

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 588 381**

51 Int. Cl.:

H02J 1/10 (2006.01)

H02J 7/00 (2006.01)

H02J 9/06 (2006.01)

H02M 7/487 (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.02.2008 PCT/US2008/054365**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.08.2008 WO08103696**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.02.2008 E 08730212 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.05.2016 EP 2122796**

54 Título: **SAI trifásica de alta potencia**

30 Prioridad:

21.02.2007 US 677303

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
02.11.2016

73 Titular/es:

**SCHNEIDER ELECTRIC IT CORPORATION
(100.0%)**

**132 Fairgrounds Road
West Kingston, RI 02892, US**

72 Inventor/es:

NIELSEN, HENNING ROAR

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 588 381 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

SAI trifásica de alta potencia

Antecedentes de la invención

5 Los sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI) que incluyen convertidores de tensión son partes fundamentales de muchos sistemas eléctricos, tales como sistemas de suministro de energía para ordenadores y servidores en centros de datos. Los SAIs pueden ser usados con muchos sistemas de energía típicos que incluyen conexiones monofásicas y trifásicas y pueden ser usados con sistemas de baja potencia (por ejemplo, un ordenador doméstico) y sistemas de alta potencia (por ejemplo, grandes centros de datos o instalaciones de procesamiento). Típicamente, los sistemas de alta potencia usan una conexión de potencia trifásica (por ejemplo, fases X, Y y Z). Típicamente, se usa un convertidor de tensión SAI trifásico para proporcionar alimentación de CA trifásica a una carga trifásica, para convertir una tensión de CA trifásica de un nivel a otro y para proporcionar energía trifásica a una carga en el caso de un fallo de alimentación. Las conexiones de entrada y de salida a un convertidor de tensión SAI trifásico son típicamente conexiones de tres o cuatro terminales, una conexión para cada fase de la conexión de alimentación trifásica y una conexión de neutro opcional. Típicamente, una batería está acoplada también al convertidor de tensión SAI y se usa para almacenar energía para su uso en el caso de un fallo de alimentación.

10 Los SAIs de alta potencia típicos (por ejemplo, por encima de 100 kW) funcionan con tensiones de entrada de CA nominales de 3x400 V (en Europa) o 3x480 V (en EE.UU.). Los SAIs sin transformador puede funcionar con una tensión interna de bus de CC de ± 450 V. En dicha configuración, los componentes contenidos en el SAI tienen preferiblemente una tensión nominal que garantiza el funcionamiento con al menos 1.200 V debido a los grandes excesos de tensión asociados con las inductancias parásitas de los módulos de transistores bipolares de puerta aislada (Insulated Gate Bipolar Transistor, IGBT) físicamente grandes. El uso de componentes con una tensión nominal de 1.200 V, sin embargo, conduce típicamente a un aumento de las pérdidas de conducción y de conmutación, disminuyendo de esta manera la eficiencia.

25 El documento titulado "DC Link Balancing Method in Back-to-Back USP System with Multi-Level Converters", de Grzesiak et al., muestra en la Figura 1 un SAI trifásico, en el que un convertidor CA/CC trifásico (5LDCR) está conectado a un convertidor CC/CA trifásico (5LDCL) mediante un enlace de tensión de CC de cinco niveles. Los niveles adyacentes de las tensiones de CC están conectados entre sí mediante condensadores de enlace de CC. Las tensiones de enlace de CC de cinco niveles se equilibran detectando las tensiones de los condensadores de enlace de CC y controlando la conmutación de 5LDCR y 5LDCL de manera correspondiente.

Sumario de la invención

30 La invención se define por la reivindicación 1 independiente del aparato y la reivindicación 6 independiente del procedimiento. Se definen realizaciones adicionales en las reivindicaciones 2-5 dependientes del aparato y en las reivindicaciones 7-10 dependientes del procedimiento.

Breve descripción de las figuras

35 La Fig. 1 es un diagrama esquemático de un SAI trifásico.

La Fig. 2 es un diagrama de circuito de un convertidor CA/CC.

La Fig. 3 es un gráfico que representa una señal de alimentación ejemplar proporcionada al convertidor CA/CC de la Fig. 2.

Las Figs. 4A-4C son gráficos que representan los estados de conmutación en el convertidor CA/CC de la Fig. 2.

40 La Fig. 5 es un diagrama de circuito de un circuito de control de modulación de anchura de impulso.

La Fig. 6 es un diagrama de señales de control ejemplares para su uso con el circuito de control de modulación de anchura de impulso de la Fig. 5.

La Fig. 7 es un diagrama de circuito de un convertidor CC/CA.

La Fig. 8 es un gráfico que representa señales de alimentación de CA y de CC ejemplares.

45 La Fig. 9A-9C son gráficos que representan los estados de los conmutadores en el convertidor CC/CA de la Fig. 8.

La Fig. 10 es un diagrama de circuito de un convertidor CA/CA.

La Fig. 11 es un diagrama de circuito de un convertidor CC/CC.

La Fig. 12 es un diagrama de circuito de un equilibrador de buses de CC.

La Fig. 13 es un gráfico que representa señales ejemplares para el control de los conmutadores incluidos en el equilibrador de buses de CC de la Fig. 12.

5 La Fig. 14 es un diagrama de flujo de un procedimiento para proporcionar energía desde el SAI trifásico mostrado en la Fig. 1.

Descripción detallada

Las realizaciones de la invención proporcionan técnicas para proporcionar una fuente de alimentación trifásica ininterrumpible a una carga. Por ejemplo, una fuente de alimentación trifásica ininterrumpible sin transformador incluye convertidores CA/CC (por ejemplo, módulos de corrección de factor de potencia), convertidores CC/CA (por ejemplo, inversores), un módulo de conversión CC/CC, múltiples buses de CC y un equilibrador de buses de CC. Los convertidores CA/CC reciben energía trifásica de CA (por ejemplo, 3 x 400 V o 3 x 480 V fase-fase) desde una fuente de alimentación trifásica y convierten la energía trifásica en energía de CC (por ejemplo, con múltiples niveles de tensión). Cada uno de los convertidores CA/CC recibe una fase de la conexión de energía trifásica. Durante el funcionamiento normal (por ejemplo, cuando se recibe energía trifásica adecuada desde la fuente de alimentación trifásica), la energía de CC presente en los buses de CC proporciona energía a los convertidores CC/CA. Además, durante el funcionamiento normal, un convertidor CC/CC convierte la energía de CC presente en los buses de CC a una tensión usada para cargar la batería. Durante otros tiempos (por ejemplo, cuando la energía trifásica es insuficiente o no está disponible), la energía de CC es proporcionada a los convertidores CC/CA desde la batería. Los convertidores CC/CA convierten la energía de CC a energía trifásica de CA (por ejemplo, cada uno de los convertidores CC/CA proporciona una única fase de la señal trifásica). Las tensiones recibidas por los convertidores CA/CC y las tensiones proporcionadas por los convertidores CC/CA pueden ser iguales o diferentes. Durante el funcionamiento normal o en otros casos, el equilibrador de buses de CC equilibra las tensiones presentes en los buses de CC transfiriendo energía entre los buses de CC.

Haciendo referencia a la Fig. 1, un SAI 5 incluye módulos 10, 20 y 30 CA/CA, un módulo 40 CC/CC, una batería 50 y buses 60, 61, 62, 63 y 64. El módulo 10 CA/CA incluye un convertidor 11 CA/CC acoplado a un convertidor 12 CC/CA a través de los buses 60, 61, 62, 63 y 64. El módulo 20 CA/CA incluye un convertidor 21 CA/CC acoplado a un convertidor 22 CC/CA a través de los buses 60, 61, 62, 63 y 64. El módulo 30 CA/CA incluye un convertidor 31 CA/CC acoplado a un convertidor 32 CC/CA a través de los buses 60, 61, 62, 63 y 64. El módulo 40 CC/CC incluye un convertidor 41 CC/CC y un equilibrador 42 de buses de CC. El convertidor 41 CC/CC está acoplado al equilibrador 42 de buses de CC a través de los buses 60, 61, 62, 63 y 64. Los módulos 10, 20 y 30 CA/CA y el módulo 40 CC/CC están interconectados a través de los buses 60, 61, 62, 63 y 64. El SAI 5 está configurado para proporcionar energía a una carga (no mostrada) desde una alimentación de energía trifásica acoplada al SAI 5 y/o desde la energía almacenada en la batería 50.

Cada uno de los módulos 10, 20 y 30 CA/CA está configurado para recibir una fase (por ejemplo, la fase X, Y o Z) de una alimentación de energía trifásica a una primera tensión de CA y para proporcionar una segunda tensión de CA a través de una salida. El convertidor 11 CA/CC incluye entradas 13 y 14; el convertidor 21 CA/CC incluye entradas 23 y 24; y el convertidor 31 CA/CC incluye entradas 33 y 34. El convertidor 12 CC/CA incluye salidas 15 y 16; el convertidor 22 CC/CA incluye salidas 25 y 26; y el convertidor 32 CC/CA incluye salidas 35 y 36. Cada uno de los módulos 10, 20 y 30 CA/CA está configurado para ser acoplado a una fase de una alimentación de energía trifásica y a una conexión de neutro. Por ejemplo, la entrada 13 del convertidor 11 CA/CC puede ser acoplada a la fase X, la entrada 23 del convertidor 21 CA/CC puede ser acoplada a la fase Y y la entrada 33 del convertidor 31 CA/CC puede ser acoplada a la fase Z. Las entradas 14, 24 y 34 están configuradas para ser acopladas a la conexión de neutro de la alimentación de energía trifásica (o una conexión a tierra). Cada uno de los módulos 10, 20 y 30 CA/CA está configurado para proporcionar una salida que incluye una fase de una salida trifásica, aunque son posibles otras configuraciones. Por ejemplo, la salida 15 puede estar configurada para proporcionar la salida de la fase X, la salida 25 puede estar configurada para proporcionar la salida de la fase Y y la salida 35 puede estar configurada para proporcionar la salida de fase Z. Cada una de las salidas 16, 26 y 36 está configurada para ser acoplada a una conexión de neutro de una carga. Cada uno de los módulos 10, 20 y 30 CA/CA está configurado para compartir energía a través de los buses 60, 61, 62, 63 y 64.

El módulo 40 CC/CC puede recibir energía desde (es decir, cuando está en un estado de carga) y puede proporcionar energía a (es decir, cuando en un estado de descarga) los módulos 10, 20 y/o 30 CA/CA. El convertidor 41 CC/CC está configurado para ser acoplado a la batería 50 a través de conexiones 43, 44 y 45. La conexión 44, sin embargo, es opcional. La batería 50 es preferiblemente una batería de plomo-ácido, aunque pueden usarse otros tipos de batería. El módulo 40 CC/CC está configurado para proporcionar alimentación de CC a la batería 50 (cargando de esta manera la batería 50) cuando una alimentación de energía trifásica deseada está presente en las entradas 13, 23 y 33 (es decir, el estado de carga). De manera similar, el módulo 40 CC/CC está configurado para proporcionar una o más tensiones de CC, usando la energía desde la batería 50, a los módulos 10, 20 y 30 de CA/CA en ausencia de una alimentación de energía trifásica deseada en las entradas 13, 23 y 33 (es decir, el estado de descarga). El estado en el que el módulo 40 CC/CC está en funcionamiento puede ser controlado por un controlador (no mostrado) que está configurado para

supervisar, por ejemplo, la entrada de CA trifásica. El convertidor 41 CC/CC está configurado para, en el estado de carga, recibir un conjunto de tensiones desde los módulos 10, 20 y 30 de CA/CA y para convertir el conjunto de tensiones de CC a una tensión CC de carga de batería deseada por la batería 50. El convertidor 41 CC/CC está configurado además para, durante el estado de descarga, recibir energía de CC desde la batería 50 a la tensión de carga de batería y para convertirla al conjunto de tensiones de CC. El convertidor 41 CC/CC está configurado para proporcionar el conjunto de tensiones de CC a los módulos 10, 20 y 30 CA/CA durante el estado de descarga. El convertidor 41 CC/CC está acoplado al equilibrador 42 de buses de CC a través de los buses 60, 61, 62, 63 y 64. El equilibrador 42 de buses de CC está configurado para equilibrar las tensiones presentes en los buses 60, 61, 62, 63 y 64, tal como se describirá más detalladamente a continuación.

El SAI 5 está configurado para determinar si hay o no energía de entrada adecuada presente en las entradas a los módulos 10, 20 y/o 30 CA/CA. El SAI 5 puede detectar la presencia de energía adecuada en las entradas a los módulos de CA/CA usando uno o más procedimientos y/o circuitos. Por ejemplo, el SAI 5 puede incluir circuitos configurados para determinar si una tensión de CA presente en las entradas 13, 23 y/o 33, en su caso, tiene un nivel deseado. El SAI 5 puede incluir también circuitos configurados para supervisar en qué estado está funcionando el convertidor 41 CC/CC (por ejemplo, estado de carga o de descarga) y si hay o no una tensión de CC presente en los buses 60, 61, 63 y/o 64. Por ejemplo, si el convertidor 41 CC/CC está funcionando en el estado de carga y la tensión de CC respectiva en los buses 60, 61, 63 y/o 64 cae por debajo de un nivel deseado respectivo, los circuitos pueden proporcionar una señal que indica que la tensión de CA que está siendo proporcionada a los convertidores 11, 21 y 31 CA/CA ha caído por debajo de los niveles deseados. Pueden usarse otros procedimientos y/o circuitos para detectar si la tensión de CA de entrada está por debajo de los niveles deseados. El SAI 5 está configurado además para desconectarse de la alimentación de energía trifásica (por ejemplo, mediante la conmutación de los conmutadores (tal como se describe a continuación) a las posiciones desactivadas).

Los controladores de modulación de anchura de impulso (Pulse Width Modulation, PWM) están configurados para controlar el funcionamiento de al menos algunos de los componentes en el SAI 5. Por ejemplo, pueden usarse controladores PWM separados para los convertidores 11, 21 y 31 CA/CC, los convertidores 12, 22 y 32 CC/CA, el módulo 41 CC/CC y el equilibrador 42 de buses de CC, aunque son posibles otras configuraciones. Por ejemplo, pueden usarse controladores PWM separados que tienen la misma configuración física, pero que usan diferentes señales de control o, de manera alternativa, pueden usarse controladores PWM que tienen configuraciones físicas no idénticas. El controlador PWM puede estar configurado para controlar la conmutación de una parte de los conmutadores en función de la frecuencia y la fase de la señal de entrada de CA (por ejemplo, usando un bucle de retroalimentación), o puede ser ajustado según una salida deseada (por ejemplo, para proporcionar energía de una frecuencia y una fase deseadas a una carga acoplada a los convertidores 12, 22 y 32 CC/CA).

Haciendo referencia a la Fig. 2, un convertidor 200 CA/CC (por ejemplo, un ejemplo de los convertidores 11, 21 y 31 CA/CC) incluye diodos 205, 215, 225, 235, 245 y 255, conmutadores 210, 220, 230, 240, 250 y 260 (S1, S2, S3, S4, S5, S6), un condensador 280 y un inductor 285. Los conmutadores 210, 220, 230, 240, 250 y 260 son transistores bipolares de puerta aislada (IGBT) aunque pueden usarse otros conmutadores. Preferiblemente, los conmutadores 210, 220, 250 y 260 tienen una tensión nominal máxima de 600 V y los conmutadores 230 y 240 tienen una tensión nominal máxima de 1.200V, aunque son posibles otros valores de tensión. Una entrada 202 está configurada para ser acoplada, por ejemplo, a una fase de la alimentación de energía trifásica (por ejemplo, la fase X). Acoplado entre la entrada 202 y una conexión a tierra, hay un condensador 280. Un nodo 286 del inductor 285 está acoplado también a la entrada 202. Acoplado a un nodo 287 del inductor 285, hay un ánodo 227 del diodo 225, un emisor 232 del conmutador 230, un cátodo 236 del diodo 235 y un colector 241 del conmutador 240. Un cátodo 226 del diodo 225 está acoplado a un colector 231 del conmutador 230. Un ánodo 237 del diodo 235 está acoplado a un emisor 242 del conmutador 240. El cátodo 226, el colector 231, un ánodo 207 del diodo 205, un emisor 212 del conmutador 210, un cátodo 216 del diodo 215 y un colector 221 del conmutador 220 están acoplados entre sí. El ánodo 237, el emisor 242, un ánodo 247 del diodo 245, un emisor 252 del conmutador 250, un cátodo 256 del diodo 255 y un colector 261 del conmutador 260 están acoplados entre sí. Un cátodo 206 del diodo 205 y un colector 211 del conmutador 210 están acoplados a una salida 235. Un ánodo 217 del diodo 215 y un emisor 222 del conmutador 220 están acoplados a una salida 240. Un cátodo 246 del diodo 245 y un colector 251 del conmutador 250 están acoplados a una salida 245. Un ánodo 257 del diodo 255 y un emisor 262 del conmutador 260 están acoplados a una salida 250. Cada una de las puertas 213, 223, 233, 243, 253 y 263 de los conmutadores 210, 220, 230, 240, 250 y 260, respectivamente, está acoplada a un controlador 275 de modulación de anchura de impulsos tal como se describirá más detalladamente más adelante. Las salidas 265, 266, 267 y 268 están configuradas para ser acopladas a los buses, 64, 63, 61 y 60, respectivamente. Preferiblemente, el inductor 285 tiene una inductancia de 100 uH, aunque pueden usarse otras inductancias (por ejemplo, en función de la potencia nominal del sistema 5). Preferiblemente, el condensador tiene una capacitancia de 200 uF, aunque pueden usarse otras capacitancias (por ejemplo, en función de la potencia nominal del sistema 5).

El convertidor 200 CA/CC está configurado para recibir energía de CA desde, por ejemplo, una fase de una conexión de alimentación trifásica y para proporcionar una salida de CC de múltiples niveles a través de las salidas 265, 266, 267 y 268. Por ejemplo, cuando el convertidor 200 CA/CC está en funcionamiento y la entrada 202 está acoplada a una

alimentación de 480 VAC, el convertidor 200 CA/CC puede inducir una tensión (con relación a una conexión de neutro de la alimentación) de aproximadamente +450 VDC a través de la salida 265 y la conexión de neutro, una tensión de aproximadamente +150 VDC a través de la salida 266 y el neutro, una tensión de aproximadamente -150 V CC a través de la salida 267 y el neutro y una tensión de aproximadamente -450 VDC a través de la salida 268 y el neutro. De manera similar, el convertidor 200 CA/CC está configurado para inducir una tensión de aproximadamente 300 VDC a través de las salidas 265 y 266 (V1), las salidas 266 y 267 (V2) y las salidas 267 y 268 (V3).

Preferiblemente, la tensión inducida en las salidas 265 y 268 es una función de la tensión de entrada. La tensión inducida en las salidas 265 y 268 es preferiblemente igual o mayor que la tensión a través del condensador 280 multiplicada por $\sqrt{2}$). La tensión a través del condensador 280 (es decir, la tensión fase-neutro) es preferiblemente sustancialmente igual a:

$$\frac{\text{(Tensión en la entrada 202)}}{\sqrt{3}} = \text{(Tensión Fase - Neutro)} \quad (1)$$

(Si hay disponible una conexión de neutro) y la tensión de pico instantánea a través del condensador 280 varía entre \pm (Tensión Fase-Neutro) ($\sqrt{2}$)). Preferiblemente, el convertidor 200 CA/CC está configurado de manera que la tensión proporcionada en la salida 265 sea mayor que la tensión de pico instantánea positiva a través del condensador 280 y la tensión proporcionada en la salida 268 sea menor que la tensión de pico instantánea negativa a través del condensador 280. Por ejemplo, suponiendo una entrada de 480 V en la entrada 202, la fase-neutro es de aproximadamente 277 Vrms y la tensión de pico instantánea a través del condensador 280 es de aproximadamente 392 V. De esta manera, en este ejemplo, el convertidor 200 CA/CC está configurado de manera que la salida 265 proporcione una tensión de aproximadamente 392 V o más (por ejemplo, 450 V) y la salida 268 proporcione una tensión de aproximadamente -392 o menos (por ejemplo, -450 V). El aumento de la diferencia entre el valor absoluto de las tensiones proporcionadas en las salidas 265 y 268 y el valor absoluto de las tensiones de pico instantáneas a través del condensador 280 puede aumentar la tolerancia de funcionamiento del sistema 5.

La combinación del condensador 280, el inductor 285 y los conmutadores 210, 220, 230, 240, 250 y 260 está configurada para actuar como un convertidor elevador ("Boost") y para convertir la señal de CA proporcionada a la entrada 202 a una forma de onda cuasi-cuadrada de cuatro niveles (por ejemplo, tal como se muestra como una señal 305 en la Fig. 8) en el nodo 287 del inductor 285. La tensión en el nodo 287 puede variar dependiendo del estado de los conmutadores 210, 220, 230, 250, 260 (tal como se describe más completamente a continuación). Por ejemplo, cuando el valor instantáneo de la tensión de CA presente en la entrada 202 está comprendido entre un primer nivel de tensión igual a la tensión de CC en el nodo 265 (por ejemplo, 450 V, según se determina por la configuración del convertidor 200 CA/CC) y un segundo nivel de tensión igual a la tensión de CC en el nodo 266 (por ejemplo, 150 V), la onda cuadrada en el nodo 287 del inductor 285 conmuta entre estos valores (en este caso, 450 V y 150 V); cuando el valor instantáneo de la tensión de CA presente en la entrada 202 está comprendido entre el segundo nivel de tensión igual a la tensión CC en el nodo 266 y un tercer nivel de tensión igual a la tensión CC en el nodo 267 (por ejemplo, -150 V), la onda cuadrada en el nodo 287 del inductor 285 conmuta entre estos valores (por ejemplo, -150 V y -150 V); y cuando el valor instantáneo de la tensión de CA presente en la entrada 202 está comprendido entre el tercer nivel de tensión igual a la tensión de CC en el nodo 267 y un cuarto nivel de tensión igual a la tensión CC en el nodo 268 (por ejemplo, -450 V), la onda cuadrada en el nodo 287 del inductor 285 conmuta entre estos valores (por ejemplo, -150 V y -450 V). Además, la combinación del condensador 280 y el inductor 285 está configurada para actuar como un filtro de paso bajo.

El convertidor 200 CA/CC está configurado para inducir tensiones en las salidas 265, 266, 267 y 268 mediante la conmutación de los conmutadores 210, 220, 230, 240, 250 y 260. Los conmutadores están configurados para ser accionados por el controlador 275 PWM. El controlador 275 PWM está configurado para controlar los conmutadores 210, 220, 230, 240, 250 y 260, según uno de los tres estados en el que está funcionando el convertidor 200 CA/CC. Con referencia también a la Fig. 3, el convertidor 200 CA/CC está configurado para funcionar en tres estados. El primer estado corresponde a cuando la tensión de entrada recibida por la entrada 202 está por encima de un tercio de la tensión proporcionada por la salida 265 (por ejemplo, si la tensión de entrada de pico es de \pm 450 VAC, entonces el primer estado corresponde a cuando la entrada está por encima de 150 V). El segundo estado corresponde a cuando la entrada recibida por la entrada 202 está comprendida entre un tercio de la tensión proporcionada por la salida 265 y un tercio de la tensión proporcionada por la salida 268 (por ejemplo, 150 V y -150 V). El tercer estado corresponde a cuando la entrada recibida por la entrada 202 está por debajo de un tercio de la tensión proporcionada por la salida 268 (por ejemplo, por debajo de -150 V). Con referencia también a la Fig. 4, el controlador 275 PWM está configurado de manera que durante el primer estado los conmutadores 230 y 250 se establecen en sus estados activos (conductores), los conmutadores 240 y 260 se establecen a sus estados inactivos (no conductores) y los conmutadores 210 y 220 conmutan entre los estados inactivo y activo (Fig. 4A). El controlador 275 PWM está configurado de manera que durante el segundo estado, los conmutadores 220 y 250 están activos, los conmutadores 210 y 260 están inactivos, y los conmutadores 230 y 240 están conmutando

(Fig. 4B). El controlador 275 PWM está configurado de manera que durante el tercer estado, los conmutadores 220 y 240 están activos, los conmutadores 210 y 230 están inactivos y los conmutadores 250 y 260 están conmutando (Fig. 4C).

Haciendo referencia a las Figs. 5-6, el controlador 275 PWM está configurado para controlar los conmutadores 210, 220, 230, 240, 250 y 260 usando señales de control. El controlador 275 PWM incluye comparadores 505, 515 y 525 e inversores 510, 520 y 530 lógicos. El controlador 275 PWM está configurado para causar que el convertidor 200 CA/CC opere en los estados descritos en la presente memoria con el fin de convertir una señal de CA de entrada a las señales de CC descritas en la presente memoria. Una entrada 506 positiva del comparador 505 está acoplada a una fuente de señal de modulación sinusoidal (para recibir una señal 605) y una entrada 507 negativa del comparador 505 está acoplada a una primera señal 610 portadora PWM. Una entrada 516 positiva del comparador 515 está acoplada a la señal de modulación sinusoidal y una entrada 517 negativa del comparador 515 está acoplada a una segunda señal 615 portadora PWM. Una entrada 526 positiva del comparador 525 está acoplada a la señal de modulación sinusoidal y una entrada 527 negativa del comparador 525 está acoplada a una tercera señal 620 PWM. Una salida 508 del comparador 505 está acoplada al conmutador 210 y al conmutador 220 a través del inversor 510 lógico. Una salida 518 del comparador 515 está acoplada al conmutador 230 y al conmutador 240 a través del inversor 520 lógico. Una salida 528 del comparador 525 está acoplada al conmutador 250 y al conmutador 260 a través del inversor 530 lógico.

Las señales de control usadas por el controlador 275 PWM se seleccionan para conseguir el patrón de conmutación deseado de los conmutadores 210, 220, 230, 240, 250 y 260. Las señales 605, 610, 615 y 620 son preferiblemente señales de baja tensión generadas, por ejemplo, por un generador de formas de onda. La señal 605 de onda sinusoidal es una señal sinusoidal que tiene una frecuencia y una fase aproximadamente iguales a la frecuencia y la fase de la alimentación de energía proporcionada a la entrada 202. La señal 605 de onda sinusoidal tiene una amplitud de pico aproximadamente igual a un umbral 625, que puede ser varios valores, por ejemplo, 1 V. Las primeras portadoras 610, 615 y 620 PWM son ondas triangulares que tienen una frecuencia sustancialmente igual a la frecuencia de conmutación PWM deseada del convertidor 200 CA/CC, aunque son posibles otras frecuencias. La frecuencia de conmutación PWM del convertidor 200 CA/CC se elige preferiblemente como un compromiso entre las pérdidas de conmutación IGBT y el tamaño físico y el coste de los inductores y los condensadores de entrada y de salida (por ejemplo, el condensador 280 (C5) y el inductor 285). Un valor máximo de la señal 610 de control PWM es aproximadamente igual al umbral 625 y un valor mínimo de la primera señal 610 de control PWM es aproximadamente igual a un tercio del umbral 625. Un valor máximo de la señal 615 de control PWM es aproximadamente igual a un tercio del umbral 625 y un valor mínimo de la señal 615 de control PWM es aproximadamente igual al negativo de un tercio del umbral 625. Un valor máximo de la señal 620 de control PWM es aproximadamente igual al negativo de un tercio del umbral 625 y un valor mínimo de la señal 620 de control PWM es aproximadamente igual al umbral 625 multiplicado por -1.

El controlador 275 PWM está configurado para conmutar los conmutadores 210, 220, 230, 240, 250 y 260 usando la señal 605 de modulación de onda sinusoidal y las señales 610, 615 y 620 de control PWM. A medida que varía la señal 605 de modulación de onda sinusoidal, el comparador 505 proporciona en su salida un uno lógico o un cero lógico, en función de cuál de entre la entrada 506 positiva o la entrada 507 negativa es mayor. El comparador 505 está configurado para proporcionar en su salida un uno lógico si la entrada 506 positiva es mayor que la entrada 507 negativa, (por ejemplo, la tensión de la señal 605 de modulación de onda sinusoidal es mayor que la tensión de la señal 610 de control PWM). De manera similar, el comparador 505 está configurado para proporcionar en su salida un cero lógico si la entrada 506 positiva es menor que la entrada 507 negativa, (por ejemplo, la tensión de la señal 605 de modulación de onda sinusoidal es menor que la tensión de la señal 610 de control PWM). Aunque la descripción anterior se ha centrado en el funcionamiento del comparador 505, el funcionamiento de los comparadores 515 y 525 es preferiblemente similar. Preferiblemente, el controlador 275 PWM está configurado para insertar pequeñas "bandas muertas" de manera que haya un ligero retraso entre la desactivación de cualquier conmutador determinado y la activación de otro conmutador (por ejemplo, para proteger contra la activación simultánea de pares no deseados de los conmutadores). Los conmutadores 210, 220, 230, 240, 250 y 260 están configurados de manera que un 1 lógico activa el conmutador, mientras que un 0 lógico desactiva el conmutador, aunque es posible lo contrario.

El controlador 275 PWM puede estar configurado para variar el ciclo de trabajo al que son conmutados los conmutadores que controla. Por ejemplo, usando las señales 610, 615, 620 y 625, se varía el ciclo de trabajo de los conmutadores que están siendo conmutados repetidamente (por ejemplo, en el primer estado, los conmutadores 210 y 220). Comparando los intervalos 630 y 635, que indican cuándo está activado el conmutador 210 y está desactivado el conmutador 220, el intervalo 630 es mayor que el intervalo 635.

Haciendo referencia de nuevo a la Fig. 2, se describirán ejemplos del funcionamiento del convertidor 200 CA/CC. El convertidor 200 CA/CC está configurado para proporcionar las tensiones de CC respectivas a las salidas 265, 266, 267 y 268, actuando como un convertidor elevador. Por ejemplo, en el primer estado cuando el conmutador 220 está activado y el conmutador 210 está desactivado, el inductor 285 almacenará energía. Cuando el conmutador 220 está desactivado, la energía almacenada en el inductor 285 causa una corriente de circulación libre a través del diodo 205. En el segundo estado cuando el conmutador 230 está activado y el conmutador 240 está desactivado, el inductor 285 almacenará energía. Cuando el conmutador 230 está desactivado, el inductor 285 causa una corriente de circulación libre a través del

diodo 235. En el tercer estado, cuando el conmutador 250 está activado y el conmutador 260 está desactivado, el inductor 285 almacenará energía. Cuando el conmutador 250 está desactivado, la energía almacenada en el inductor 285 (L1) causa una corriente de circulación libre a través del diodo 255.

Haciendo referencia a las Figs. 2 y 7, un convertidor 700 CC/CA (por ejemplo, un ejemplo de convertidores CC/CA es 12, 22 y 32) incluye diodos 705, 715, 725, 735, 745 y 755, conmutadores 710, 720, 730, 740, 750 y 760, entradas 765, 766, 767 y 768, un filtro 770 y una salida 702. Los conmutadores 710, 720, 730, 740, 750 y 760 son IGBTs aunque pueden usarse otros transistores. Las entradas 765, 766, 767 y 768 están configuradas para recibir energía de CC, por ejemplo, desde el convertidor 200 CA/CC. Acoplado a la salida 702, hay un ánodo 727 del diodo 725, el emisor 732 del conmutador 730, un cátodo 736 del diodo 735 y un colector 741 del conmutador 743. Un cátodo 726 del diodo 725 está acoplado a un colector 731 del conmutador 730. Un ánodo 737 del diodo 735 está acoplado a un emisor 742 del conmutador 740. El cátodo 726, el colector 731, un ánodo 707 del diodo 705, un emisor 712 del conmutador 710, un cátodo 716 del diodo 715 y un colector 721 del conmutador 720 están acoplados entre sí. El ánodo 737, el emisor 742, un ánodo 747 del diodo 745, un emisor 752 del conmutador 750, un cátodo 756 del diodo 755 y un colector 761 del conmutador 760 están acoplados entre sí. Un cátodo 706 del diodo 705 y un colector 711 del conmutador 710 están acoplados a la entrada 765. Un ánodo 717 del diodo 715 y un emisor 722 del conmutador 720 están acoplados a la entrada 766. Un cátodo 746 del diodo 745 y un colector 751 del conmutador 750 están acoplados a la entrada 767. Un ánodo 757 del diodo 755 y un emisor 762 del conmutador 760 están acoplados a la entrada 768. Cada una de las bases 713, 723, 733, 743, 753 y 763 de los conmutadores 710, 720, 730, 740, 750 y 760 (S7, S8, S9, S10, S11, S12), respectivamente, está acoplada a un controlador de modulación de anchura de impulso, tal como se describirá más detalladamente a continuación. El emisor 732 del conmutador 730, el ánodo 727 del diodo 725, el colector 741 del conmutador 740 y el cátodo 736 del diodo 735 (es decir, que definen el nodo 772) están acoplados al filtro 770. El filtro 770 incluye un inductor 785 y un condensador 790 (C6). El inductor 785 (L2) está acoplado entre el nodo 772 y la salida 702. El condensador 790 está acoplado entre la salida 702 y tierra. Preferiblemente, el inductor 785 tiene una inductancia de 100 uH, aunque pueden usarse otras inductancias (por ejemplo, en función de la potencia nominal del sistema 5). Preferiblemente, el condensador 790 tiene una capacidad de 200 uF, aunque pueden usarse otras capacitancias (por ejemplo, en función de la potencia nominal del sistema 5).

El convertidor 700 CC/CA está configurado para recibir energía de CC, por ejemplo, desde el convertidor 200 CA/CC y para proporcionar una salida de CA a través de la salida 702. Por ejemplo, cuando el convertidor 700 CC/CA está en funcionamiento y las entradas 765, 766, 767 y 768 están acopladas a las salidas 265, 266, 267 y 268, respectivamente, del convertidor 200 CA/CC, una salida de CA puede ser inducida en la salida 702. El convertidor 700 CC/CA está configurado para inducir en la salida 702 una salida de CA que tiene tensiones de pico (por ejemplo, con relación a la conexión de neutro) aproximadamente iguales a las tensiones presentes en la entrada 765 (por ejemplo, una tensión de pico positiva de la señal en la salida 702) y la entrada 768 (por ejemplo, una tensión de pico negativa de la señal en la salida 702). Sin embargo, pueden inducirse otras tensiones.

El convertidor 700 CC/CA puede realizarse como un convertidor CC/CA controlado por tensión o por corriente. Preferiblemente, se usa un bucle de tensión "exterior" para mantener una tensión deseada cuando el convertidor 700 CC/CA se hace funcionar usando control de corriente. Por ejemplo, un circuito de control (no mostrado) puede estar configurado para supervisar el flujo de corriente en el inductor 785 y para supervisar la tensión presente en la salida 702 (por ejemplo, para determinar si la salida es sinusoidal). El circuito de control puede estar configurado para ajustar una señal PWM proporcionada a los conmutadores 710, 720, 730, 740, 750 y 760, en base a los valores medidos de corriente y de tensión para mantener la tensión de salida deseada. El convertidor 700 CC/CA puede estar configurado para ser operado con una frecuencia PWM fija o variable, tal como se ha descrito en la presente memoria.

El convertidor 700 CC/CA está configurado para convertir las tensiones de CC presentes en las entradas 765, 766, 767 y 768 en una tensión de salida de CA mediante la conmutación de los conmutadores 710, 720, 730, 740, 750 y 760. Los conmutadores están configurados para ser accionados por un controlador 775 PWM que está configurado preferiblemente de una manera similar al controlador 275 PWM. Las señales de control proporcionadas al controlador 775 PWM pueden ser similares a las proporcionadas al controlador 275 PWM, aunque las frecuencias y/o las amplitudes de las señales de control pueden variar para producir una salida deseada para una carga acoplada a la salida 702. Preferiblemente, el convertidor 700 CC/CA está configurado de manera que, en una parte cualquiera determinada de un ciclo en línea (por ejemplo, un ciclo a través de los estados primero, segundo y tercero) dos de los seis conmutadores 710, 720, 730, 740, 750 y 760 son conmutados de una manera complementaria, mientras que los cuatro conmutadores restantes están constantemente inactivados o están constantemente activados.

Con referencia también a la Fig. 8, el controlador 775 PWM puede causar que el convertidor 700 CC/CA funcione en tres estados. El primer estado corresponde a tiempos en los cuales la salida de tensión proporcionada en la salida 702 está por encima de un tercio de la tensión proporcionada en la entrada 765 (por ejemplo, la tensión en la entrada es de 450 V, entonces el primer estado corresponde a los tiempos en los cuales la salida está por encima de 150 V). El segundo estado corresponde a los tiempos en los cuales la salida proporcionada en la salida 702 está comprendida entre un tercio de la tensión proporcionada en la entrada 765 y un tercio de la tensión proporcionada en la entrada 768 (por ejemplo, -150 V y

150 V). El tercer estado corresponde a los tiempos en los cuales la tensión de salida proporcionada en la salida 702 está por debajo de un tercio de la tensión proporcionada en la entrada 768 (por ejemplo, por debajo de -150 V). El controlador 775 PWM está configurado de manera que durante el primer estado, los conmutadores 730 y 750 están activados, los conmutadores 740 y 760 están desactivados y los conmutadores 710 y 720 están conmutando (véase la Fig. 9A). El controlador 775 PWM está configurado de manera que durante el segundo estado, los conmutadores 720 y 750 están activados, los conmutadores 710 y 760 están desactivados y los conmutadores 730 y 740 están conmutando (Fig. 9B). El controlador 775 PWM está configurado de manera que durante el tercer estado, los conmutadores 720 y 740 están activados, los conmutadores 710 y 730 están desactivados y los conmutadores 750 y 760 están conmutando (Fig. 9C). En el primer estado, la configuración de conmutación de los conmutadores 710, 720, 730, 740, 750 y 760 está configurada para causar una tensión de onda cuadrada en un nodo 780 que varía entre 450 V y 150 V, con un ciclo de trabajo variable. Por ejemplo, el ciclo de trabajo de la onda cuadrada puede variar según en qué parte de qué estado está funcionando el convertidor CC/CA (por ejemplo, a medida que la tensión de la salida se aproxima a 450 V en el primer estado, el ciclo de trabajo de la onda cuadrada se aproxima al 100%). En el segundo estado, la configuración de conmutación de los conmutadores 710, 720, 730, 740, 750 y 760 está configurada para causar una tensión de onda cuadrada en el nodo 780 que varía entre 150 V y -150 V, con un ciclo de trabajo variable. En el tercer estado, la configuración de conmutación de los conmutadores 710, 720, 730, 740, 750 y 760 está configurada para causar una tensión de onda cuadrada en el nodo 780 que varía entre -150 y -450 V, con un ciclo de trabajo variable.

El filtro 770 está configurado para filtrar la salida proporcionada en el nodo 772 a una tensión (310) de salida sustancialmente de CA que es proporcionada a la salida 702. El filtro 770 puede ser un filtro L-C de paso bajo, aunque son posibles otras configuraciones de filtro.

Haciendo referencia a la Fig. 10, el módulo 10 de CA/CA incluye el convertidor 200 CA/CC, el convertidor 700 CC/CA, los condensadores 905, 910, 915 y 920 (C1, C2, C3, C4). Las salidas 265, 266, 267 y 268 están acopladas a las entradas 765, 766, 767 y 768, respectivamente. El condensador 905 está acoplado entre la unión de la salida 265 y la entrada 765 y la unión de la salida 266 y la entrada 766. El condensador 910 está acoplado entre la unión de la salida 266 y la entrada 766 y la conexión de neutro. El condensador 915 está acoplado entre la conexión de neutro y la unión de la salida 267 y la entrada 767. El condensador 920 está acoplado entre la unión de la salida 267 y la entrada 767 y la unión de la salida 268 y la entrada 768. Además, la unión de la salida 265 y la entrada 765 está acoplada al bus 64. La unión de la salida 266 y la entrada 766 está acoplada al bus 63. La unión de la salida 267 y la entrada 767 está acoplada al bus 60. La unión de la salida 268 y la entrada 768 está acoplada al bus 61.

Los condensadores 905, 910, 915 y 920 están configurados para almacenar energía durante un corto período de tiempo, por ejemplo, cuando la frecuencia de la señal de alimentación proporcionada a la entrada 202 difiere de la frecuencia de la señal proporcionada por la salida 702 y para reducir la corriente de rizado presente en los buses 60, 61, 62, 63 y/o 64. El módulo 10 de CA/CA está configurado para inducir, durante el funcionamiento, un potencial de 300 V a través de los condensadores 905 y 920 y un potencial de 150 V a través de los condensadores 910 y 915.

Haciendo referencia a las Figs. 1 y 11, un convertidor 1000 CC/CC (por ejemplo, un convertidor 41 CC/CC ejemplar) está acoplado a la batería 50 e incluye diodos 1005, 1015, 1025 y 1035, conmutadores 1010, 1020, 1030 y 1040 condensadores 1050, 1055, 1060, 1065 (C1a, C2a, C3a, C4a), condensadores 1070 y 1075 (C7, C8) e inductores 1080 y 1085 (L3, L4). Los conmutadores 1010, 1020, 1030 y 1040 (S13, S14, S15, S16) son preferiblemente IGBTs, aunque pueden usarse otros conmutadores. Preferiblemente, los diodos son diodos de recuperación inversa rápida o ultra rápida (por ejemplo, tal como pueden usarse en otras partes del sistema 5). Un cátodo 1006 del diodo 1005 está acoplado a un colector 1011 del conmutador 1010 y está acoplado además al nodo 1090. Un ánodo 1007 del diodo 1005, un emisor 1012 del conmutador 1010, un cátodo 1016 del diodo 1015 y un colector 1021 del conmutador 1020 están acoplados entre sí. Un ánodo 1017 del diodo 1015 y un emisor 1022 del conmutador 1020 están acoplados entre sí y están acoplados además al nodo 1091. Un terminal 1051 positivo del condensador 1050 está acoplado al nodo 1090 y un terminal 1052 negativo del condensador 1050 está acoplado al nodo 1091. El condensador 1070 y el inductor 1080 están acoplados entre la unión del ánodo 1007, el emisor 1012, el cátodo 1016 y el colector 1021 y el nodo 1092. Preferiblemente, el inductor 1080 está acoplado a la unión del ánodo 1007, el emisor 1012, el cátodo 1016 y el colector 1021 y el condensador 1070 está acoplado al nodo 1092. Un terminal 1056 positivo del condensador 1055 está acoplado al nodo 1091 y un terminal 1057 negativo del condensador 1055 está acoplado al nodo 1092. Un cátodo 1026 del diodo 1025 está acoplado a un colector 1031 del conmutador 1030 y está acoplado además al nodo 1093. Un ánodo 1027 del diodo 1025, un emisor 1032 del conmutador 1030, un cátodo 1036 del diodo 1035, un colector 1041 del conmutador 1040 están acoplados entre sí. Un ánodo 1037 del diodo 1035 y un emisor 1042 del conmutador 1040 están acoplados entre sí y están acoplados además al nodo 1094. Un terminal 1066 positivo del condensador 1065 está acoplado al nodo 1093 y un terminal 1067 negativo del condensador 1065 está acoplado al nodo 1094. El condensador 1075 y el inductor 1085 están acoplados entre la unión del ánodo 1027, el emisor 1032, el cátodo 1036 y el colector 1041 y el nodo 1092. Preferiblemente, el inductor 1085 está acoplado a la unión del ánodo 1027, el emisor 1032, el cátodo 1036 y el colector 1041 y el condensador 1075 está acoplado al nodo 1092. Un terminal 1061 positivo del condensador 1060 está acoplado al nodo 1092 y el terminal 1062 negativo del condensador 1060 está acoplado al nodo 1093. Los nodos 1090, 1091, 1092, 1093 y 1094 están configurados para ser acoplados a los buses 64, 63, 62, 61 y 60, respectivamente. Los conmutadores

están configurados para ser acoplados a un controlador 1115 PWM. Aunque en las figuras se han asignado diferentes números de referencia a los condensadores 1050, 1055, 1060 y 1065, los condensadores 1050, 1055, 1060 y 1065 pueden ser los condensadores 905, 910, 915 y 920, respectivamente.

5 El convertidor 1000 CC/CC está configurado para proporcionar energía a y recibir energía desde las baterías 1095 y 1100. Las baterías 1095 y 1100 están acopladas al convertidor 1000 CC/CC a través de conmutadores 1105 y 1110 de circuito. Un terminal 1096 positivo de la batería 1095 está acoplado a la unión del condensador 1070 y el inductor 1080 a través del conmutador 1105. Un terminal 1097 negativo de la batería 1095 está acoplado a un terminal 1101 positivo de la batería 1100. Un terminal 1102 negativo de la batería 1100 está acoplado a la unión del condensador 1075 y el inductor 1085 a través del conmutador 1110. Opcionalmente, el terminal 1097 negativo de la batería 1095 y el terminal 1101 positivo de la batería 1100 pueden estar acoplados al nodo 1092 para reducir la tensión máxima a través de los conmutadores de la batería. Preferiblemente, las baterías 1095 y 1100 están configuradas para recibir y proporcionar una tensión que está comprendida entre la tensión de pico del sistema 5 (por ejemplo, la tensión presente en el bus 64) y un tercio de la tensión de pico del sistema 5 (por ejemplo, la tensión presente en el bus 63). Por ejemplo, las baterías 1095 y 1100 pueden estar configuradas para proporcionar aproximadamente 288 V.

15 El convertidor 1000 CC/CC está configurado para funcionar en dos estados, un estado de carga y un estado de descarga. Durante el estado de carga, el convertidor 1000 CC/CC actúa como un convertidor reductor ("Buck") y recibe un primer conjunto de tensiones de CC desde los buses 60, 61, 63 y 64 y proporciona una tensión de un primer nivel a las baterías 1095 y 1100. Durante el estado de descarga, el convertidor 1000 CC/CC recibe energía de CC de un segundo nivel y proporciona un segundo conjunto de tensiones de CC a los buses 60, 61, 63 y 64, respectivamente. El primer conjunto de tensiones y el segundo conjunto de tensiones pueden ser sustancialmente iguales. La primera tensión de CC y la segunda tensión de CC pueden ser sustancialmente iguales. Durante el estado de carga, el convertidor 1000 CC/CC carga de manera activa las baterías 1095 y 1100, y/o proporciona una carga de mantenimiento (por ejemplo, para mantener una carga de una batería totalmente cargada).

25 Los conmutadores 1010, 1020, 1030 y 1040 están configurados para ser controlados por un controlador 1115 PWM. Preferiblemente, una configuración del controlador 1115 PWM es similar a la del controlador 275 PWM, aunque son posibles otras configuraciones. Preferiblemente, los conmutadores 1010 y 1040 son controlados para conmutar de una manera similar (por ejemplo, ambos de los conmutadores 1010 y 1040 son activados aproximadamente al mismo tiempo) y los conmutadores 1020 y 1030 son controlados para conmutar de una manera similar (por ejemplo, ambos de los conmutadores 1020 y 1030 son activados aproximadamente al mismo tiempo). Sin embargo, si la unión del terminal 1097 negativo y el terminal 1101 positivo está acoplada al nodo 1092, cada uno de los conmutadores 1010, 1020, 1030 y 1040 puede ser conmutado de manera independiente. El controlador 1115 PWM está configurado para variar la tensión de carga de la batería 1095 variando el ciclo de trabajo del conmutador 1010. De manera similar, el controlador 1115 PWM puede variar la tensión de carga de la batería 1110 variando el ciclo de trabajo del conmutador 1040.

35 Cuando el convertidor 1000 CC/CC está funcionando en el estado de carga, el controlador 1115 PWM causa que el convertidor 1000 CC/CC funcione como un convertidor reductor conmutando repetidamente los conmutadores 1010 y 1040, mientras mantiene los conmutadores 1020 y 1030 desactivados. Cuando los conmutadores 1010 y 1040 están activados, el convertidor 1000 CC/CC las tensiones presentes en los nodos 1090 y 1094 cargan los inductores 1080 y 1085. Cuando los conmutadores 1010 y 1040 están desactivados, las corrientes de choque (por ejemplo, causadas por la descarga de los inductores 1080 y 1085) circulan libremente a través de los diodos 1015 y 1025. El convertidor 1000 CC/CC está configurado para reducir las tensiones presentes en los nodos 1090 y 1094 variando el ciclo de trabajo al que se conmutan los conmutadores 1010 y 1040. Por ejemplo, a medida que el ciclo de trabajo de la señal de conmutación proporcionada por el controlador 1115 PWM aumenta hacia 1, la tensión proporcionada a las baterías 1095 y 1100 aumenta hacia la tensión presente en los nodos 1090 y 1094. Los condensadores 1070 y 1075 están configurados para reducir la corriente de rizado filtrando las componentes de alta frecuencia de la señal proporcionada a las baterías 1095 y 1110.

45 Cuando el convertidor 1000 CC/CC está funcionando en el estado de descarga, el controlador 1115 PWM causa que el convertidor 1000 CC/CC funcione como un convertidor reductor-elevador conmutando repetidamente los conmutadores 1020 y 1030, mientras mantiene los conmutadores 1010 y 1040 desactivados. Por ejemplo, el convertidor 1000 CC/CC proporciona una tensión aumentada desde las baterías 1095 y 1100 a los nodos 1090 y 1094 y proporciona una tensión reducida a los nodos 1091 y 1093. Cuando los conmutadores 1020 y 1030 están activados, las baterías de 1095 y 1100 causan que los inductores 1080 y 1085 almacenen energía. Cuando los conmutadores 1020 y 1030 están desactivados, la energía almacenada en los inductores 1080 y 1085 (y la energía proporcionada por las baterías 1095 y 1100) es descargada (por ejemplo, circulación libre) a través de los diodos 1005 y 1035, respectivamente. El convertidor 1000 CC/CC está configurado para aumentar la tensión proporcionada por las baterías 1095 y 1100 al nivel deseado variando el ciclo de trabajo al que se conmutan los conmutadores 1020 y 1030. Por ejemplo, a medida que el ciclo de trabajo de la señal de conmutación proporcionada por el controlador 1115 PWM aumenta hacia 1, la tensión proporcionada en los nodos 1090, 1091, 1093 y 1094 aumenta. El convertidor 1000 CC/CC está configurado también para reducir la tensión suministrada por las baterías de 1095 y 1100 y para proporcionar la tensión reducida a los nodos 1091 y 1093. El

convertidor 1000 CC/CC está configurado para proporcionar la tensión reducida a los nodos 1091 y 1093 de una manera similar a la descrita anteriormente. Los condensadores 1050, 1055, 1060 y 1065 están configurados para filtrar las componentes de alta frecuencia de las señales en los nodos 1090, 1091, 1093 y 1094.

5 Haciendo referencia a las Figs. 1 y 12, un ejemplo del equilibrador 42 de buses de CC, en este caso un equilibrador 1200 de buses de CC, incluye condensadores 1205, 1210, 1215, 1220, 1225 y 1230 (C1b, C2b, C3b, C4b, C9, C10), conmutadores 1235, 1245, 1255, 1265, 1275 y 1285 (S17, S18, S19, S20, S21, S22), diodos 1240, 1250, 1260, 1270, 1280 y 1290 e inductores 1295 (L5), 1300 (L6) y 1305. Un terminal 1206 positivo del condensador 1205, un colector 1236 del conmutador 1235 y un cátodo 1241 del diodo 1240 están acoplados a un nodo 1310. Un emisor 1237 del conmutador 1235, un ánodo 1242 del diodo 1240, un colector 1246 del conmutador 1245 y un cátodo 1251 del diodo 1250 están acoplados entre sí. Un emisor 1247 del conmutador 1245, un ánodo 1252 del diodo 1250, un colector 1256 del conmutador 1255 y un cátodo 1261 del diodo 1260 están acoplados entre sí y están acoplados además a un nodo 1311. Un emisor 1257 del conmutador 1255, un ánodo 1262 del diodo 1260, un colector 1266 del conmutador 1265 y un cátodo 1271 del diodo 1270 están acoplados entre sí. Un emisor 1267 del conmutador 1265, un ánodo 1272 del diodo 1270, un colector 1276 del conmutador 1275, un cátodo 1281 del diodo 1280 están acoplados entre sí y están acoplados además al nodo 1313. Un emisor 1277 del conmutador 1275, un ánodo 1282 del diodo 1280, un colector 1286 del conmutador 1285 y un cátodo 1291 del diodo 1290 están acoplados entre sí. Un emisor 1287 del conmutador 1285 y un ánodo 1292 del diodo 1290 están acoplados entre sí y están acoplados además al nodo 1314. Un terminal 1206 positivo del condensador 1205 está acoplado al nodo 1310 y un terminal 1207 negativo del condensador 1205 está acoplado al nodo 1311. Un terminal 1211 positivo del condensador 1210 está acoplado al nodo 1311 y un terminal 1212 negativo del condensador 1210 está acoplado al nodo 1312. Un terminal 1216 positivo del condensador 1215 está acoplado al nodo 1313. Un terminal 1221 del condensador 1220 está acoplado al nodo 1313 y un terminal 1222 negativo del condensador 1220 está acoplado al nodo 1314. El condensador 1225 y el inductor 1295 están acoplados en serie entre la unión de los diodos 1240 y 1250 y la unión de los diodos 1260 y 1270. El inductor 1300 y el condensador 1230 están acoplados entre la unión de los diodos 1260 y 1270 y la unión de los diodos 1280 y 1290. De esta manera, el condensador 1225, el inductor 1295, el inductor 1300 y el condensador 1230 están acoplados en serie entre la unión de los diodos 1240 y 1250 y los diodos 1280 y 1290. El inductor 1305 está acoplado entre el nodo 1312 y la unión de los diodos 1260 y 1270. El inductor 1305, sin embargo, es opcional. Por ejemplo, si los convertidores 11, 21 y 31 CA/CC están configurados para controlar una cantidad de energía obtenida desde la entrada de CA en los semiciclos positivos y negativos respectivos. El equilibrador 1200 de buses de CC puede estar configurado para reducir (y posiblemente eliminar) el deseo de controlar el consumo de energía en la entrada de CA usando los convertidores 11, 21 y 31 CA/CC (por ejemplo, con el fin de equilibrar los buses 60, 61, 62, 63 y 64) mediante la inclusión del inductor 1305. La combinación 1225 y el inductor 1295 definen un tanque 1320 resonante y la combinación del condensador 1230 y el inductor 1300 define un tanque 1325 resonante.

Un controlador 1315 PWM está acoplado a cada uno de los conmutadores 1235, 1245, 1255, 1265, 1275 y 1285. Preferiblemente, el controlador 1315 PWM está configurado de una manera similar al controlador 275 PWM. Por ejemplo, el controlador 1315 PWM incluye múltiples comparadores, cada uno de los cuales está configurado para recibir múltiples señales de control. Las señales de control se seleccionan de manera que se obtenga la secuencia de conmutación deseada (por ejemplo, tal como se describe en la presente memoria en el equilibrador 42 de buses de CC). El controlador 1315 PWM está configurado para proporcionar señales de control que preferiblemente tienen una frecuencia y un ciclo de trabajo constantes, aunque son posibles otras configuraciones. Las señales de control proporcionadas a los conmutadores 1235, 1255 y 1275 son, preferiblemente, sustancialmente idénticas y las señales de control proporcionadas a los conmutadores 1245, 1265 y 1285 son preferiblemente sustancialmente idénticas. Las señales de control tienen preferiblemente un ciclo de trabajo de aproximadamente el 50%, aunque son posibles otros ciclos de trabajo. Con referencia también a la Fig. 13, el controlador 1315 PWM está configurado para insertar un "tiempo muerto" entre la conmutación de los conmutadores 1235, 1245, 1255, 1265, 1275 y 1285 de manera que los conmutadores que están siendo desactivados estén inactivados de manera sustancialmente completa antes de que otros conmutadores sean activados. El uso de un tiempo muerto, sin embargo, es opcional. El controlador 1315 PWM está configurado para proporcionar una señal de control de manera que los conmutadores 1235, 1245, 1255, 1265, 1275 y 1285 conmuten a una frecuencia aproximadamente igual a una frecuencia de resonancia de los tanques 1320 y 1325 resonantes, aunque son posibles otras frecuencias.

El equilibrador 1200 de buses de CC está configurado para equilibrar y mantener las tensiones deseadas en los buses 60, 61, 62, 63 y 64 pasando la energía almacenada en los condensadores 1205, 1210, 1215 y 1220 a los buses 64, 63, 61 y 60, según sea apropiado. Los conmutadores 1235, 1245, 1255, 1265, 1275 y 1285 están configurados para ser conmutados por el controlador 1315 PWM. El controlador 1315 PWM está configurado para controlar los conmutadores para pasar a los estados primero y segundo. En el primer estado, los conmutadores 1235, 1255 y 1275 están activados mientras que los conmutadores 1245, 1265 y 1285 están desactivados. En el segundo estado, los conmutadores 1235, 1255 y 1265 están desactivados mientras que los conmutadores 1245, 1265 y 1285 están activados. Debido a estos estados de los conmutadores, las tensiones dentro del equilibrador 1200 de buses de CC se alternan tal como se muestra en la Tabla 1.

<u>Unión de</u>	<u>Tensión primer estado</u>	<u>Tensión segundo estado</u>
Conmutadores 1235 y 1245	Tensión en el nodo 1310	Tensión en el nodo 1311
Conmutadores 1255 y 1265	Tensión en el nodo 1311	Tensión en el nodo 1313
Conmutadores 1275 y 1285	Tensión en el nodo 1313	Tensión en el nodo 1314

De esta manera, cuando los nodos 1310, 1311, 1313 y 1314 proporcionan 450 V, 150 V, -150 V y -450 V, respectivamente, entonces cada una de las uniones descritas en la Tabla 1 alterna aproximadamente 300 V (pico a pico). El resto de la descripción del equilibrador 1200 de buses de CC supone que los buses 64, 63, 61 y 60 proporcionan 450 V, 150 V, -150 V y -450 V, respectivamente (con relación al neutro).

5 Durante el funcionamiento equilibrado del equilibrador 1200 de buses de CC (por ejemplo, las tensiones en los nodos 1310, 1311, 1312, 1313 y 1314 están en los niveles deseados), la señal presente en cada una de las uniones descritas en la Tabla 1 será sustancialmente cuadrada. Además, durante la operación de equilibrado, las oscilaciones de tensión en las uniones descritas en la Tabla 1 estarán sustancialmente en fase entre sí y tendrán sustancialmente la misma amplitud. Las diferencias de tensión a través de los tanques 1320 y 1325 resonantes son, preferiblemente, aproximadamente
 10 iguales a un tercio de la tensión de CC total entre el bus 60 y 64 (por ejemplo, 300 V). Los condensadores 1225 y 1230 están configurados para cargarse al potencial a través de los circuitos 1320 y 1325 resonantes, respectivamente (por ejemplo, 300 V).

El equilibrador 1200 de buses de CC está configurado para compensar las tensiones desequilibradas en los nodos 1310,
 15 1311, 1312, 1313 y 1314 usando la energía almacenada en los tanques 1320 y 1325 resonantes. Durante un funcionamiento desequilibrado del equilibrador 1200 de buses de CC, la amplitud de las tensiones de onda cuadrada inducidas a través de las uniones descritas en la Tabla 1 puede ser no homogénea, lo que puede causar la aparición de una tensión de onda cuadrada a través de uno o más de los tanques 1320 y 1325 resonantes. Cada uno de los tanques 1320 y 1325 resonantes está configurado de manera que, según aparezca una tensión a través de los tanques 1320 y 1325 resonantes, una corriente fluye a través de cada uno de los tanques 1320 y 1325 resonantes. Los tanques 1320 y
 20 1325 resonantes están configurados para tener una impedancia baja (por ejemplo, cercana a cero) de manera que incluso un pequeño potencial de tensión a través de cada uno de los tanques 1320 y/o 1325 resonantes pueda causar un gran flujo de corriente a través de los tanques 1320 y/o 1325 resonantes. La impedancia de los tanques 1320 y 1325 resonantes puede ser una función de la frecuencia a la que se conmutan los conmutadores 1235, 1245, 1255, 1265, 1275 y 1285 (o viceversa). Por ejemplo, a medida que la frecuencia de conmutación se aproxima a la frecuencia de resonancia
 25 de los tanques 1320 y 1325 resonantes, la impedancia de los tanques 1320 y 1325 resonantes se aproxima a cero. Los tanques 1320 y 1325 resonantes están configurados para causar un flujo de corriente que pueda transferir la energía desde los condensadores 1205, 1210, 1215 y/o 1220 que tienen una tensión o unas tensiones más altas que los niveles de tensión preferidos de 300 V y 150 V, respectivamente, hacia los condensadores que tienen una tensión o unas tensiones más bajas que los niveles de tensión preferidos. Los conmutadores (por ejemplo, los conmutadores 1235, 1245, 1255,
 30 1265, 1275 y 1285) que están acoplados a través del condensador (por ejemplo, de los condensadores 1205, 1210, 1215 y/o 1220) que tienen la tensión más alta están configurados para actuar como un generador y crear una corriente de CA a través de los tanques 1320 y/o 1325 resonantes para establecer un flujo de energía real hacia el condensador (por ejemplo, de los condensadores 1205, 1210, 1215 y/o 1220) que tienen la tensión más baja. El equilibrador 1200 de buses de CC está configurado de manera que el flujo de corriente a través de los tanques 1320 y 1325 resonantes se inicie
 35 preferiblemente cuando la diferencia de tensión entre los condensadores desequilibrados exceda una caída de tensión directa de los diodos 1240, 1250, 1260, 1270, 1280 y 1290 respectivos (por ejemplo, unos pocos voltios). Preferiblemente, a medida que la frecuencia a la que conmutan los conmutadores 1235, 1245, 1255, 1265, 1275 y 1285 se aproxima a la frecuencia de resonancia de los tanques 1225 y 1230 resonantes, los cruces por cero de la corriente inducida se producen más cerca del tiempo muerto entre los estados primero y segundo, lo que puede reducir las pérdidas de conmutación.

40 Durante el funcionamiento, con referencia a la Fig. 14, con referencia adicional a las Figs. 1-13, un procedimiento 1400 para proporcionar una alimentación ininterrumpida a una carga usando el SAI 5 incluye las etapas mostradas. El procedimiento 1400, sin embargo, es solamente ejemplar y no limitativo. El procedimiento 1400 puede ser alterado, por ejemplo, añadiendo, eliminando, alterando o reorganizando etapas. Además, aunque las partes del procedimiento 1400 se muestran como etapas sucesivas, ciertas etapas pueden ocurrir en paralelo (por ejemplo, las etapas 1435 y 1440).

45 En la etapa 1405, el SAI 5 está acoplado a una fuente de alimentación trifásica. Los módulos 10, 20 y 30 CA/CA están acoplados a las fases X, Y y Z de la alimentación de energía trifásica, respectivamente. Los módulos 10, 20 y 30 CA/CA están acoplados además a una conexión de neutro de la alimentación de energía trifásica. La alimentación de energía proporciona energía trifásica de CA al SAI 5.

50 En la etapa 1410, el SAI 5 está acoplado a una o más cargas. El SAI 5 puede estar acoplado a una carga trifásica (por ejemplo, el módulo 10 CA/CA proporciona la fase X, el módulo 20 CA/CA proporciona la fase Y y el módulo 30 CA/CA proporciona la fase Z). De manera alternativa, el SAI 5 puede estar acoplado a una o más cargas monofásicas. Por

ejemplo, cada uno de los módulos 10, 20 y 30 CA/CA puede proporcionar energía monofásica a una o más cargas.

En la etapa 1415, el SAI 5 determina si la alimentación de alimentación de CA es aceptable o no. Si el SAI 5 determina que la energía de CA de entrada es aceptable, entonces el procedimiento 1400 pasa a la etapa 1420. Si el SAI 5 determina que la energía de entrada es inaceptable, por ejemplo, se ha detenido y/o es inestable (por ejemplo, una condición de tensión baja), entonces el procedimiento 1400 pasa a la etapa 1430.

En la etapa 1420, los módulos 11, 21 y 31 CA/CC convierten la energía de CA de entrada a energía de CC, que es proporcionada a los buses 60, 61, 63 y 64. Los módulos 11, 21 y 31 CA/CC se inicializan (por ejemplo, los conmutadores son conmutados al estado correspondiente a una señal de alimentación proporcionada) tras el arranque, o tras la provisión de energía adecuada al SAI 5. Aunque la descripción siguiente se centra en el módulo 11 CA/CC, el funcionamiento de los módulos 21 y 31 CA/CC puede ser similar. El módulo 11 CA/CC procesa la energía de CA de entrada usando un filtro de paso bajo y un convertidor elevador combinados (es decir, la combinación del condensador 280 y el inductor 285). El controlador 275 PWM conmuta los conmutadores 210, 220, 230, 240, 250 y 260 como una función de la señal de alimentación recibida por el módulo 11 CA/CC. Por ejemplo, el controlador 275 PWM causa que los conmutadores 210, 220, 230, 240, 250 y 260 funcionen en uno de tres estados. En el primer estado, el controlador 275 PWM conmuta los conmutadores 210 y 220 de una manera mutuamente excluyente, mantiene los conmutadores 230 y 250 en una posición activada y mantiene los conmutadores 240 y 260 en una posición desactivada. En el segundo estado, el controlador 275 PWM mantiene los conmutadores 210 y 260 en una posición desactivada, mantiene los conmutadores 220 y 250 en una posición activada y conmuta los conmutadores 230 y 240 de una manera mutuamente excluyente. En el tercer estado, el controlador PWM mantiene los conmutadores 210 y 230 en una posición desactivada, mantiene los conmutadores 220 y 240 en una posición activada y conmuta los conmutadores 250 y 260 de una manera mutuamente excluyente. El controlador 275 PWM causa que el convertidor 11 CA/CC funcione en el primer estado cuando la entrada de CA proporcionada al módulo 11 CA/CC es mayor que un tercio de la tensión proporcionada en la salida 265. El controlador 275 PWM causa que el convertidor 11 CA/CC funcione en el segundo estado cuando la entrada de CA proporcionada al módulo 11 CA/CC está comprendida entre un tercio de la tensión proporcionada en la salida 265 y un tercio de la tensión proporcionada en la salida 268. El controlador 275 PWM causa que el convertidor 11 CA/CC funcione en el tercer estado cuando la entrada de CA proporcionada al módulo 11 CA/CC está por debajo de un tercio de la tensión proporcionada en la salida 268.

En la etapa 1425, el convertidor 1000 CC/CC carga la batería 50. El convertidor 1000 CC/CC recibe un primer conjunto de tensiones de CC desde los buses 60, 61, 63 y 64. Cuando el SAI 5 está recibiendo la energía adecuada desde la alimentación de energía, el convertidor 1000 CC/CC convierte el primer conjunto de tensiones a una primera tensión de CC que es proporcionada a la batería 50. La tensión proporcionada a la batería 50 está comprendida entre la tensión presente en el bus 64 y un tercio de la tensión proporcionada en el bus 64.

El controlador 1115 PWM causa que el convertidor 1000 CC/CC actúe como un convertidor reductor que convierte el primer conjunto de tensiones a la primera tensión. El controlador 1115 PWM causa que los conmutadores 1020 y 1030 se mantengan en una posición desactivada, mientras que los conmutadores 1010 y 1040 son conmutados de manera sustancialmente simultánea. Cada vez que se activan los conmutadores 1010 y 1040, los inductores 1080 y 1085 se cargan y las baterías 1095 y 1100 reciben una tensión que es sustancialmente igual a la primera tensión. Cada vez que se desactivan los conmutadores 1010 y 1040, los inductores 1080 y 1085 se descargan (por ejemplo, corriente libre a través de los diodos 1015 y 1025) y proporcionan sustancialmente la primera tensión a las baterías 1095 y 1100. Preferiblemente, los conmutadores 1010 y 1040 son conmutados a un estado activado antes de que los inductores 1080 y 1085 de descarguen por completo.

En la etapa 1430, el controlador 1115 PWM causa que el convertidor 1000 CC/CC actúe como un convertidor elevador convirtiendo la segunda tensión al segundo conjunto de tensiones. El controlador 1115 PWM causa que los conmutadores 1020 y 1030 se activen y desactiven de manera sustancialmente simultánea mientras que los conmutadores 1010 y 1040 se mantienen en una posición desactivada. Cada vez que se activan los conmutadores 1020 y 1030, los inductores 1080 y 1085 se cargan usando energía desde las baterías 1095 y 1100. Cada vez que se desactivan los conmutadores 1020 y 1030, los inductores 1080 y 1085 se descargan y se produce una corriente libre a través de los diodos 1005 y 1035 (por ejemplo, causada por la energía almacenada en las baterías 1095 y 1100 y los inductores 1080 y 1085). Preferiblemente, los conmutadores 1020 y 1030 son conmutados a un estado activado antes de que los inductores 1080 y 1085 de descarguen por completo. Los condensadores 1070 y 1075 pueden ser usados para reducir la corriente de rizado en la energía proporcionada a los nodos 1090, 1091, 1093 y 1094. Además, los conmutadores del SAI se establecen a un estado para recibir energía de CC desde la batería 50. Por ejemplo, tras detectar que la alimentación de energía de CA no está disponible y/o es inestable, la conexión 13 se desacopla de los buses 64, 63, 61 y 60 mediante la configuración de todos los conmutadores en los módulos 11 CA/CC a una posición desactivada. De manera similar, el funcionamiento de los convertidores 21 y 31 CA/CC es similar.

En la etapa 1435, el equilibrador 1200 de buses de CC equilibra las tensiones presentes en los buses 60, 61, 63, 64. Aunque la etapa 1435 se muestra como una etapa situada entre otras etapas, el equilibrador 1200 de buses de CC

equilibra las tensiones presentes en los buses 60, 61, 63 y 64 en paralelo con otras etapas durante el funcionamiento del SAI 5. El equilibrador 1200 de buses de CC equilibra y mantiene las tensiones deseadas en los buses 60, 61, 62, 63 y 64 transfiriendo la energía almacenada en los condensadores 1205, 1210, 1215 y 1220 a los buses 64, 63, 61 y 60, según sea apropiado. Los conmutadores 1235, 1245, 1255, 1265, 1275 y 1285 son conmutados por el controlador 1315 PWM. El controlador 1315 PWM conmuta los conmutadores 1235, 1245, 1255, 1265, 1275 y 1285 en los estados primero y segundo. En el primer estado, los conmutadores 1235, 1255 y 1275 están activados mientras que los conmutadores 1245, 1265 y 1285 están desactivados. En el segundo estado, los conmutadores 1235, 1255, 1265 están desactivados mientras que los conmutadores 1245, 1265 y 1285 están activados. Las tensiones de CC dentro del equilibrador 1200 de buses de CC se alternan tal como se muestra en la Tabla 1 (mostrada anteriormente). De esta manera, cuando los nodos 1310, 1311, 1313 y 1314 proporcionan 450 V, 150 V, -150 V y -450 V, respectivamente, cada una de las uniones descritas en la Tabla 1 alterna aproximadamente 300 V (pico a pico). El resto de la descripción de la etapa 1435 del equilibrador de buses de CC supone que los buses 64, 63, 61 y 60 proporcionan 450 V, 150 V, -150 V y -450 V, respectivamente (con relación al neutro).

Durante el funcionamiento equilibrado del equilibrador 1200 de buses de CC (por ejemplo, las tensiones en los nodos 1310, 1311, 1312, 1313 y 1314 se encuentran en los niveles deseados), la señal presente en cada una de las uniones descritas en la Tabla 1 será sustancialmente cuadrada. De esta manera, durante el funcionamiento equilibrado, las oscilaciones de tensión en las uniones descritas en la Tabla 1 estarán sustancialmente en fase y tendrán sustancialmente la misma amplitud. Las diferencias de tensión a través de los tanques 1320 y 1325 resonantes son aproximadamente iguales a un tercio de la tensión CC total entre el bus 60 y el bus (por ejemplo, 300 V). Los condensadores 1225 y 1230 se cargan al potencial aplicado a través de los circuitos 1320 y 1325 resonantes, respectivamente (por ejemplo, 300 V).

El equilibrador 1200 de buses de CC compensa las tensiones desequilibradas en los nodos 1310, 1311, 1312, 1313 y 1314 usando la energía almacenada en los tanques 1320 y 1325 resonantes. Durante el funcionamiento desequilibrado del equilibrador 1200 de buses de CC, la amplitud de las tensiones de onda cuadrada inducidas a través de las uniones descritas en la Tabla 1 puede ser desigual, lo que puede causar la aparición de una tensión de onda cuadrada a través de uno o más de los tanques 1320 y 1325 resonantes. Cuando aparece una tensión a través de cada uno de los tanques 1320 y/o 1325 resonantes, una corriente fluye a través de cada uno de los tanques 1320 y/o 1325 resonantes, respectivamente. La cantidad de corriente que fluye en los tanques 1320 y/o 1325 resonantes puede ser aumentada reduciendo la impedancia de los tanques 1320 y 1325 resonantes (por ejemplo, una impedancia que se aproxima a cero). El controlador 1315 PWM conmuta los conmutadores 1235, 1245, 1255, 1265, 1275 y 1285 a una frecuencia de manera que se reduce la impedancia de los circuitos 1320 y 1325 resonantes. Por ejemplo, a medida que la frecuencia de conmutación se aproxima a la frecuencia de resonancia de los tanques 1320 y 1325 resonantes, la impedancia de los tanques 1320 y 1325 resonantes se aproxima a cero. Cuando hay una tensión presente a través de los tanques 1320 y 1325 resonantes, una corriente fluye desde el condensador que tiene la tensión más alta (por ejemplo, de los condensadores 1205, 1210, 1215 y 1220) hacia el condensador que tiene la tensión más baja (por ejemplo, de los condensadores 1205, 1210, 1215 y 1220). Los conmutadores (por ejemplo, los conmutadores 1235, 1245, 1255, 1265, 1275 y 1285) que están acoplados a través del condensador que tiene la tensión más alta (por ejemplo, los condensadores 1205, 1210, 1215 y 1220) actúan como un generador y crean una corriente de CA a través de los tanques 1320 y/o 1325 resonantes para establecer un flujo de energía real hacia el condensador (por ejemplo, los condensadores 1205, 1210, 1215 y 1220) que tienen la tensión más baja. El flujo de corriente a través de los tanques 1320 y 1325 resonantes se inicia preferiblemente cuando la diferencia de tensión entre los condensadores desequilibrados excede una caída de tensión directa de los diodos 1240, 1250, 1260, 1270, 1280 y 1290 respectivos (por ejemplo, unos pocos voltios).

Una forma de onda de corriente inducida que fluye en los tanques 1225 y 1230 resonantes (por ejemplo, causada por el funcionamiento desequilibrado del equilibrador 1200 de buses de CC) es similar a una onda sinusoidal. Preferiblemente, a media que la frecuencia a la que se conmutan los conmutadores 1235, 1245, 1255, 1265, 1275 y 1285 se aproxima a la frecuencia de resonancia de los tanques 1225 y 1230 resonantes, los cruces por cero de la corriente inducida ocurren más cerca del tiempo muerto entre los estados primero y segundo, lo que puede reducir las pérdidas de conmutación.

En la etapa 1440, la energía de CC en los buses 60, 61, 63 y 64 es convertida a energía de CA por los convertidores 12, 22 y 32 CC/CA. Cada uno de los convertidores 12, 22 y 32 CC/CA está configurado preferiblemente como el convertidor 700 CC/CA. El convertidor 700 CC/CA recibe energía desde el convertidor 200 CA/CC, o la batería 50 a través de los buses 60, 61, 63 y 64. El convertidor 700 CC/CA genera una salida de CA que tiene tensiones de pico aproximadamente iguales a las tensiones presentes en la entrada 765 y la entrada 768. Una fase de cada uno de los convertidores 12, 22 y 32 de CC/CA es variada preferiblemente de manera que se proporcione una energía trifásica estándar a una carga.

Con referencia también a las Figs. 9-10, el convertidor 700 CC/CA convierte la energía de CC a energía de CA conmutando los conmutadores 710, 720, 730, 740, 750 y 760 en una secuencia predeterminada. El controlador 775 PWM conmuta los conmutadores 710, 720, 730, 740, 750 y 760 en diferentes secuencias, dependiendo de la salida deseada en la salida 702. Cuando la salida deseada (en la salida 702) está comprendida entre las tensiones presentes en las entradas 765 y 766, el controlador 775 PWM activa y desactiva activamente los conmutadores 710 y 720, establece los conmutadores 730 y 750 a una posición activada y establece los conmutadores 740 y 760 a una posición desactivada.

5 Cuando la salida deseada (en la salida 702) está comprendida entre las tensiones presentes en las entradas 766 y 767 el controlador 775 PWM activa y desactiva activamente los conmutadores 730 y 740, establece los conmutadores 720 y 750 a una posición activada y establece los conmutadores 710 y 760 a una posición desactivada. Cuando la salida deseada (en la salida 702) está comprendida entre las tensiones presentes en las entradas 767 y 768, el controlador 775 PWM activa y desactiva activamente los conmutadores 750 y 760, establece los conmutadores 720 y 540 a una posición activada y establece los conmutadores 710 y 730 a una posición desactivada. En cada uno de los tres estados, el ciclo de trabajo de los conmutadores 710, 720, 730, 740, 750 y 760 que están siendo conmutados activamente se varía de manera que la salida del filtro 770 sea sustancialmente de CA (por ejemplo, tal como se muestra en las Figuras. 9-10). El filtro 770 (por ejemplo, un filtro LC de paso bajo) filtra la señal proporcionada en el nodo 780 a una señal sustancialmente de CA que es proporcionada a la salida 702.

10 En la etapa 1445 se proporciona energía de CA a una carga. La configuración de la energía proporcionada a la carga puede variar dependiendo del funcionamiento deseado. Por ejemplo, cada uno de los convertidores 12, 22 y 32 CC/CA puede proporcionar una fase de una conexión de energía trifásica, la totalidad o una parte de los convertidores 12, 22 y 32 CC/CA pueden proporcionar energía que tiene una única fase, cada uno de los convertidores 12, 22 y 32 CC/CA puede proporcionar energía monofásica a las cargas individuales, etc.

15 Por ejemplo, debido a la naturaleza del software, las funciones descritas anteriormente pueden ser implementadas usando software, hardware, firmware, cableado o sus combinaciones. Las características que implementan las funciones pueden estar también ubicadas físicamente en diversas posiciones, incluyendo distribuidas de manera que partes de las funciones sean implementadas en diferentes ubicaciones físicas. Aunque se muestran tres convertidores CC/CA (por ejemplo, convertidores 12, 22, 32 y 42 CC/CA), puede usarse un único convertidor CC/CA si se desea una alimentación monofásica. Los convertidores CA/CC y CC/CA pueden dividirse en múltiples circuitos paralelos y pueden ser conmutadores intercalados, por ejemplo, para reducir la corriente de rizado en los buses. Las tensiones presentes en los buses 61, 62, 64 y 65 pueden ser diferentes a las descritas en la presente memoria. Una batería puede estar acoplada directamente a los buses 61, 63 y/o 64, sin el uso de un convertidor CC/CC. La simetría del bus de CC puede ser controlada por un esquema de control modificado del convertidor CA/CC.

20 Aunque la descripción en la presente memoria describe numerosos condensadores separados, dos o más condensadores pueden combinarse en un único condensador. Por ejemplo, la Fig. 10 muestra el condensador 905 acoplado entre el bus 64 y el bus 63, la Fig. 11 muestra el condensador 1050 acoplado entre el bus 64 y el bus 63 y la Fig. 12 muestra el condensador 1205 acoplado entre el bus 64 y el bus 63. Los condensadores 905, 1050 y 1205 pueden ser un único condensador compartido.

25 Haciendo referencia a la Fig. 2, aunque el convertidor 200 CA/CC está configurado como un inversor de cuatro cuadrantes que proporciona tanto tensiones de CC positivas y negativas, un convertidor CA/CC puede estar dispuesto en otras configuraciones. Por ejemplo, un convertidor CA/CC puede estar configurado como un rectificador de 2 cuadrantes que proporciona solo tensiones de CC positivas durante los semiciclos positivos de la tensión de línea de entrada (y tensiones de CC solamente negativas durante los semiciclos negativos de la tensión de la línea de entrada) mediante la sustitución de los conmutadores 210 y 260 con diodos.

30 Aunque la presente descripción usa dispositivos integrados conjuntamente (por ejemplo, un conmutador y un diodo acoplados en paralelo), pueden usarse otros circuitos. Por ejemplo, puede usarse un circuito configurado para permitir el flujo de una corriente en una primera dirección sustancialmente no inhibida, mientras controla selectivamente el flujo de corriente en una dirección opuesta a la primera dirección.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de alimentación ininterrumpida (SAI) que comprende:

una pluralidad de buses (60, 61, 62, 63, 64) eléctricos;

5 un primer convertidor (11) CA/CC acoplado a los buses eléctricos y configurado para recibir una primera tensión de CA de entrada y para convertir la primera tensión de CA de entrada a una pluralidad de tensiones de CC, en el que el primer convertidor (11) CA/CC está configurado para transmitir la pluralidad de tensiones de CC a la pluralidad de buses eléctricos;

10 un segundo convertidor (21) CA/CC acoplado a los buses eléctricos y configurado para recibir una segunda tensión de CA de entrada y para convertir la segunda tensión de CA de entrada a la pluralidad de tensiones de CC, en el que el segundo convertidor (21) CA/CC está configurado para transmitir la pluralidad de tensiones de CC a la pluralidad de buses eléctricos;

15 un tercer convertidor (31) CA/CC acoplado a los buses eléctricos y configurado para recibir una tercera tensión de CA de entrada y para convertir la tercera tensión de CA de entrada a la pluralidad de tensiones de CC, en el que el tercer convertidor (31) CA/CC está configurado para transmitir la pluralidad de tensiones de CC a la pluralidad de buses eléctricos;

una fuente (50) de energía de batería configurada para proporcionar una tensión de CC de batería;

un convertidor (41) CC/CC acoplado a la pluralidad de buses (60, 61, 62, 63, 64) eléctricos y la fuente (50) de energía de batería y configurado para:

convertir la pluralidad de tensiones de CC a la tensión de CC de batería; y

20 convertir la tensión de CC de batería a la pluralidad de tensiones de CC;

un primer convertidor (12) CC/CA acoplado a la pluralidad de buses (60, 61, 62, 63, 64) eléctricos y configurado para recibir la pluralidad de tensiones de CC y para convertir la pluralidad de tensiones de CC a una primera tensión de CA de salida; y

25 un equilibrador (42) de buses de CC que incluye una pluralidad de tanques (1320, 1325) resonantes y configurado para mantener las tensiones presentes en los buses eléctricos en los niveles deseados, en el que el equilibrador (42) de buses de CC está configurado para transferir energía entre la pluralidad de buses (60, 61, 62, 63, 64) eléctricos usando la pluralidad de tanques resonantes;

30 en el que los convertidores CA/CC primero, segundo y tercero están configurados de manera que los convertidores CA/CC primero, segundo y tercero transmitan la pluralidad de tensiones de CC a la pluralidad de buses eléctricos cuando las tensiones de CA primera, segunda y tercera de entrada están comprendidas en un umbral predeterminado;

en el que el convertidor CC/CC está configurado de manera que el convertidor CC/CC transmita la pluralidad de tensiones de CC a la pluralidad de los buses eléctricos cuando las tensiones de CA de entrada primera, segunda y tercera no están comprendidas en el umbral predeterminado; y

35 en el que el equilibrador (42) de buses de CC comprende:

una pluralidad de nodos (1310, 1311, 1313, 1314) configurados para recibir tensiones respectivas desde cada uno de entre la pluralidad de buses eléctricos,

40 una pluralidad de uniones, cada una de las cuales puede ser conectada de manera alternativa a cada nodo adyacente primero y segundo respectivo de entre la pluralidad de nodos usando una disposición de conmutadores y diodos respectivos en anti-paralelo con los conmutadores,

en el que cada uno de entre la pluralidad de tanques resonantes está conectado entre cada una de las uniones primera y segunda respectivas.

2. SAI según la reivindicación 1 que comprende además:

45 un segundo convertidor (22) CC/CA acoplado a la pluralidad de buses (60, 61, 62, 63, 64) eléctricos y configurado para recibir la pluralidad de tensiones de CC y para convertir la pluralidad de tensiones de CC a una segunda tensión de CA de salida; y

un tercer convertidor (32) CC/CA acoplado a la pluralidad de buses eléctricos y configurado para recibir la pluralidad de tensiones de CC y para convertir la pluralidad de tensiones de CC a una tercera tensión de CA de salida.

- 5 3. SAI según la reivindicación 2, en el que los convertidores CC/CA primero, segundo y tercero están configurados para transferir energía trifásica a una carga.
4. SAI según la reivindicación 1, en el que:
 el convertidor (41) CC/CC está configurado para convertir la pluralidad de tensiones de CC a la tensión de CC de batería cuando las tensiones de CA de entrada primera, segunda y tercera están comprendidas en un intervalo predeterminado; y
- 10 el convertidor (41) CC/CC está configurado para convertir la tensión de CC de batería a la pluralidad de tensiones de CC cuando las tensiones de CA de entrada primera, segunda y tercera no están comprendidas en el intervalo predeterminado.
5. SAI según la reivindicación 1, en el que
 el primer convertidor (11) CA/CC está acoplado a una primera fase de una fuente de energía trifásica;
- 15 el segundo convertidor (21) CA/CC está acoplado a una segunda fase de una fuente de energía trifásica; y
 el tercer convertidor (31) CA/CC está acoplado a una tercera fase de una fuente de energía trifásica.
6. Un procedimiento para hacer funcionar un sistema de alimentación ininterrumpida (SAI), en el que el SAI incluye una pluralidad de buses (60, 61, 62, 63, 64) eléctricos, en el que el procedimiento comprende:
 convertir unas tensiones de CA de entrada primera, segunda y tercera a una pluralidad de tensiones de CC transmitidas a la pluralidad de buses eléctricos mediante el uso de convertidores (11, 21, 31) CA/CC respectivos cuando las tensiones de CA de entrada respectivas están comprendidas en un umbral predeterminado;
- 20 convertir la pluralidad de tensiones de CC a una tensión de CC de batería mediante el uso de un convertidor (41) CC/CC;
- 25 convertir la tensión de CC de batería a la pluralidad de tensiones de CC transmitidas a la pluralidad de buses eléctricos mediante el uso del convertidor CC/CC cuando las tensiones de CA de entrada respectivas no están comprendidas en el umbral predeterminado;
- convertir la pluralidad de tensiones de CC a una tensión de CA de salida mediante el uso de un primer convertidor (12) CC/CA;
- 30 transferir energía entre la pluralidad de buses eléctricos usando una pluralidad de tanques (1320, 1325) resonantes incluidos en un equilibrador de buses de CC para mantener las tensiones presentes en los buses eléctricos en los niveles deseados; y
 en el que el equilibrador de buses de CC comprende:
 una pluralidad de nodos (1310, 1311, 1313, 1314) configurados para recibir las tensiones respectivas desde cada uno de entre la pluralidad de buses eléctricos,
- 35 una pluralidad de uniones, cada una de las cuales puede ser conectada de manera alterna a cada uno de los nodos adyacentes primero y segundo respectivos de entre la pluralidad de nodos usando una disposición de conmutadores y diodos respectivos en anti-paralelo con los conmutadores,
 en el que cada uno de entre la pluralidad de tanques resonantes está conectado entre cada una de las uniones primera y segunda respectivas.
- 40 7. Procedimiento según la reivindicación 6, en el que el SAI incluye además unos convertidores (22, 32) CC/CA segundo y tercero, cada uno acoplado a los buses eléctricos, y
 en el que el procedimiento comprende además:
 convertir la pluralidad de tensiones de CC a una segunda tensión de CA de salida con un segundo convertidor CC/CA; y
- 45 convertir la pluralidad de tensiones de CC a una tercera tensión de CA de salida con un tercer convertidor CC/CA.

8. Procedimiento según la reivindicación 7, que comprende además proporcionar una energía trifásica a una carga con el primer convertidor CC/CA, el segundo convertidor CC/CA y el tercer convertidor CC/CA.

9. Procedimiento según la reivindicación 6, que comprende además:

acoplar el primer convertidor CA/CC a una primera fase de una fuente de energía trifásica;

5 acoplar el segundo convertidor CA/CC a una segunda fase de la fuente de energía trifásica; y

acoplar el tercer convertidor de CA/CC a una tercera fase de la fuente de alimentación trifásica.

10. Procedimiento según la reivindicación 6, que comprende además:

convertir la pluralidad de tensiones de CC a la tensión de CC de batería cuando las tensiones de CA de entrada respectivas están comprendidas en un intervalo predeterminado; y

10 convertir la tensión de CC de batería a la pluralidad de tensiones de CC cuando las tensiones de CA de entrada respectivas no están comprendidas en el intervalo predeterminado.

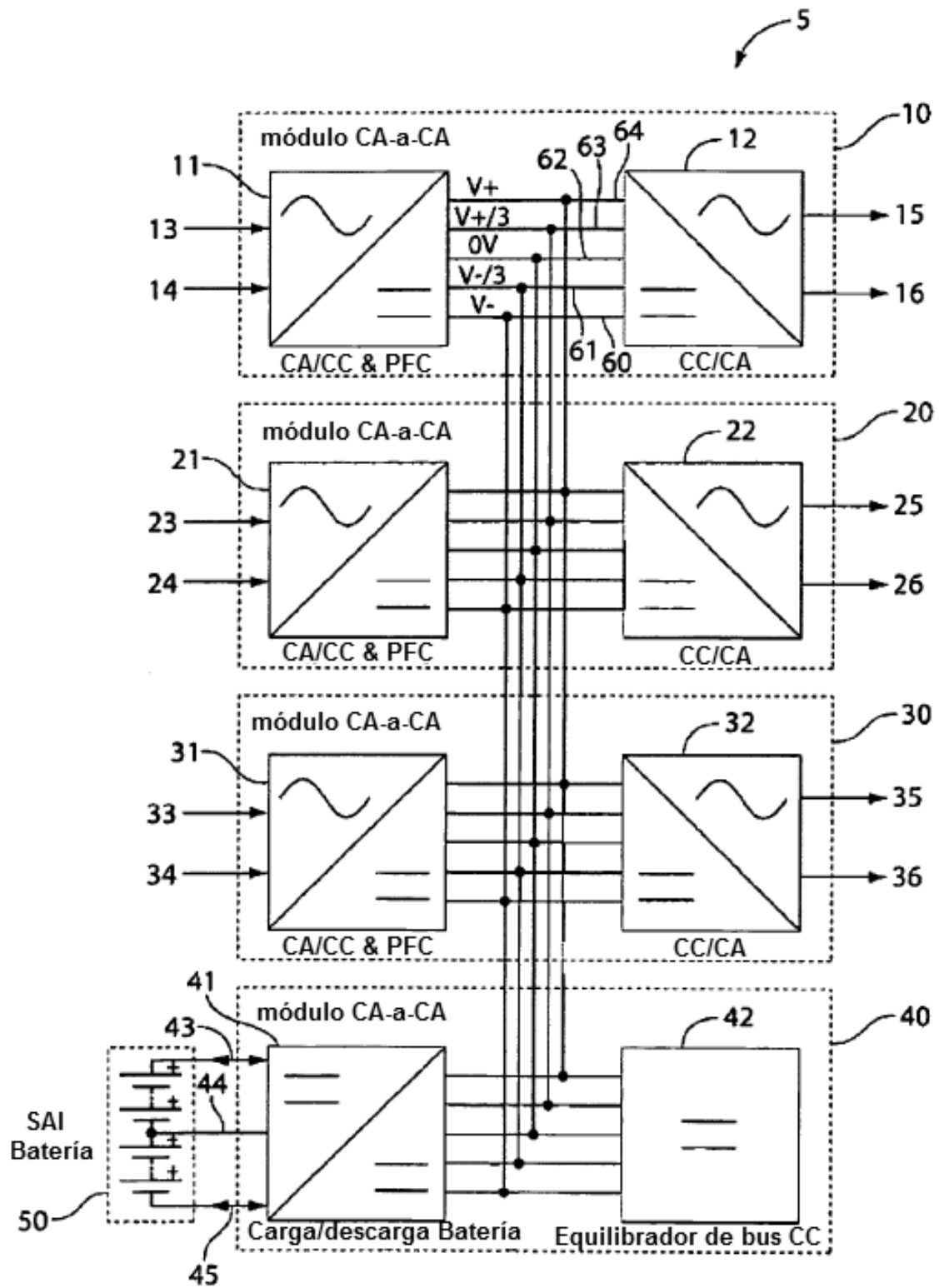


Fig. 1

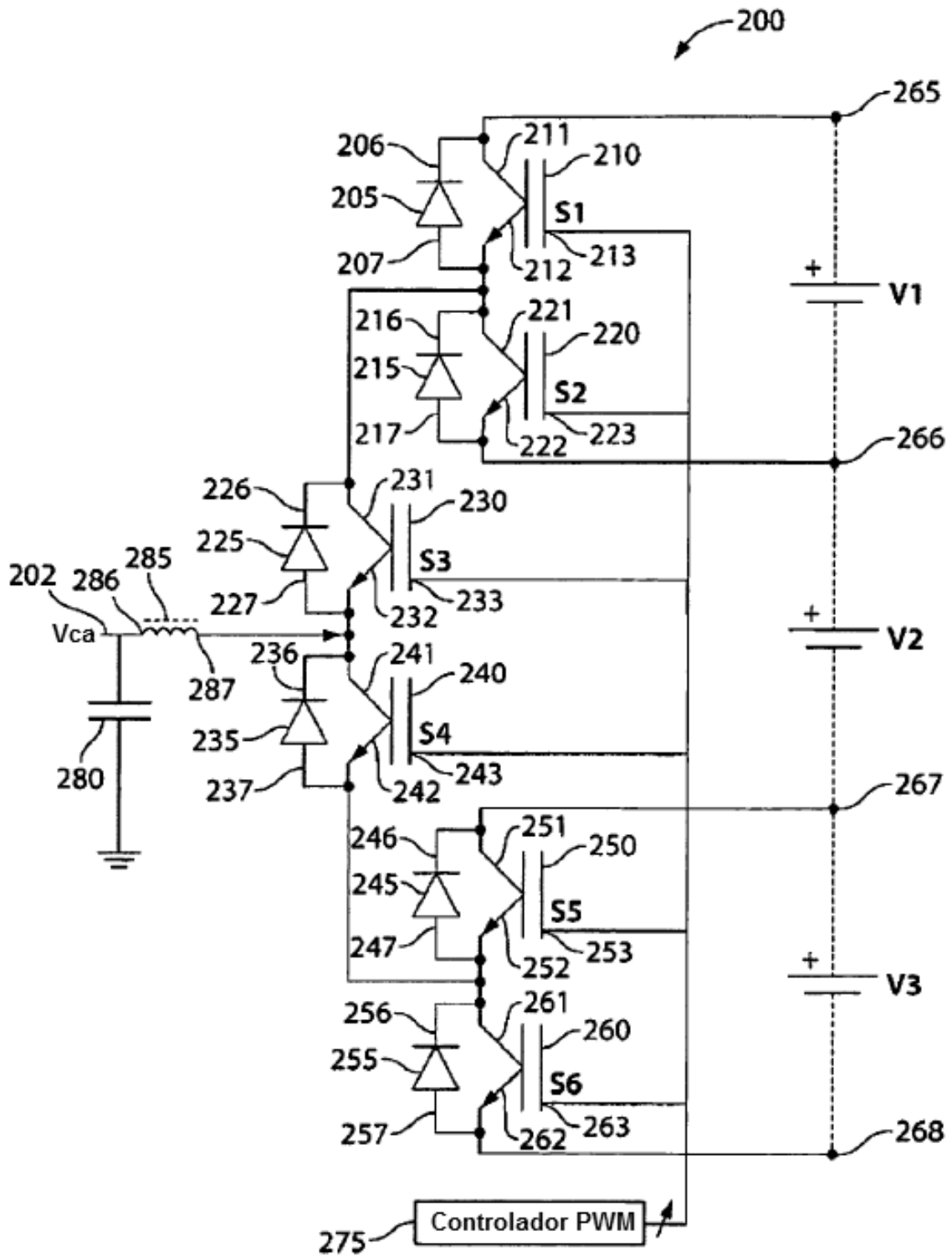


Fig. 2

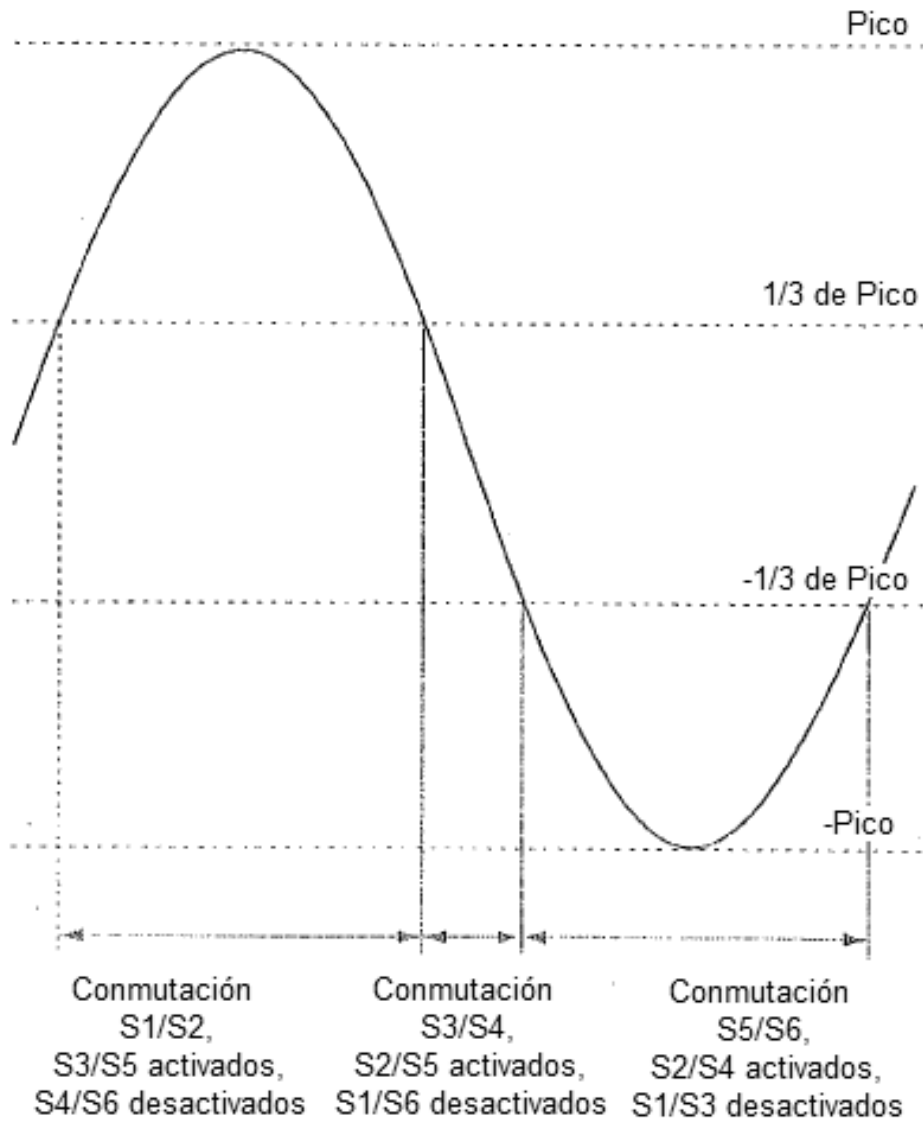


Fig. 3

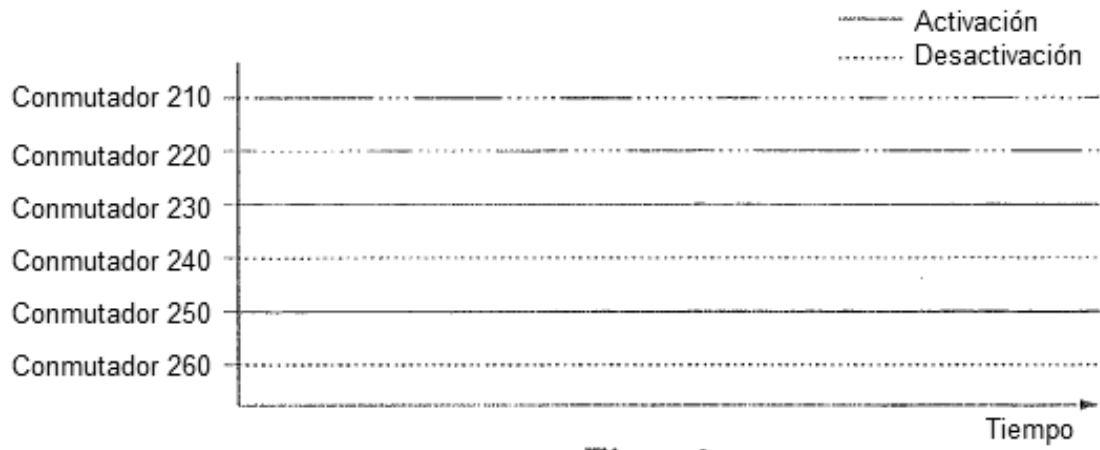


Fig. 4a
Estado 1

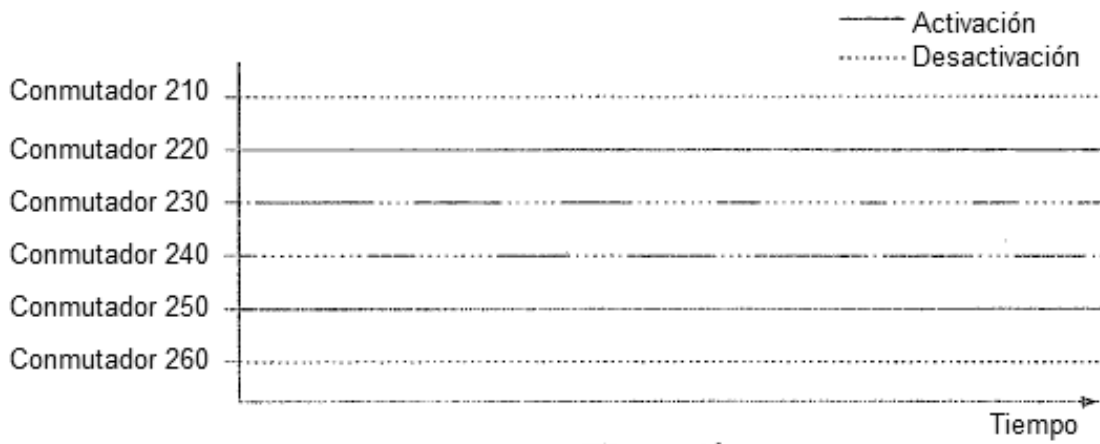


Fig. 4b
Estado 2



Fig. 4c
Estado 3

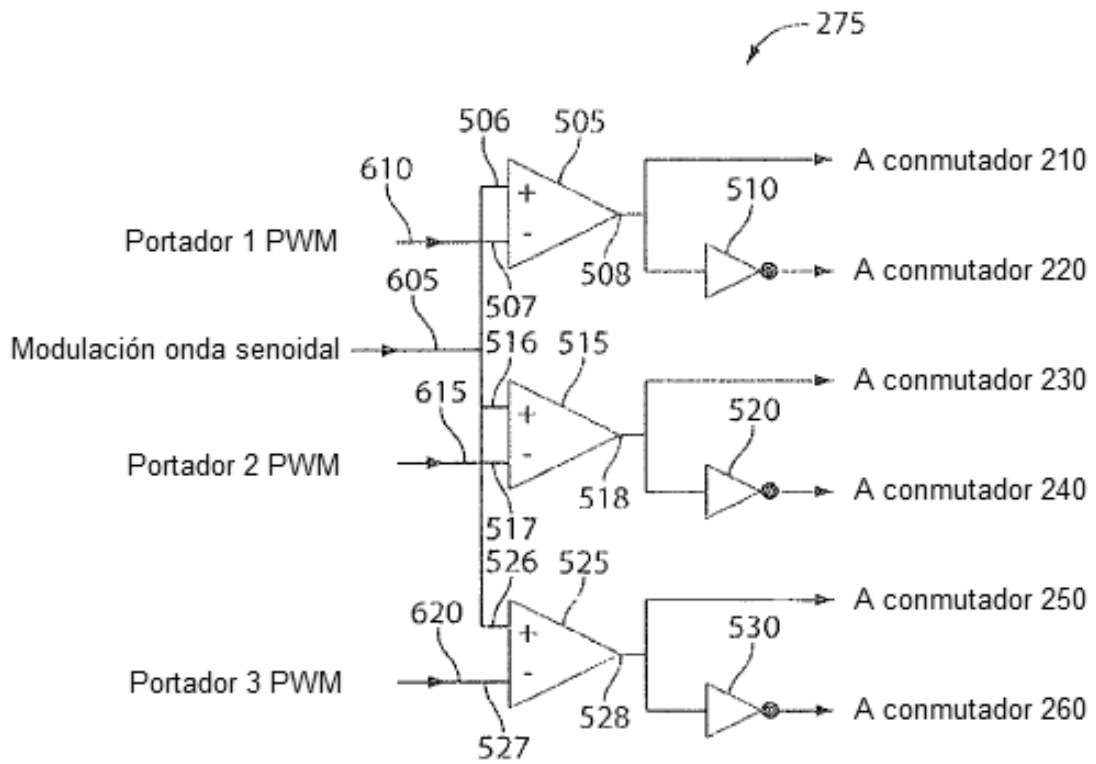


Fig. 5

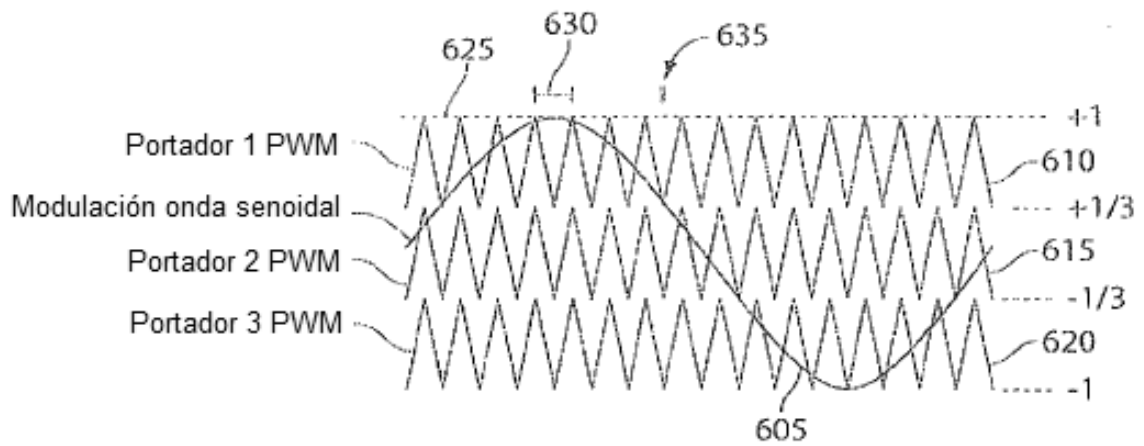


Fig. 6

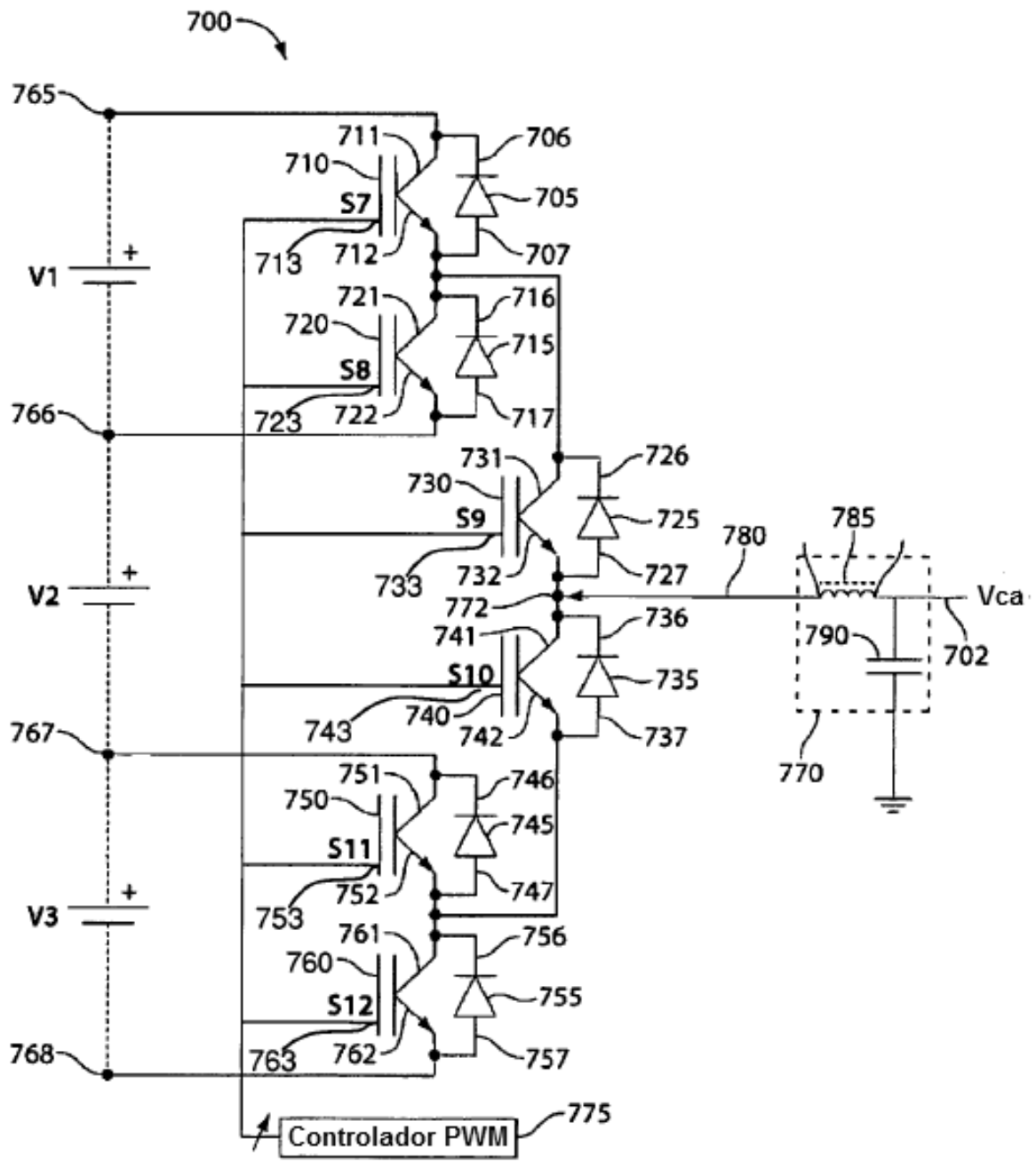


Fig. 7

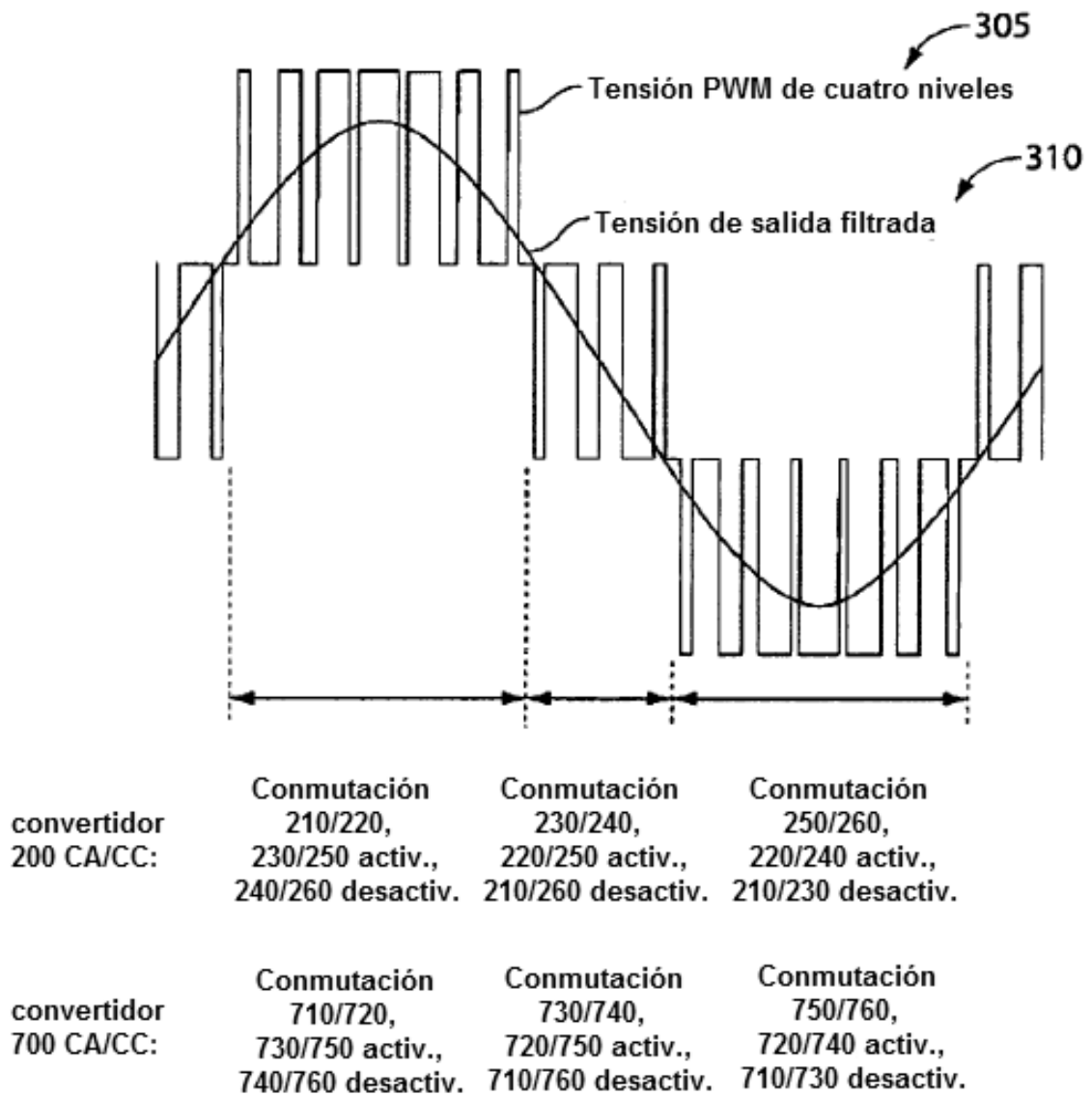


Fig. 8

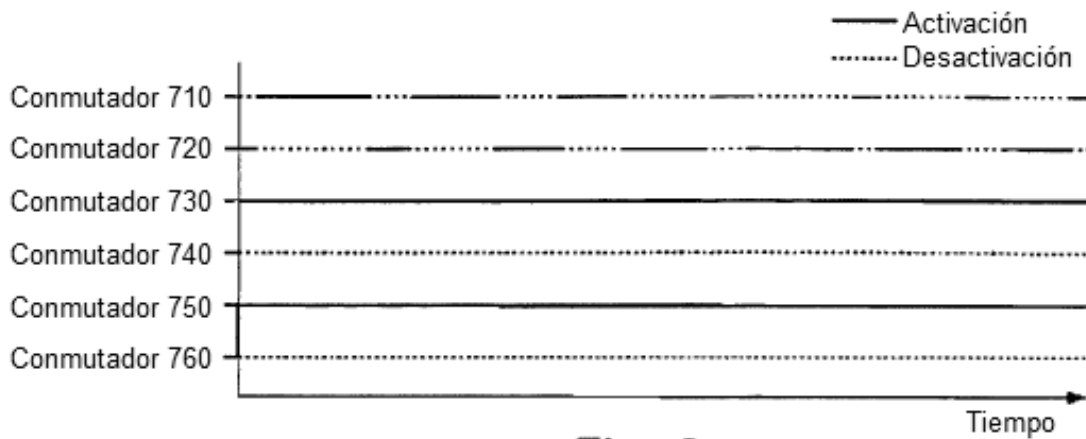


Fig. 9a

Estado 1

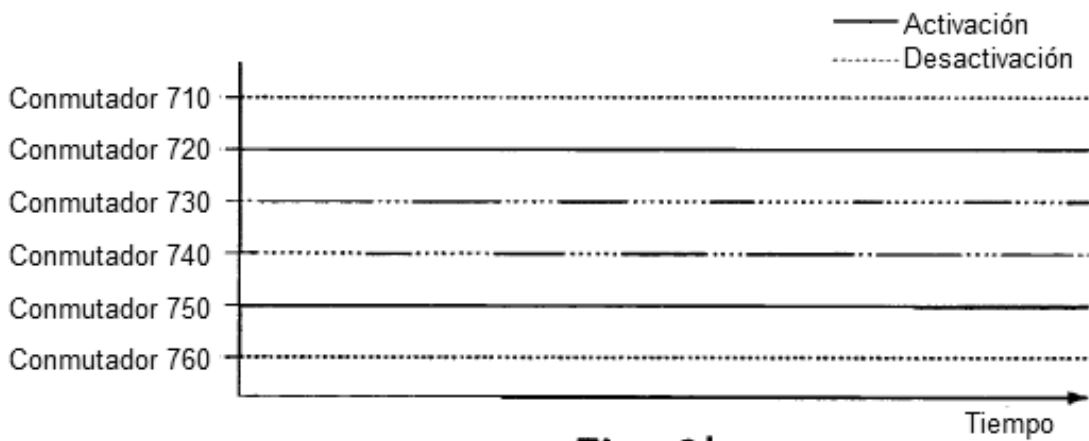


Fig. 9b

Estado 2

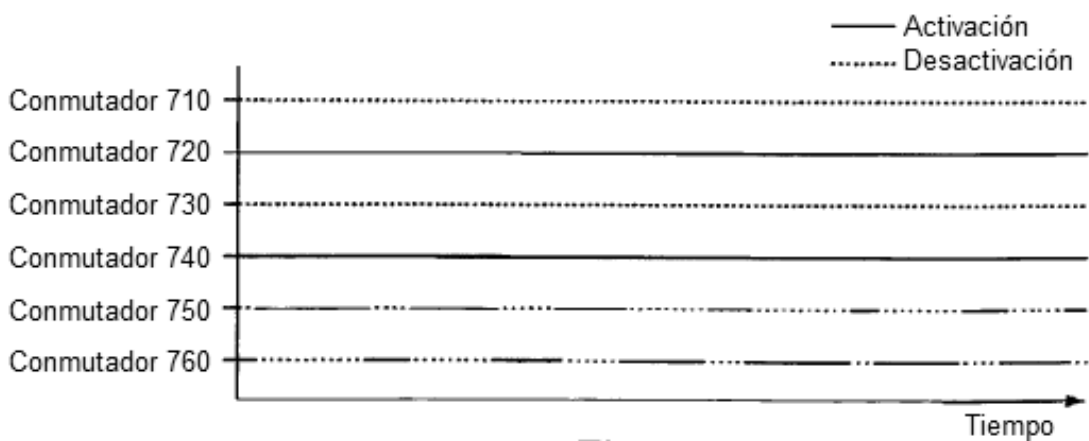


Fig. 9c

Estado 3

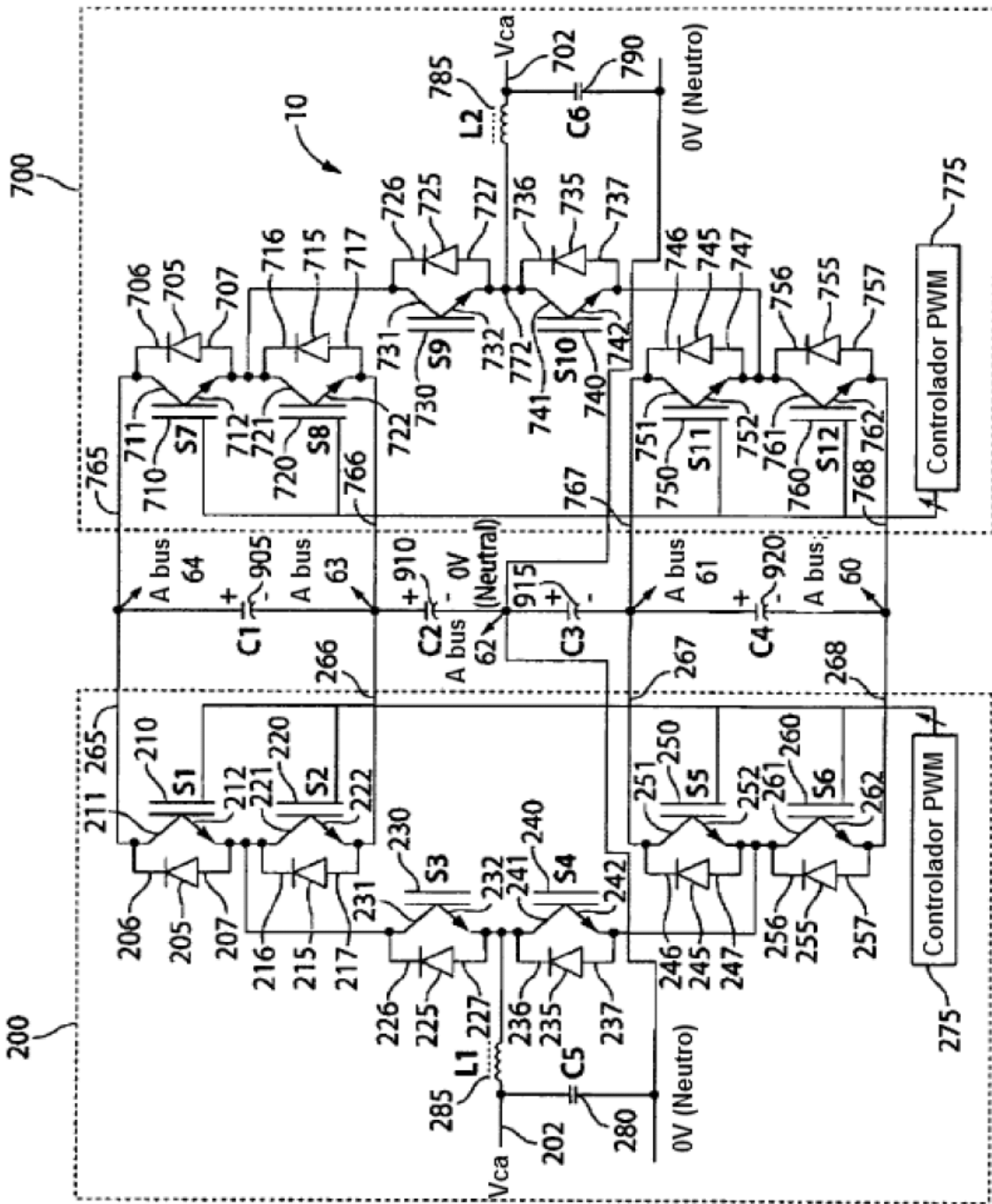


Fig. 10

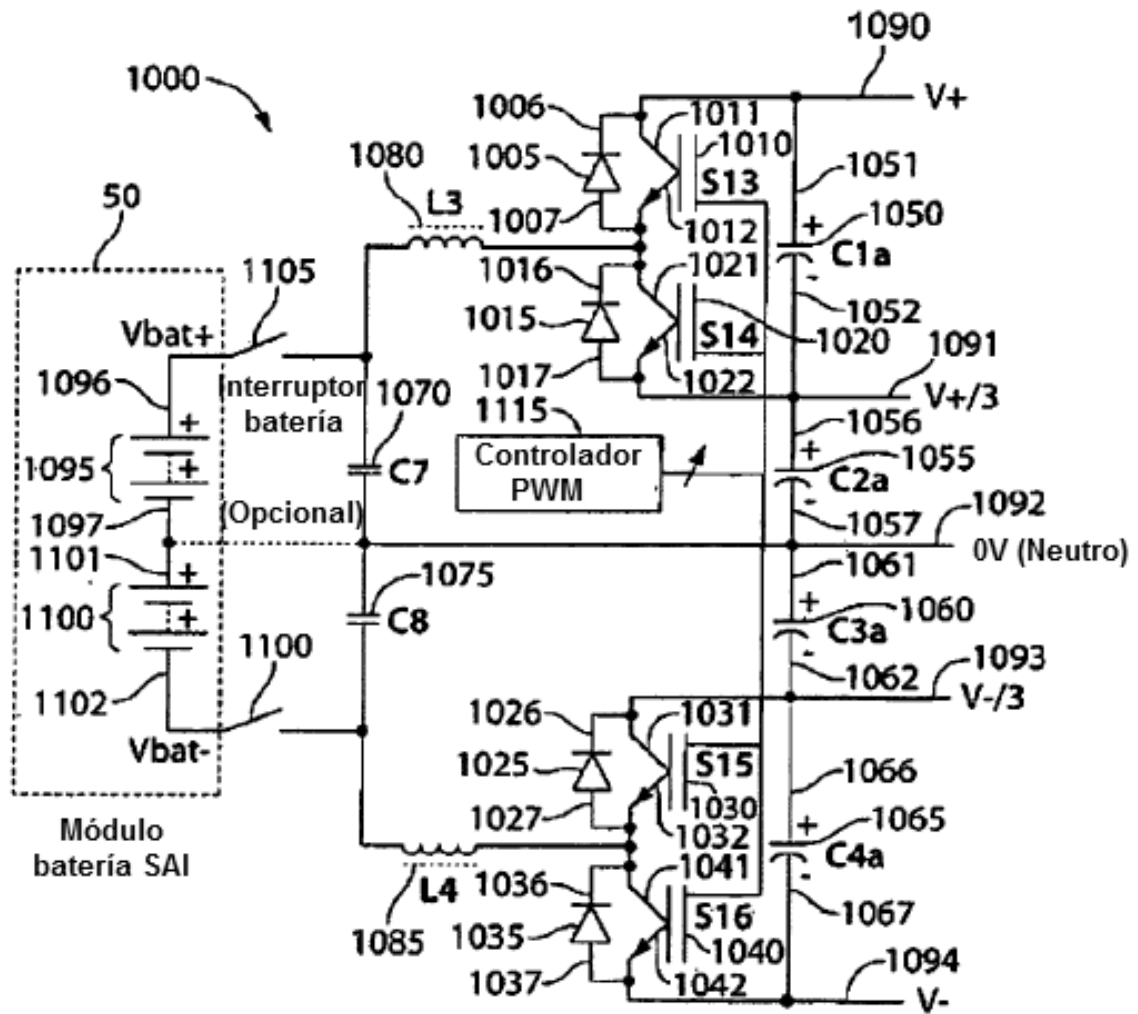


Fig. 11

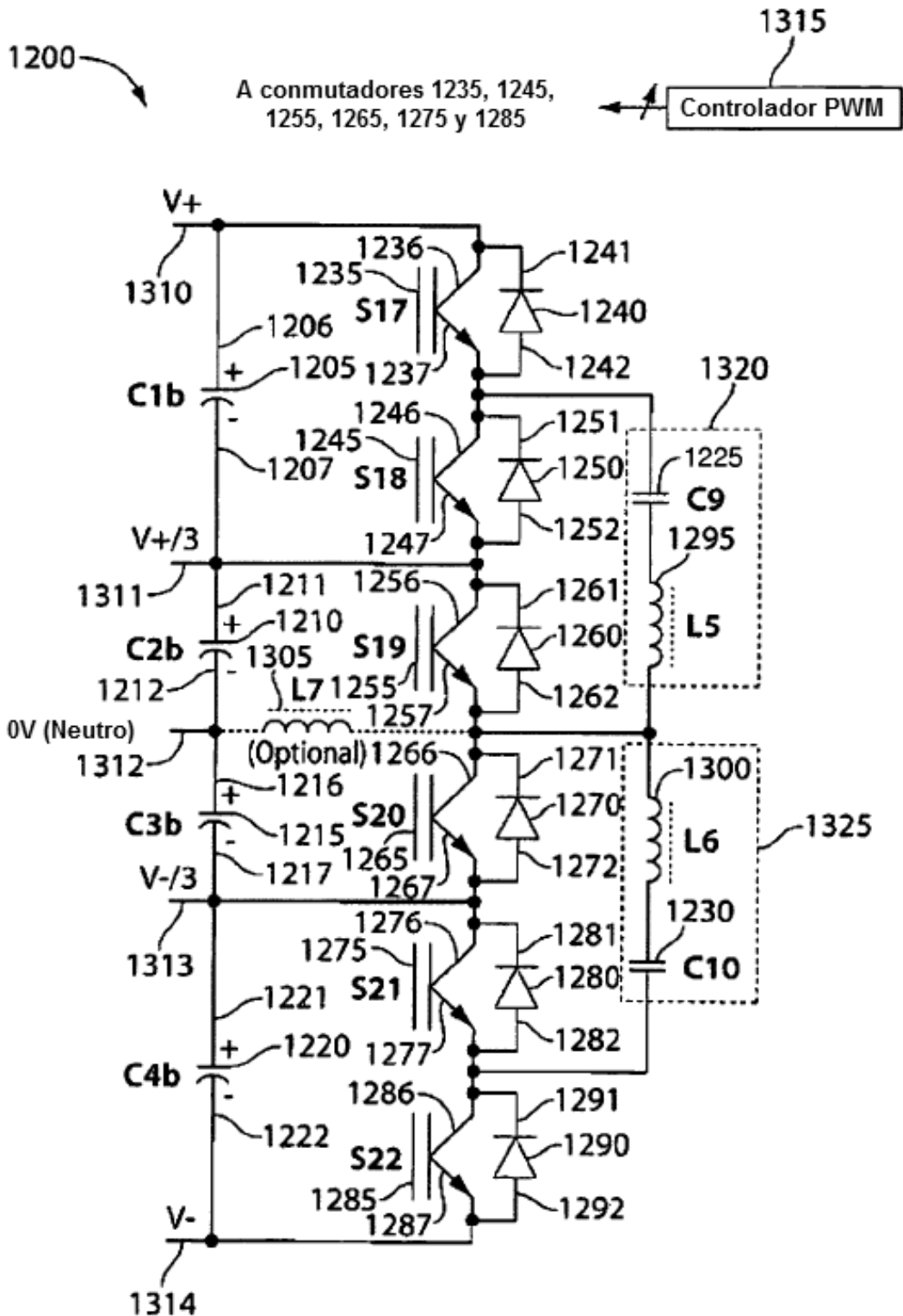


Fig. 12

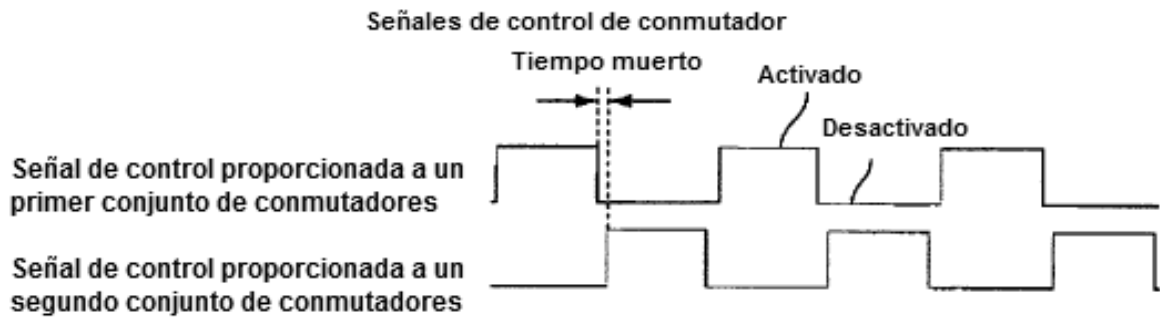


Fig. 13

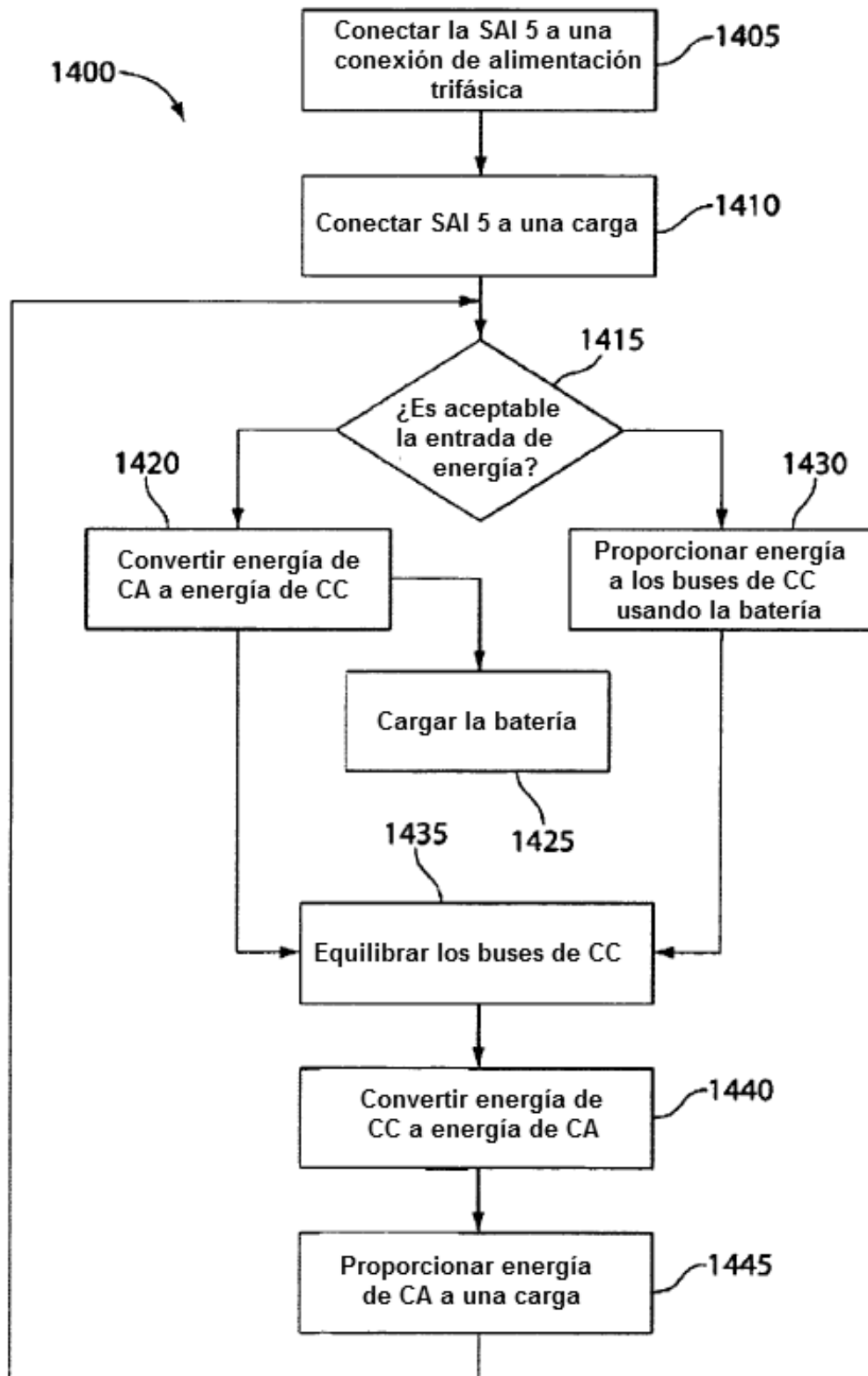


Fig. 14