

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 778 058**

51 Int. Cl.:

**H02M 7/08** (2006.01)

**H02M 1/42** (2007.01)

**H02M 7/06** (2006.01)

**H02M 7/155** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.07.2013** **E 13176268 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.01.2020** **EP 2824819**

54 Título: **Rectificador de 12 pulsos con condensadores de entrada para la mejora del factor de potencia**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**07.08.2020**

73 Titular/es:

**ITW GSE APS (100.0%)  
Smedebakken 31, Søhus  
5270 Odense N, DK**

72 Inventor/es:

**DAHL, SØREN RISGAARD y  
AZULAY, RONNI BØGEBJERG**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

ES 2 778 058 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**

Rectificador de 12 pulsos con condensadores de entrada para la mejora del factor de potencia

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a un circuito rectificador para rectificar energía eléctrica con alto factor de potencia. La invención se refiere también a un procedimiento para la rectificación de la energía eléctrica.

Antecedentes

Un uso eficiente de la energía eléctrica es la solución determinante con el fin de evitar futuros problemas de escasez de electricidad. Los sistemas electrónicos de potencia ofrecen una importante contribución a la mejora de la eficiencia.

10 El uso de circuitos rectificadores eléctricos se conoce bien desde hace muchos años. Los circuitos más sencillos, pero sin embargo los más fiables, son aquellos con diodos pasivos, los rectificadores más avanzados usan transistores de conmutación rápida, en la mitad hay un sinnúmero de combinaciones de ambos.

El número requerido de sistemas electrónicos de potencia sólo puede ser instalado, si las distorsiones armónicas, que son producidas por estos sistemas, pueden minimizarse.

15 Aunque la tendencia en las últimas décadas ha sido hacia rectificadores electrónicos de potencia más avanzados con conmutación de alta frecuencia y componentes magnéticos minimizados, todavía hay muchas aplicaciones en las que una electrónica de potencia sencilla combinada con componentes magnéticos avanzados supera a los otros.

20 Los mayores requisitos regulatorios para un mejor factor de potencia y un bajo factor de distorsión armónica han cuestionado el diseño de circuitos; estos requisitos regulatorios se aplican a muchas áreas geográficas y, de esta manera, un diseño global con buen factor de potencia es preferible. Los rectificadores sencillos de la técnica anterior adolecen de un bajo factor de potencia en comparación con los circuitos rectificadores de conmutación rápida con corrección de factor de potencia incorporada. De esta manera, ha existido una necesidad de circuitos con factor de potencia mejorado.

25 En la técnica anterior se han usado filtros de armónicos sintonizados para reducir los armónicos, pero estos tienen un rendimiento limitado y adolecen de otras desventajas. Los divisores de corriente o voltaje polifásicos pasivos son conceptos de mitigación de armónicos rentables, compactos y altamente fiables para cargas trifásicas.

El acoplamiento adecuado de los transformadores divisores de corriente permite una reducción masiva del volumen magnético, así como la sustitución de circuitos complejos por un único componente.

30 El factor de potencia de un sistema de potencia eléctrica de CA se define como la relación de la potencia real que fluye a la carga y la potencia aparente en el circuito. De esta manera, puede alcanzarse un factor de potencia unidad cuando el voltaje y la corriente están en fase entre sí.

La distorsión armónica se define como la relación entre la suma de las potencias de todos los componentes armónicos a la potencia de la frecuencia fundamental.

La técnica anterior incluye los siguientes documentos.

35 El documento US 2006/056207 divulga un sistema de filtro para la atenuación de la interferencia electromagnética (EMI) de un sistema de rectificación basado en autotransformador que utiliza la inductancia de fuga del autotransformador y uno o más condensadores conectados en el lado secundario y, opcionalmente, uno o más inductores de modo diferencial y condensadores de entrada conectados en el lado primario para formar un filtro EMI de modo diferencial. Esta configuración reduce el tamaño, el peso y el coste del filtro EMI en modo diferencial cuando se compara con un filtro diferencial formado colocando los inductores y los condensadores en el lado primario.

40 El documento US 2003/223256 divulga un convertidor CA-CC con un SVC integrado, que proporcionaría un control independiente de la potencia activa y reactiva. En un convertidor de puente trifásico, el SVC está conectado al lado de la válvula del transformador convertidor o al propio transformador convertidor. En el último caso, el SVC podría estar conectado a un devanado terciario del transformador convertidor, o un transformador común podría funcionar como el transformador convertidor y el transformador SVC. Podría usarse cualquier tipo de SVC, incluyendo el SVC controlado por voltaje desarrollado recientemente como el SVC para el convertidor de puente trifásico con SVC integrado. El convertidor CA-CC con SVC integrado podría eliminar la necesidad de cambiadores de tomas bajo carga para el transformador convertidor.

45

5 El documento DE 195 33 556 divulga un circuito con una carga capacitiva y una inductancia en la entrada de red. Una disposición de condensador está provista en paralelo a través de la entrada. Los valores del condensador se seleccionan según el factor de potencia y/o el voltaje del circuito intermedio deseado. La disposición de condensador compensa la potencia inactiva o reactiva de la inductancia de entrada. Además, los condensadores pueden conectarse de manera individual para regular el voltaje de salida del rectificador. Los condensadores pueden conectarse en una configuración en estrella o en triángulo. Pueden proporcionarse varios grupos de condensadores. La capacitancia efectiva puede variarse, por ejemplo, con conmutación de carga, control de fase o modulación de anchura de pulsos.

10 El documento JP 2003 284343 proporciona un circuito de control de armónicos que puede controlar una corriente armónica a un nivel de cumplimiento de la regulación de armónicos mediante la mejora del factor de potencia de una fuente de energía en una fuente de alimentación de CA polifásica. Este circuito de control de armónicos está equipado con un rectificador que está conectado a una fuente de alimentación de CA y rectifica una CA de la fuente de alimentación de CA a una CC, una reactancia que está conectada a cada línea de alimentación entre la fuente de alimentación de CA y el rectificador, un condensador de amortiguamiento que está conectado entre los terminales de salida de un voltaje de CC del rectificador y suaviza el voltaje de CC, y múltiples condensadores un extremo de cada uno de los cuales está conectado a cada línea de alimentación que conecta la reactancia con el rectificador y los otros extremos de los cuales están conectados en común para formar el punto neutro de la fuente de alimentación de CA.

20 Un artículo de Sewan, Choi et. Alabama. titulado: "Polyphase transformer arrangements with reduced kVA capacities for harmonic current reduction in rectifier type utility interface", divulga disposiciones de transformador de energía polifásica con capacidades kVA reducidas para la reducción de la corriente de armónicos en sistemas de interfaz de utilidad de tipo rectificador con diodos de alta potencia. Basado en el concepto de un autotransformador, un sistema rectificador de 12 pulsos se realiza con una capacidad kVA nominal del transformador resultante de 0,18P0 (pu). En esta disposición, los armónicos 5, 7, 17, 19, etc. están ausentes de la corriente de línea de entrada de utilidad.

25 En otro artículo de Qianhong Chen et. al., titulado: "Research of the current-injection-based P-type 12-pulse ATRU" una unidad rectificadora con auto-transformador (ATRU) de 12 pulsos es una solución armónica muy atractiva en un entorno de aviación por su menor capacidad nominal voltamperio del transformador en comparación con otros procedimientos multi-pulso. Sin embargo, la corriente THD de entrada de la ATRU de 12 pulsos es aproximadamente un 15% más grande que el 10% del requisito THD de los estándares relacionados. El procedimiento de inyección de corriente es un procedimiento de mitigación de armónicos eficaz para rectificadores de 12 pulsos.

30 Un objetivo de la invención puede considerarse como la provisión de un circuito rectificador con un alto factor de potencia, especialmente durante la plena carga, además, también es un objetivo la provisión de un rectificador que opera con un factor de potencia óptimo en un intervalo de carga amplio.

#### Sumario

35 Este sumario se proporciona para introducir una selección de conceptos de una manera simplificada que se describen adicionalmente más adelante en la Descripción detallada. El objetivo de este sumario no es identificar características clave ni atributos esenciales del objeto que se reivindica, ni pretende usarse como una ayuda para determinar el alcance del objeto que se reivindica.

En un aspecto, la presente invención se refiere a un circuito rectificador que está dispuesto para rectificar energía eléctrica, que comprende

- una entrada de alimentación trifásica,
- 40 - un circuito divisor magnético que está dispuesto para recibir la entrada de alimentación trifásica y dividir la alimentación trifásica en un primer sistema trifásico y un segundo sistema trifásico, teniendo dicho primer sistema trifásico señales retrasadas con relación a las señales del segundo sistema trifásico,
- un rectificador de doce pulsos con seis terminales de entrada para conectar los sistemas trifásicos primero y segundo, y para generar una alimentación eléctrica rectificadora a una salida de potencia,
- 45 - una inductancia trifásica conectada en serie con la entrada de alimentación trifásica y el circuito divisor magnético, y en el que la inductancia trifásica está dispuesta para asegurar el modo de conducción continua en el rectificador de doce pulsos,
- múltiples condensadores corrección de factor de potencia (PFC), que comprenden cada uno terminales primero y segundo, estando dichos primeros terminales conectados a terminales de entrada respectivos del rectificador de doce pulsos, y estando dichos segundos terminales conectados a al menos un punto eléctrico común, en el que los múltiples condensadores de PFC comprenden seis condensadores.
- 50

Una ventaja del primer aspecto de la presente invención es que el problema de un bajo factor de potencia con un rectificador de diodos parece estar resuelto, ya que puede obtenerse un factor de potencia unidad con doce pulsos.

Esto se consigue debido al uso de los condensadores de corrección de factor de potencia conectados al circuito en los terminales de entrada del rectificador de doce pulsos; provisto de pequeños condensadores.

5 El uso de condensadores de PFC en un rectificador se ha usado en la técnica anterior, pero se conectan al circuito rectificador directamente en sus terminales de entrada de red, lo que los hace propensos a causar resonancias junto con otras cargas en la red, también requiere condensadores mucho más grandes, para la misma corrección de factor de potencia. Los condensadores de PFC de la técnica anterior no proporcionan efectos secundarios similares a los observados con el presente circuito, tal como un mayor nivel de voltaje de CC.

10 Una ventaja adicional e importante del primer aspecto es una eficiencia mejorada, ya que aumenta el nivel de voltaje rectificado.

Según una realización de la invención, el rectificador comprende además que las señales de los sistemas trifásicos primero y segundo sean una señal de corriente.

15 Una ventaja de esta realización es que el uso de un divisor de corriente en lugar de un divisor de voltaje elimina la necesidad de una reactancia interfase en el lado de CC de los rectificadores. Otra ventaja es que las dimensiones físicas de los circuitos magnéticos son más pequeñas en comparación con los circuitos divisores de voltaje.

Según una realización de la invención, el rectificador comprende además que los múltiples condensadores de PFC se seleccionan de manera que tengan capacitancias que sirven al propósito de aumentar un factor de potencia de la entrada de alimentación trifásica.

20 Según una realización de la invención, el rectificador comprende además que el rectificador de doce pulsos comprenda múltiples conmutadores de diodos.

Una ventaja de esta realización es que el rectificador es muy fiable, de eficiencia probada y tiene una mayor eficiencia ya que las pérdidas de conducción en los semiconductores en los diodos son muy bajas en comparación con las pérdidas en los transistores.

25 Según una realización de la invención, el rectificador comprende además que el rectificador de doce pulsos consista en dos puentes rectificadores de seis pulsos.

Una ventaja de esta realización es que el rectificador puede construirse usando módulos electrónicos de potencia de seis pulsos estándar y que es modular.

30 Según una realización de la invención, el rectificador comprende además que las inductancias trifásicas son componentes magnéticos separados conectados en serie entre una entrada de alimentación trifásica y el circuito divisor magnético, teniendo dicha inductancia un valor en el intervalo de 0,1 p.u a 0,2 p.u.

Una ventaja de esta realización es que la impedancia de la serie es suficientemente grande como para limitar la distorsión armónica, y al mismo tiempo no tan grande como para que la caída de tensión en la inductancia reduzca demasiado la eficiencia del rectificador.

35 Según una realización de la invención, el rectificador comprende además una segunda inductancia trifásica, en la que la inductancia trifásica se inserta en serie entre un primer sistema trifásico del circuito divisor magnético y el rectificador, y la segunda inductancia trifásica se inserta en serie entre el segundo sistema trifásico del circuito divisor magnético y el rectificador.

40 Según una realización de la invención, el rectificador comprende además que cada uno de los múltiples condensadores de PFC estén dispuestos para ser conectados al circuito a través de conmutadores eléctricos.

Una ventaja de esta realización es que los condensadores de PFC pueden conectarse al circuito según sea necesario.

Según una realización de la invención, el rectificador comprende además que los conmutadores eléctricos estén dispuestos para ser operados en modo abierto, cuando la salida de potencia está por debajo de un valor umbral.

45 Una ventaja de esta realización es que los condensadores de PFC están desconectados mientras que el rectificador se opera a una carga baja, ya que los condensadores de PFC benefician principalmente al factor de potencia a cargas altas.

Según una realización de la invención, el rectificador comprende además que cada uno de los múltiples condensadores de PFC tenga un valor de capacitancia en el intervalo de 20 uF a 40 uF.

En un segundo aspecto, la presente invención se refiere al uso del circuito rectificador según el aspecto mencionado anteriormente y su realización, en el que el circuito rectificador proporciona alimentación a una unidad de aire acondicionado o a una unidad de alimentación en tierra de una aeronave.

5 Las ventajas del segundo aspecto y sus realizaciones adicionales son equivalentes a las ventajas para el primer aspecto de la presente invención.

En un tercer aspecto, la presente invención se refiere un método para rectificar energía eléctrica para reducir un factor de distorsión armónica y/o para aumentar un factor de potencia, el método comprende:

- Recibir una entrada de alimentación trifásica, a través de inductancias trifásicas, estando las inductancias trifásicas conectadas en serie con la entrada de alimentación trifásica y un circuito divisor magnético,
- 10 - dividir la alimentación trifásica introducida al circuito divisor magnético en un primer sistema trifásico y un segundo sistema trifásico, teniendo dicho primer sistema trifásico señales retrasadas con relación a las señales del segundo sistema trifásico,
- corregir la potencia de los sistemas trifásicos primero y segundo mediante múltiples condensadores de PFC, en el que los múltiples condensadores de PFC comprenden seis condensadores, comprendiendo cada uno unos terminales primero y segundo, estando dichos primeros terminales conectados a los terminales de entrada respectivos de un rectificador de doce pulsos, y dichos segundos terminales conectados a un punto eléctrico común,
- 15 - rectificar la potencia de los sistemas trifásicos primero y segundo en el rectificador de doce pulsos en un modo de conducción continua, asegurado por las inductancias trifásicas, con seis terminales de entrada para conectar a los sistemas trifásicos primero y segundo.
- 20

Las ventajas del tercer aspecto y sus realizaciones son equivalentes a las ventajas para el primer aspecto de la presente invención.

25 Cada uno de los aspectos individuales de la presente invención puede combinarse con cualquiera de los otros aspectos. Estos y otros aspectos de la invención serán evidentes a partir de la siguiente descripción con referencia a las realizaciones descritas.

Breve descripción de las figuras

El rectificador según la invención se describirá ahora más detalladamente con respecto a las figuras adjuntas. Las figuras muestran una manera de implementar la presente invención y no deben interpretarse como limitativas para otras posibles realizaciones incluidas dentro del alcance del conjunto de reivindicaciones adjunto.

30 La Figura 1 muestra un circuito rectificador según la técnica anterior.

La Figura 2 muestra un circuito rectificador según la invención.

La Figura 3a muestra tres vectores de corriente con 120 grados de desplazamiento.

La Figura 3b muestra conjuntos de vectores de corriente.

La Figura 4 muestra el factor de potencia como una función de la carga.

35 La Figura 5 muestra un factor de distorsión como una función de la carga.

La Figura 6 muestra otro circuito rectificador en el que puede aplicarse la invención.

La Figura 7 muestra un voltaje de red y una corriente de red con y sin condensadores de PFC.

La Figura 8 muestra la corriente en el circuito divisor y en el condensador de PFC, para una corriente de fase dividida en dos corrientes.

40 La Figura 9 muestra la corriente en el circuito divisor con los condensadores de PFC desconectados, para una corriente de fase dividida en dos corrientes.

La Figura 10 muestra la diferencia de corriente entre las simulaciones con y sin condensadores de PFC. La parte inferior de la figura muestra la suma de las corrientes en dos condensadores de PFC.

La Figura 11 muestra el nivel de voltaje de CC con y sin los condensadores de PFC.

La Figura 12 es un diagrama de flujo esquemático que representa el procedimiento según la invención.

Descripción detallada

5 La Figura 1a muestra un rectificador según la técnica anterior sin condensadores de corrección de factor de potencia (PFC) para mejorar el factor de potencia. El circuito comprende tres fuentes 102 de corriente conectadas a un punto 101 común, que podría ser tierra. Las tres fuentes 102 de corriente, junto con las impedancias (no mostradas) conforman equivalentes de Thévenin para una alimentación eléctrica. La alimentación se conecta a una bobina 105 de filtro de red que a su vez se conecta a un circuito 110 divisor de corriente magnético. El circuito 110 divisor de corriente magnético divide la corriente de alimentación en seis fases, es decir, tres más tres fases. Todas las fases están desplazadas unas respecto a las otras y alimentan un rectificador 120 de diodos.

10 La Figura 1b muestra que el rectificador de diodos consiste en seis ramas de rectificador, una de ellas 120a, la energía de CC rectificada suministra su energía en un bus de CC al que está conectado un condensador 140.

La Figura 2 muestra un circuito de una realización de la invención.

El circuito se ha realizado con los siguientes parámetros.

Corriente y voltaje nominales: 140 A y 3x400 V<sub>pp</sub>

15 Potencia nominal: 90 kW

Condensador 230 de PFC: 35 uF

Inductancia/bobina 205 de filtro: 850 uH:

20 La Figura 2 muestra la entrada 202 de potencia trifásica, que comprende tres equivalentes 202a, 202b y 202c de Thévenin, conectados normalmente a tierra 201 en un terminal y el otro terminal conectado a la bobina de línea o inductancia 205 en serie. La inductancia 205 es en la presente realización tres devanados 205a, 205b, 205c enrollados alrededor de un núcleo de tres columnas con hueco de aire separado para cada fase. El hueco de aire no se muestra en la figura, pero es conocido por la persona experta.

En una realización, las tres inductancias 205a, 205b, 205c están enrolladas sobre tres núcleos magnéticos separados, cada uno con un hueco de aire.

25 El rectificador 220 de la Figura 2 es no lineal y entonces hay armónicos presentes en la línea de alimentación. Para hacer frente a un problema de armónicos, se usan el inductor 205 y el divisor 210 de corriente magnético: la función principal del inductor 205 es la de retrasar las corrientes respecto de los fasores de voltaje de la línea 202 de alimentación trifásica; la función principal del divisor 210 de corriente magnético es la de dividir cada una de las tres corrientes, en dos corrientes con fases desplazadas.

30 Esto ayudará a reducir los armónicos que se causan cuando la red eléctrica se rectifica para crear un enlace de CC. También reducirán las corrientes de picos consumidas por el inversor u otro dispositivo. También ayudan a proteger el rectificador de entrada contra algunos problemas de red. En general, los armónicos se consideran como una fuente de pérdidas en la red de distribución de manera que normalmente se evitan o se consideran como perjudiciales.

35 La entrada 202 de alimentación eléctrica trifásica suministra tres voltajes aproximadamente sinusoidales con un desplazamiento de fase de 120 grados. El desplazamiento de fase entre las tres corrientes i<sub>1a</sub>, i<sub>1b</sub> e i<sub>1c</sub> de entrada que fluyen en las tres entradas de corriente es entonces igual a 120 grados, tal como se ilustra en la Figura 3A. La amplitud y la frecuencia de los voltajes de línea variará según, entre otras cosas, los reglamentos locales, pero la frecuencia será igual, en la mayoría de las aplicaciones, a 50 Hz o 60 Hz, y el voltaje está comprendido generalmente entre 100 V y 1 kV, por ejemplo, 400 V rms entre fases. La frecuencia de 50 Hz o 60 Hz o la frecuencia de la red eléctrica se denominará en adelante en el presente documento la frecuencia fundamental del sistema.

40 Cada una de las corrientes que fluyen en las tres entradas de corriente y que tienen la referencia i<sub>1a</sub>, i<sub>1b</sub> o i<sub>1c</sub> se denominarán en adelante en el presente documento la corriente común.

45 Cuando los dispositivos 210 están conectados entre la red 202 de alimentación trifásica y el rectificador 220, dividen cada una de las corrientes i<sub>1a</sub>, i<sub>1b</sub> e i<sub>1c</sub> en dos o más corrientes que fluyen en cada salida de corriente. En el caso mostrado en la Figura 2, dividen cada una de las corrientes i<sub>1a</sub>, i<sub>1b</sub> e i<sub>1c</sub> en dos corrientes. Todas las corrientes 212a, 212b, 212c, 214a, 214b, 214c que fluyen en las salidas de corriente tienen la misma amplitud y están desplazadas en fase un ángulo predeterminado, con respecto a las componentes fundamentales correspondientes que fluyen en la entrada de corriente.

- El valor del ángulo, por ejemplo 30 grados, es tal que el desplazamiento de fase entre las dos corrientes divididas, por ejemplo 212a, 214a, y la corriente común correspondiente, en este caso  $i_1$ , es respectivamente de más 15 grados y de menos 15 grados. Tal como se ha descrito, una corriente común, por ejemplo  $i_{1a}$ , se divide en dos corrientes divididas: una primera 212a dividida que es la corriente dividida delantera, y una segunda corriente 214a dividida, que es la corriente dividida retrasada. Las corrientes 212a, 212b, 212c divididas son las corrientes divididas delanteras y las corrientes 214a, 214b, 214c divididas son las corrientes divididas retrasadas.
- Si el valor del ángulo entre las dos corrientes de salida es de 30 grados, tal como se ha mencionado, entonces la longitud de los fasores  $la_1$ ,  $la_2$ ,  $lb_1$ ,  $lb_2$ ,  $lc_1$  e  $lc_2$  en la Figura 3B, que es la misma para todos los fasores representados, es el 51,76% de la longitud de cada fasor de  $la$ ,  $lb$  e  $lc$ , debido a la división de corriente y a la trigonometría.
- La presencia del inductor 205 trifásico antes del circuito 210 divisor magnético causa un ángulo de retraso o un ángulo de desplazamiento de fase entre cada uno de los fasores de voltaje de la red 202 eléctrica y las corrientes  $i_1$  de entrada correspondientes.
- El circuito 210 divisor magnético está conectado a un rectificador de 12 pulsos seguido de un enlace de CC y una carga 250 de CC genérica. En un sistema que comprende una línea 202 de alimentación trifásica, un circuito 210 divisor magnético, un rectificador 220 de 12 pulsos y un enlace de CC, puede usarse un inductor o una bobina de filtro para tener un modo de conducción continua.
- El modo de conducción continua significa que la corriente del rectificador nunca es cero durante el periodo de la línea de alimentación. Por el contrario, en el modo de conducción discontinua, la corriente puede llegar a cero durante parte del periodo de la línea de alimentación. En los ejemplos descritos, el modo de conducción continua está asegurado por el inductor 205 trifásico.
- El tamaño de los inductores 205a, 205b, 205c de fase depende de la distorsión deseada, para este ejemplo descrito se usa una distorsión del 5%. El valor de la inductancia específica depende también de la corriente y de la frecuencia nominales ya que la impedancia del inductor de fase viene dada por:
- $$Z = \omega L = 2\pi f L$$
- Es normal diseñar el inductor según una caída de tensión específica a través del inductor, a la corriente nominal, como una relación del voltaje nominal, o según el sistema por unidades p.u.
- En el ejemplo, la corriente nominal es 140 A y la inductancia 205 es de 850  $\mu\text{H}$ , esto conduce a una caída de tensión de 37 V a través de la inductancia 205, igual al 16% o 0,16 p.u.
- De esta manera, cuanto mayor sea la corriente nominal, mayor será la caída de voltaje específica a través del inductor.
- En una realización, el inductor 205 está diseñado para ser de 0,1 p.u. a 0,2 p.u.
- En una realización, el inductor 205 se inserta en serie entre el circuito 210 divisor magnético y el rectificador 220, mientras que el circuito 210 divisor magnético se conecta a la entrada 202 de alimentación trifásica. En esta realización, cada una de las seis entradas de fase del rectificador necesita un inductor.
- El circuito 210 divisor magnético es un circuito magnético complejo, aunque no ofrece aislamiento galvánico, es decir, es mucho más pequeño y pesa menos de un sistema magnético con aislamiento galvánico.
- El circuito 210 divisor magnético en la Figura 2 es un divisor de corriente, lo que significa que son las corrientes las que tienen un desplazamiento de fase en lugar del voltaje, conocido a partir de otros acoplamientos divisores magnéticos más simples, sin embargo, estos acoplamientos divisores magnéticos de voltaje se beneficiarán también del uso de condensadores de PFC.
- El circuito 210 divisor de corriente magnético, en el ejemplo descrito, tiene la siguiente relación de espiras o de número de vueltas:
- $N_1:14$ ,  $N_2:38$  y  $N_3:52$
- Tal como puede verse en la Figura 2, el circuito 210 divisor de corriente magnético se divide en tres secciones y cada sección se construye con la relación de espiras mencionada anteriormente.
- Además del uso de un circuito 210 divisor magnético de seis fases, las realizaciones que usan nueve y doce fases, y que alimentan de esta manera rectificadores de 18 o 24 pulsos, se beneficiarían también de la invención de la conexión de los condensadores de PFC en paralelo, entre el divisor y el rectificador.

En una realización, el rectificador 220 de doce pulsos se divide en dos rectificadores 221, 222 de seis pulsos, donde cada rectificador recibe una corriente 212, 214 trifásica.

En una realización, el rectificador 220 de doce pulsos consiste en seis patas 227 de rectificador, donde cada pata 227 de rectificador recibe una fase desde las corrientes 212a, 212b, 212c, 214a, 214b y 214c trifásicas.

5 En una realización, el sistema 212 de corriente trifásica tiene un desplazamiento de fase de 30 grados con relación al sistema 214 de corriente trifásica. El desplazamiento de fase en la corriente ocurre debido a la disposición del circuito 210 divisor magnético, es decir, el número de vueltas, de hecho, un sistema trifásico está retrasado 15 grados y el otro está adelantado 15 grados con respecto a la corriente de entrada.

10 Pueden ocurrir otros cambios de fase en otra realización. La ventaja de usar 30 grados es que los armónicos 5º y 7º se cancelan. También los armónicos de orden 17 y 19, 29 y 31, dejando el orden de ondulación armónica más bajo en el voltaje de CC en el orden 12.

En la Figura 2, el circuito 210 divisor magnético se muestra como un transformador lo que significa que el primer sistema 212 de corriente trifásica y el segundo sistema 214 de corriente trifásica están conectados entre sí galvánicamente.

15 Cada rectificador 221, 222 alimenta su alimentación de CC rectificada a un terminal 224 positivo y un terminal 225 negativo, de manera que las salidas de CC de los rectificadores 221, 222 estén conectadas en paralelo. El terminal 224 positivo y el terminal 225 negativo se conectan respectivamente a un condensador 240 de CC y a una carga 250. El condensador 240 de CC puede consistir en múltiples condensadores 240 conectados en paralelo (la Figura 2 sólo muestra esto como un condensador).

20 Dependiendo del nivel de voltaje de CC, el condensador 240 de CC puede ser una pila de múltiples condensadores 240a, 240b conectados en serie. De esta manera, en una realización, el condensador 240 de enlace de CC consiste en al menos dos condensadores 240a, 240b conectados en serie.

En otra realización, el condensador 240 de CC es un único condensador.

25 Los condensadores 230 de corrección de factor de potencia (PFC) ayudan a corregir el factor de potencia del rectificador. Cada uno de los condensadores 230 de PFC está conectado a una fase de salida del circuito 210 divisor magnético en un extremo.

30 Los condensadores 230 de PFC están todos conectados a un único punto 236 común en el otro extremo, o los condensadores 230 pueden agruparse en dos, de manera que los tres condensadores 230 conectados al rectificador 221 terminen en un primer punto común y los tres condensadores 230 conectados al rectificador 222 terminen en un segundo punto común, los puntos comunes primero y segundo no se muestran en la Figura 2.

35 En una realización, los condensadores de PFC están conectados comúnmente de dos en dos, es decir, un condensador conectado al punto 212a y uno conectado al punto 214a cada dos condensadores están conectados en común, y similar para la otra entrada del rectificador 220. Debido a que dos condensadores en serie pueden considerarse como un condensador, esto significa que, de hecho, sólo un condensador está conectado entre 212a y 214a.

El efecto de PFC de esta realización no es tan bueno como para el circuito de la Figura 2.

La capacidad de los condensadores 230 se elige de manera que el factor (PF) de potencia alcance la unidad a plena carga. Un aumento adicional en la capacitancia cambiaría la corriente desde una unidad o un factor de potencia insuficiente, a un factor de potencia adelantado, esto se discutirá adicionalmente más adelante.

40 En el ejemplo presentado, los condensadores de PFC tienen un valor de capacitancia de 35 uF.

En una realización, la capacidad de los condensadores de PFC está comprendida en el intervalo de 10 uF a 100 uF.

En una realización, la capacidad de los condensadores de PFC está comprendida en el intervalo de 20 uF a 40 uF.

45 El efecto positivo de los condensadores 230 de PFC se domina más cuanto mayor sea la carga en el rectificador. Por lo tanto, es deseable desconectar el condensador 230 de PFC del circuito cuando la carga es baja. Esto puede conseguirse mediante la conexión de los condensadores de PFC al circuito mediante un conmutador 235 eléctrico, que puede activarse mediante la energización de un devanado de bobina magnética (no mostrado en las figuras).

En una realización, el conmutador eléctrico es un tipo de conmutador de estado sólido.

El sistema de control (no mostrado en las figuras) del rectificador puede tener un valor de carga umbral predeterminado de manera que el factor de potencia, de hecho, sea más bajo cuando el condensador de PFC está conectado.

En una realización de la invención, el sistema de control desconecta el condensador de PFC cuando la carga en el rectificador es menor que un umbral de carga.

5 En una realización de la invención, el umbral de carga, para el que el factor de potencia es mejor sin los condensadores 230 de PFC, es de aproximadamente el 40%-50% de la plena carga.

De manera similar al factor de potencia, pero con signo opuesto, el factor de distorsión aumenta para un valor de carga baja, de manera que es deseable no tener los condensadores PFC conectados cuando la carga es baja.

10 En una realización, cada uno de los condensadores 230 está dividido en múltiples condensadores más pequeños, y cada uno de los múltiples condensadores más pequeños puede conectarse al circuito mediante conmutadores. En lugar de conectar toda la capacitancia al circuito, esta realización permite la conexión de las capacitancias en etapas, y proporciona de esta manera puntos operativos más óptimos.

En una realización, la capacitancia de cada uno de los múltiples condensadores está dispuesta de manera que sea posible una combinación binaria en la capacitancia.

15 En una realización, el tamaño de los condensadores de PFC se seleccionan de manera que el factor de potencia del circuito rectificador alcance casi la unidad, a plena carga.

20 La Figura 4 muestra la relación entre la carga y el factor de potencia, donde la carga se representa en el eje x como un porcentaje de la plena carga de una configuración de 90kW según la Figura 2. El eje y representa el factor de potencia. La curva 401 es la relación en la que cada uno de los condensadores 230 de PFC de un valor de 35  $\mu\text{F}$  está conectado al circuito en cualquier porcentaje de carga, y con una bobina 205 de filtro de 850  $\mu\text{H}$ , a una frecuencia de funcionamiento de red de 50 Hz.

La curva 402 es la relación carga vs factor de potencia sin los condensadores 230 de PFC y todavía con una bobina 205 de filtro de 850  $\mu\text{H}$ , a una frecuencia de funcionamiento de red de 50 Hz.

25 La curva 403 similar es la relación carga vs factor de potencia sin los condensadores 230 de PFC y una bobina 205 de filtro más pequeña de 650  $\mu\text{H}$ , a una frecuencia de funcionamiento de red de 50 Hz.

La curva 401 muestra claramente que el factor de potencia es peor, con el condensador conectado, que sin ellos siendo parte del circuito, cuando la carga está por debajo del 40-45%. De esta manera, es deseable tener sólo los condensadores 230 conectado al circuito cuando la carga está por encima del 45% o similar.

30 En una realización, la carga es de una naturaleza según la cual funciona a una carga por encima del 45% o no funciona en absoluto, por lo que no será ventajoso poder desconectar los condensadores 230 mediante un conmutador 235.

La carga 250 real conectada a los terminales 224, 225 de enlace de CC puede variar. En una realización, la carga es un inversor de 400 Hz para una unidad de fuente de alimentación conectada a tierra de CA de 400 Hz que suministra energía a aeronaves mientras están estacionadas en una puerta de embarque de un aeropuerto.

35 En otra realización, la carga 250 es una unidad de aire pre-acondicionado, que es una unidad de acondicionamiento de aire que suministra aire fresco a las aeronaves mientras están estacionadas en una puerta de embarque de un aeropuerto. Frecuentemente se requiere el suministro de aire acondicionado a la aeronave, ya sea calentando o enfriando el aire ambiente.

40 Aunque el texto anterior menciona dos áreas diferentes de lo que puede ser la carga 250, la presente invención no está limitada al suministro de energía de CC a estas dos áreas.

45 La Figura 5 muestra la relación entre la carga y el factor de distorsión, donde la carga se representa en el eje x como un porcentaje de la plena carga de una configuración de 90kW según la Figura 2. El eje y representa el factor de distorsión. La curva 501 representa el factor de distorsión cuando cada uno de los condensadores 230 de PFC de un valor de 35  $\mu\text{F}$  está conectado al circuito en cualquier porcentaje de carga, y con una bobina 205 de filtro de 850  $\mu\text{H}$ , a una frecuencia de funcionamiento de red de 50 Hz.

La curva 502 muestra la relación carga vs factor de distorsión sin los condensadores 230 de PFC y todavía con una bobina 205 de filtro de 850  $\mu\text{H}$ , a una frecuencia de funcionamiento de red de 50 Hz.

Finalmente, la curva 403 muestra la relación carga vs factor de distorsión sin los condensadores 230 de PFC y con una bobina 205 de filtro más pequeña de 650  $\mu$ H, a una frecuencia de funcionamiento de red de 50 Hz.

5 La Figura 6 muestra un circuito rectificador que usa otro tipo de circuito divisor magnético que funciona como un divisor de voltaje opuesto al divisor 210 magnético en la Figura 2, que funciona como un divisor de corriente. Las tres fuentes Va, Vb y Vc de voltaje en la Figura 6 están conectadas a un autotransformador magnético en a, b y c, las señales a' y a'' de voltaje tienen un desplazamiento de fase de +/- 15 grados con relación a la señal Va.

Se han realizado simulaciones para un circuito de la Figura 6, que incluye condensadores de corrección de factor de potencia (PFC) conectados a', b' y c', y a continuación conectados a un primer punto común en los otros terminales y condensadores similares conectados a'', b'' y c'', y a continuación conectados a un segundo punto común.

10 En una realización, los puntos comunes primero y segundo están conectados a un único punto común.

Una desventaja del circuito divisor de voltaje magnético en la Figura 6 en comparación con el divisor 210 de corriente magnético en la Figura 2 es la necesidad de reactancias/transformadores de interfaz (véase la Figura 6), con el fin de garantizar la simetría de la carga. Otra ventaja del divisor de corriente magnético, en comparación con el divisor de voltaje magnético, es que tiene un tamaño físico más pequeño.

15 Las simulaciones muestran una mejora similar del factor de potencia y del factor de distorsión que para el circuito de la Figura 2.

A continuación, se presentarán los resultados de la simulación para el circuito en la Figura 2, todas las simulaciones se realizan con una carga nominal de 90 kW.

20 La Figura 7 muestra un voltaje de red y una corriente de red con y sin condensadores de PFC. La Figura 7 superior muestra la fase de la señal 701 de voltaje con relación a tierra 201, el nivel de voltaje es de 231 Vrms.

La Figura 7 inferior muestra dos simulaciones diferentes de la corriente i1 consumida desde la fuente 202a. La corriente 702 es sin el condensador de PFC conectado y tiene un nivel de corriente de 138,0 Arms. La otra corriente 703 es con el condensador de PFC conectado y tiene un nivel de corriente de 132,7 Arms. La corriente 703 conduce la corriente 702, como sería de esperar ya que los condensadores de PFC mejoran el factor de potencia.

25 La Figura 8 muestra la corriente en el circuito divisor y en el condensador de PFC, para una corriente i1 de fase dividida en dos corrientes i2 y i5.

30 La gráfica 801 de la Figura 8 superior muestra la corriente i2 desde el divisor 210 de corriente magnético, la gráfica 802 muestra la corriente i3 que es el flujo de corriente en un condensador 236 de PFC de 35  $\mu$ F. A partir de la gráfica 802 es evidente que la corriente i3 del condensador 236 de PFC causa un pulso más alto después de cada cruce por cero, es decir, puede verse que el condensador de PFC ayuda a la conmutación en el diodo.

La gráfica 803 de la Figura 8 inferior muestra la corriente i5 desde el divisor 210 de corriente magnético, la gráfica 804 muestra la corriente i6, que es el flujo de corriente en otro condensador 236 de PFC de 35  $\mu$ F. De manera similar a la gráfica 804, aquí se producen también pulsos de corriente extendidos después del paso por cero de la corriente.

35 La corriente i2 y la corriente i5, tal como se muestran como las gráficas 801 y 803 están desplazadas respectivamente 30 grados tal como se esperaba.

La corriente 801 tiene un valor de 68,7 Arms, mientras que la corriente 802 en el condensador de PFC (I3a) = 6,4 Arms (con 2,5 Arms en la frecuencia fundamental). Los tamaños de las corrientes 803 y 804 son del mismo tamaño.

40 La suma de las corrientes i3+i6 se muestra en la parte inferior de la Figura 10 como la gráfica 1002, con 12 pulsos por período. Pueden realizarse gráficas similares para la otra fase, pero con 120 grados de desplazamiento. La suma de corrientes (I3+I6) es de 8 Arms (4,7 a la frecuencia fundamental)

45 La Figura 9 muestra la corriente en el circuito divisor con los condensadores de PFC desconectados, para una corriente i1 de fase dividida en dos corrientes i3 e i5. La gráfica 901 de la Figura 9 superior muestra la corriente i2 desde el divisor 210 de corriente magnético, la gráfica 902 muestra la corriente i3 que es el flujo de corriente en un condensador 236 de PFC de 35  $\mu$ F, pero el condensador 236 no está conectado ya que el conmutador 235 está abierto, de esta manera la corriente i3 es cero.

De manera similar, la gráfica 903 de la Figura 9 inferior muestra la corriente i5 desde el divisor 210 de corriente magnético, la gráfica 904 muestra la corriente i3, que es el flujo de corriente en un condensador 236 de PFC de 35  $\mu$ F. Pero el condensador 236 no está conectado ya que el conmutador 235 está abierto, de esta manera, la corriente i3 es cero.

La corriente 901 tiene un valor de 71,4 Arms, mientras que la corriente 902 en el condensador de PFC es  $(I_3) = 0$  Arms. Los tamaños de las corrientes 903 y 904 son del mismo tamaño.

5 La parte superior de la Figura 10 muestra la diferencia de la corriente  $i_1$  de alimentación entre las simulaciones con y sin condensadores de PFC. La diferencia de corriente en la gráfica 1001 tiene un tamaño de 40 Arms, que en principio es la mejora en la corriente reactiva proporcionada por los condensadores de PFC, es decir, sin el condensador 236 de PFC se requeriría un flujo de corriente reactiva de 40 A (rms) adicional.

10 La Figura 11 muestra el nivel de voltaje de CC con y sin los condensadores de PFC. Aquí reside otra mejora del circuito con los condensadores 236 de PFC. La gráfica 1101 de voltaje es con los condensadores conectados, aquí el voltaje del enlace de CC es de 495 Vcc. La gráfica 1102 de voltaje inferior es sin los condensadores 236 de PFC conectados, el nivel de voltaje de CC es de 470 Vcc. Esto significa una mejora en el nivel de voltaje de CC de 25 Vcc o 5,3%, lo que conduce a corrientes más bajas en el resto del circuito con la misma carga.

De manera similar, la potencia aparente nominal (S) de la bobina 205 de filtro de red puede reducirse como resultado del mayor factor de potencia:

$$S_{\text{nominal}} \text{ con condensadores de PFC} = 2 \times \Phi \times 50 \times 0,00085 \times 132,7^2 = 4.702 \text{ VA}$$

15  $S_{\text{nominal}} \text{ sin condensadores de PFC} = 2 \times \Phi \times 50 \times 0,00085 \times 138^2 = 5.085 \text{ VA (+ 8\%)}$

El tamaño de la bobina 205 de filtro de red establece la longitud del tiempo de conmutación entre los diodos respectivos. Los condensadores de PFC garantizan que la conmutación de cada diodo suceda libremente y de esta manera la corriente y el voltaje permanecen en fase entre sí.

20 La Figura 12 muestra un diagrama de flujo de un método según un aspecto de la invención para la rectificación de la potencia eléctrica para reducir un factor de distorsión armónica y/o para aumentar un factor de potencia. La etapa 1201 recibe una entrada de alimentación trifásica, a través de tres inductancias de fase, estando las tres inductancias de fase conectadas en serie con la entrada de alimentación trifásica y un circuito divisor magnético, la etapa 1202 divide la entrada de alimentación trifásica en el circuito divisor magnético, a un primer sistema trifásico y un segundo sistema trifásico, teniendo dicho primer sistema trifásico señales retrasadas con relación a las señales del segundo sistema trifásico, la etapa 1203 corrige la potencia de los sistemas trifásicos primero y segundo mediante múltiples condensadores de PFC, comprendiendo cada uno terminales primero y segundo, dichos primeros terminales conectados a los terminales de entrada respectivos de un rectificador de doce pulsos, y dichos segundos terminales conectados a un punto eléctrico común, y la etapa 1204 rectifica la potencia del sistema trifásico primero y segundo en el rectificador de doce pulsos con seis terminal de entrada para conectar los sistemas trifásicos primero y segundo.

30 En resumen, la invención se refiere a un circuito rectificador dispuesto para rectificar energía eléctrica, que comprende una entrada de alimentación trifásica, un circuito divisor magnético dispuesto para recibir la entrada de alimentación trifásica y dividir la alimentación trifásica en un primer sistema trifásico y un segundo sistema trifásico, teniendo el primer sistema trifásico señales retrasadas con relación a las señales del segundo sistema trifásico, un rectificador de doce pulsos con seis terminal de entrada para conectar los sistemas trifásicos primero y segundo, y para generar una potencia eléctrica rectificadas a una salida de potencia, inductancias trifásicas conectadas en serie con la entrada de alimentación trifásica y el circuito divisor magnético, y múltiples condensadores de corrección de factor de potencia (PFC), cada uno de los cuales comprende terminales primero y segundo, estando dichos primeros terminales conectados a los terminales de entrada respectivos del rectificador de doce pulsos, y estando los segundos terminales conectados a al menos un punto eléctrico común.

40 Los elementos individuales de una realización de la invención pueden implementarse física, funcional y lógicamente de cualquier manera adecuada, tal como en una única unidad, en una pluralidad de unidades o como parte de las unidades funcionales separadas. La invención puede implementarse en una única unidad, o puede distribuirse física y funcionalmente entre diferentes unidades y procesadores.

**REIVINDICACIONES**

1. Circuito rectificador dispuesto para rectificar energía eléctrica, que comprende
- una entrada (202) de alimentación trifásica,
  - un circuito (210) divisor magnético que está dispuesto para recibir la entrada (202) de alimentación trifásica y dividir la alimentación trifásica en un primer sistema (212) trifásico y un segundo sistema (214) trifásico, teniendo dicho primer sistema trifásico señales retrasadas con relación a las señales del segundo sistema trifásico,
  - un rectificador (220) de doce pulsos con seis terminales de entrada para conectar los sistemas trifásicos primero y segundo, y para generar una alimentación eléctrica rectificadora a una salida de alimentación,
- caracterizado por que el circuito rectificador comprende, además
- una inductancia (205) trifásica conectada en serie con la entrada de alimentación trifásica y el circuito divisor magnético, y en el que la inductancia (205) trifásica está dispuesta para asegurar el modo de conducción continua en el rectificador (220) de doce pulsos,
  - múltiples condensadores (230) de corrección de factor de potencia (PFC), que comprenden cada uno terminales primero y segundo, estando dichos primeros terminales conectados a terminales de entrada respectivos del rectificador de doce pulsos, y estando dichos segundos terminales conectados a al menos un punto (236) eléctrico común,
  - en el que los múltiples condensadores (230) de PFC comprenden seis condensadores.
2. Circuito rectificador según la reivindicación 1, en el que las señales de los sistemas trifásicos primero y segundo son una señal de corriente.
3. Circuito rectificador según la reivindicación 1, en el que los múltiples condensadores (230) de PFC se seleccionan de manera que tengan capacitancias que sirven al propósito de alcanzar un factor de potencia unidad de la entrada (202) de alimentación trifásica a una carga nominal.
4. Circuito rectificador según las reivindicaciones 1 a 3, en el que el rectificador de doce pulsos comprende múltiples conmutadores (120) de diodos.
5. Circuito rectificador según las reivindicaciones 1 a 4, en el que el rectificador de doce pulsos consiste en dos puentes (221, 222) rectificadores de seis pulsos.
6. Circuito rectificador según las reivindicaciones 1 a 5, en el que la inductancia (205) trifásica son tres componentes magnéticos separados cada uno conectado en serie entre la fase respectiva de la entrada de alimentación trifásica y el circuito (210) divisor magnético, teniendo dicha inductancia un valor en el intervalo de 0,1 p.u a 0,2 p.u.
7. Circuito rectificador según las reivindicaciones 1 a 5, que comprende además una segunda inductancia trifásica, en la que la inductancia trifásica se inserta en serie entre un primer sistema (212) trifásico del circuito (210) divisor magnético y el rectificador (221), y la segunda inductancia trifásica se inserta en serie entre el segundo sistema (214) trifásico del circuito divisor magnético y el rectificador (222).
8. Circuito rectificador según las reivindicaciones 1 a 7, en el que cada uno de los múltiples condensadores de PFC están dispuestos para ser conectados al circuito a través de conmutadores (235) eléctricos.
9. Circuito rectificador según la reivindicación 8, en el que los conmutadores (235) eléctricos están dispuestos para ser operados en un modo abierto, cuando la salida de alimentación está por debajo de un valor umbral.
10. Circuito rectificador según las reivindicaciones 1 a 9, en el que cada uno de los múltiples condensadores (230) de PFC tiene un valor de capacitancia en el intervalo de 20 uF a 40 uF.
11. Uso del circuito rectificador según las reivindicaciones anteriores, en el que el circuito rectificador proporciona alimentación a una unidad de aire acondicionado o a una unidad de alimentación en tierra de una aeronave.
12. Método para rectificar energía eléctrica para reducir un factor de distorsión armónica y/o para aumentar un factor de potencia, el método comprende:

- recibir una entrada (202) de alimentación trifásica, a través de inductancias (205) trifásicas, estando las inductancias trifásicas conectadas en serie con la entrada (202) de alimentación trifásica y un circuito (210) divisor magnético,
- 5 - dividir la entrada (202) de alimentación trifásica en el circuito (210) divisor magnético en un primer sistema (212) trifásico y un segundo sistema (214) trifásico, teniendo dicho primer sistema trifásico señales retrasadas con relación a las señales del segundo sistema trifásico,
- corregir la potencia de los sistemas trifásicos primero (212) y segundo (214) mediante múltiples condensadores (230) de PFC, en el que los múltiples condensadores (230) de PFC comprenden seis condensadores, comprendiendo cada uno terminales primero y segundo, estando dichos primeros terminales conectados a los  
10 terminales de entrada respectivos de un rectificador de doce pulsos, y dichos segundos terminales conectados a un punto (236) eléctrico común,
- rectificar la potencia de los sistemas trifásicos primero y segundo en el rectificador (220) de doce pulsos en un modo de conducción continua, asegurado por las inductancias (205) trifásicas, con seis terminales de entrada para conectar los sistemas (212, 214) trifásicos primero y segundo.
- 15

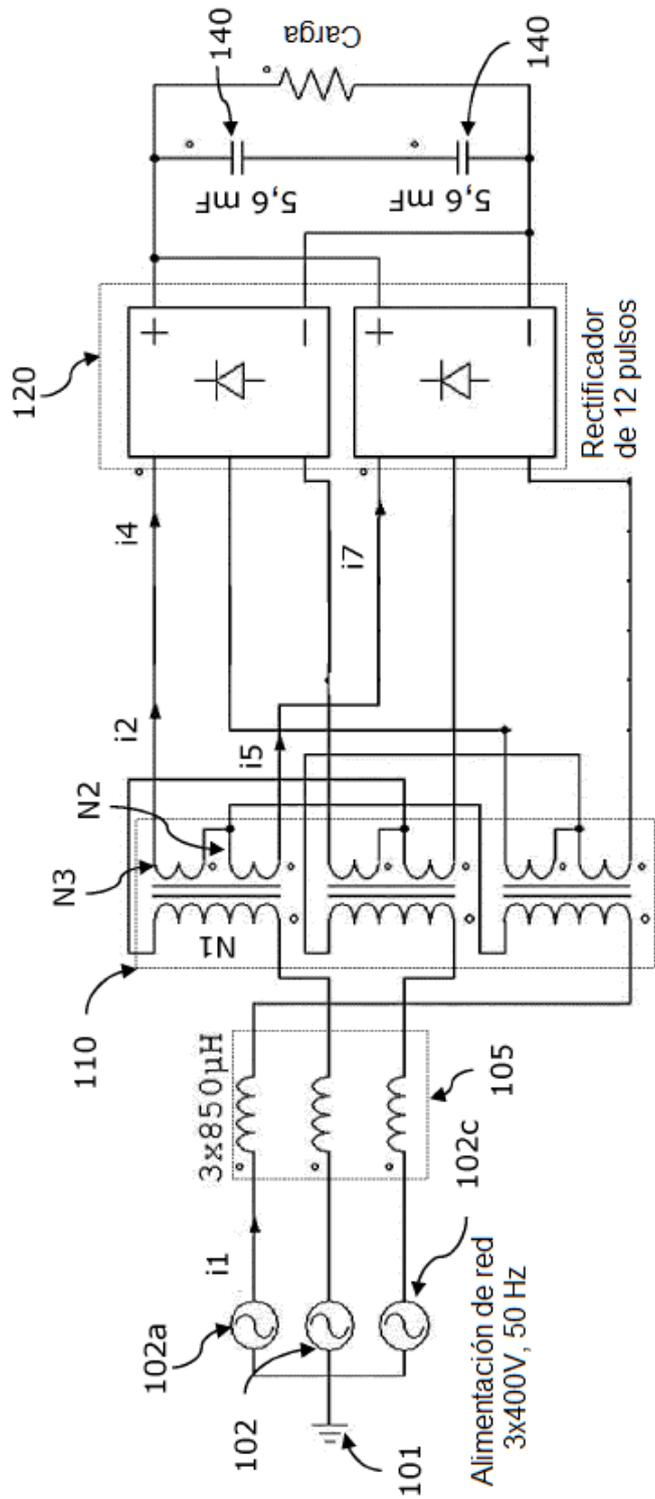


Figura 1a

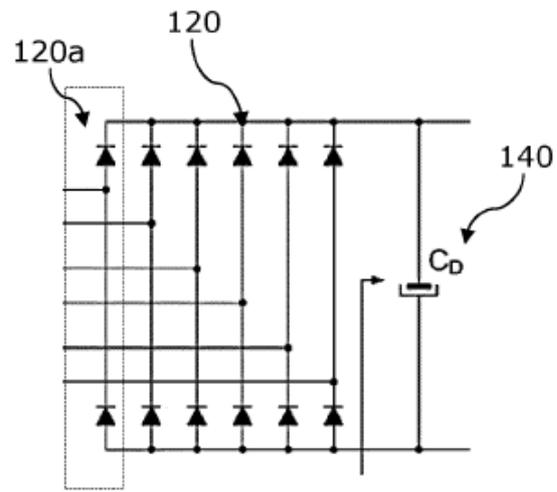


Figura 1b

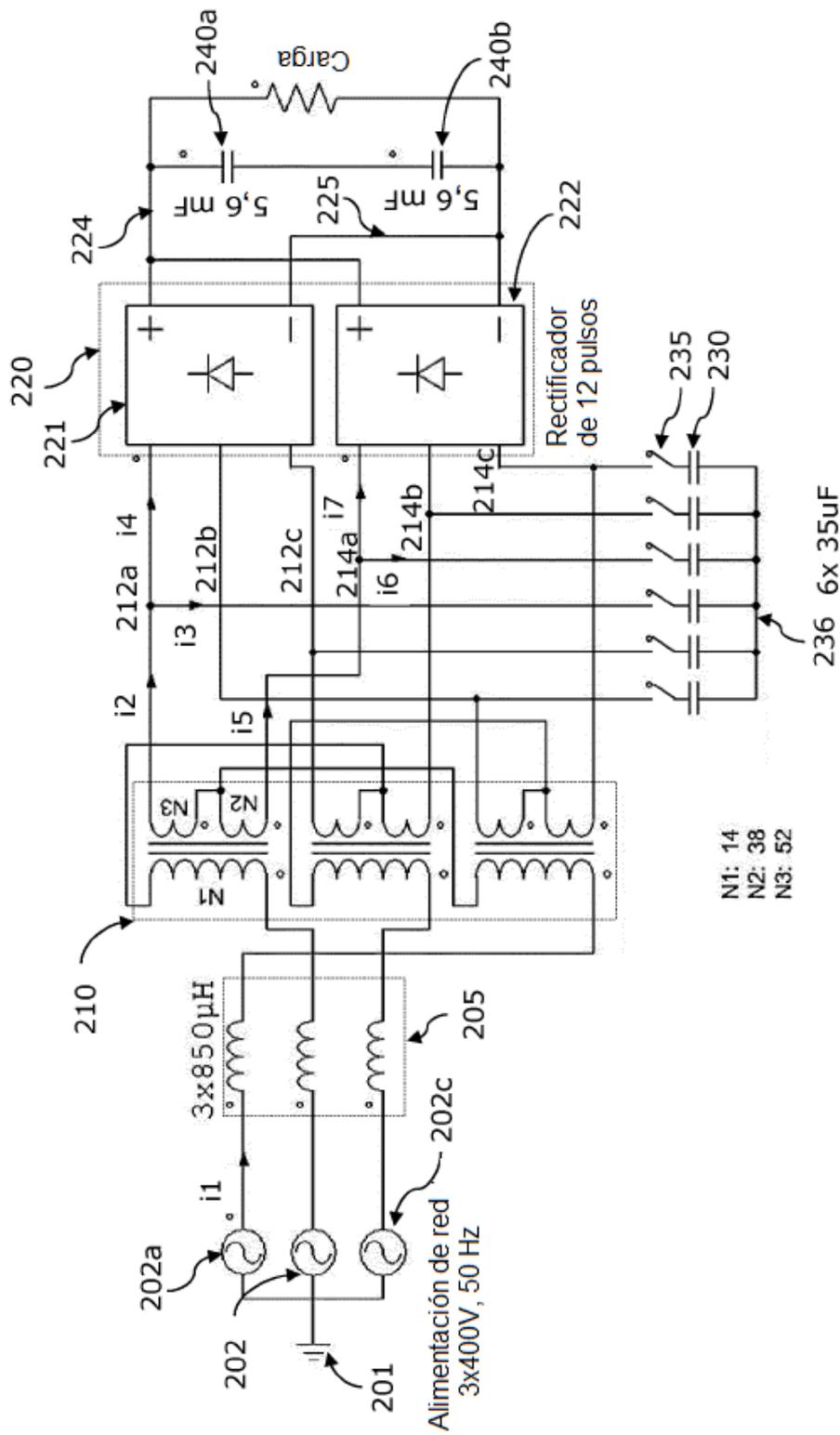


Figura 2

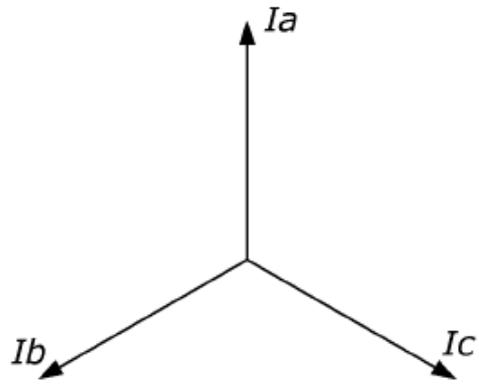


Figura 3a

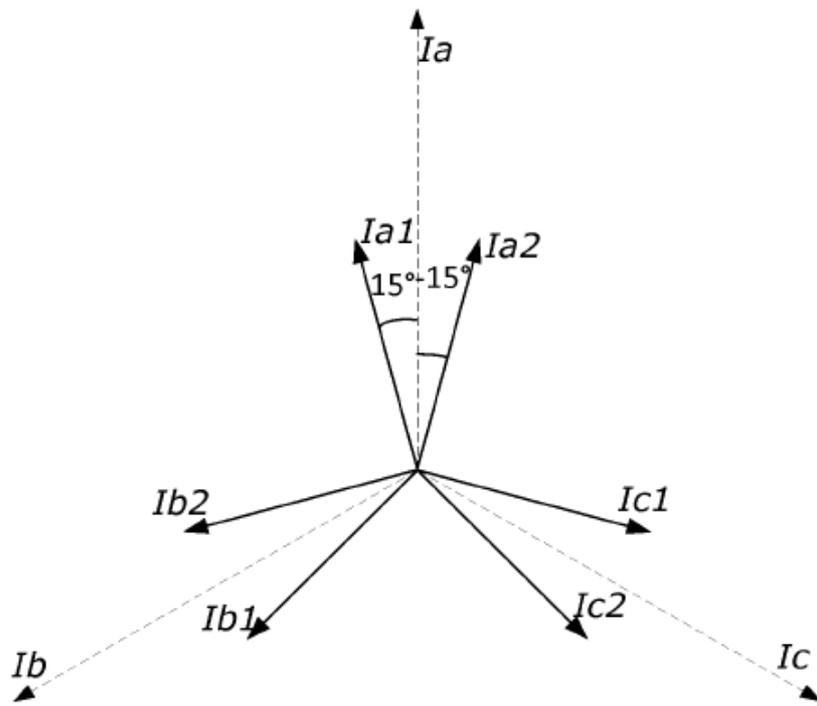


Figura 3b

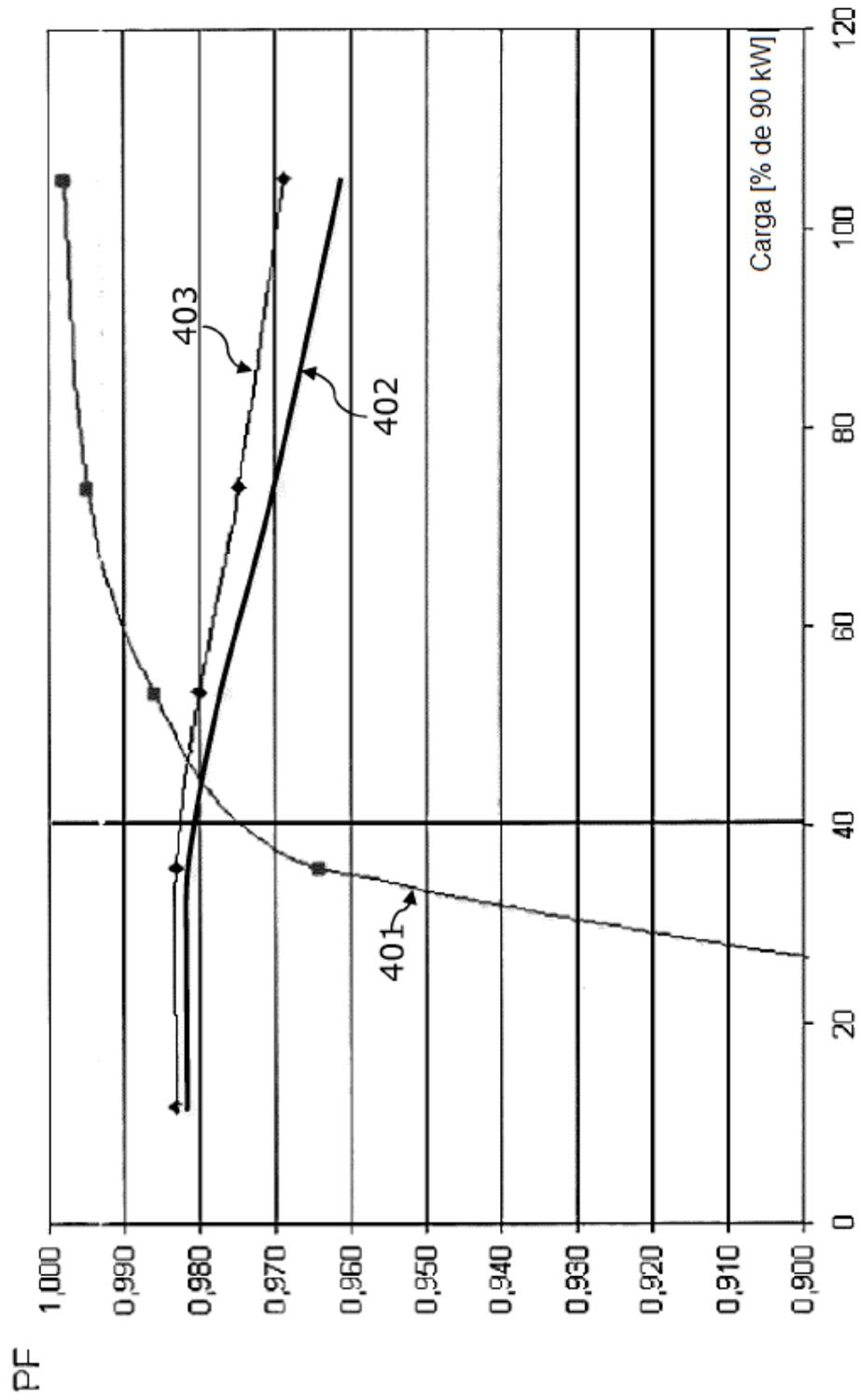


Figura 4

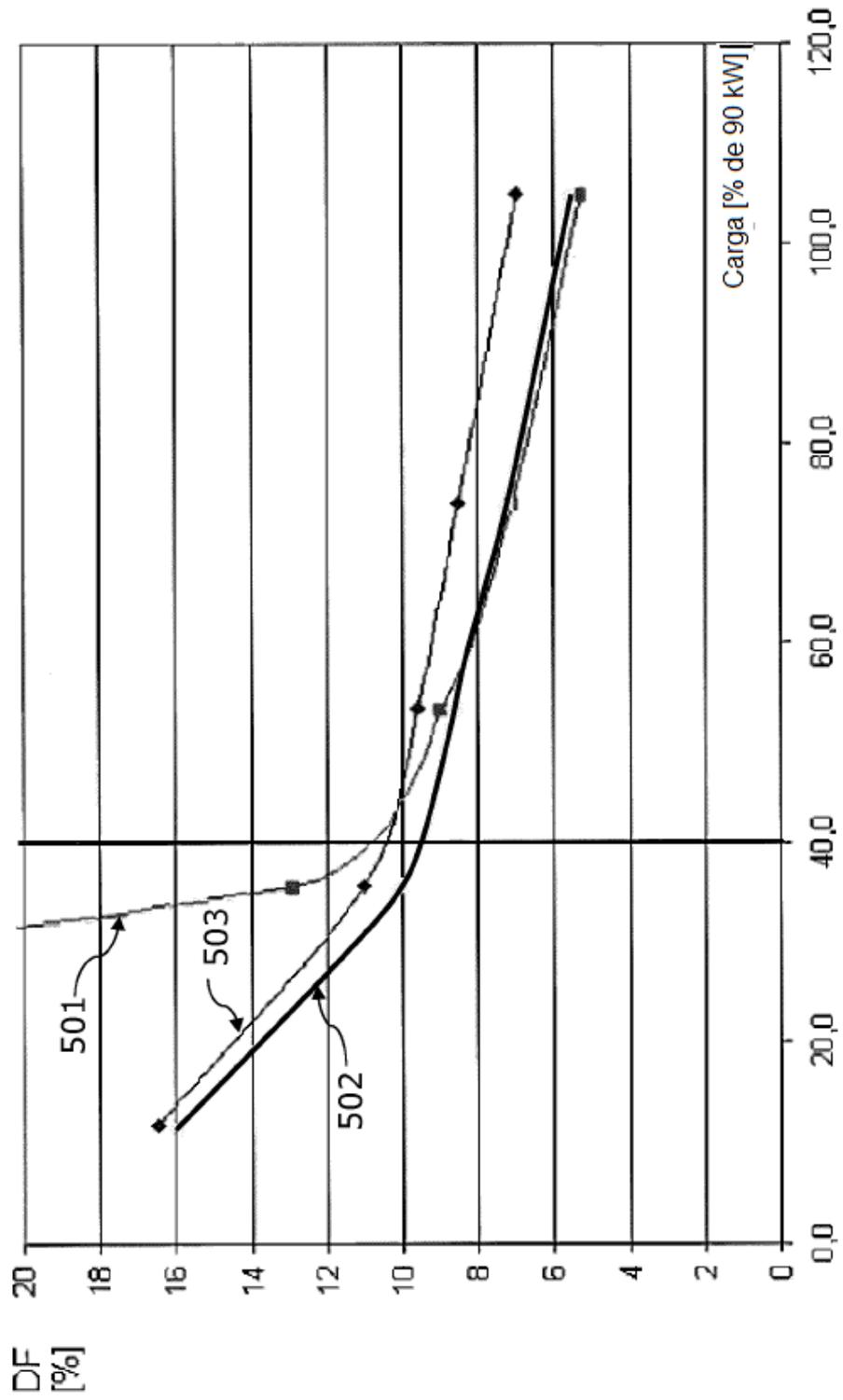


Figura 5

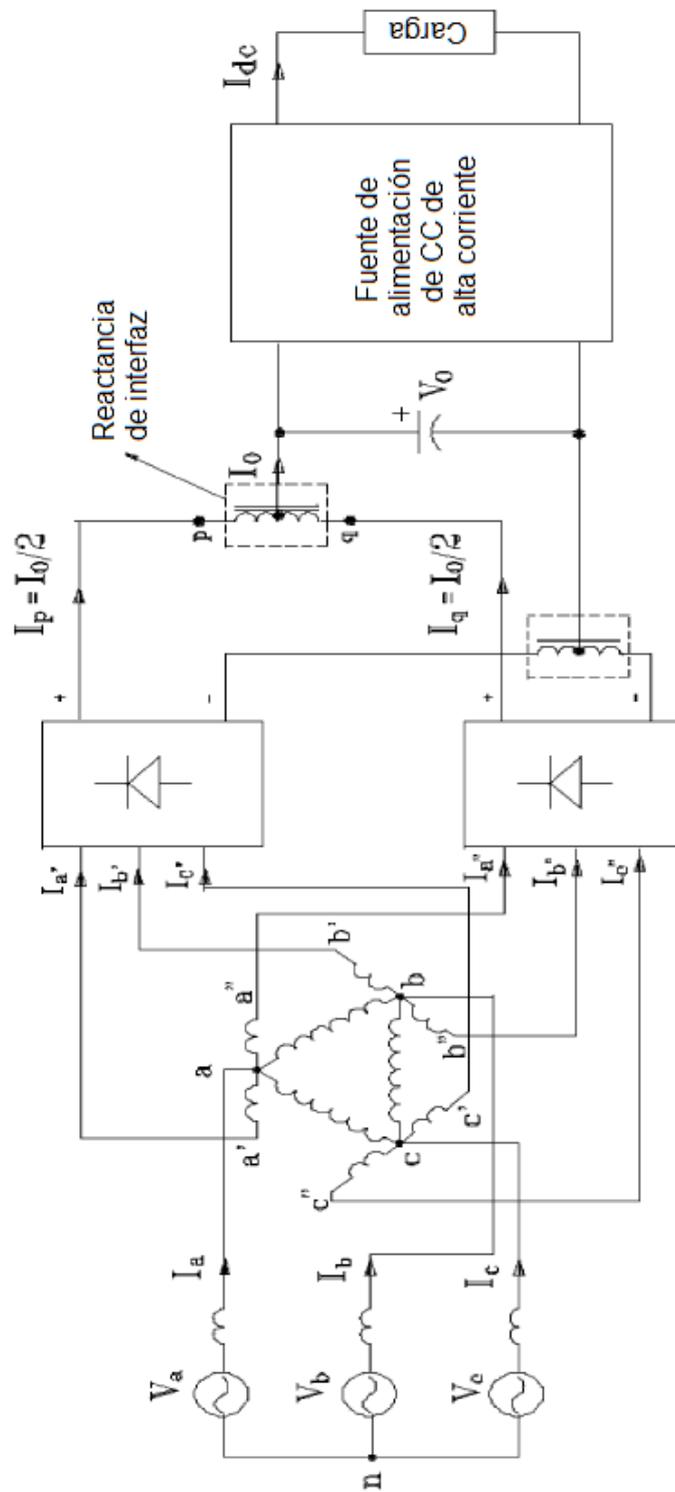


Figura 6

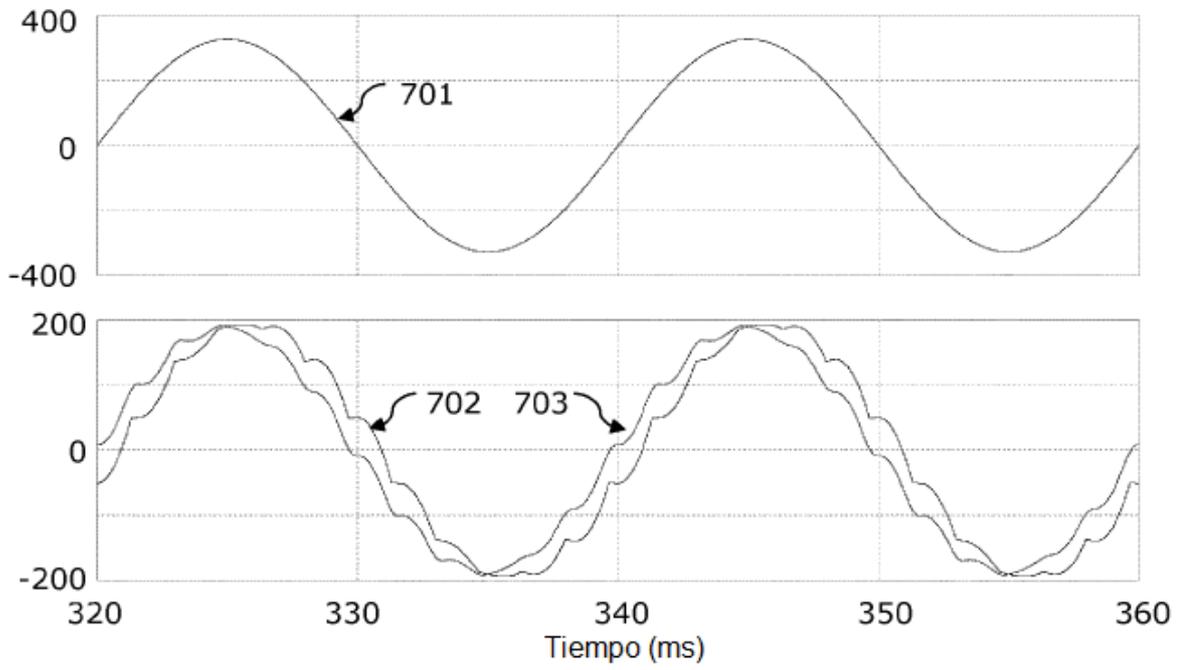


Figura 7

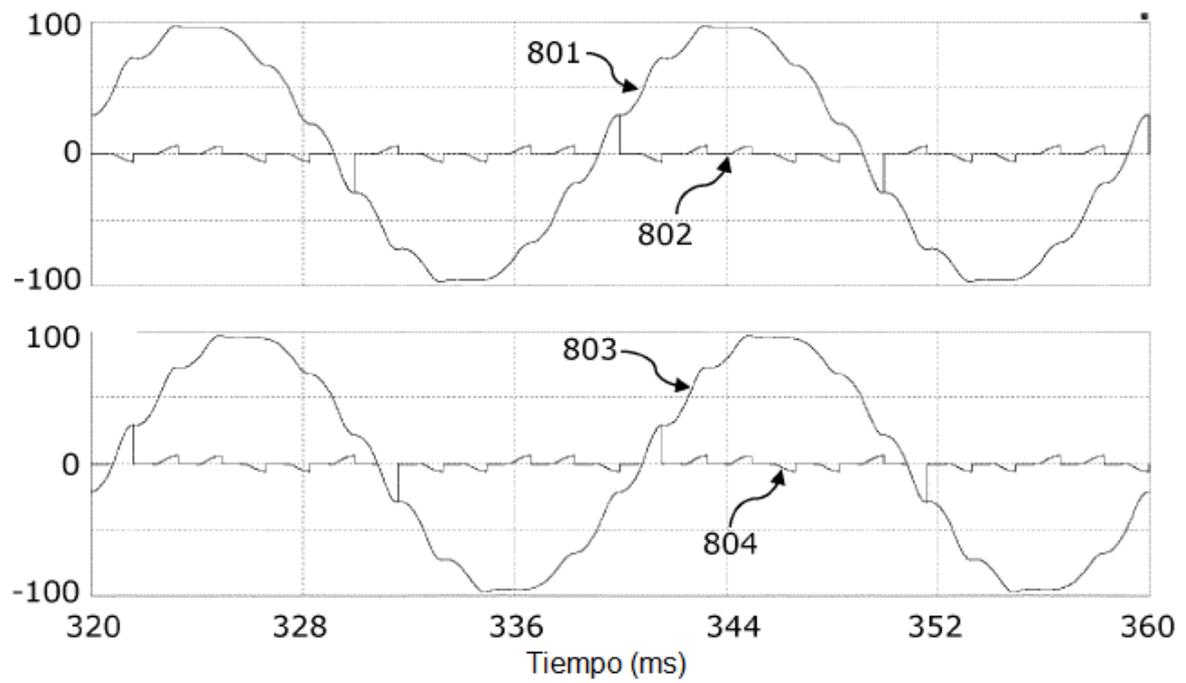


Figura 8

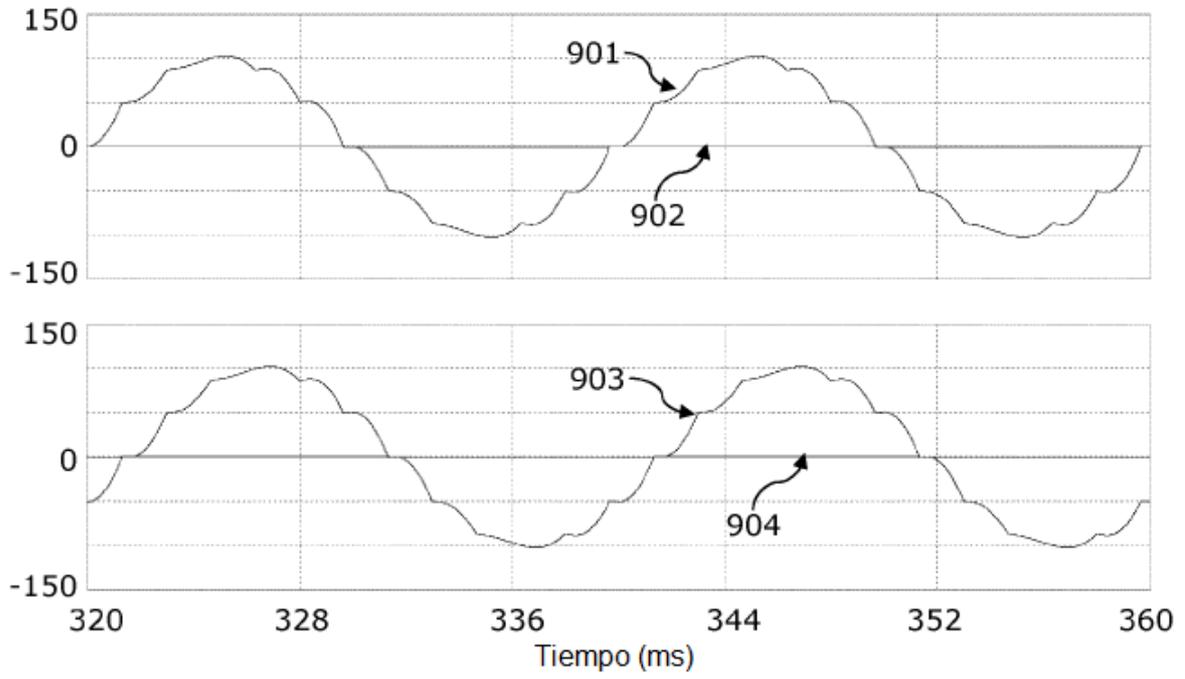


Figura 9

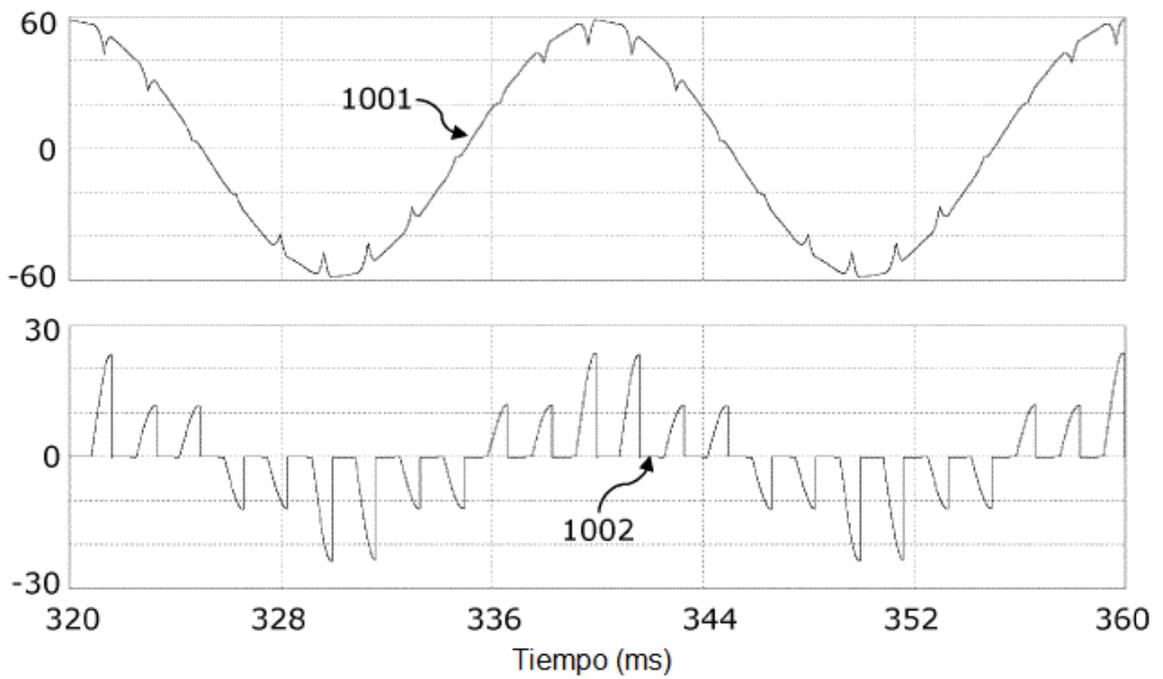


Figura 10

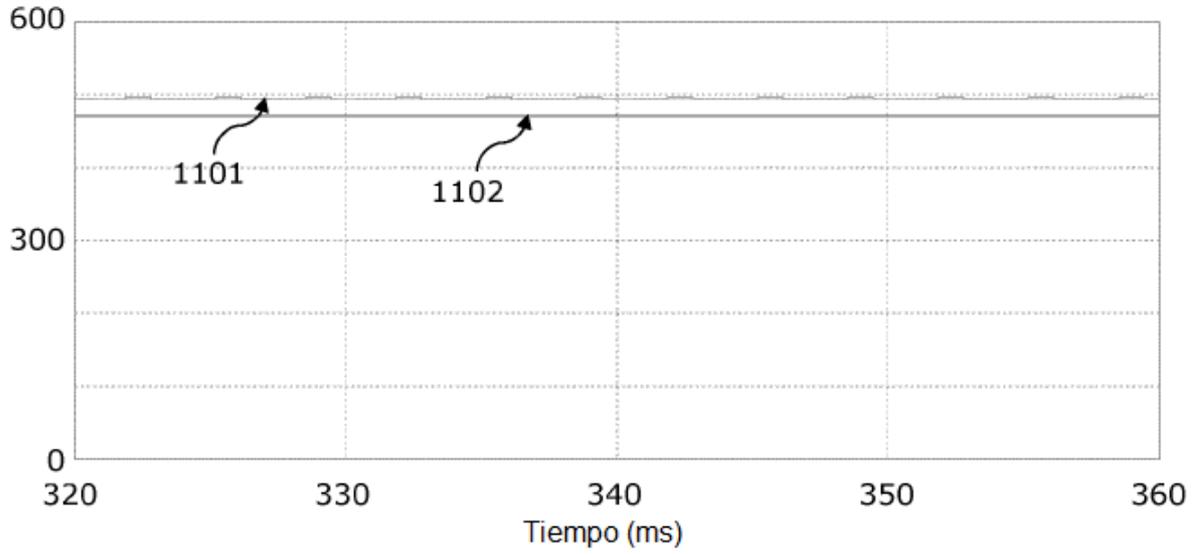


Figura 11

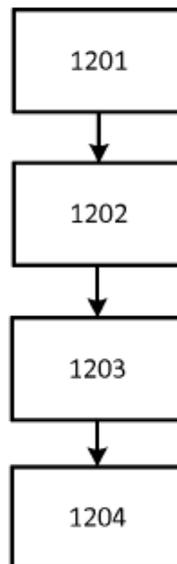


Figura 12