de consigna se encuentra en el primer sector.

A continuación, el vector tensión de consigna \vec{V}^* se descompone sobre los dos vectores de control activos adyacentes que componen el sector activo SH en el que se encuentra, tal como se ilustra en la Fig. 1c.

En un ejemplo, el vector tensión de consigna \vec{V}^* se descompone sobre los dos vectores de control activos adyacentes \vec{V}_1 y \vec{V}_2 que componen el sector activo SH1 en el que se encuentra, ilustrado en la Fig. 1c.

Esta descomposición permite determinar unos coeficientes t_i y t_j tales que:

$$\vec{V}^* = \left(\frac{t_i}{T_s} \times \vec{V}_i \right) + \left(\frac{t_j}{T_s} \times \vec{V}_j \right)$$

Donde T_s es el período según el cual es controlado el ondulator. Y t_i y t_j corresponden a los tiempos de aplicación de los vectores de control activos \vec{V}_i y \vec{V}_j adyacentes sobre el período T_s , definiendo dichos vectores de control activos el sector activo SH en el que se encuentra el vector tensión de consigna \vec{V}^* como anteriormente se ha visto. El sector activo SH $_N$ está definido por los vectores de control activos adyacentes \vec{V}_N y \vec{V}_{N+1} , $i = 1$ a 5 , y el sector activo SH $_6$ está definido por los vectores de control activos adyacentes \vec{V}_6 y \vec{V}_1 .

Una vez que son conocidos los tiempos de aplicación t_i y t_j , es decir, después de la descomposición del vector tensión de consigna \vec{V}^* dentro del sector activo del hexágono en el que se encuentra, la lógica de control 4 determina las tres moduladoras mod1, mod2 y mod3 para el sector activo SH concernido en función de los tiempos de aplicación de los vectores de control y del periodo de control del ondulator 1 a través de la siguiente tabla:

	Sector SH1	Sector SH2	Sector SH3
5	mod1	(Máx-Mín)/Ts (t1 + t2 + t0/2)+Mín	(Máx-Mín)/Ts (t2 + t0/2)+Mín
	mod2	(Máx-Mín)/Ts (t2 + t0/2)+Mín	(Máx-Mín)/Ts (t3 + t2 + t0/2)+Mín
	mod3	(Máx-Mín)/Ts (t0/2)+Mín	(Máx-Mín)/Ts (t4 + t0/2)+Mín
	Sector 4	Sector 5	Sector 6
10	mod1	(Máx-Mín)/Ts (t0/2)+Mín	(Máx-Mín)/Ts (t6 + t0/2)+Mín
	mod2	(Máx-Mín)/Ts (t4 + t0/2)+Mín	(Máx-Mín)/Ts (t0/2)+Mín
	mod3	(Máx-Mín)/Ts (t5 + t4 + t0/2)+Mín	(Máx-Mín)/Ts (t5 + t6 + t0/2)+Mín

La tabla siguiente se aplica para Mín = -1 y Máx = 1.

	Sector SH1	Sector SH2	Sector SH3
20	mod1	2/Ts (t1 + t2 + t0/2)-1	2/Ts (t0/2)-1
	mod2	2/Ts (t2 + t0/2)-1	2/Ts (t3 + t4 + t0/2)-1
	mod3	2/Ts (t0/2)-1	2/Ts (t4 + t0/2)-1
	Sector SH4	Sector SH5	Sector SH6
25	mod1	2/Ts (t0/2)-1	2/Ts (t6 + t0/2)-1
	mod2	2/Ts (t4 + t0/2)-1	2/Ts (t0/2)-1
	mod3	2/Ts (t5 + t4 + t0/2)-1	2/Ts (t6 + t0/2)-1

El tiempo t0 representa el tiempo de aplicación de los vectores de libre circulación \vec{V}_0 y \vec{V}_7 . El tiempo de aplicación t0 se determina según el sector activo SH en el que se encuentra el vector tensión de consigna \vec{V}^* .

35 Cuando el vector tensión de consigna \vec{V}^* se encuentra en el primer sector activo SH1, entonces t0 = Ts - t1 - t2.

Cuando se halla en el segundo sector activo, SH2 entonces t0 = Ts - t2 - t3. Y así sucesivamente hasta el sexto sector activo SH6, donde t0 = Ts - t6 - t1.

40 Naturalmente, en el cálculo de moduladoras se pueden utilizar otras estrategias.

Después de haber determinado las moduladoras de cada brazo de puente según una estrategia de intersección o baricéntrica, tal y como se ha descrito anteriormente, se determina un brazo de puente que se va a bloquear, sin carácter limitativo, bien con relación a un vector corriente \vec{I} , o bien con relación a la posición de un vector tensión \vec{V}^* como se va a ver a continuación

Determinación del brazo bloqueado con relación a la posición del vector corriente \vec{I}

50 En una primera realización, se determina el brazo de puente que se va a bloquear con relación a las corrientes de fase. En este caso, para determinar el brazo de puente que se va a bloquear, la lógica de control 4 aplica las etapas 40 a 45. Por bloqueo de un brazo de puente se entiende el mantenimiento de dicho brazo de puente en un estado dado. En otras palabras, los estados de los interruptores de dicho brazo de puente permanecen inalterados. No hay conmutación del brazo.

En la etapa 40, la lógica de control determina el brazo de puente que se va a bloquear con relación al vector corriente \vec{I} . El bloqueo de un brazo de puente va a permitir disminuir las pérdidas por conmutación en los interruptores.

60 A tal efecto, en la etapa 41, en una primera variante de realización no limitativa, la lógica de control 4 selecciona en primer lugar dos brazos de puente, de entre los tres, susceptibles de ser bloqueados en función de una relación de orden entre las moduladoras mod1, mod2, mod3 de los tres brazos de puente, siendo esta relación de orden, en un ejemplo no limitativo, una comparación. Así, los dos brazos de puente seleccionados son el brazo de puente que tiene la mayor moduladora mod_M y el brazo de puente que tiene la menor moduladora mod_m según la comparación de las tres moduladoras, no pudiendo ser bloqueado el brazo de puente correspondiente a la moduladora intermedia sin bloquear otro brazo e imposibilitar así la generación como promedio del vector tensión de consigna \vec{V}^* , ya que estarían disponibles sólo un vector de control activo y sólo un vector de libre circulación.

ES 2 366 554 T3

En una segunda variante de realización no limitativa, la lógica de control 4 selecciona los dos brazos de puente susceptibles de ser bloqueados en función de una comparación entre las tres consignas de tensiones escalares $V1^*$, $V2^*$ y $V3^*$ ya que, cualquiera que sea el procedimiento de cálculo de las moduladoras (en el presente caso, de intersección o baricéntrico), la relación de orden entre las tres moduladoras es la misma que entre las tres consignas de tensión escalares, a causa de la relación que existe entre una moduladora y la correspondiente consigna de tensión escalar. Los dos brazos de puente seleccionados son el brazo de puente que tiene la mayor consigna de tensión escalar y el brazo de puente que tiene la menor consigna de tensión escalar.

Para la continuación de las etapas, se hace referencia a la primera variante.

La lógica de control 4, en la etapa 42, elige el brazo de puente que se va a bloquear de entre los dos brazos de puente anteriormente seleccionados. Ésta determina, por una parte, la corriente de fase I_M , para el brazo de puente que tiene la mayor moduladora mod_M y, por otra parte, la corriente de fase I_m , para el brazo de puente que tiene la menor moduladora mod_m . Para determinar el brazo de puente que será bloqueado, la lógica de control 4 compara los valores absolutos de estas corrientes de fase I_M e I_m . Ésta bloquea el brazo de puente cuyo valor absoluto de la corriente de fase es el mayor en valor absoluto. Si ello corresponde al brazo de puente que tiene la mayor moduladora mod_M , entonces el brazo es bloqueado en estado alto. Si ello corresponde al brazo de puente que tiene la menor moduladora mod_m , entonces el brazo es bloqueado en estado bajo.

En la etapa 43, la lógica de control 4 determina una cantidad de neutro V_{n0} que se va a inyectar a las moduladoras $mod1$, $mod2$ y $mod3$, en función del resultado de la comparación.

En caso de que el valor absoluto de la corriente de fase I_m de la moduladora más pequeña mod_m sea superior al valor absoluto de la corriente de fase I_M de la moduladora más grande mod_M , entonces la lógica de control 4 determina una cantidad de neutro V_{n0} que es igual a un segundo valor mínimo $Mín$ menos la moduladora más pequeña mod_m . La cantidad de neutro $V_{n0} = Mín - mod_m$. En el ejemplo tomado no limitativo, el segundo valor mínimo $Mín$ es igual a -1.

En caso contrario, la lógica de control 4 determina una cantidad de neutro V_{n0} que es igual a un primer valor máximo $Máx$ menos la moduladora más grande mod_M . La cantidad de neutro $V_{n0} = Máx - mod_M$. En el ejemplo tomado no limitativo, el primer valor máximo $Máx$ es igual a +1.

Las moduladoras $mod1$, $mod2$ y $mod3$ son trasladadas mediante adición de esta cantidad de neutro V_{n0} determinada al objeto de bloquear un brazo.

Por otro lado, según una primera variante no limitativa, si el valor absoluto de la corriente de fase $|I_m|$ de la moduladora más pequeña mod_m es igual al valor absoluto de la corriente de fase $|I_M|$ de la moduladora más grande mod_M , entonces la cantidad de neutro V_{n0} es igual a $-1 - mod_m$. La Fig. 2 ilustra esta primera variante.

Según una segunda variante, si el valor absoluto de la corriente de fase $|I_m|$ de la moduladora más pequeña mod_m es igual al valor absoluto de la corriente de fase $|I_M|$ de la moduladora más grande mod_M , entonces la cantidad de neutro v_{n0} es igual a $i - mod_M$.

En la etapa 44, la lógica de control 4 determina al menos una simple portadora 40. Esta simple portadora 40 es una señal cuyo periodo es el período de troceo. La lógica de control 4 puede determinar asimismo tantas simples portadoras como brazos de puente haya. En tal caso, cada moduladora de un brazo de puente es comparada con la portadora correspondiente. Estas portadoras pueden ser diferentes entre sí.

En el ejemplo de la Fig. 2, la lógica de control 4 determina una sola simple portadora para los tres brazos de puente. Esta portadora 40 es un triángulo de manera que se verifica con una linealidad entre una moduladora y el valor medio del impulso generado sobre el correspondiente brazo sobre el período T_s de control del ondulator 1. En el ejemplo tomado en la Fig. 4, este triángulo se toma entre un primer valor máximo $Máx$, en el presente caso igual a 1, y un segundo valor mínimo $Mín$, en el presente caso igual a -1, respectivamente para el vértice y la base. En una realización no limitativa, esta simple portadora 40 es un triángulo isósceles. Además, preferentemente, el vértice apunta hacia arriba, es decir, el vértice se encuentra en el primer valor máximo $Máx = +1$, y la base se encuentra en el segundo valor mínimo $Mín = -1$.

En otra realización, esta simple portadora 40 puede ser cualquier triángulo que permita modificar, aunque no sea la anchura de los impulsos, la posición de dichos impulsos en el período de troceo e incluso la polaridad de dichos impulsos (vértice apuntando hacia abajo).

En otra realización, la portadora 40 puede ser asimismo una sucesión de triángulos cuyo período es el periodo de troceo T_s del ondulator 1.

Esta portadora 40 puede ser asimismo un triángulo cuyo vértice apunta hacia abajo, es decir, el vértice se encuentra en el segundo valor mínimo $Mín = -1$, y la base se encuentra en el primer valor máximo $Máx = +1$.

ES 2 366 554 T3

Se apreciará que el período de troceo T_s no es necesariamente constante en la utilización del ondulator a fin de ensanchar el espectro de las tensiones de salida del ondulator 1 y, con ello, también el período de la portadora. Este ensanchamiento de espectro permite modificar el ruido acústico generado por la carga polifásica 3.

5 Como se describirá en la Fig. 4 (para más detalles, véase el párrafo comparación con una simple portadora descrito más adelante), la lógica de control 4 compara la portadora 40 con las tres moduladoras trasladadas la cantidad de neutro V_{n0} . En función de esta comparación, la lógica de control 4 determina, en la etapa 45, las órdenes de control SC para cada uno de los tres brazos de puente del ondulator 1 (más particularmente, las combinaciones de las órdenes de control que determinan una sucesión de vectores de control) a fin de generar como promedio el vector tensión de
10 consigna \vec{V}^* que se va a aplicar a la carga 3 mediante dicho ondulator 1 para gobernar dicha carga.

Estas órdenes de control son funciones de conmutación SC de los interruptores de los brazos de puente.

15 Así, esta técnica del movimiento de la cantidad de neutro V_{n0} permite reducir los requerimientos del ondulator 1 en lo que respecta a pérdidas, haciendo una simple intersección entre las nuevas moduladoras trasladadas. Esta reducción de los requerimientos del ondulator 1 limita las pérdidas por conmutación. En efecto, esta técnica permite bloquear un brazo de puente.

La lógica de control 4 aplica al ondulator 1 las órdenes de control determinadas en la etapa 45.

20 Determinación del brazo bloqueado con relación a la posición del vector tensión de consigna \vec{V}^* .

En una segunda realización, se determina el brazo de puente que se va a bloquear con relación al vector tensión de consigna \vec{V}^* y, más particularmente, la posición sectorial del vector tensión de consigna en uno de los sectores angulares SA de la marca de referencia estatórica. En este caso, para determinar el brazo de puente que se va a bloquear, la lógica de control 4 aplica las etapas 50 a 55.

25 En este caso, la marca de referencia estatórica está subdividida en sectores angulares SA ilustrados en la Fig. 3.

30 Cada sector angular tiene su vértice en el centro de la marca de referencia estatórica y forma un ángulo de 60°.

Cada uno de los vectores de control activos corta en dos partes iguales a cada uno de los sectores angulares. La marca de referencia estatórica incorpora seis sectores angulares SA. El primer sector angular SA1 está cortado en dos partes iguales por el vector de control \vec{V}_1 y así sucesivamente hasta el sexto sector angular SA6, que está cortado por el vector de control \vec{V}_6 .

35 En la etapa 50, la lógica de control 4 determina el brazo de puente que se va a bloquear con relación al vector tensión de consigna \vec{V}^* . En la etapa 51, la lógica de control 4 determina la posición sectorial del vector tensión de consigna \vec{V}^* en los sectores angulares de la marca de referencia estatórica. La posición sectorial del vector tensión de consigna \vec{V}^* en la marca de referencia estatórica determina el estado alto o el estado bajo del brazo de puente que se va a bloquear.

45 Se apreciará que por bloqueo de un brazo de puente se entiende el mantenimiento de dicho brazo de puente en un estado dado. En otras palabras, los estados de los interruptores de dicho brazo de puente permanecen inalterados. No hay conmutación del brazo.

El estado alto o el estado bajo de un brazo de puente define cuál de los dos interruptores de dicho brazo de puente está en conducción. Este estado alto y este estado bajo se definen en general por comodidad. En una realización no limitativa, se define el estado alto cuando los interruptores situados en la parte alta de cada brazo de puente del ondulator están cerrados. Y se define el estado bajo cuando estos mismos interruptores están abiertos. El hecho de conocer el estado de uno de los interruptores de un brazo de puente informa automáticamente sobre el estado del otro interruptor de dicho brazo de puente, ya que su funcionamiento es, en el presente caso, complementario.

55 El brazo de puente que se va a bloquear es función de la posición sectorial del vector tensión de consigna \vec{V}^* en los sectores angulares SA de la marca de referencia estatórica como sigue:

60 - si el vector tensión de consigna \vec{V}^* se halla en el primer sector angular SA1, entonces el primer brazo B1 es bloqueado en estado alto,

- si el vector tensión de consigna \vec{V}^* se halla en el segundo sector angular SA2, entonces el tercer brazo B3 es bloqueado en estado bajo,

65 - si el vector tensión de consigna \vec{V}^* se halla en el tercer sector angular SA3, entonces el segundo brazo B2 es bloqueado en estado alto,

ES 2 366 554 T3

- si el vector tensión de consigna \vec{V} se halla en el cuarto sector angular SA4, entonces el primer brazo B1 es bloqueado en estado bajo.

5 - si el vector tensión de consigna \vec{V}^* se halla en el quinto sector angular SA5, entonces el tercer brazo B3 es bloqueado en estado alto.

10 - si el vector tensión de consigna \vec{V}^* se halla en el sexto sector angular SA6, entonces el segundo brazo B2 es bloqueado en estado bajo.

En la etapa 52, la lógica de control 4 determina una cantidad de neutro V_{n0} que se va a inyectar a las moduladoras mod1, mod2 y mod3, en función de la posición del vector tensión de consigna \vec{V}^* en los sectores angulares SA de la marca de referencia estática.

15 Cuando se ha de bloquear el brazo de puente Bj en estado alto, entonces la lógica de control determina una cantidad de neutro $V_{n0} = \text{Máx} - \text{mod}_j$. Cuando se ha de bloquear el brazo de puente Bj en estado bajo, entonces la lógica de control determina una cantidad de neutro $V_{n0} = \text{Mín} - \text{mod}_j$. En el ejemplo que nos ocupa, se toma $\text{Máx} = +1$ y $\text{Mín} = -1$.

20 En la etapa 53, la lógica de control 4 traslada las moduladoras mod1, mod2 y mod3 esta cantidad de neutro V_{n0} determinada. Esta traslación es una adición de la cantidad de neutro V_{n0} a las moduladoras mod1, mod2 y mod3.

25 Así, por ejemplo, si se tiene que bloquear el primer brazo B1 en estado alto, entonces la cantidad de neutro V_{n0} que se va a añadir a las tres moduladoras mod1, mod2 y mod3 es igual a $1 - \text{mod}_1$. Se obtiene así, para mod1, el valor +1, para mod2, el valor $\text{mod}_2 + 1 - \text{mod}_1$, y para mod3, el valor $\text{mod}_3 + 1 - \text{mod}_1$.

En la etapa 54, la lógica de control 4 determina al menos una portadora 40. Esta portadora es una portadora simple.

30 Ésta incorpora las mismas características que las descritas en el anterior párrafo “Determinación del brazo bloqueado con relación a la posición del vector corriente \vec{I} ”.

35 Como se describirá en la Fig. 4 (para más detalles, véase el párrafo sobre la comparación con una simple portadora descrito más adelante), la lógica de control 4 compara la portadora con las tres moduladoras trasladadas la cantidad de neutro V_{n0} .

40 En función de esta comparación, la lógica de control 4 determina, en la etapa 55, los órdenes de control SC para cada uno de los tres brazos de puente del ondulator 1 (más particularmente, las combinaciones de los órdenes de control que determinan una sucesión de vectores de control) a fin de generar como promedio el vector tensión de consigna \vec{V}^* que se va a aplicar a la carga 3 mediante dicho ondulator 1 para gobernar dicha carga.

Estas órdenes de control son funciones de conmutación SC de los interruptores de los brazos de puente.

45 La lógica de control 4 aplica al ondulator 1 esta sucesión de vectores de control correspondientes a las órdenes de control generadas, determinadas en la etapa 55.

50 Así, esta técnica del movimiento de la cantidad de neutro V_{n0} permite por tanto reducir los requerimientos del ondulator 1 en lo que respecta a pérdidas, haciendo una simple intersección entre las nuevas moduladoras trasladadas. Esta reducción de los requerimientos del ondulator 1 limita las pérdidas por conmutación. En efecto, esta técnica permite bloquear un brazo de puente.

Comparación con una portadora simple

55 Este párrafo describe de forma detallada la utilización de una portadora simple para determinar las órdenes de control que se van a enviar a los brazos de puente del ondulator. Esta portadora simple es una señal cuyo período es el período de troceo. La lógica de control 4 puede determinar asimismo tantas simples portadoras como brazos de puente haya. En tal caso, cada moduladora de un brazo de puente es comparada con la portadora simple correspondiente. Estas portadoras simples pueden ser diferentes entre sí.

60 En el ejemplo de la Fig. 4, la lógica de control 4 determina una sola portadora simple para los tres brazos de puente. Esta simple portadora 40 es un triángulo de manera que se verifica una linealidad entre una moduladora y el valor medio del impulso generado sobre el correspondiente brazo sobre el período T_s de control del ondulator 1. En el ejemplo tomado en la Fig. 4, este triángulo se toma entre un primer valor máximo Máx, en el presente caso igual a 1, y un segundo valor mínimo Mín, en el presente caso igual a -1, respectivamente para el vértice y la base. En una realización no limitativa, esta portadora simple 40 es un triángulo isósceles. Además, sin carácter limitativo, el vértice apunta hacia arriba, es decir, el vértice se encuentra en el primer valor máximo $\text{Máx} = +1$ y la base se encuentra en el segundo valor mínimo $\text{Mín} = -1$.

ES 2 366 554 T3

En otra realización, esta portadora 40 puede ser cualquier triángulo que permita modificar, aunque no sea la anchura de los impulsos, la posición de dichos impulsos en el período de troceo, e incluso la polaridad de dichos impulsos (vértice apuntando hacia abajo).

5 En otra realización, la portadora 40 puede ser asimismo una sucesión de triángulos cuyo periodo es el período de troceo T_s del ondulator 1.

Esta portadora 40 puede ser asimismo un triángulo cuyo vértice apunta hacia abajo, es decir, el vértice se encuentra en el segundo valor mínimo $Mín = -1$, y la base se encuentra en el primer valor máximo $Máx = +1$.

10 Se apreciará que el período de troceo T_s no es necesariamente constante en la utilización del ondulator a fin de ensanchar el espectro de las tensiones de salida del ondulator 1 y, con ello, también el período de la portadora. Este ensanchamiento de espectro permite modificar el ruido acústico generado por la carga polifásica 3.

15 La Fig. 4 muestra la comparación entre la simple portadora 40 y las tres moduladoras mod1, mod2 y mod3 trasladadas la cantidad de neutro V_{n0} .

En la Fig. 4, el primer cronograma presenta un eje cuyas abscisas representan el tiempo y las ordenadas, valores normalizados de tensión, y los tres otros cronogramas presentan un eje cuyas abscisas representan el tiempo y las ordenadas, las funciones de conmutación SC de cada uno de los tres brazos de puente, respectivamente.

En el ejemplo de la Fig. 4, la moduladora mod1 es calculada para el brazo de puente B1, la moduladora mod2 es calculada para el brazo de puente B2 y la moduladora mod3 es calculada para el brazo de puente B3.

25 La moduladora mod3 es, en el ejemplo de la Fig. 4, la menor moduladora entre las tres moduladoras y la moduladora mod1 es la mayor. La más grande de las moduladoras mod_M iguala a la moduladora mod1. En este caso, la lógica de control 4 bloquea el brazo de puente B1 ya que la corriente I1 es superior a la corriente I3 en valor absoluto. En consecuencia, la cantidad de neutro que se ha de añadir a las tres moduladoras es $V_{n0} = 1 - mod1$. El brazo de puente B1 bloqueado en estado alto tiene su moduladora trasladada valiendo +1.

30 El brazo de puente B1 bloqueado en estado alto presenta en la intersección con la portadora 40 triangular no un intervalo de tiempo (en el vértice de la portadora, en la intersección de la portadora triangular y de la moduladora mod1 + V_{n0}), sino más bien una intersección puntual, como muestra la Fig. 4. El brazo de puente B1 no cambia pues de estado.

35 La comparación entre la portadora 40 y las moduladoras trasladadas permite definir la sucesión de las órdenes de control SC que se van a aplicar al ondulator. Así, la intersección entre las moduladoras trasladadas y la portadora 40 determina un control de tipo impulsivo (flanco creciente: interruptor alto se cierra, interruptor bajo se abre; y flanco decreciente: interruptor alto se abre e interruptor bajo se cierra) sobre cada uno de los brazos de puente B2 y B3 que se van a conmutar. En consecuencia, la lógica de control 4 controla el ondulator mediante una sucesión de vectores de control.

40 Dependiendo de la descomposición del vector tensión de consigna en un sector del hexágono, la lógica de control 4 elige el vector de libre circulación apropiado. En el ejemplo de la Fig. 4, el vector de libre circulación elegido es el vector V7.

45 Así, en el instante t_0 , el brazo de puente B1 está bloqueado en estado alto, su moduladora trasladada la cantidad de neutro V_{n0} presenta una recta horizontal a +1. En ese instante t_0 , las moduladoras trasladadas de los brazos de puente B2 y B3 se encuentran fuera de la portadora 40, es decir, no presentan intersección con dicha portadora y se sitúan al exterior de la superficie del triángulo formado por la portadora. Los interruptores de estos dos brazos de puente se hallan en estado alto. En este Intervalo, las funciones de conmutación correspondientes valen +1. Estos dos brazos permanecen pues en estado alto. Por tanto, no cambian de estado.

50 En el instante t_1 , la moduladora mod3 + V_{n0} entra en contacto con uno de los lados de la portadora 40. La lógica de control 4 envía al brazo de puente B3 una orden de control SC. Esta orden de control conmuta el brazo de puente B3. El brazo de puente B3 cambia de estado y pasa pues al estado bajo.

55 En el instante t_2 , la moduladora mod2 + V_{n0} entra en contacto con uno de los lados de la portadora 40. La lógica de control 4 envía al brazo de puente B2 una orden de control SC. Esta orden de control conmuta el brazo de puente B2. El brazo de puente B2 cambia pues de estado y pasa al estado bajo.

60 En el intervalo t_2 a t_3 , la moduladora mod2 + V_{n0} se encuentra en el triángulo de la portadora 40, es decir, no presenta intersección con dicha portadora y se sitúa en el interior de la superficie del triángulo formado por la portadora. Durante todo este periodo, el brazo de puente B2 permanece en estado bajo.

65 En el instante t_3 , la moduladora mod2 + V_{n0} entra nuevamente en contacto con otro de los lados de la portadora 40. A partir de ese instante, la lógica de control 4 envía al brazo de puente B2 una orden de control SC. Esta orden de control conmuta el brazo de puente B2 al estado alto.

ES 2 366 554 T3

En el intervalo $t1$ a $t4$, la moduladora $mod3 + V_{n0}$ se encuentra en el triángulo de la portadora 40. Durante todo este período, el brazo de puente B3 permanece en estado bajo.

5 En el instante $t4$, la moduladora $mod3 + V_{n0}$ entra nuevamente en contacto con otro de los lados de la portadora 40. A partir de ese instante, la lógica de control 4 envía al brazo de puente B3 una orden de control SC. Esta orden de control conmuta el brazo de puente B3 al estado alto.

10 Se apreciará que el establecimiento de las órdenes de control SC mediante el procedimiento de intersección entre una moduladora y una portadora triangular conlleva que las órdenes de control SC del ondulator están en condiciones de todo o nada. Por otro lado, dependiendo del valor de la moduladora, la anchura de los impulsos resultantes es variable. Hay, pues, una modulación de anchura de impulso y, por tanto, un mando del ondulator por MIA. Es lo que se ha visto en la Fig. 4.

15 Por último, el procedimiento descrito de la invención funciona tanto en régimen permanente como en régimen dinámico. En efecto, esto funciona en régimen dinámico ya que no hay que preocuparse de la evolución temporal de las corrientes de fase. Se las considera sólo un instante. Tenemos por tanto en el presente caso un funcionamiento discreto.

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de mando de un puente de potencia (1) destinado a controlar una carga eléctrica (3) que incorpora varias fases, estando destinado el puente de potencia (1) a unirse con la carga eléctrica (3) a través de varios brazos (B1, ..., B3), al menos uno por fase, y estando destinado a ser gobernado mediante funciones de conmutación (SC1, SC2, SC3), determinando dichas funciones de conmutación vectores de control ($\vec{V}_0, \dots, \vec{V}_7$) para controlar la carga, subdividiéndose dichos vectores de control ($\vec{V}_0, \dots, \vec{V}_7$) en vectores de control de libre circulación (\vec{V}_0, \vec{V}_7) y en vectores de control activos ($\vec{V}_1, \dots, \vec{V}_6$), incluyendo dicho procedimiento la aplicación de un procedimiento de producción de funciones de conmutación que produce un reducido número de combinaciones de funciones de conmutación correspondientes a vectores de control de libre circulación (\vec{V}_0, \vec{V}_7) para producir una sucesión de vectores de control, **caracterizado** porque dicho procedimiento de producción de funciones de conmutación comprende una etapa de selección de al menos dos brazos de puente susceptibles de ser bloqueados en función de una relación de orden y una etapa de bloquear, durante todo un periodo de troceo (Ts) del puente de potencia (1), uno de dichos al menos dos brazos de puente susceptibles de ser bloqueados.

2. Procedimiento de mando de un puente de potencia (1) según la reivindicación 1, **caracterizado** porque el procedimiento de producción de funciones de conmutación incluye una etapa de determinación de una moduladora (mod1, mod2, mod3) asociada a cada brazo del puente (B1, B2, B3) a partir de consignas de tensión escalares ($V1^*$, $V2^*$, $V3^*$), porque la determinación de una moduladora se efectúa según una estrategia de intersección o una estrategia baricéntrica.

3. Procedimiento de mando de un puente de potencia (1) según la reivindicación precedente, **caracterizado** porque la relación de orden es una comparación entre las moduladoras (mod1, mod2, mod3) asociadas a los brazos (B1, B2, B3) de puente.

4. Procedimiento de mando de un puente de potencia (1) según la reivindicación precedente 2 ó 3, **caracterizado** porque los brazos de puente seleccionados corresponden a los brazos de puente que tienen la mayor moduladora (mod_M) y la menor moduladora (mod_m).

5. Procedimiento de mando de un puente de potencia (1) según la reivindicación precedente 2 ó 4, **caracterizado** porque el brazo de puente que se va a bloquear se elige de entre los brazos de puente seleccionados y es el que incorpora la corriente de fase (I_M, I_m) mayor en valor absoluto de entre las corrientes de fase respectivamente correspondientes a la mayor de las moduladoras (mod_M) y la menor de las moduladoras (mod_m) de entre las moduladoras (mod1, mod2, mod3) asociadas a los brazos de puente (B1, B2, B3).

6. Procedimiento de mando de un puente de potencia (1) según la reivindicación precedente, **caracterizado** porque, si el brazo de puente que se va a bloquear es el que corresponde a la mayor de las moduladoras, entonces el brazo de puente es bloqueado en estado alto y, si el brazo de puente que se va a bloquear es el que corresponde a la menor de las moduladoras, entonces el brazo de puente es bloqueado en estado bajo.

7. Procedimiento de mando de un puente de potencia (1) según una de las reivindicaciones precedentes 2 a 6, **caracterizado** porque el procedimiento de producción de las funciones de conmutación incluye además una etapa de determinar una cantidad de neutro (V_{n0}) que ha de añadirse a una moduladora en función de un estado alto o bajo de un brazo de puente que se va a bloquear.

8. Procedimiento de mando de un puente de potencia (1) según la reivindicación precedente, **caracterizado** porque:

- si un brazo (B_j) se tiene que bloquear en estado alto, entonces la cantidad de neutro (v_{n0}) es igual a un primer valor máximo (Máx) menos la moduladora asociada a dicho brazo ($v_{n0} = \text{Máx} - mod_j$), y

- si el brazo (B_j) se tiene que bloquear en estado bajo, entonces la cantidad de neutro (v_{n0}) es igual a un segundo valor mínimo (Mín) menos la moduladora asociada a dicho brazo ($v_{n0} = \text{Mín} - mod_j$).

9. Procedimiento de mando de un puente de potencia (1) según una de las reivindicaciones precedentes 2 a 8, **caracterizado** porque el procedimiento de producción de funciones de conmutación incluye una etapa de comparación de moduladoras trasladadas una cantidad de neutro con una portadora simple, asociándose una moduladora a cada brazo de puente, definiendo dicha comparación funciones de conmutación (SC) para gobernar dicho puente.

10. Procedimiento según la reivindicación precedente, **caracterizado** porque la portadora simple es un triángulo isósceles que incorpora un vértice que se encuentra a un valor máximo (Máx) y una base que se encuentra a un valor mínimo (Mín).

11. Procedimiento de mando de un puente de potencia (1) según una de las reivindicaciones precedentes 2 a 10, **caracterizado** porque la etapa de bloqueo de un brazo de puente es función de la posición de un vector tensión de consigna (\vec{V}^*) en un dominio del plano determinado por vectores de control ($\vec{V}_0, \dots, \vec{V}_7$), siendo determinado el vector tensión de consigna (\vec{V}^*) a partir de consignas de tensión escalares ($V1^*$, $V2^*$, $V3^*$).

ES 2 366 554 T3

12. Procedimiento de mando de un puente de potencia (1) según la reivindicación precedente, **caracterizado** porque el dominio del plano queda definido en una marca de referencia estatórica, subdividiéndose dicha marca de referencia estatórica en sectores angulares (SA) y porque la etapa de bloqueo de un brazo de puente en un estado alto o un estado bajo es función de la posición del vector tensión de consigna (\vec{V}^*) en uno de los sectores angulares (SA).

5

13. Procedimiento según la reivindicación precedente, **caracterizado** porque:

10

- si el vector tensión de consigna (\vec{V}^*) se halla en un primer sector angular (SA1), entonces el primer brazo (B1) es bloqueado en estado alto,

- si el vector tensión de consigna (\vec{V}^*) se halla en un segundo sector angular (SA2), entonces el tercer brazo (B3) es bloqueado en estado bajo,

15

- si el vector tensión de consigna (\vec{V}^*) se halla en un tercer sector angular (SA3), entonces el segundo brazo (B2) es bloqueado en estado alto,

20

- si el vector tensión de consigna (\vec{V}^*) se halla en un cuarto sector angular (SA4), entonces el primer brazo (B1) es bloqueado en estado bajo,

- si el vector tensión de consigna (\vec{V}^*) se halla en un quinto sector angular (SA5), entonces el tercer brazo (B3) es bloqueado en estado alto,

25

- si el vector tensión de consigna (\vec{V}^*) se halla en un sexto sector angular (SA6), entonces el segundo brazo (B2) es bloqueado en estado bajo.

30

14. Procedimiento de mando de un puente de potencia (1) según una de las reivindicaciones precedentes 1 a 13, **caracterizado** porque la etapa de bloqueo de un brazo de puente es función de un vector corriente (\vec{V}^*).

35

40

45

50

55

60

65

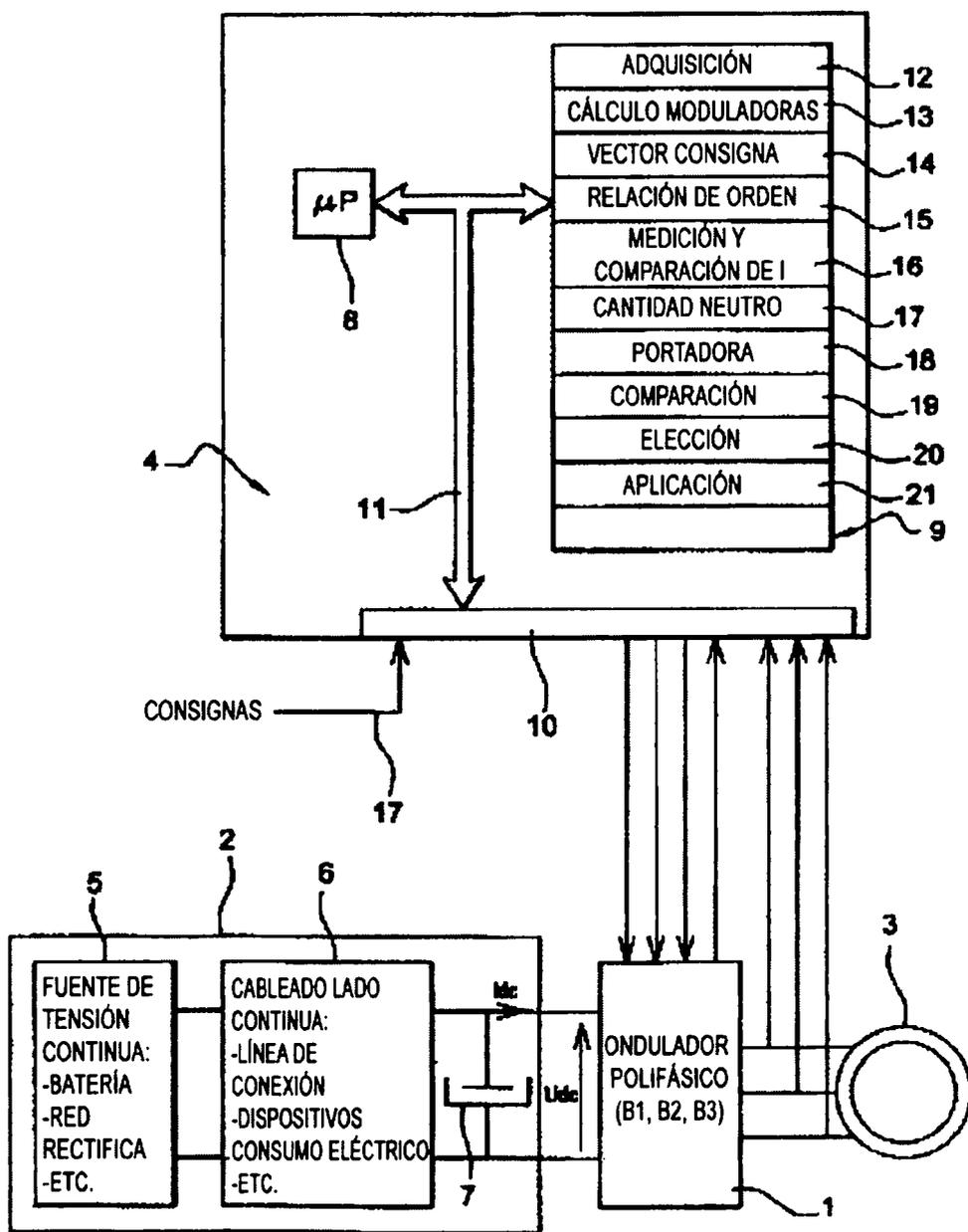


Fig. 1A

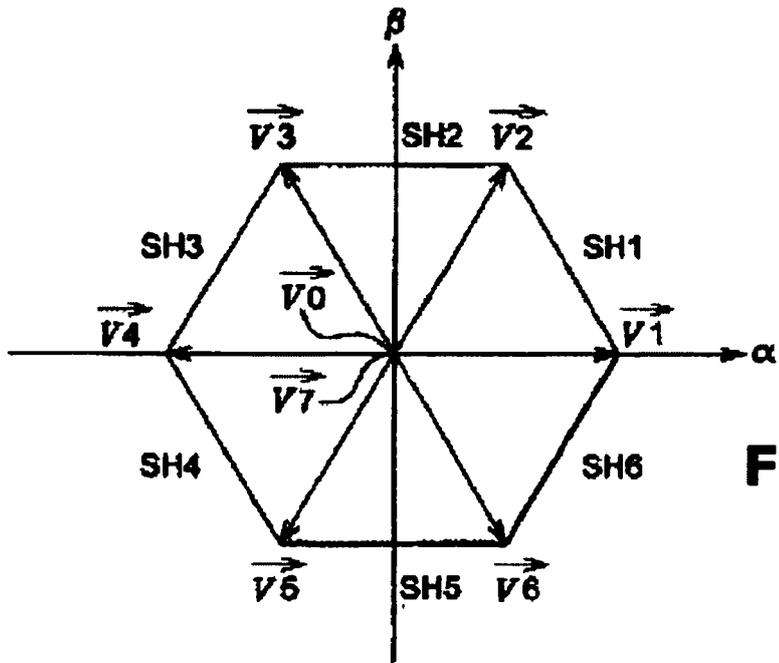


Fig. 1b

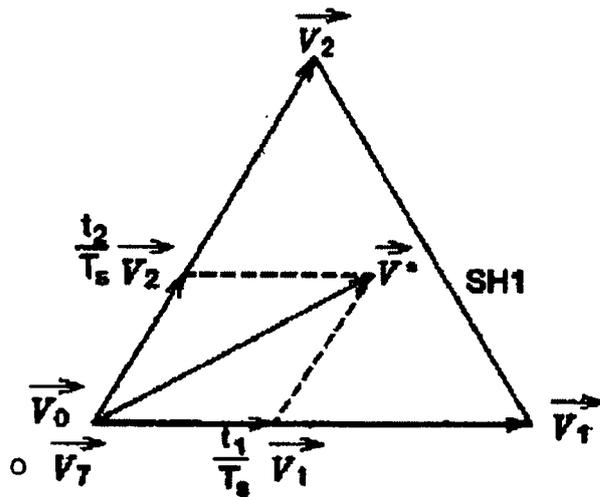


Fig. 1c

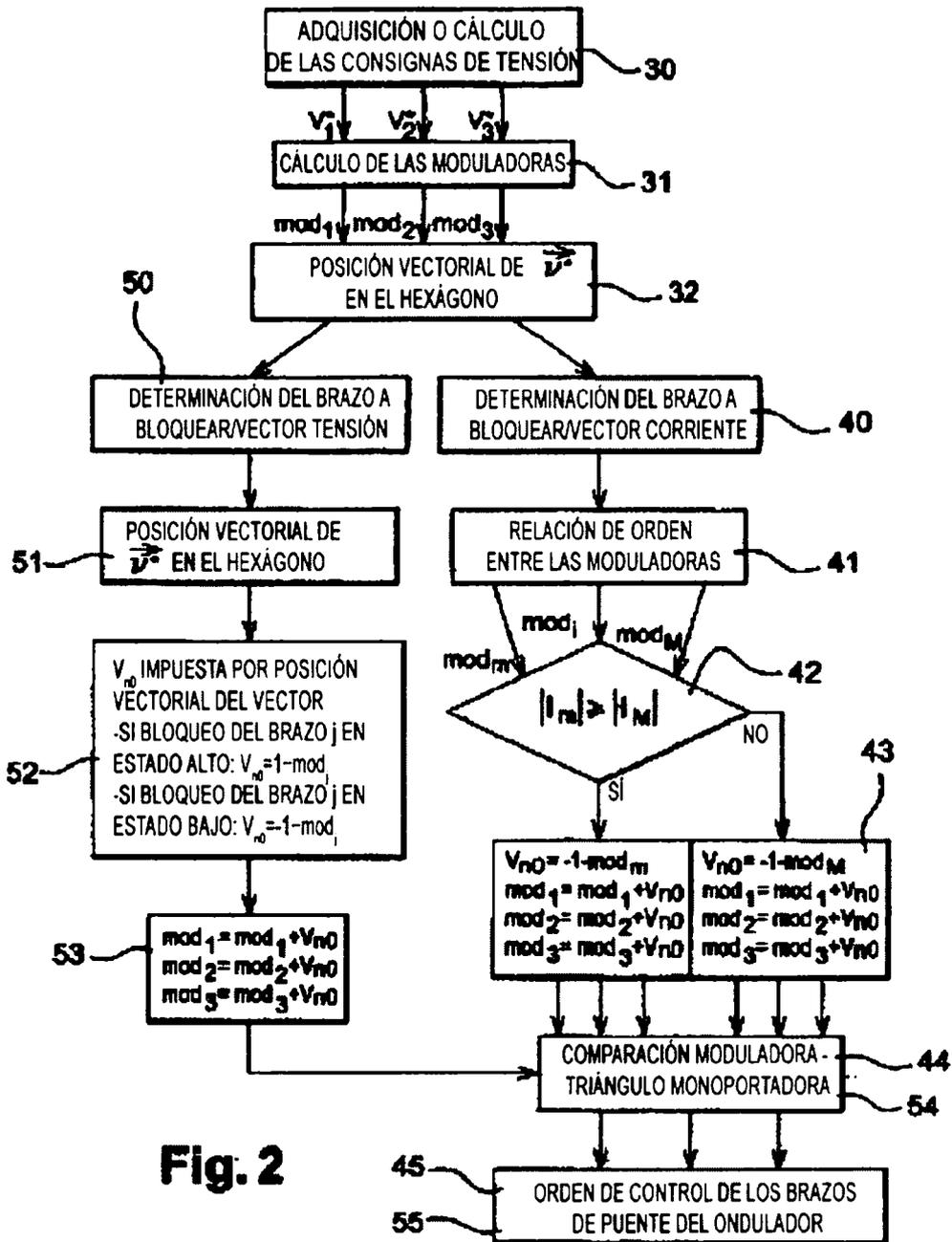


Fig. 2

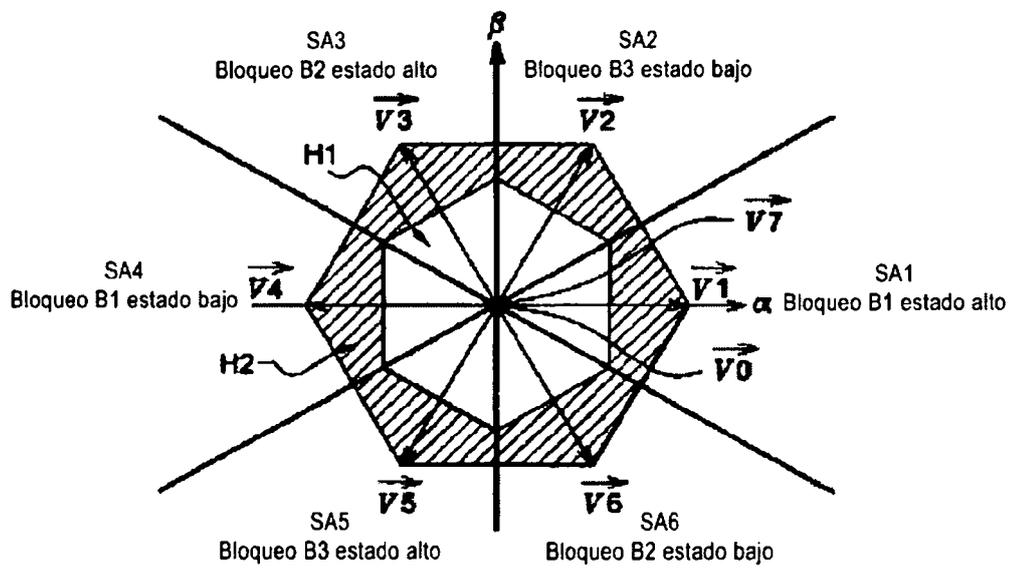


Fig. 3

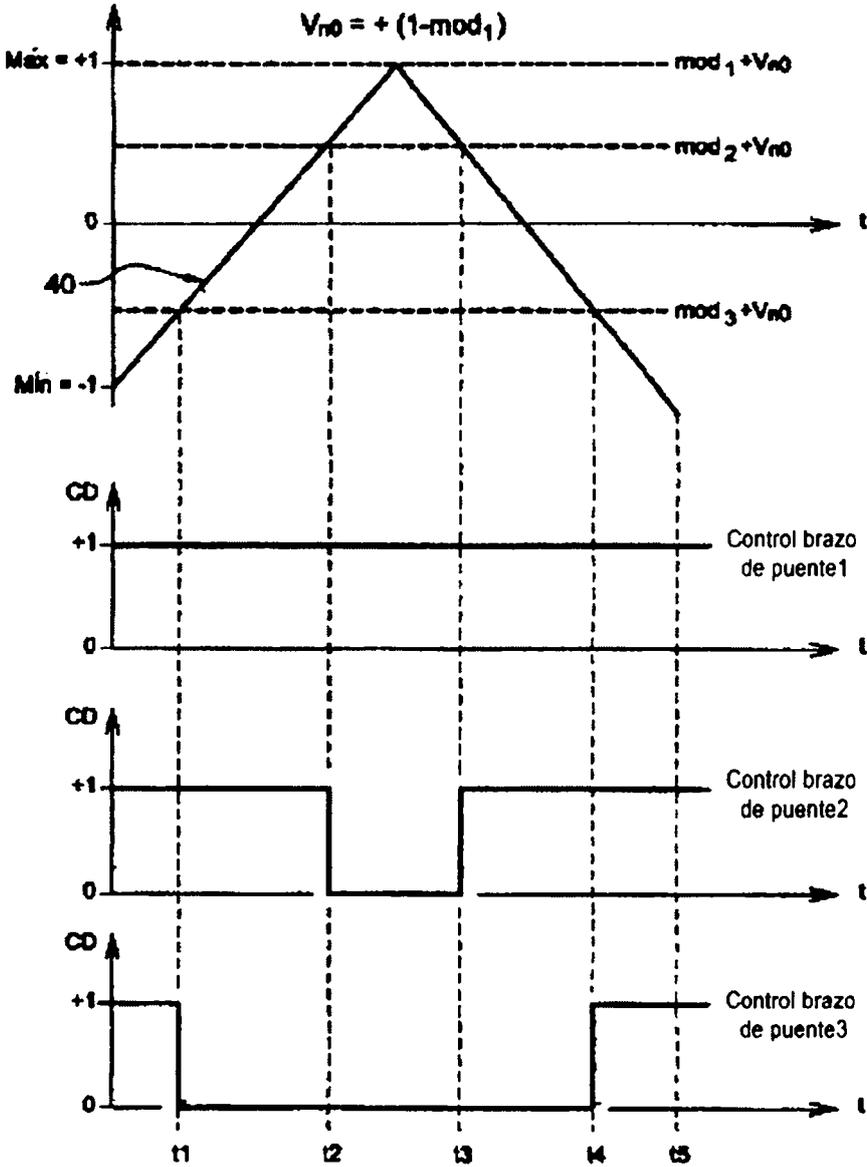


Fig. 4