(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 584 635**

(51) Int. CI.:

H02M 3/07 (2006.01)
H02M 7/483 (2007.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.10.2011 E 11771180 (4)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.05.2016 EP 2633609**

(54) Título: **Convertidor multinivel de corriente continua/corriente alterna (CC/CA) para producir una tensión de salida de amplitud variable**

(30) Prioridad:

25.10.2010 EP 10188753

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
28.09.2016

(73) Titular/es:

THE EUROPEAN UNION, REPRESENTED BY THE EUROPEAN COMMISSION (100.0%)
Rue de la Loi, 200
1049 Brussels, BE

(72) Inventor/es:

PURVINS, ARTURS

(74) Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

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 multinivel de corriente continua/corriente alterna (CC/CA) para producir una tensión de salida de amplitud variable.

Campo técnico

La invención se refiere a un convertidor multinivel CC/CA para producir una tensión de salida de amplitud variable.

Antecedentes de la técnica

El concepto elemental de un convertidor multinivel CC/CA para producir una tensión de salida de amplitud variable es utilizar una serie de conmutadores semiconductores de potencia con varias fuentes de CC para realizar la conversión de potencia mediante la síntesis de una forma de onda de tensión de escalera. Según la obra “Power electronics handbook: devices, circuits and applications” de M. H. Rashid (2ª ed., Academic Press 2007) se han descrito tres estructuras principales de convertidor multinivel en la bibliografía, en particular convertidor de puentes H en cascada con fuentes de CC independientes, convertidores con fijación por diodos y convertidores con condensadores flotantes.

En una estructura de convertidor de puentes H en cascada, cada fuente de CC independiente está conectada a un puente completo monofásico o convertidor de puentes H. Cada nivel de inversor puede generar tres salidas de tensión diferentes, en particular +Vdc, 0, -Vdc, mediante la conexión de la fuente de CC a la salida de CA mediante combinaciones diferentes de cuatro conmutadores. Las salidas de CA de cada uno de los diferentes niveles de inversor de puente completo están conectadas en serie de modo que la forma de onda de tensión sintetizada es la suma de las salidas de inversor. El número de niveles de tensión de salida m en un inversor en cascada está definido por m = 2s+1, en el que s es el número de fuentes independientes de CC. Por tanto, la desventaja de una estructura de convertidor de puente H en cascada es el alto número de fuentes de CC requeridas.

En un convertidor con fijación por diodos, la tensión de CC se divide entre m niveles que utilizan m-1 condensadores para conseguir m niveles en la tensión de salida de CA. Conmutadores y diodos se utilizan para fijar los diferentes niveles de tensión a la salida. Los diodos deben presentar diferentes tensiones nominales para el bloqueo de tensión inversa. En caso de que el convertidor esté diseñado de modo que cada diodo de bloqueo presente la misma tensión nominal que los conmutadores activos, el número de diodos requeridos sería (m-1) x (m-2). Por tanto, el número de diodos de bloqueo está relacionado cuadráticamente con el número de niveles en un convertidor con fijación por diodos.

La estructura del convertidor multinivel con condensadores flotantes es similar a la del convertidor con fijación por diodos excepto que en lugar de utilizar diodos fijadores, el convertidor utiliza condensadores en su lugar. Esta topología puede presentar una estructura de escalera de condensadores del lado de CC, en la que la tensión en cada condensador difiere de la del siguiente condensador. El incremento de tensión entre dos polos de condensador adyacentes proporciona el tamaño de los escalones de tensión en la forma de onda de salida. Una ventaja del convertidor con condensadores flotantes es que presenta redundancias para niveles de tensión interna. Por tanto, dos o más combinaciones de conmutadores válidas pueden sintetizar una tensión de salida. Por otro lado, el control requerido para rastrear los niveles de tensión para todos los condensadores es complicado. Asimismo, cargar previamente todos los condensadores al mismo nivel de tensión y arranque es complejo. Además, durante el tiempo de conmutación, la salida de CA no está conectada ni a la fuente de CC ni al condensador, lo que da como resultado distorsiones armónicas totales. Un convertidor multinivel general con condensadores flotantes se divulga por ejemplo en la figura 9 de “A Generalized Multilevel Inverter Topology with Self Voltage Balancing” de Fang Z. Peng (Oak Ridge National Laboratory, 2000). Se puede ver, a partir de esta estructura general, que un convertidor multinivel con condensadores flotantes conecta generalmente más de uno de los condensadores en serie.

Problema técnico

Por tanto, es un objetivo de la presente invención proporcionar un convertidor multinivel CC/CA mejorado que está mejorado especialmente con respecto a los componentes requeridos y/o las distorsiones armónicas totales.

Descripción general de la invención

El objetivo se consigue mediante un convertidor multinivel CC/CA para producir una tensión de salida de amplitud variable que comprende una primera fuente de tensión y un primer módulo divisor de tensión conectado en serie con la primera fuente de tensión de CC, en el que el primer módulo divisor de tensión comprende por lo menos dos ramas paralelas que comprenden respectivamente un conmutador, un diodo y un condensador conectados respectivamente en conexión en serie.

La fuente de tensión de CC está en conexión en serie con por lo menos dos ramas paralelas que forman una estructura de escalera, en la que cada rama paralela comprende un conmutador, un diodo y un condensador. La

conexión en serie de la fuente de tensión de CC y las ramas paralelas forman un divisor de tensión, que es paralelo a la salida de tensión de CA. En el caso de que un conmutador de una rama paralela esté cerrado, la salida de tensión de CA es igual a la tensión de la fuente de tensión de CC reducida mediante la tensión del condensador ubicado en la rama paralela con el conmutador cerrado. Mediante el cierre del conmutador de otra rama paralela, la salida de tensión es igual a la tensión de la fuente de CC reducida mediante la tensión del condensador ubicado en esta rama adicional. De esta manera, puede producirse una tensión de salida escalonada multinivel de amplitud variable. El conmutador de la primera rama cerrada puede mantenerse cerrado, ya que los diodos ubicados en ramas paralelas están configurados para impedir la conexión en paralelo de los condensadores de las ramas paralelas. Esto presenta el efecto de que la salida de CA está siempre conectada a la fuente de CC o un condensador, lo que reduce las distorsiones armónicas totales. Una diferencia principal adicional, por ejemplo con respecto al convertidor multinivel con condensadores flotantes, es que siempre solo uno de los condensadores ubicados en las ramas paralelas está conectado en serie con la salida de tensión. Además, el número de condensadores requeridos es linealmente dependiente de los niveles de la tensión de salida. De manera similar al convertidor con condensadores flotantes, el convertidor según la invención - a pesar de una reducción considerable en la cantidad de componentes requeridos - también presenta varias redundancias beneficiosas en términos de niveles de tensión interna. Por tanto, dos o más combinaciones de conmutadores válidas pueden sintetizar la misma tensión de salida.

Según una forma de realización de la invención, el convertidor multinivel CC/CA comprende además una segunda fuente de tensión de CC que puede conectarse en serie con la primera fuente de tensión de CC. Por ejemplo, pueden utilizarse condensadores, baterías y fuentes de tensión de energía renovable como una fuente de tensión de CC. En el caso de que la tensión de salida de CA requerida requiera una tensión de pico mayor que la tensión de la fuente de CC, puede conectarse en serie más de una fuente de tensión de CC para conseguir la tensión de pico requerida, sin utilizar un transformador adicional.

En una variante de la invención, el convertidor multinivel CC/CA comprende además un segundo módulo divisor de tensión conectado en serie con la segunda fuente de tensión de CC. El segundo módulo divisor de tensión también comprende preferentemente por lo menos dos ramas paralelas, en el que cada una de estas ramas paralelas comprende un conmutador, un primer diodo y un condensador en conexión en serie. El segundo módulo divisor de tensión está en conexión en serie con la segunda fuente de tensión de CC y puede reducir la tensión de la segunda fuente de tensión en la salida de CA del convertidor mediante la tensión de los diferentes condensadores ubicados en las ramas paralelas del segundo módulo divisor de tensión. Por tanto, se aumenta el número de niveles de tensión previstos en la salida de CA.

El convertidor multinivel CC/CA puede comprender además unos primeros medios de conmutación para conectar la segunda fuente de tensión de CC y el segundo módulo divisor de tensión en serie con la primera fuente de tensión de CC y el primer módulo divisor de tensión. Esto trae consigo la ventaja de que solo se utilizan dos fuentes de tensión de CC cuando tiene que producirse una tensión de salida que es mayor que la tensión de una única fuente de tensión de CC. En el caso de que la tensión requerida en la salida de CA sea menor que la tensión de una fuente de tensión de CC, solo se utiliza una única fuente de tensión de CC. Los primeros medios de conmutación limitan el número de componentes activos en el convertidor multinivel CC/CA, particularmente el número de fuentes de tensión de CC.

Según una forma de realización preferida de la invención, el módulo divisor de tensión comprende una rama paralela con un conmutador, para cortar las otras ramas paralelas. De esta manera, la salida de la fuente de tensión de CC puede fijarse directamente a la salida de tensión de CA. Por tanto, se proporciona un nivel de tensión adicional en la salida sin un condensador adicional.

En una forma de realización adicional de la invención, el convertidor multinivel CC/CA comprende además unos segundos medios de conmutación para cambiar la polaridad de la tensión de salida. Mediante el cambio de la polaridad de la tensión de salida, puede doblarse el número de niveles de la salida sin ningún condensador adicional.

En una variante ventajosa de la invención, las ramas paralelas comprenden además un segundo conmutador y un segundo diodo, en la que el segundo diodo está conectado en sentido opuesto del primer diodo, para descargar el condensador por medio de la salida del convertidor multinivel CC/CA cuando el segundo conmutador de la rama paralela está cerrado.

Según una forma de realización adicional de la invención, los condensadores de las ramas paralelas están configurados de tal manera que el tamaño de escalón (incremento de tensión) de la amplitud de la tensión de salida es igual. Por tanto, la tensión en los condensadores en diferentes ramas es distinta.

Ventajosamente, el convertidor se utiliza para producir una tensión de salida que es aproximadamente una curva sinusoidal. Cada semiperiodo de esta curva sinusoidal puede consistir por ejemplo en trece escalones de tensión. Un convertidor multinivel CC/CA que proporciona una salida de este tipo comprende dos fuentes de tensión de CC y cada fuente de tensión está conectada en serie con tres ramas paralelas, en el que dos de las tres ramas paralelas

consisten en un conmutador, un diodo y un condensador en conexión en serie y la tercera rama consiste solo en un conmutador.

En una variante preferida, la tensión de salida del convertidor multinivel CC/CA presenta un periodo de 50 Hz.

La invención se refiere además a un convertidor multinivel multifase CC/CA para producir una tensión de salida multifase que comprende por lo menos dos de los convertidores multinivel CC/CA descritos anteriormente conectados para producir una tensión de salida multifase.

En una forma de realización preferida, el convertidor multinivel multifase CC/CA consiste en tres convertidores multinivel CC/CA según la invención. Por tanto, la tensión de salida consiste en tres fases con un desplazamiento de fases de 120℃.

Breve descripción de los dibujos

Detalles y ventajas adicionales de la presente invención serán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada de varias formas de realización no limitativas con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

la figura 1 es un diagrama de circuito del concepto de núcleo que subyace al convertidor multinivel CC/CA según la invención,

la figura 2 es un diagrama de circuito de un convertidor multinivel CC/CA según una forma de realización de la invención,

la figura 3 es un diagrama que muestra la tensión de salida del convertidor multinivel CC/CA de la figura 2,

la figura 4 es un diagrama de circuito de un convertidor multinivel multifase CC/CA según una forma de realización de la invención,

la figura 5 es un diagrama que muestra la tensión de salida del convertidor multinivel multifase CC/CA de la figura 4,

la tabla 1 muestra variantes de conmutadores para la mitad positiva del periodo de la tensión de salida según la figura 3, y

la tabla 2 muestra variantes de conmutadores para la mitad negativa del periodo de la tensión de salida según la figura 3.

Descripción de formas de realización preferidas

La figura 1 muestra un diagrama de circuito del concepto de núcleo que subyace al convertidor multinivel CC/CA 1 para producir una tensión de salida de amplitud variable según la invención. El convertidor multinivel CC/CA 1 comprende una fuente de tensión de CC 11, 35 y un módulo divisor de tensión, conectado en serie con la fuente de tensión de CC 11, 35. El módulo divisor de tensión comprende por lo menos dos ramas paralelas, en el que cada rama comprende un conmutador 8, 13, 32, 37, un diodo 9, 14, 33, 38 y un condensador 10, 15, 34, 39 en conexión en serie. El módulo divisor de tensión comprende además una rama paralela que consiste en un conmutador 3, 28, para cortar las otras ramas paralelas. Además, el convertidor multinivel CC/CA 1 comprende medios de conmutación que consisten en conmutadores 5, 6, 20, 21 o 29, 30, 44, 45 en forma de configuración de puente H, para cambiar la polaridad de la tensión de salida. Los condensadores 10, 15, 34, 39 están configurados de tal manera, que cada tamaño de escalón, es decir, incremento de tensión en la amplitud de la tensión de salida es igual, tal como se ilustra en la figura 3.

La fuente de tensión de CC 11, 35 está en conexión en serie con por lo menos dos ramas paralelas que forman una estructura de escalera, en la que cada rama paralela comprende un conmutador 8, 13, 32, 37, un diodo 9, 14, 33, 38 y un condensador 10, 15, 34, 39 en conexión en serie. La conexión en serie de la fuente de tensión de CC 11, 35 y las ramas paralelas forman un divisor de tensión, que es paralelo a la salida de tensión de CA. En el caso de que un conmutador 8, 13, 32, 37 de una rama paralela esté cerrado, la salida de tensión de CA es igual a la tensión de la fuente de tensión de CC 11, 35 reducida mediante la tensión del condensador 10, 15, 34, 39 ubicado en la rama paralela con el conmutador cerrado 8, 13, 32, 37. Mediante el cierre del conmutador 8, 13, 32, 37 de otra rama paralela, la salida de tensión se vuelve igual a la tensión de la fuente de CC 11, 35 reducida por la tensión del condensador 10, 15, 34, 39 ubicado en esta rama. De esta manera, puede producirse una tensión de salida escalonada multinivel de amplitud variable con un control apropiado de los conmutadores relevantes. El conmutador 8, 13, 32, 37 de la primera rama cerrada puede mantenerse cerrado, ya que los diodos 9, 14, 33, 38 ubicados en ramas paralelas están configurados para impedir la conexión en paralelo de los condensadores 10, 15, 34, 39 de las ramas paralelas. Esto presenta el efecto de que la salida de CA está siempre conectada a la fuente de CC 11, 35 o a un condensador 10, 15, 34, 39, lo que reduce las distorsiones armónicas totales.

El módulo divisor de tensión 1 comprende además una rama paralela con solo un conmutador 3, 28, para cortar (es decir, cortocircuitar) las otras ramas paralelas. De esta manera, la salida de la fuente de tensión de CC 11, 35 puede fijarse directamente a la salida de tensión de CA. Por tanto, se proporciona un nivel de tensión adicional en la salida sin un condensador adicional 10, 15, 34, 39.

La figura 2 muestra un convertidor CC/CA de trece niveles monofásico 1 según la invención. La salida de potencia de CA del convertidor multinivel CC/CA 1 según la figura 2 está entre los terminales 4 y 51.

La salida positiva de la primera fuente de tensión de CC 11 está conectada a la salida positiva del tercer condensador 12 a través del primer terminal 2 y la salida negativa de la primera fuente de tensión de CC 11 está conectada a la salida negativa del tercer condensador 12 a través del tercer terminal 26. Por otro lado, la salida positiva de la segunda fuente de tensión de CC 35 está conectada a la salida positiva del sexto condensador 36 a través del cuarto terminal 27 y la salida negativa de la segunda fuente de tensión de CC 35 está conectada a la salida negativa del sexto condensador 36 a través del quinto terminal 50.

La conexión eléctrica en serie de los conmutadores controlables 5 y 20 y la conexión eléctrica en serie de los conmutadores controlables 6 y 21 están conectadas eléctricamente en paralelo al tercer condensador 12 de tal manera que la salida positiva del tercer condensador 12 está conectada a los conmutadores controlables 5 y 6. La conexión eléctrica en serie de los conmutadores controlables 29 y 44 y la conexión eléctrica en serie de los conmutadores controlables 30 y 45 están conectadas eléctricamente en paralelo al sexto condensador 36 de tal manera que la salida positiva del sexto condensador 36 está conectada a los conmutadores controlables 29 y 30.

El punto común de los conmutadores controlables 5 y 20 está conectado a la salida negativa del primer condensador 10 a través del primer conmutador controlable 8 y a la salida negativa del segundo condensador 15 a través del quinto conmutador controlable 13. Además, el punto común de los conmutadores controlables 5 y 20 está conectado al ánodo del primer diodo 9 a través del cuarto conmutador controlable 8 y al ánodo del segundo diodo 14 a través del quinto conmutador controlable 13.

El punto común de los conmutadores controlables 29 y 44 está conectado a la salida negativa del cuarto condensador 34 a través del decimoquinto conmutador controlable 32 y a la salida negativa del quinto condensador 39 a través del decimosexto conmutador controlable 37. Además, el punto común de los conmutadores controlables 29 y 44 está conectado al ánodo del séptimo diodo 33 a través del decimoquinto conmutador controlable 32 y al ánodo del octavo diodo 38 a través del decimosexto conmutador controlable 37.

El cátodo del primer diodo 9 está conectado a la salida positiva del primer condensador 10, el cátodo del segundo diodo 14 está conectado a la salida positiva del segundo condensador 15, el cátodo del séptimo diodo 33 está conectado a la salida positiva del cuarto condensador 34 y el cátodo del octavo diodo 38 está conectado a la salida positiva del quinto condensador 39.

El punto común de los conmutadores controlables 6 y 21 está conectado al cátodo del tercer diodo 22, al cátodo del cuarto diodo 23, al cátodo del quinto diodo 24 y al ánodo del sexto diodo 25. El punto común de los conmutadores controlables 30 y 45 está conectado al cátodo del noveno diodo 46, al cátodo del décimo diodo 47, al cátodo del undécimo diodo 48 y al ánodo del duodécimo diodo 49.

El ánodo del tercer diodo 22 está conectado a la salida positiva del primer condensador 10 a través del sexto conmutador controlable 16, el ánodo del cuarto diodo 23 está conectado a la salida positiva del segundo condensador 15 a través del séptimo conmutador controlable 17, el ánodo del noveno diodo 46 está conectado a la salida positiva del cuarto condensador 34 a través del decimoséptimo conmutador controlable 40, y el ánodo del décimo diodo 47 está conectado a la salida positiva del quinto condensador 39 a través del decimoctavo conmutador controlable 41.

El ánodo del quinto diodo 24 y el cátodo del sexto diodo 25 están conectados a la salida positiva del primer condensador 10 y a la salida positiva del segundo condensador 15 a través del octavo conmutador controlable 18 y el noveno conmutador controlable 19 respectivamente. El ánodo del undécimo diodo 48 y el cátodo del duodécimo diodo 49 están conectados a la salida positiva del cuarto condensador 34 y a la salida positiva del quinto condensador 39 a través del decimonoveno conmutador controlable 42 y el vigésimo conmutador controlable 43 respectivamente.

La salida negativa del primer condensador 10 y la salida negativa del segundo condensador 15 están conectadas al segundo terminal 4 y la salida negativa del cuarto condensador 34 y la salida negativa del quinto condensador 39 están conectadas al punto común de los conmutadores controlables 6 y 21.

El punto común de los conmutadores controlables 30 y 45 está conectado al sexto terminal 51.

La tensión en la salida de potencia de CA entre los terminales 4 y 51 puede formarse cerca de la tensión industrial,

es decir 50 Hz sinusoidales, u otra forma y/o frecuencia, que permita mantener las magnitudes de tensión de los condensadores 10, 15, 34 y 39 en un intervalo aceptable. El intervalo aceptable depende de la forma de tensión aceptable en la salida de potencia de CA.

Por motivos de simplificación, solo se describe a continuación en la presente memoria un modo de funcionamiento ejemplificativo, en el que la salida de potencia de CA se forma mediante el seguimiento de la referencia de forma sinusoidal. En la figura 3, se muestra la característica de la salida de potencia de CA de la realización de trece niveles monofásica de la topología según la invención.

El eje horizontal ilustra tiempo en x segundos y el eje vertical ilustra tensión en y voltios. Se asumieron los siguientes ajustes principales de los elementos de potencia en la figura 2 para visualizar la operación de la topología propuesta:

caída de tensión cero en los diodos 9, 14, 22, 23, 24, 25, 33, 38, 46, 47, 48 y 49;

caída de tensión cero en los conmutadores controlables 3, 5, 6, 8, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 28, 29, 30, 32, 37, 40, 41, 42, 43, 44 y 45;

capacitancia infinita de los condensadores 10, 12, 15, 34, 36 y 39;

300 voltios para la primera fuente de tensión de CC 11, la segunda fuente de tensión de CC 35, el tercer condensador 12 y el sexto condensador 36;

200 voltios para el segundo condensador 15 y el quinto condensador 39;

100 voltios para el primer condensador 10 y el cuarto condensador 34.

Tal como se mencionó anteriormente, el convertidor según la invención presenta redundancias para los niveles de tensión interna, en el que las variantes de formación de tensión en la salida de potencia de CA se indican en la tabla 1 y tabla 2. Las variantes en la tabla 1 se utilizan para formar el semiperiodo positivo y las variantes en la tabla 2 se utilizan para formar el semiperiodo negativo. Entre cada semiperiodo la tensión es cero en la salida de potencia de CA y todos los conmutadores controlables 3, 5, 6, 8, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 28, 29, 30, 32, 37, 40, 41, 42, 43, 44 y 45 están en estado apagado.

A continuación, se describirá como un ejemplo la formación de una tensión de semiperiodo positivo en la salida de potencia de CA según la variante 1 de la tabla 1.

El primer nivel de tensión positiva, es decir 100 V, se forma encendiendo los conmutadores controlables 5, 13, 21, 29, 43 y 45. Por tanto, la conexión eléctrica en serie de la primera fuente de tensión de CC 11 y el segundo condensador se conectan eléctricamente en paralelo a la salida de potencia de CA entre los terminales 4 y 51 a través de los conmutadores controlables 5, 13, 21, 43, los diodos 14, 49 y los terminales 2, 26. La magnitud de tensión entre los terminales 4 y 51 es igual a la diferencia entre la magnitud de tensión de la primera fuente de tensión de CC 11, es decir 300 V, y la magnitud de tensión del segundo condensador 15, es decir 200 V. En este estado, el segundo condensador 15 está en operación de carga.

El segundo nivel de tensión positiva (200 V) se forma encendiendo el cuarto conmutador controlable 8. Como resultado, la conexión eléctrica en serie de la primera fuente de tensión de CC 11 y el primer condensador 10 se conectan eléctricamente en paralelo a la salida de potencia de CA entre los terminales 4 y 51 a través de los conmutadores controlables 5, 8, 21, 43, los diodos 9, 49 y los terminales 2, 26. La magnitud de tensión entre los terminales 4 y 51 es igual a la diferencia entre la magnitud de tensión de la primera fuente de tensión de CC 11, es decir 300 V, y la magnitud de tensión del primer condensador 10, es decir 100 V. En este estado, el primer condensador 10 está en operación de carga. El segundo diodo 14 impide un cortocircuito entre los condensadores 10 y 15.

El tercer nivel de tensión positiva (300 V) se forma encendiendo el primer conmutador controlable 3. Como resultado, la primera fuente de tensión de CC 11 se conecta eléctricamente en paralelo a la salida de potencia de CA entre los terminales 4 y 51 a través de los conmutadores controlables 3, 5, 21, 43, el duodécimo diodo 49 y los terminales 2, 26. La magnitud de tensión entre los terminales 4 y 51 es igual a la magnitud de tensión de la primera fuente de tensión de CC 11. Los diodos 9 y 14 impiden respectivamente el cortocircuito de los condensadores 10 y 15.

El cuarto nivel de tensión positiva (400 V) se forma encendiendo el decimosexto conmutador controlable 37. Como resultado, la conexión eléctrica en serie de la primera fuente de tensión de CC 11, de la segunda fuente de tensión de CC 35 y del quinto condensador 39 se conectan eléctricamente en paralelo a la salida de potencia de CA entre los terminales 4 y 51 a través de los conmutadores controlables 3, 5, 21, 29, 37, 45, el octavo diodo 38 y los terminales 2, 26, 27, 50. La tensión entre los terminales 4 y 51 es igual a la suma de las siguientes magnitudes, la magnitud de tensión de la primera fuente de tensión de CC 11 y la diferencia entre la magnitud de tensión de la

segunda fuente de tensión de CC 35 y la magnitud de tensión del quinto condensador 39. El quinto condensador 39 está cargado en este estado. El duodécimo diodo 49 impide el cortocircuito de la segunda fuente de tensión de CC 35.

El quinto nivel de tensión positiva (500 V) se forma encendiendo el decimoquinto conmutador controlable 32. Como resultado, la conexión eléctrica en serie de la primera fuente de tensión de CC 11, de la segunda fuente de tensión de CC 35 y del cuarto condensador 34 se conectan eléctricamente en paralelo a la salida de potencia de CA entre los terminales 4 y 51 a través de los conmutadores controlables 3, 5, 21, 29, 32, 45, el séptimo diodo 33 y los terminales 2, 26, 27, 50. La tensión entre los terminales 4 y 51 es igual a la suma de las siguientes magnitudes, la magnitud de tensión de la primera fuente de tensión de CC 11 y la diferencia entre la magnitud de tensión de la segunda fuente de tensión de CC 35 y la magnitud de tensión del cuarto condensador 34. El cuarto condensador 34 está en carga en este estado. El octavo diodo 38 impide el cortocircuito entre los condensadores 34 y 39.

El sexto nivel de tensión positiva (600 V) se forma encendiendo el duodécimo conmutador controlable 28. Como resultado, la conexión eléctrica en serie de la primera fuente de tensión de CC 11 y la segunda fuente de tensión de CC 35 se conectan eléctricamente en paralelo a la salida de potencia de CA entre los terminales 4 y 51 a través de los conmutadores controlables 3, 5, 21, 29, 28, 45 y los terminales 2, 26, 27, 50. La tensión entre los terminales 4 y 51 es igual a la suma de la magnitud de tensión de la primera fuente de tensión de CC 11 y la magnitud de tensión de la segunda fuente de tensión de CC 35. Los diodos 33 y 38 impiden respectivamente el cortocircuito de los condensadores 34 y 39.

Siguiendo la secuencia de desplazamiento de la variante 1 de la tabla 1 se forman niveles de tensión quinto, cuarto, tercero, segundo y primero apagando respectivamente los conmutadores controlables 28, 32, 37, 3 y 8. Al final del semiperiodo positivo, se forma el nivel de tensión cero apagando el resto de los conmutadores controlables 5, 13, 21, 29, 43 y 45 y se completa la formación del semiperiodo positivo.

Tras ello, podría formarse la tensión del semiperiodo negativo en la salida de CA entre los terminales 4 y 51 utilizando una de las variantes de la tabla 2.

La magnitud de tensión y/o frecuencia en la salida de CA puede controlarse mediante el cambio de la magnitud de tensión de los condensadores 10, 15, 34 y 39 a través del cambio de la anchura de nivel de tensión concreto en la salida de potencia de CA y/o extrayendo algunos niveles de tensión en el proceso de formación de salida de CA.

Cuando aumenta la demanda de potencia en la salida de CA, los condensadores 10, 12, 15, 34, 36 y 39 suministran la energía a la carga inmediatamente, en el caso de haya un retardo de tiempo en el aumento de potencia en la fuente de tensión de CC.

En la figura 4, se muestra un diagrama de circuito de un convertidor CC/CA de trece niveles trifásico. Este convertidor CC/CA de trece niveles trifásico consiste en tres convertidores CC/CA de trece niveles según la figura 2. En la figura 5, se muestra una salida del convertidor CC/CA de trece niveles trifásico según la figura 4.

La salida positiva de la primera fuente de tensión de CC 11 está conectada al primer terminal 2 y la salida negativa de la primera fuente de tensión de CC 11 está conectada al tercer terminal 26 del primer convertidor de potencia CC/CA multinivel 1.

La salida positiva de la segunda fuente de tensión de CC 35 está conectada al cuarto terminal 27 y la salida negativa de la segunda fuente de tensión de CC 35 está conectada al quinto terminal 50 del primer convertidor de potencia CC/CA multinivel 1.

La salida positiva de la tercera fuente de tensión de CC 55 está conectada al séptimo terminal 52 y la salida negativa de la tercera fuente de tensión de CC 55 está conectada al noveno terminal 56 del segundo convertidor de potencia CC/CA multinivel 53.

La salida positiva de la cuarta fuente de tensión de CC 58 está conectada al décimo terminal 57 y la salida negativa de la cuarta fuente de tensión de CC 58 está conectada al undécimo terminal 59 del segundo convertidor de potencia CC/CA multinivel 53.

La salida positiva de la quinta fuente de tensión de CC 64 está conectada al decimotercer terminal 61 y la salida negativa de la quinta fuente de tensión de CC 64 está conectada al decimoquinto terminal 65 del tercer convertidor de potencia CC/CA multinivel 62.

La salida positiva de la sexta fuente de tensión de CC 67 está conectada al decimosexto terminal 66 y la salida negativa de la sexta fuente de tensión de CC 67 está conectada al decimoséptimo terminal 68 del tercer convertidor de potencia CC/CA multinivel 62.

El sexto terminal 51 del primer convertidor multinivel CC/CA 1, el duodécimo terminal 60 del segundo convertidor

multinivel CC/CA 53 y el decimoctavo terminal 69 del tercer convertidor multinivel CC/CA 62 están conectados uno a otro.

Las fases del convertidor CC/CA de trece niveles trifásico según la figura 4 están en los terminales 4, 54 y 63 y el neutro está en el terminal 51.

El convertidor de potencia CC/CA multinivel 1 propuesto puede utilizarse para una conversión y suministro de energía eléctrica eficaces desde, por ejemplo, un sistema de células fotovoltaicas a los devanados primarios de un transformador trifásico, que suministra energía además a una red de transmisión o distribución eléctrica. Además, la disminución de la distorsión armónica total en la salida de CA aumenta la eficacia en el flujo de energía adicional, es decir desde los devanados primarios del transformador trifásico hasta el consumidor.

La fuente de tensión de CC podría ser, por ejemplo, uno de los siguientes sistemas de almacenamiento: sistemas de células electroquímicas, particularmente baterías eléctricas y pilas de combustible, y sistemas con acumulación de energía eléctrica en un campo eléctrico, particularmente supercondensadores.

El convertidor CC/CA multinivel monofásico y multifase propuesto puede encontrar aplicación industrial en cualquier tipo de sistema de suministro de potencia eléctrica en el que ha de transformarse la corriente CC en corriente CA de cualquier forma de onda y frecuencia.

REIVINDICACIONES

1. Convertidor multinivel CC/CA (1) para producir una tensión de salida de amplitud variable, que comprende:

- una primera fuente de tensión de CC (11) y
- una salida de tensión de CA, y

un primer módulo divisor de tensión, conectado en serie con la primera fuente de tensión de CC (11),

en el que el primer módulo divisor de tensión comprende por lo menos dos ramas paralelas (7), que comprenden respectivamente un conmutador (8, 13), un diodo (9, 14) y un condensador (10, 15) en conexión en serie, estando los diodos configurados para impedir la conexión en paralelo de los condensadores de las ramas paralelas,

en el que la conexión en serie de dicha primera fuente de tensión de CC (11) y dichas por lo menos dos ramas paralelas (7) forman un divisor de tensión, que es paralelo a dicha salida de tensión de CA,

y en el que los conmutadores del primer módulo divisor de tensión se hacen funcionar de modo que la salida de tensión de CA está siempre conectada a la fuente de CC o un condensador cuando se forman niveles de tensión distinta de cero.

2. Convertidor multinivel CC/CA (1) según la reivindicación 1, que comprende además una segunda fuente de tensión de CC (35) que puede conectarse en serie con la primera fuente de tensión de CC (11).

3. Convertidor multinivel CC/CA (1) según la reivindicación 2, que comprende además un segundo módulo divisor de tensión conectado en serie con la segunda fuente de tensión de CC (35), en el que dicho segundo módulo divisor de tensión comprende preferentemente por lo menos dos ramas paralelas (31), que comprenden respectivamente un conmutador (32, 37), un diodo (33, 38) y un condensador (34, 39) en conexión en serie.

4. Convertidor multinivel CC/CA (1) según la reivindicación 2 o 3, que comprende además unos primeros medios de conmutación para conectar la segunda fuente de tensión de CC (35) y el segundo módulo divisor de tensión en serie con la primera fuente de tensión de CC (11) y el primer módulo divisor de tensión.

5. Convertidor multinivel CC/CA (1) según una de las reivindicaciones 1 a 4, en el que dichos módulos divisores de tensión primero y/o segundo comprenden una rama paralela con un conmutador (3, 28) para cortar las otras ramas paralelas (7, 31).

6. Convertidor multinivel CC/CA (1) según una de las reivindicaciones 1 a 5, que comprende además unos segundos medios de conmutación (5, 6, 20, 21, 29, 30, 44, 45) para cambiar la polaridad de la tensión de salida.

7. Convertidor multinivel CC/CA (1) según la reivindicación 6, en el que las ramas paralelas (7, 31) comprenden además un segundo conmutador (16, 17, 40, 41) y un segundo diodo (22, 23, 46, 47), en el que el segundo diodo (22, 23, 46, 47) está conectado en sentido opuesto del primer diodo (9, 14, 33, 38), para descargar el condensador (10, 15, 34, 39) por medio de la salida cuando el segundo conmutador (16, 17, 40, 41) de la rama (7, 31) está cerrado.

8. Convertidor multinivel CC/CA (1) según una de las reivindicaciones 1 a 7, en el que los condensadores (10, 15, 34, 39) de las ramas paralelas (7, 31) están configurados de tal manera que el tamaño de escalón de la amplitud de la tensión de salida es igual.

9. Convertidor multinivel CC/CA (1) según una de las reivindicaciones 1 a 8, en el que el convertidor (1) comprende dos fuentes de tensión (11, 35) y cada fuente de tensión de CC (11, 35) está conectada en serie con tres ramas paralelas (7, 31), en el que dos de las tres ramas paralelas consisten cada una en un conmutador (8, 13, 32, 37), un diodo (9, 14, 33, 38) y un condensador (10, 15, 34, 39) en conexión en serie y la tercera rama consiste en un conmutador (3, 28).

10. Utilización de un convertidor multinivel CC/CA (1) según la reivindicación 9 para producir una tensión de salida que es aproximadamente una curva sinusoidal, en la que cada semiperiodo de la tensión de salida consiste preferentemente en trece escalones de tensión y/o en la que la tensión de salida presenta un periodo de 50 Hz.

11. Convertidor multinivel multifase CC/CA para producir una tensión de salida multifase que comprende por lo menos dos convertidores multinivel CC/CA (1, 53, 62) según una de las reivindicaciones 1 a 9, estando conectados dichos convertidores multinivel CC/CA (1, 52, 62) para producir una tensión de salida multifase.

12. Convertidor multinivel multifase CC/CA según la reivindicación 11 que consiste en tres convertidores multinivel CC/CA (1, 52, 62) según una de las reivindicaciones 1 a 9.

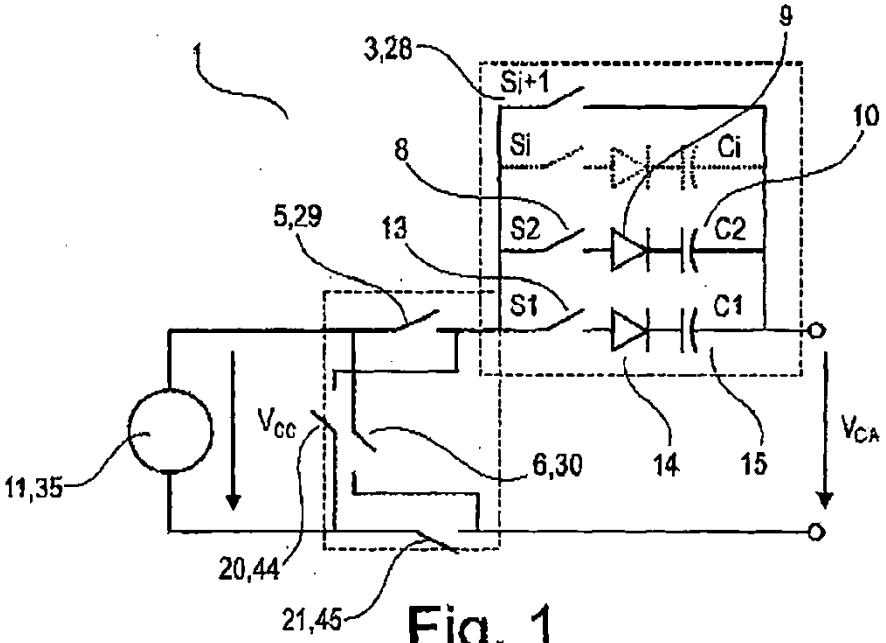
1
3,28
Si+1
9
10
Si
Ci
8
S2
C2
5,29
13
S1
C1
Vcc
VCA
11,35
6,30
14
15
20,44
21,45

Fig. 1

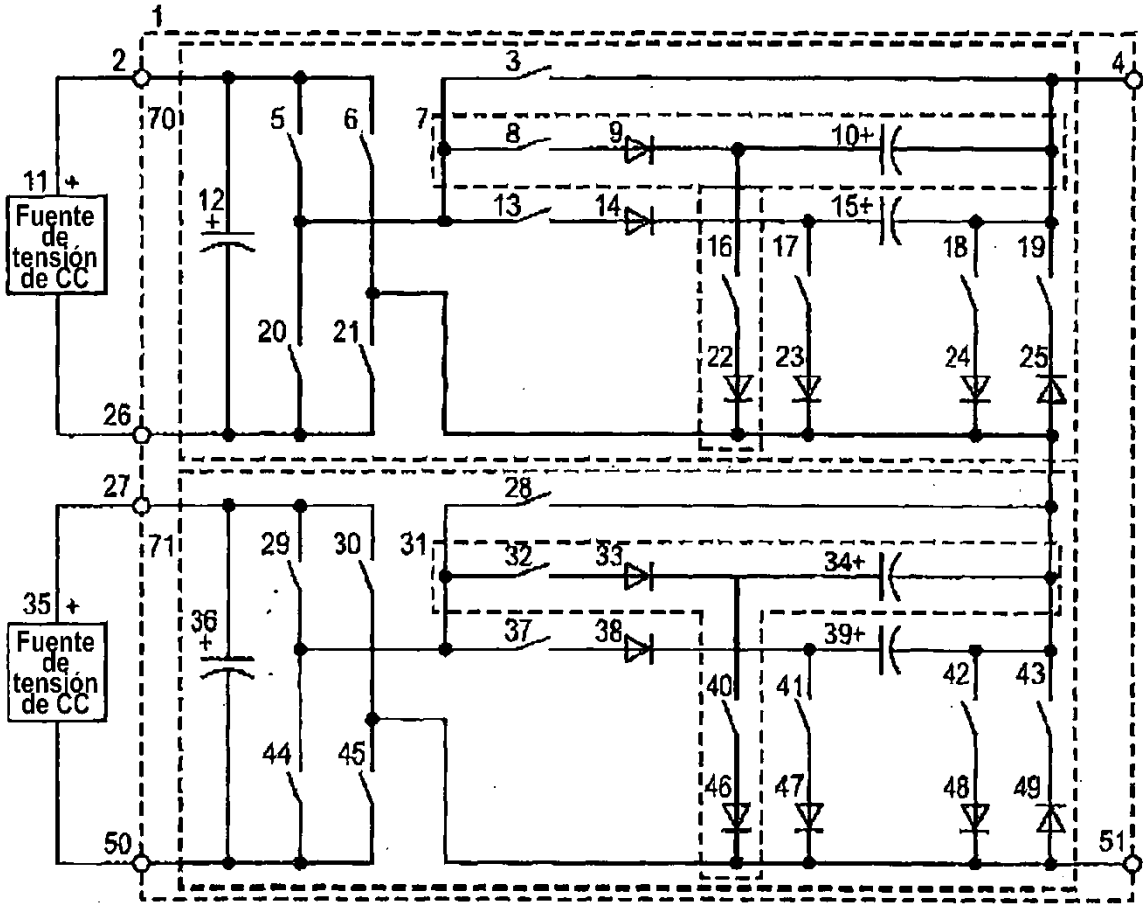
1
2
3
4
70
5
6
7
8
9
10+
11 +
Fuente de tensión de CC
12
+
13
14
15+
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
71
29
30
31
32
33
34+
35 +
Fuente de tensión de CC
36
+
37
38
39+
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51

Fig. 2

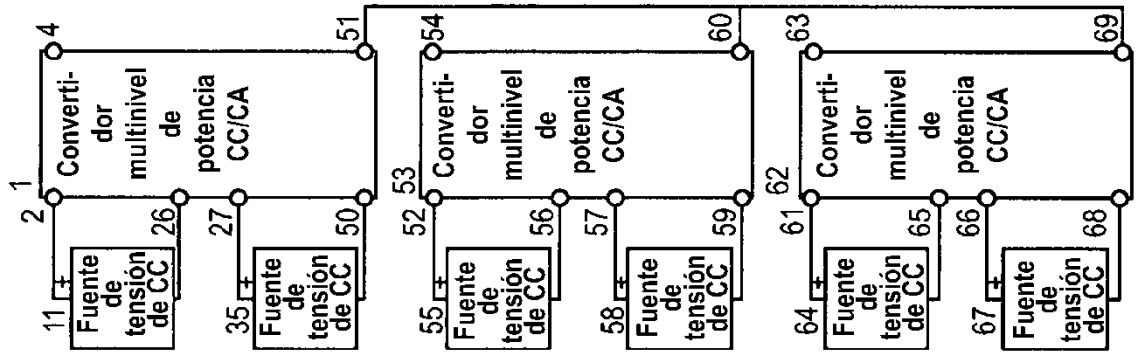

Fig. 4

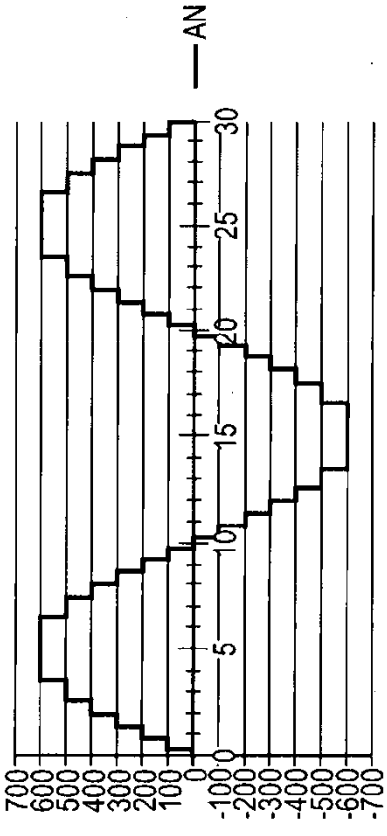

Fig. 3

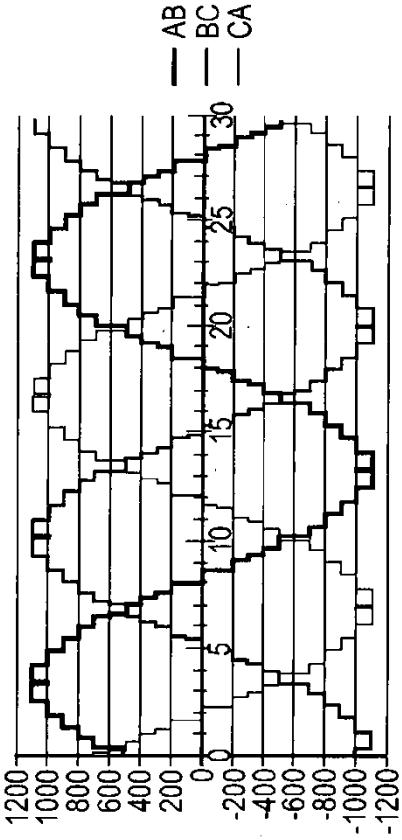

Fig. 5

Secuencia de desplazamiento		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Nivel de tensión y en V		100	200	300	400	500	600	500	400	300	200	100	0
Variante 1	Conmutadores encendidos	5,13,21,29,43,45	8	3	37	32	28	-	-	-	-	-	-
	Conmutadores apagados	-	-	-	-	-	-	28	32	37	3	8	5,13,21,29,43,45
	Carga de condensadores	15	10	N/A	39	34	N/A	34	39	N/A	10	15	N/A
Variante 2	Conmutadores encendidos	5,13,21,29,43,45	8	37	32	28	3	-	-	-	-	-	-
	Conmutadores apagados	-	-	-	-	-	-	3	28	32	37	8	5,13,21,29,43,45
	Carga de condensadores	15	10	10,39	10,34	10	N/A	10	10,34	10,39	10	15	N/A
Variante 3	Conmutadores encendidos	5,13,21,29,43,45	8	37	32	3	28	-	-	-	-	-	-
	Conmutadores apagados	-	-	-	-	-	-	28	3	32	37	8	5,13,21,29,43,45
	Carga de condensadores	15	10	10,39	10,34	34	N/A	34	10,34	10,39	10	15	N/A
Variante 4	Conmutadores encendidos	5,13,21,29,43,45	37	8	32	26	3	-	-	-	-	-	-
	Conmutadores apagados	-	-	-	-	-	-	3	28	32	8	37	5,13,21,29,43,45
	Carga de condensadores	15	15,39	10,39	10,34	10	N/A	10	10,34	10,39	15,39	15	N/A
Variante 5	Conmutadores encendidos	5,13,21,29,43,45	37	8	32	3	28	-	-	-	-	-	-
	Conmutadores apagados	-	-	-	-	-	-	28	3	32	8	37	5,13,21,29,43,45
	Carga de condensadores	15	15,39	10,39	10,34	34	N/A	34	10,34	10,39	15,39	15	N/A
Variante 6	Conmutadores encendidos	5,13,21,29,43,45	37	32	8	28	3	-	-	-	-	-	-
	Conmutadores apagados	-	-	-	-	-	-	3	28	8	32	37	5,13,21,29,43,45
	Carga de condensadores	15	15,39	15,34	10,34	10	N/A	10	10,34	15,34	15,39	15	N/A
Variante 7	Conmutadores encendidos	5,13,21,29,43,45	37	32	8	3	28	-	-	-	-	-	-
	Conmutadores apagados	-	-	-	-	-	-	28	3	8	32	37	5,13,21,29,43,45
	Carga de condensadores	15	15,39	15,34	10,34	34	N/A	34	10,34	15,34	15,39	15	N/A
Variante 8	Conmutadores encendidos	5,19,21,29,37,45	32	28	13	8	3	-	-	-	-	-	-
	Conmutadores apagados	-	-	-	-	-	-	3	8	13	28	32	5,19,21,29,37,45
	Carga de condensadores	39	34	N/A	15	10	N/A	10	15	N/A	34	39	N/A
Variante 9	Conmutadores encendidos	5,19,21,29,37,45	32	13	8	3	28	-	-	-	-	-	-
	Conmutadores apagados	-	-	-	-	-	-	28	3	8	13	32	5,19,21,29,37,45
	Carga de condensadores	39	34	15,34	10,15	34	N/A	34	10,15	15,34	34	39	N/A
Variante 10	Conmutadores encendidos	5,19,21,29,37,45	32	13	8	28	3	-	-	-	-	-	-
	Conmutadores apagados	-	-	-	-	-	-	3	28	8	13	32	5,19,21,29,37,45
	Carga de condensadores	39	34	15,34	10,15	10	N/A	10	10,15	15,34	34	39	N/A
Variante 11	Conmutadores encendidos	5,19,21,29,37,45	13	8	32	3	28	-	-	-	-	-	-
	Conmutadores apagados	-	-	-	-	-	-	28	3	32	8	13	5,19,21,29,37,45
	Carga de condensadores	39	15,39	10,39	10,34	34	N/A	34	10,34	10,39	15,39	39	N/A
Variante 12	Conmutadores encendidos	5,19,21,29,37,45	13	8	32	28	3	-	-	-	-	-	-
	Conmutadores apagados	-	-	-	-	-	-	3	28	32	8	13	5,19,21,29,37,45
	Carga de condensadores	39	15,39	10,39	10,34	10	N/A	10	10,34	10,39	15,39	39	N/A
Variante 13	Conmutadores encendidos	5,19,21,29,37,45	13	32	8	3	28	-	-	-	-	-	-
	Conmutadores apagados	-	-	-	-	-	-	28	3	8	32	13	5,19,21,29,37,45
	Carga de condensadores	39	15,39	15,34	10,34	34	N/A	34	10,34	15,34	15,39	39	N/A
Variante 14	Conmutadores encendidos	5,19,21,29,37,45	13	32	8	28	3	-	-	-	-	-	-
	Conmutadores apagados	-	-	-	-	-	-	3	28	8	32	13	5,19,21,29,37,45
	Carga de condensadores	39	15,39	15,34	10,34	10	N/A	10	10,34	15,34	15,39	39	N/A

Tabla 1

Secuencia de desplazamiento		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Nivel de tensión y en V		100	200	300	400	500	600	500	400	300	200	100	0
Variante 15	Conmutadores encendidos	6,16,20,30,42,44	17	3	40	41	28	-	-	-	-	-	-
	Conmutadores apagados	-	-	-	-	-	-	28	41	40	3	17	6,16,20,30,42,44
	Descarga de condensadores	10	15	N/A	34	39	N/A	39	34	N/A	15	10	N/A
Variante 16	Conmutadores encendidos	6,16,20,30,42,44	17	40	41	28	3	-	-	-	-	-	-
	Conmutadores apagados	-	-	-	-	-	-	3	28	41	40	17	6,16,20,30,42,44
	Descarga de condensadores	10	15	15,34	15,39	15	N/A	15	15,39	15,34	15	10	N/A
Variante 17	Conmutadores encendidos	6,16,20,30,42,44	17	40	41	3	28	-	-	-	-	-	-
	Conmutadores apagados	-	-	-	-	-	-	28	3	41	40	17	6,16,20,30,42,44
	Descarga de condensadores	10	15	15,34	15,39	39	N/A	39	15,39	15,34	15	10	N/A
Variante 18	Conmutadores encendidos	6,16,20,30,42,44	40	17	41	28	3	-	-	-	-	-	-
	Conmutadores apagados	-	-	-	-	-	-	3	28	41	17	40	6,16,20,30,42,44
	Descarga de condensadores	10	10,34	15,34	15,39	15	N/A	15	15,39	15,34	10,34	10	N/A
Variante 19	Conmutadores encendidos	6,16,20,30,42,44	40	17	41	3	28	-	-	-	-	-	-
	Conmutadores apagados	-	-	-	-	-	-	28	3	41	17	40	6,16,20,30,42,44
	Descarga de condensadores	10	10,34	15,34	15,39	39	N/A	39	15,39	15,34	10,34	10	N/A
Variante 20	Conmutadores encendidos	6,16,20,30,42,44	40	41	17	28	3	-	-	-	-	-	-
	Conmutadores apagados	-	-	-	-	-	-	3	28	17	41	40	6,16,20,30,42,44
	Descarga de condensadores	10	10,34	10,39	15,39	15	N/A	15	15,39	10,39	10,34	10	N/A
Variante 21	Conmutadores encendidos	6,16,20,30,42,44	40	41	17	3	28	-	-	-	-	-	-
	Conmutadores apagados	-	-	-	-	-	-	28	3	17	41	40	6,16,20,30,42,44
	Descarga de condensadores	10	10,34	10,39	15,39	39	N/A	39	15,39	10,39	10,34	10	N/A
Variante 22	Conmutadores encendidos	6,18,20,30,42,44	41	28	16	17	3	-	-	-	-	-	-
	Conmutadores apagados	-	-	-	-	-	-	3	17	16	28	41	6,18,20,30,40,44
	Descarga de condensadores	34	39	N/A	10	15	N/A	15	10	N/A	39	34	N/A
Variante 23	Conmutadores encendidos	6,18,20,30,40,44	41	16	17	3	28	-	-	-	-	-	-
	Conmutadores apagados	-	-	-	-	-	-	28	3	17	16	41	6,18,20,30,40,44
	Descarga de condensadores	34	39	10,39	15,39	39	N/A	39	15,39	10,39	39	34	N/A
Variante 24	Conmutadores encendidos	6,18,20,30,40,44	41	16	17	28	3	-	-	-	-	-	-
	Conmutadores apagados	-	-	-	-	-	-	3	28	17	16	41	6,18,20,30,40,44
	Descarga de condensadores	34	39	10,39	15,39	15	N/A	15	15,39	10,39	39	34	N/A
Variante 25	Conmutadores encendidos	6,18,20,30,40,44	16	41	17	3	28	-	-	-	-	-	-
	Conmutadores apagados	-	-	-	-	-	-	28	3	17	41	16	6,18,20,30,40,44
	Descarga de condensadores	34	10,34	10,39	15,39	39	N/A	39	15,39	10,39	10,34	34	N/A
Variante 26	Conmutadores encendidos	6,18,20,30,40,44	16	41	17	28	3	-	-	-	-	-	-
	Conmutadores apagados	-	-	-	-	-	-	3	28	17	41	16	6,18,20,30,40,44
	Descarga de condensadores	34	10,34	10,39	15,39	15	N/A	15	15,39	10/39	10,34	34	N/A
Variante 27	Conmutadores encendidos	6,18,20,30,40,44	16	17	41	3	28	-	-	-	-	-	-
	Conmutadores apagados	-	-	-	-	-	-	28	3	41	17	16	6,18,20,30,40,44
	Descarga de condensadores	34	10,34	15,34	15,39	39	N/A	39	15,39	15,34	10,34	34	N/A
Variante 28	Conmutadores encendidos	6,18,20,30,40,44	16	17	41	28	3	-	-	-	-	-	-
	Conmutadores apagados	-	-	-	-	-	-	3	28	41	17	16	6,18,20,30,40,44
	Descarga de condensadores	34	10,34	15,34	15,39	15	N/A	15	15,39	15,34	10,34	34	N/A

Tabla 2