

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 393 880**

51 Int. Cl.:

**H02P 25/22** (2006.01)

**H02J 3/01** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **09012905 .7**

96 Fecha de presentación: **13.10.2009**

97 Número de publicación de la solicitud: **2312744**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **20.04.2011**

54 Título: **Sistemas de distribución de energía eléctrica**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:

**28.12.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:

**28.12.2012**

73 Titular/es:

**CONVERTEAM TECHNOLOGY LTD (100.0%)**  
**Boughton Road Rugby**  
**Warwickshire CV21 1BU, GB**

72 Inventor/es:

**CHILDS, JONATHAN y**  
**CRANE, ALLAN DAVID**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 393 880 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

Sistemas de distribución de energía eléctrica

**Campo técnico**

5 La presente invención se refiere al campo de los sistemas de distribución de energía eléctrica, y en concreto, al campo de los sistemas de distribución de energía eléctrica que pueden ser utilizados a bordo de plataformas marinas para suministrar energía eléctrica a uno o más motores de propulsión además de a los servicios de las embarcaciones.

**Técnica antecedente**

10 Un ejemplo de un sistema marino convencional de distribución y propulsión de energía eléctrica se muestra en la Figura 1. Una serie de motores diesel D son utilizados para accionar unos generadores individuales G de ca. Estos generadores suministran energía eléctrica de ca a un primer tablero de distribución o barra colectora de voltaje medio, MVAC1 y a un segundo tablero de distribución o barra colectora de voltaje medio, MVAC2. Las barras colectoras de voltaje medio están equipadas con un equipo de conmutación y distribución protector que comprende unos interruptores automáticos y unos controles asociados y se representan en la Figura 1 mediante el símbolo X.  
15 Los convertidores de energía eléctrica, PC, son utilizados para situar en contacto las barras colectoras de voltaje medio con los motores de propulsión, PM, eléctricos que accionan los propulsores. Las barras colectoras de voltaje medio están interconectadas mediante un equipo de conmutación y distribución protector.

20 La mayoría de los servicios de las embarcaciones requieren un voltaje bajo y es conveniente derivar este voltaje de las barras colectoras de voltaje medio mediante la utilización de un transformador. En el sistema de distribución y propulsión de energía eléctrica marina convencional mostrado en la Figura 1, un primer tablero o barra colectora de voltaje bajo, LVAC1, está conectado a la primera barra colectora de voltaje medio, MVAC1, mediante un primer transformador T1 y un equipo de distribución y conmutación protector. Un segundo tablero o barra colectora de voltaje bajo, LVAC2, está conectado a una segunda barra colectora de voltaje medio, MVAC2, mediante un segundo transformador T2 y un equipo de conmutación y distribución protector. Las barras colectoras de voltaje bajo están interconectadas mediante un equipo de distribución y conmutación. Una serie de cargas eléctricas inespecíficas (denominadas cargas LVAC) pueden estar conectadas a las barras colectoras de bajo voltaje.  
25

30 Aunque es conveniente conectar las barras colectoras de bajo voltaje a las barras colectoras de voltaje medio, una disposición de este tipo normalmente conlleva el acoplamiento problemático de la distorsión armónica. En otras palabras, la distorsión armónica de las barras colectoras de voltaje medio provocada por el funcionamiento de los motores de propulsión, por ejemplo, será transferida a través de los transformadores T1 y T2 a las barras colectoras de bajo voltaje. Si las cargas eléctricas conectadas a las barras colectoras de bajo voltaje requieren una distorsión armónica baja (esto es, una alta calidad de suministro de energía eléctrica (QPS)), entonces ello puede ocasionar problemas potenciales relacionados con su funcionamiento normal. Así mismo, algunas de las cargas conectadas a las barras colectoras de bajo voltaje pueden por sí mismas provocar la distorsión armónica en las barras colectoras de bajo voltaje. Esta será transferida a través de los transformadores T1 y T2 a las barras colectoras de voltaje medio.  
35

Con el fin de suprimir dicha distorsión armónica, unos filtros F voluminosos y de elevado coste están normalmente conectados a las barras colectoras de voltaje medio.

40 Otra opción para suprimir la distorsión armónica consiste en utilizar transformadores de cambio de base en lugar de los transformadores T1 y T2.

45 En otros sistemas marinos de distribución y propulsión de energía, en consecuencia, se utiliza un suministro de ca de bajo voltaje y, en este caso, la disposición mostrada en la Figura 1 sigue siendo aplicable, pero las primera y segunda barras colectoras de voltaje medio MVAC1 y MVAC2, simplemente operan con un voltaje bajo. Este podría ser el caso en el que el valor nominal de la energía eléctrica de los motores de propulsión, PM, fuera insuficiente para garantizar el uso de un suministro de ca de voltaje medio. Es habitual que los motores de propulsión, PM, sean alimentados con un valor diferente de bajo voltaje de la alimentación de bajo voltaje suministrada a las cargas de LVAC. Por ejemplo, las cargas de propulsión pueden tener un suministro 690 V mientras que las cargas del servicio de las embarcaciones pueden tener un suministro de 440 V.

50 En dichos sistemas de bajo voltaje es habitual que sean alimentadas unas cargas eléctricas auxiliares de mayor volumen, como por ejemplo motores de empuje, bombas y grúas, por ejemplo, mediante el mismo voltaje de suministro y los mismos motores de propulsión. Aunque solo se muestran unas cargas de propulsión conectadas a las primera y segunda barras colectoras de voltaje medio MVAC1 y MVAC2, debe sin dificultad apreciarse que pueden, así mismo, estar conectadas a ellas otras cargas eléctricas.

55 Así mismo, en algunos casos los convertidores de propulsión PC, que son utilizados para poner en contacto los motores de propulsión PM, con las primera y segunda barras colectoras de voltaje medio, MVAC1 y MVAC2, junto con cualquier otra carga auxiliar de mayor tamaño, a costa de un aumento del tamaño y del precio, incorporar unas

características únicas adicionales que reduzcan al mínimo la distorsión armónica de esas barras colectoras. El uso de dichas características adicionales eliminaría la necesidad de los filtros F. Cualquiera que sea el sistema utilizado para reducir al mínimo la distorsión armónica existe siempre una penalización considerable en cuanto a tamaños y costes para asegurar que la QPS se mantenga sobre las primera y segunda barras colectoras de voltaje medio MVAC 1 y MVAC2, de tal manera que se mantenga una QPS satisfactoria de manera similar sobre las barras colectoras de bajo voltaje, LVAC1 y LVAC2.

El documento EP 2157687 describe un generador que presenta una pluralidad de devanados multifase galvánicamente aislados. Los devanados del estator pueden estar dispuestos en fase entre sí o estar dispuestos con un desplazamiento de fase predeterminado entre sí para proporcionar una cancelación armónica beneficiosa de la distorsión armónica íntegra de la corriente del estator.

### **Sumario de la invención**

La finalidad de la invención busca dar respuesta al acoplamiento problemático de la distorsión armónica mencionada con anterioridad y proporciona un sistema de distribución de energía eléctrica que comprende: una primera barra colectoras de distribución : una segunda barra colectoras de distribución ; un rectificador multipulso que incorpora unos terminales eléctricamente conectados a la primera barra colectoras de distribución ; y un generador de salidas múltiples que incorpora unos primero y segundo devanados del estator galvánicamente aislados, proporcionando el primer devanado del estator una primera salida de ca multifase con  $n$  fases y que está conectada a la primera barra colectoras de distribución (de manera opcional por medio de un rectificador multipulso en el caso de que la primera barra colectoras de distribución conduzca un voltaje de distribución de cc) para suministrar un primer voltaje de distribución a la primera barra colectoras de distribución, y proporcionando el segundo devanado del estator una segunda salida de ca multifase con  $m$  fases y estando conectado a la segunda barra colectoras de distribución para suministrar un segundo voltaje de distribución a la segunda barra colectoras de distribución ; en el que las  $n$  fases de la primera salida de ca es desplazada en un ángulo positivo predeterminado con respecto a las  $m$  fases de la segunda salida de ca y una segunda proporción de las  $n$  fases de la primera salida de ca es desplazada en un ángulo negativo predeterminado con respecto a las  $m$  fases de la segunda salida de ca.

El desplazamiento de fase de la primera salida de ca con respecto a la segunda salida de ca se traduce en una reducción de la distorsión armónica por las razones expuestas con mayor detalle más adelante. En la práctica, la segunda salida de ca funciona como una salida de referencia y las fases de la primera salida de ca son desfasadas con respecto a aquella.

El primer devanado del estator está, de modo preferente, dividido en dos o más devanados del estator subsidiarios, proporcionando cada devanado del estator una proporción de  $n$  fases de la primera salida de ca.

Los devanados del estator subsidiarios están, de modo preferente, galvánicamente aislados entre sí y respecto del segundo devanado del estator.

Cada uno de los primero y segundo devanados del estator incluye una pluralidad de bobinas conectadas entre sí y son unos devanados del estator multifase (o polifase). Los grupos de la corriente de línea para el generador de salidas múltiples operará a diferentes voltajes y con diferentes relaciones de fase de la distorsión armónica. Los grupos de la corriente de línea pueden, así mismo, operar con diferentes generadores de energía.

Las  $n$  fases de la primera salida de ca están, de modo preferente, sustancialmente desfasadas de forma simétrica con respecto a las  $m$  fases de la segunda salida de ca. En otras palabras, el ángulo positivo predeterminado y el ángulo negativo predeterminado tienen, de modo preferente, la misma magnitud.

En una primera posible disposición, la primera salida de ca es una salida de ca de seis fases y la segunda salida de ca es una salida de ca de tres fases. Las tres fases de la primera salida de ca están desfasadas en un ángulo positivo predeterminado con respecto a la segunda salida de ca y las tres fases de la primera salida de ca están desfasadas en un ángulo negativo predeterminado con respecto a la segunda salida de ca. El ángulo positivo predeterminado es de aproximadamente + 15 grados y el ángulo negativo predeterminado es de aproximadamente - 15 grados. El rectificador multipulso es un rectificador de 12 pulsos.

En una segunda posible disposición, la primera salida de ca es una salida de ca de doce fases y la segunda salida de ca es una salida de ca de tres fases. Las tres fases de la primera salida de ca están desfasadas en un primer ángulo positivo predeterminado con respecto a la segunda salida de ca, las tres fases de la primera salida están desfasadas en un segundo ángulo positivo predeterminado con respecto a la segunda salida de ca, las tres fases de la primera salida de ca están desfasadas en un primer ángulo negativo predeterminado con respecto a la segunda salida de ca, y las tres fases de la primera salida de ca están desfasadas en un segundo ángulo negativo predeterminado con respecto a la segunda salida de ca. El primer ángulo positivo predeterminado es de aproximadamente + 22,5 grados, el segundo ángulo positivo predeterminado es de aproximadamente + 7,5 grados, el primer ángulo negativo predeterminado es de aproximadamente - 7,5 grados y el segundo ángulo negativo predeterminado es de - 22,5 grados. El rectificador multipulso es un rectificador de 24 pulsos.

Una batería de condensadores puede estar conectada a la segunda salida de ca para proporcionar una reducción adicional en la distorsión armónica y para afectar a la excitación del generador de salidas múltiples. En la primera disposición posible las corrientes armónicas del orden de más de 7 no se benefician de la cancelación de fase producida dentro del generador y los armónicos de orden de menor de 8 pueden presentar una cancelación de fase imperfecta. En la segunda posible disposición las corrientes armónicas del orden de más de 13 no se benefician de la cancelación de fase producidas dentro del generador y los armónicos del orden de menos de 14 pueden presentar una cancelación de fase imperfecta. De esta manera, la segunda salida de ca del generador contendrá una disposición armónica del voltaje. La acción de la batería de condensadores, en combinación con la impedancia reactiva y resistiva de la máquina eléctrica es comparable al de un filtro de LC de retardo de segundo orden amortiguado, pero la naturaleza práctica de la máquina eléctrica es tal que la filtración se desvía de la característica ideal. No obstante, la acción de la batería de condensadores proporciona una filtración armónica beneficiosa. Extrayendo un componente fundamental de la corriente en un factor de energía eléctrica en adelanto, la batería de condensadores proporciona, así mismo, la excitación del generador. El valor nominal fundamental de la MVAR de la batería de condensadores no debe ser excesivo desde una perspectiva convencional de estabilidad y la batería de condensadores debe incluir la provisión de una limitación de la corriente de entrada.

La primera barra colectora de distribución (MVAC1) puede conducir un voltaje de distribución de ca que sea suministrada por el primer devanado del estator del generador de salidas múltiples.

La segunda barra colectora de distribución (LVAC2) puede, así mismo, conducir un voltaje de distribución de ca que sea suministrado por el segundo devanado del estator del generador de salidas múltiples.

La primera barra colectora de distribución de ca normalmente funcionará como una barra colectora de de voltaje medio (MV) o de bajo voltaje (LV) y la segunda barra colectora de distribución normalmente funcionará como una barra colectora de bajo voltaje. De esta manera, en el caso de que el sistema de distribución de energía eléctrica sea un sistema de energía marina y un sistema de propulsión, la energía eléctrica de ca generada por el generador de salidas múltiple puede ser distribuida a un voltaje medio o bajo (por ejemplo, 6,6 kV o 690 V) a uno o más sistemas de accionamiento de propulsión a través de la primera barra colectora de distribución de ca y a un bajo voltaje (por ejemplo 440 V) para servicios de embarcaciones a través de la segunda barra colectora de distribución de ca.

El rectificador multipulso puede estar eléctricamente conectado entre la primera barra colectora de distribución y un motor de propulsión. En otras palabras, el rectificador multifase puede formar parte de un convertidor de energía eléctrica que, así mismo, incluya un enlace de cc y un inversor que esté eléctricamente conectado a los terminales de ca de un motor de propulsión de ca. Si se utiliza un motor de propulsión de cc, entonces sus terminales de cc pueden, en algunos casos, estar conectados directamente a los terminales de cc del rectificador multipulso y, en otros casos, pueden estar conectados a los terminales de cc del rectificador multipulso por medio de un convertidor de energía eléctrica nterpuesta de cc / cc.

La primera barra colectora de distribución puede enviar un voltaje de distribución de cc. En esta disposición, el rectificador multipulso está conectado eléctricamente entre el primer devanado del estator del generador de salidas múltiples y la primera barra colectora de distribución para rectificar la primera salida de ca. En otras palabras, el voltaje de distribución de cc que es enviado por la primera barra colectora de distribución es derivado directamente de la salida de ca del generador mediante la acción rectificadora del rectificador multipulso.

El sistema de distribución de energía eléctrica puede incluir unas barras colectoras adicionales. Las barras colectoras que conducen el mismo voltaje de distribución pueden estar interconectadas entre sí mediante un equipo de conmutación y distribución protector. Todos los componentes (por ejemplo los generadores de salidas múltiples, los convertidores de energía eléctrica y las cargas de bajo voltaje) pueden estar conectados a las barras colectoras mediante un equipo de conmutación y distribución protector que comprenda unos circuitos automáticos y unos controles asociados.

Cada barra colectora de distribución puede recibir energía eléctrica procedente de múltiples generadores adicionales de salidas múltiples. Por ejemplo, en una posible disposición, el sistema de distribución de energía eléctrica puede incluir dos o más generadores de salidas múltiples cuyas primeras salidas de ca se suministren a la primera barra colectora de distribución (de manera opcional después de ser rectificadas por el rectificador multipulso en el caso de que la primera barra colectora de distribución conduzca un voltaje de distribución de cc) y cuya segundas salidas de ca se suministren a la segunda barra colectora de distribución. Cualquier sistema práctico de distribución de energía eléctrica puede operar con una pluralidad de "islas" de distribución de energía eléctrica, pero compartiendo los generadores de salidas múltiples conectadas en paralelo y las transiciones entre los modos operativos deben ser cuidadosamente controladas. Las islas pueden estar conectadas entre sí en paralelo para ofrecer una única disposición en isla (por ejemplo, para un funcionamiento de un único motor de propulsión) o pueden estar separadas para suministrar una redundancia y una degradación controlada de la capacidad como consecuencia de los fallos del equipamiento. Cada generador de salidas múltiples está, de modo preferente, regulado por un Regulador de Voltaje Automático (AVR) de acuerdo con un procedimiento o algoritmo de control analógico o digital apropiado.

Un motor de propulsión puede estar conectado al rectificador multipulso utilizando un convertidor de energía eléctrica interpuesta apropiado y puede ser de cualquier tipo conveniente (de inducción, síncrono, etc.). Sin embargo, debe apreciarse sin dificultad que, así mismo, pueden estar conectadas otras cargas eléctricas al rectificador multipulso de acuerdo con lo requerido.

5 El rectificador multipulso puede ser de un tipo industrial convencional o marino. La forma exacta del componente que es empleada afectará al comportamiento operativo y a la capacidad del sistema de distribución de energía eléctrica eléctrica, particularmente durante los fallos del equipamiento. El rectificador multipulso puede incorporar, o bien una serie estándar o bien una configuración paralela y emplear diodos o tiristores, por ejemplo. Si se utilizan tiristores, entonces normalmente serán accionados con el ángulo mínimo práctico de retardo de la explosión, pero, así mismo, pueden también ser controlados en fase para proporcionar unas características reguladoras protectoras o de otro tipo. Cualquiera que sea la configuración deseada y los dispositivos de energía eléctrica semiconductores entonces, en el caso de que la primera barra colectora de distribución conduzca un voltaje de distribución de ca es esencial que el sistema de control del rectificador multipulso, el diseño de conmutación del rectificador y la filtración de enlace de cc tengan en cuenta la exigencia de un equilibrio de fases en todas las líneas de ca de la primera barra colectora de distribución. Por ejemplo, cuando la configuración de una serie estándar sea utilizada, entonces se experimenta un voltaje de polarización de cc entre los grupos de fases individuales del primer devanado del estator.

El rectificador multipulso puede ser utilizado en combinación con cualquier tipo apropiado de inversor de fuente de voltaje, como por ejemplo el tipo modulado en ancho de pulsos (PWM) de dos niveles basado en el IGBT y del tipo de PWM de tres niveles, por ejemplo. Sometido a la exigencia del equilibrio de fase en las líneas de ca de la primera barra colectora de distribución, el rectificador multipulso puede, así mismo, ser utilizado en combinación con otros convertidores conocidos de frecuencia de enlace de cc inversores de fuente de la corriente. El inversor puede formar parte de un convertidor de energía eléctrica que incluya el rectificador multipulso o esté situado entre la primera barra colectora de distribución y un motor de propulsión en el caso de que la primera barra colectora de distribución conduzca un voltaje de distribución de cc, por ejemplo.

25 Dos o más rectificadores multipulso puede estar conectados a la primera barra colectora de distribución, en caso necesario.

Otros accionadores de velocidad variable multifase fijados a unos accionadores de velocidad y a unas cargas eléctricas de tipo accionador pueden estar conectados a la primera barra colectora de distribución. En el caso de que la primera barra colectora de distribución conduzca un voltaje de distribución de ca, entonces es esencial que sus rectificadores multipulso satisfagan la exigencia de un equilibrio de fase en las líneas de ca de la primera barra colectora de distribución.

Unas cargas eléctricas multifase no basadas en convertidores, pueden, así mismo, estar conectadas a la primera barra colectora de distribución. En el caso de que la primera barra colectora de distribución conduzca un voltaje de distribución de ca entonces es esencial que las cargas multifase satisfagan la exigencia del equilibrio de fase de las líneas de ca de la primera barra colectora de distribución. Así mismo, cuando la serie conectada a los rectificadores multifase extraigan energía eléctrica procedente de la primera barra colectora de distribución es esencial que dichas cargas multifase no basadas en convertidor satisfagan la exigencias necesarias para soportar el voltaje de polarización de cc que se experimenta entre los grupos de fase individuales del primer devanado del estator .

### Dibujos

40 La Figura 1 es un diagrama esquemático de un sistema marino convencional de distribución y propulsión de energía eléctrica;

la Figura 2 es diagrama esquemático de un sistema marino de distribución y propulsión de energía eléctrica de acuerdo con una primera forma de realización de la presente invención;

45 la Figura 3 es un diagrama esquemático detallado de un generador de salida doble (DOG) que incorpora una salida de ca de seis fases y una salida de ca de tres fases;

la Figura 4 es un diagrama esquemático que muestra una cancelación de fase armónica;

la Figura 5 es un diagrama esquemático detallado de un DOG que incorpora una salida de ca de doce fases y una salida de ca de tres fases; y

50 la Figura 6 es un diagrama esquemático de un sistema marino de distribución y propulsión de energía eléctrica de acuerdo con una segunda forma de realización de la presente invención con una arquitectura de distribución de cc.

Aunque la descripción que sigue tiene por objeto unos sistemas de distribución de energía eléctrica para aplicaciones marinas y, en particular, a unos sistemas de distribución y propulsión de energía eléctrica que están muy especialmente indicados para artefactos marinos comerciales, buques y submarinos navales, debe entenderse, sin dificultad, que puede ser utilizada una topología y un procedimiento de control similares en otros tipos de

sistemas de distribución de energía eléctrica eléctrica, como por ejemplo en sistemas basados en aeronaves o con base en tierra.

La Figura 2 muestra un primer sistema marino de distribución y propulsión de energía eléctrica de acuerdo con la presente invención. El sistema utiliza unos generadores de ca de salida doble (DOGs) que incorporan dos devanados del estator multifase galvánicamente aislados, estando cada devanado del estator conectado a una carga independiente.

Un generador principal de salida doble, DOG1, de ca diesel y un generador auxiliar de salida doble DOG2 de ca diesel suministran cada uno energía eléctrica de ca a un primer tablero de distribución de voltaje medio o barra colectora MVAC1 a partir de uno de sus múltiples devanados del estator multifase y suministran energía eléctrica de ca a un primer tablero de distribución de bajo voltaje o barra colectora de distribución LVAC1 a partir del otro de sus devanados del estator multifase. De manera similar, un generador principal de salida doble, DOG3, de ca diesel y un generador auxiliar de salida doble, DOG4, de ca diesel suministran ambos energía eléctrica de ca a un segundo tablero de distribución de voltaje medio o barra colectora de distribución, MVAC2, a partir de uno de sus múltiples devanados del estator multifase y suministran energía eléctrica de ca a un segundo tablero de distribución o barra colectora de bajo voltaje, LVAC2, a partir del otro de sus devanados del estator multifase. Debe apreciarse sin dificultad que cada devanado del estator de cada generador de salida doble proporciona un voltaje de salida de ca diferente (por ejemplo, 6,6 kV y 440 V o, en el caso de que las barras colectoras de voltaje medio conduzcan un bajo voltaje, 690 V y 440 V).

Se elimina la necesidad de un transformador entre las barras colectoras de medio y bajo voltaje, mejorando de esta manera la eficiencia del sistema global de distribución y propulsión de energía eléctrica marina reduciendo al mismo tiempo el ruido, la vibración, el volumen y la masa de la maquinaria.

Las barras colectoras de voltaje medio conducen un voltaje de distribución de ca de voltaje medio (MV) (por ejemplo, 6,6 kV, 60 Hz) y están equipadas con un equipo de conmutación y distribución protector. El equipo de conmutación y distribución protector comprende unos interruptores automáticos y unos controles asociados y están representados en la Figura 2 por el símbolo x. Las barras colectoras de voltaje medio, MVAC1 y MVAC2 están interconectadas por un equipo de conmutación y distribución protector. Podrá apreciarse sin dificultad que las barras colectoras de voltaje medio, MVAC1 y MVAC2, pueden conducir cualquier voltaje apropiado (incluyendo un bajo voltaje, por ejemplo 690 V, 60 Hz) y que dichas disposiciones se incluirían en el alcance de la presente invención.

Los generadores principal y auxiliar de salida doble, DOG1, DOG2, de ca diesel están conectados a la primera barra colectora de voltaje medio, MVAC1, mediante un equipo de conmutación y distribución protector. De manera similar, los generadores principal y auxiliar de salida doble, DOG3, DOG4, de ca diesel están conectados a la segunda barra colectora de voltaje medio, MVAC2, mediante un equipo de conmutación y distribución protector. Las secciones separadas de cada barra colectora de voltaje medio y las propias primera y segunda barras colectoras de voltaje medio pueden, por tanto, ser aisladas de forma selectiva entre sí bajo determinadas condiciones operativas. El funcionamiento como islas únicas y múltiples del sistema de distribución y propulsión marino de energía eléctrica es, por tanto, posible, utilizando un número apropiado de generadores de salida doble (o múltiple) de ca, barras colectoras de voltaje medio y secciones de barras colectoras.

Cada uno de los primero y segundo sistemas de accionamiento de propulsión incluye un convertidor de energía eléctrica, PC, que se utiliza para situar en contacto las barras colectoras de voltaje medio, MVAC1 y MVAC2, con un motor de propulsión, PM, de ca que acciona un propulsor. El sistema de propulsión y distribución de energía eléctrica marino incluye así mismo unos primero y segundo sistemas de accionamiento de empuje. Cada sistema de accionamiento de empuje incluye un convertidor de energía eléctrica eléctrica, PC, que es utilizado para poner en contacto las barras colectoras de voltaje medio, MVAC1 y MVAC2, con un motor de empuje, TM, que acciona un propulsor. Cada convertidor de energía eléctrica, PC, mostrado en la Figura 2, incluye un rectificador de 12 pulsos, un enlace de cc y un inversor. Sin embargo, en una disposición alternativa, en la que los primero y segundo sistemas de accionamiento de propulsión incluyen unos motores de propulsión de cc o unos motores de empuje, entonces cada convertidor de energía eléctrica, PC, incluirá solo un rectificador de 12 pulsos.

Los generadores principal y auxiliar de salida doble, DOG1, DOG2, de ca diesel están conectados con una primera barra colectora de bajo voltaje, LVAC1, mediante un equipo de conmutación y distribución protector. De manera similar, los generadores principal y auxiliar de salida doble, DOG3, DOG4, de corriente alterna diesel están conectados a la segunda barra colectora de bajo voltaje, LVAC2 mediante un equipo de conmutación y distribución protector. Las barras colectoras de bajo voltaje, LVAC1 y LVAC2, están interconectadas por un equipo de conmutación y distribución protector.

Las barras colectoras de bajo voltaje, LVAC1 y LVAC2 conducen un voltaje de distribución de ca de bajo voltaje (LV) (por ejemplo, 440 V, 60 Hz) y una pluralidad de cargas no específicas, como por ejemplo sistemas de distribución de servicios de embarcaciones (denominados cargas de LVAC) están conectadas a las barras colectoras de bajo voltaje mediante un equipo de conmutación y distribución protector.

A continuación se describirán con mayor detalle las características técnicas de uno de los generadores de salida doble (DOGs) de ca con referencia a la Figura 3. El DOG incorpora un rotor (no mostrado) que es accionado por una máquina generadora de energía, por ejemplo, un motor diesel. Un primer devanado del estator incluye una pluralidad de bobinas (no mostradas) conectadas entre sí y define una primera salida de ca que presenta seis fases. El devanado del estator de seis fases presenta todas las fases enrolladas de manera que les otorga una relación operativa específica y ello es verdad aun cuando el primer devanado del estator esté dividido en o incorpore dos devanados del estator subsidiarios que estén aislados galvánicamente uno respecto de otro. Un primer devanado del estator subsidiario proporciona tres fases de la primera salida de ca y un segundo devanado del estator subsidiario proporciona tres fases de la primera salida de ca. Los primero y segundo devanados del estator subsidiarios, ofrecerán típicamente unas reactancias equilibradas y deben operar con cargas que ofrezcan unas corrientes fundamentales equilibradas, unas corrientes armónicas y unos factores de energía eléctrica fundamentales para que el proceso de cancelación de fase para que ofrezca una efectividad perfecta. El primer devanado del estator debe, por tanto, estar diseñado y construido de manera específica para satisfacer estas exigencias operativas.

Un segundo devanado del estator incluye una pluralidad de bobinas (no mostradas) conectadas entre sí y define una segunda salida de ca que presenta tres fases. Los primero y segundo devanados del estator están galvánicamente aislados uno de otro. Más en concreto, el segundo devanado del estator está galvánicamente aislado de los primero y segundo devanados del estator subsidiarios que forman, en conjunto, el primer devanado del estator.

Aunque los principios básicos de la cancelación de fase armónica y del desplazamiento de fase son bien conocidos, el desplazamiento de fase específico que se utiliza en la presente invención requiere una explicación detallada adicional que se ofrece a continuación. Tal y como se muestra en la Figura 3, los dos grupos de tres fases de la primera salida de ca están desfasados de forma simétrica alrededor de la segunda salida de ca de tres fases. Más en concreto, tres fases de la primera salida de ca que son suministradas por el primer devanado del estator subsidiario están desfasadas en un ángulo de + 15 grados con respecto a las tres fases de la segunda salida de ca y las otras tres fases de la primera salida de ca que son suministradas por el segundo devanado del estator subsidiario están desfasadas en un ángulo de - 15 grados con respecto a las respectivas tres fases de la segunda salida de ca.

Los ángulos de desplazamiento de fase son aplicados con respecto a los componentes fundamentales de los voltajes del estator y, son seleccionados de manera específica para provocar que los voltajes armónicos 5º y 7º (esto es, los órdenes armónicos 5 y 7) del primer grupo de tres fases de la primera salida de ca estén en antifase con los respectivos voltajes armónicos 5º y 7º del segundo grupo de tres fases de la primera salida de ca. Hay un desplazamiento de fase relativo de 30 grados entre estos voltajes fundamentales, un correspondiente "plus" de 30 grados en el desplazamiento de fase de  $5 \times 30 = 180$  grados entre los voltajes armónicos 5º y un correspondiente "minus" de 30 grados en el desplazamiento de fase de  $7 \times 30 = - 180$  grados entre los voltajes armónicos 7º; estando asociados los términos de 30 grados de "plus" y "minus" con la secuencia negativa o el voltaje armónico 5º y la secuencia positiva del voltaje armónico 7º, respectivamente. Dado que los voltajes armónicos están en antifase, todas las corrientes armónicas que proceden de la carga de 12 pulsos circulan entre dos grupos de tres fases de la primera salida de ca sin acoplamiento dentro del devanado del rotor de los DOGs hasta un grado significativo. Al quedar situado de forma simétrica entre los dos grupos de tres fases de la primera salida de ca, y como resultado de su falta de acoplamiento dentro de los rotores, la segunda salida de ca no está acoplada a la primera salida de ca en los voltajes armónicos 5º y 7º.

La cancelación y el acoplamiento de fase pueden ser analizadas en mayor medida con referencia a la Figura 4, en la cual el primer devanado del estator subsidiario que suministra las primeras tres fases de la primera salida de ca está marcado como Estator 1 / 1 y el segundo devanado del estator subsidiario que suministra las segundas tres fases de la primera salida de ca está marcado como Estator 1 / 2. El segundo devanado del estator que suministra la segunda salida de ca está marcado como Estator 2. De acuerdo con lo descrito con anterioridad, los 5º y 7º voltajes armónicos circulan en antifase entre los primero y segundo devanados del estator subsidiarios Estator 1 / 1 y Estator 1 / 2. Los primero y segundo devanados del estator subsidiarios Estator 1 / 1 y Estator 1 / 2 están, de manera inherente perfectamente acoplados debido a que, en conjunto definen el primer devanado del estator. En consecuencia, existe una mínima fuga de los voltajes armónicos 5º y 7º dentro tanto del devanado del rotor como del segundo devanado del estator Estator 2 que proporciona la segunda salida de ca. La forma simplificada de fase única ha sido utilizada en la Figura 4 por razones de claridad. Sin embargo, en la práctica debe sin dificultad apreciarse que los primero y segundo devanados del estator subsidiarios Estator 1 / 1 y Estator 1 / 2, el segundo devanado del estator Estator 2 tendrán, cada uno, tres fases respectivas, y las relaciones de fase para las respectivas primeras fases que se muestran en la Figura 4 serán, así mismo, mantenidas entre las respectivas primera y segunda fases. Los ángulos mostrados en la Figura 4 son aplicables a la frecuencia fundamental del estator y el experto en la materia entenderá que los ángulos físicos equivalentes dependerán de los polos del rotor.

La primera salida de ca está conectada a una barra colectora de voltaje medio de seis fases que pueden ser la primera o la segunda barra colectora de voltaje medio, MVAC1, MVAC2 mostradas en la Figura 2. Más en concreto, la barra colectora de voltaje medio incluye una primera barra colectora de ca, AC1, que conduce las tres fases de la primera salida de ca que son suministradas por el primer devanado del estator subsidiario y una segunda barra

colectora de ca, AC2, que conduce las tres fases de la primera salida de ca que son suministradas por el segundo devanado del estator subsidiario. En la Figura 3, la barra colectora de voltaje medio es marcada como una barra colectora de propulsión de MVAC porque está destinada a ser utilizada para suministrar energía eléctrica a los sistemas de accionamiento de propulsión. Dos rectificadores de 12 pulsos están conectados a la barra colectora de voltaje medio por medio de un equipo de conmutación y distribución protector. Un primer terminal de entrada de ca de cada rectificador de 12 pulsos está conectado a la primera barra colectora de ca, AC1 y un segundo terminal de entrada de ca para cada rectificador de 12 pulsos está conectado a la segunda barra colectora de ca, AC2.

Los rectificadores de 12 pulsos forman parte de los sistemas de accionamiento de propulsión y de motores de empuje. Más en concreto, los rectificadores de 12 pulsos forman parte integrante de los convertidores de energía eléctrica eléctrica, PC, mostrados en la Figura 2. Los terminales de cc de cada rectificador de 12 pulsos están conectados al motor de propulsión PM, de ca asociados y al motor de empuje, TM, de ca por medio de un enlace de cc y de un inversor de 12 pulsos (no mostrado).

La Figura 3 muestra una conexión en serie de 12 pulsos pero se apreciará sin dificultad que puede, así mismo, ser utilizada una conexión en paralelo.

Los voltajes armónicos 5º y 7º que son extraídos por los rectificadores de 12 pulsos circulan a través del DOG de acuerdo con el principio de desplazamiento de fase bien conocido que se describió con anterioridad, y ello significa que el rotor DOG no experimenta en ningún grado significativo o problemático los efectos adversos y problemáticos del voltaje armónico 6º que están asociados con los sistemas de rectificador de 6 pulsos de tres fases. Los componentes armónicos de orden más alto no se benefician de la cancelación de fase y el rotor del DOG experimentará, por tanto, los efectos de los duodécimo, décimooctavo, vigésimocuarto voltajes armónicos, pero estos no se consideran como especialmente problemáticos.

La segunda salida de ca está conectada a una barra colectora de bajo voltaje de tres fases que puede ser la primera o la segunda barra colectora de bajo voltaje, LVAC1, LVAC2, mostradas en la Figura 2. Aunque la segunda salida de ca contendrá un voltaje armónico mínimo 5º y 7º como resultado del desplazamiento de fase, undécimo, décimotercero, décimosexto, décimonoveno, vigésimotercero ... voltajes armónicos están presentes dado que también están presentes en las corrientes de línea del rectificador. Estos componentes armónicos pueden ser moderados mediante el empleo de rectificadores de puente de diodos y mediante el incremento de la reactancia de conmutación de seis fases del DOG. Si se requiere una mayor atenuación, entonces una batería de condensadores puede estar conectada a la segunda salida de ca con el fin de proporcionar una respuesta de filtro paso bajo en combinación con la reactancia de la fuga de seis fases a tres fases del DOG, proporcionando de esta manera la atenuación deseada de los componentes armónicos de orden más elevado. Dicha batería de condensadores de muestra en las Figuras 2 y 3 y proporcionaría una excitación del estator beneficiosa.

La Figura 5 muestra la cancelación de fase para una disposición alternativa en la que el primer devanado del estator de cada uno de los DOGs define una primera salida de ca que presenta doce fases. El primer devanado del estator se divide en cuatro devanados del estator subsidiarios proporcionando cada uno de ellos tres fases de la primera salida de ca. Los cuatro devanados del estator subsidiarios están galvánicamente aislados unos de otros. El segundo devanado del estator define una segunda salida de ca que presenta tres fases. Los primero y segundo devanados del estator están galvánicamente aislados uno respecto de otro. Más en concreto, el segundo devanado del estator está galvánicamente aislado de los cuatro devanados del estator subsidiarios que, en conjunto, forman el primer devanado del estator .

Los cuatro grupos de tres fases de la primera salida de ca están desfasados de forma simétrica alrededor de la segunda salida de ca de tres fases. Más en concreto, tres fases de la primera salida de ca que se proporcionan mediante el primer devanado del estator subsidiario están desplazadas en un ángulo de + 25,5 grados con respecto a las respectivas tres fases de la segunda salida de ca, las tres fases de la primera salida de ca que son suministradas por el segundo devanado del estator subsidiario están desplazadas en un ángulo de + 7,5 grados con respecto a las respectivas tres fases de la segunda salida de ca, las tres fases de la primera salida de ca que son suministradas por el tercer devanado del estator subsidiario están desplazadas en un ángulo de - 7,5 grados con respecto a las respectivas tres fases de la segunda salida de ca, y las tres fases de la primera salida de ca que son suministradas por el cuarto devanado del estator subsidiario están desplazadas en un ángulo de - 22,5 grados con respecto a las tres fases de la segunda salida de ca.

La presente invención puede ser extendida de forma simétrica a cualquier pluralidad conveniente de fases para la primera salida de ca dentro de la serie 3Ne donde Ne es un número entero par y en el que los órdenes armónicos de las series 5, 7, 11, 13 hasta  $6Ne \pm 1$  se benefician de la cancelación de fase. Sin embargo, en general será poco práctico distribuir la energía eléctrica de ca con un número excesivo de fases debido a que ello supondría una exigencia de un número irracionalmente grande de barras colectoras de ca y de contactos de conmutación dentro del sistema de distribución.

La Figura 6 muestra un segundo sistema de distribución y propulsión marino de energía eléctrica de acuerdo con la presente invención. El sistema es idéntico al mostrado en la Figura 2 aparte del hecho de que la primera salida de ca suministrada por el primer devanado del estator de cada DOG es rectificado por un rectificador multipulso R antes



5 de ser suministrado a las primera y segunda barras colectoras de voltaje medio, MVDC1 y MVDC2. Las barras colectoras de voltaje medio, MVDC1 y MVDC2 representan, por tanto, una posible arquitectura de distribución de cc. Mediante el empleo de unos rectificadores R multipulso y mediante la distribución de la energía eléctrica de cc, los beneficios de la cancelación de fase pueden ser extendidos haciendo posible que el primer devanado del estator de cada DOG presente una pluralidad adecuada de fases sin incurrir en la penalización de distribuir la energía eléctrica de ca utilizando un número excesivo de fases.

10 En la disposición de la Figura 6 los rectificadores multipulso reiteran la función de los rectificadores de cada convertidor de energía eléctrica eléctrica, PC, mostrados en la Figura 2. Los rectificadores R están, de modo preferente, situados en íntima proximidad física con cada DOG. Dado que la energía eléctrica de cc es distribuida a través de las primera y segunda barras colectoras de voltaje medio, MVDC1 y MVDC2, solo un inversor I necesita ser utilizado para situarse en contacto con los motores de propulsión, PM, de ca.

15

20

**REIVINDICACIONES**

- 1.- Un sistema de distribución de energía eléctrica que comprende:
- una primera barra colectora de distribución (MVAC1);
  - una segunda barra colectora de distribución (LVAC1);
- 5 un rectificador multipulso que presenta unos terminales eléctricamente conectados a la primera barra colectora de distribución (MVAD1, MVAD2); y
- 10 un generador de salidas múltiples (DOG1) que presenta unos primero y segundo devanados del estator galvánicamente aislados, suministrando el primer devanado del estator una primera salida de ca multifase con  $n$  fases y que está conectada a la primera barra colectora de distribución (MVAC1) para suministrar un primer voltaje de distribución a la primera barra colectora de distribución (MVAC1) y suministrando el segundo devanado del estator una segunda salida de ca multifase con  $m$  fases y que está conectada a la segunda barra colectora de distribución (LVAC1) para suministrar un segundo voltaje de distribución a la segunda barra colectora de distribución (LVAC1);
- 15 en el que las  $n$  fases de la primera salida de ca están desfasadas con respecto a las  $m$  fases de la segunda salida de ca;
- caracterizado porque** una primera proporción de las  $n$  fases de la primera salida de ca está desfasada en un ángulo positivo predeterminado con respecto a las  $m$  fases de la segunda salida de ca y una segunda proporción de las  $n$  fases de la primera salida de ca está desfasada en un ángulo negativo predeterminado con respecto a las  $m$  fases de la segunda salida de ca.
- 20 2.- Un sistema de distribución de energía eléctrica de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el primer devanado del estator está dividido en dos o más devanados del estator subsidiarios, suministrando cada devanado del estator una proporción de  $n$  fases de la primera salida de ca.
- 3.- Un sistema de distribución de energía eléctrica de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el ángulo positivo predeterminado y el ángulo negativo predeterminado tienen sustancialmente la misma magnitud.
- 25 4.- Un sistema de distribución de energía eléctrica de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que  $n$  no es igual a  $m$ .
- 5.- Un sistema de distribución de energía eléctrica de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que la primera salida de ca es una salida de ca de seis fases y la segunda salida de ca es una salida de ca de tres fases.
- 30 6.- Un sistema de distribución de energía eléctrica de acuerdo con la reivindicación 5, en el que las tres fases de la primera salida de ca están desfasadas en un ángulo positivo predeterminado con respecto a la segunda salida de ca y las tres fases de la primera salida de ca están desfasadas en un ángulo negativo predeterminado con respecto a la segunda salida de ca.
- 7.- Un sistema de distribución de energía eléctrica de acuerdo con la reivindicación 6, en el que el ángulo positivo predeterminado es de aproximadamente + 15 grados y el ángulo negativo predeterminado es de aproximadamente – 15 grados.
- 35 8.- Un sistema de distribución de energía eléctrica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 5 a 7, en el que el rectificador multipulso es un recitificador de 12 pulsos.
- 9.- Un sistema de distribución de energía eléctrica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la primera salida de ca es una salida de ca de doce fases y la segunda salida de ca es una salida de ca de tres fases.
- 40 10.- Un sistema de distribución de energía eléctrica de acuerdo con la reivindicación 9, en el que las tres fases de la primera salida de ca están desfasadas en un primer ángulo positivo predeterminado con respecto a la segunda salida de ca, las tres fases de la primera salida están desfasadas en un segundo ángulo de posición predeterminada con respecto a la segunda salida de ca; las tres fases de la primera salida de ca están desfasadas por un primer ángulo negativo predeterminado con respecto a la segunda salida de ca y las tres fases de la primera salida de ca están desfasadas en un segundo ángulo negativo predeterminado con respecto a la segunda salida de ca.
- 45 11.- Un sistema de distribución de energía eléctrica de acuerdo con la reivindicación 10, en el que el primer ángulo positivo predeterminado es de aproximadamente + 25,5 grados, el segundo ángulo predeterminado es de aproximadamente + 7,5 grados, el primer ángulo negativo predeterminado es de aproximadamente - 7,5 grados, y el segundo ángulo negativo predeterminado es de aproximadamente – 22,5 grados.
- 50

12.- Un sistema de distribución de energía eléctrica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, en el que el rectificador multipulso es un rectificador de 24 pulsos.

13.- Un sistema de distribución de energía eléctrica de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, que comprende así mismo una batería de condensadores conectada a la segunda salida de ca.

5 14.- Un sistema de distribución de energía eléctrica de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que la primera barra colectora de distribución (MVAC1) conduce un voltaje de distribución de ca.

15.- Un sistema de distribución de energía eléctrica de acuerdo con la reivindicación 14, en el que el rectificador multipulso (PC) está eléctricamente conectado entre la primera barra colectora de distribución (MVAC1) y una carga eléctrica (por ejemplo, un motor de propulsión).

10 16.- Un sistema de distribución de energía eléctrica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, en el que la primera barra colectora de distribución (MVAC1) conduce un voltaje de distribución de cc y el rectificador (R) multipulso está eléctricamente conectado entre el primer devanado del estator y la primera barra colectora de distribución (MVAD1) para rectificar la primera salida de ca.

15

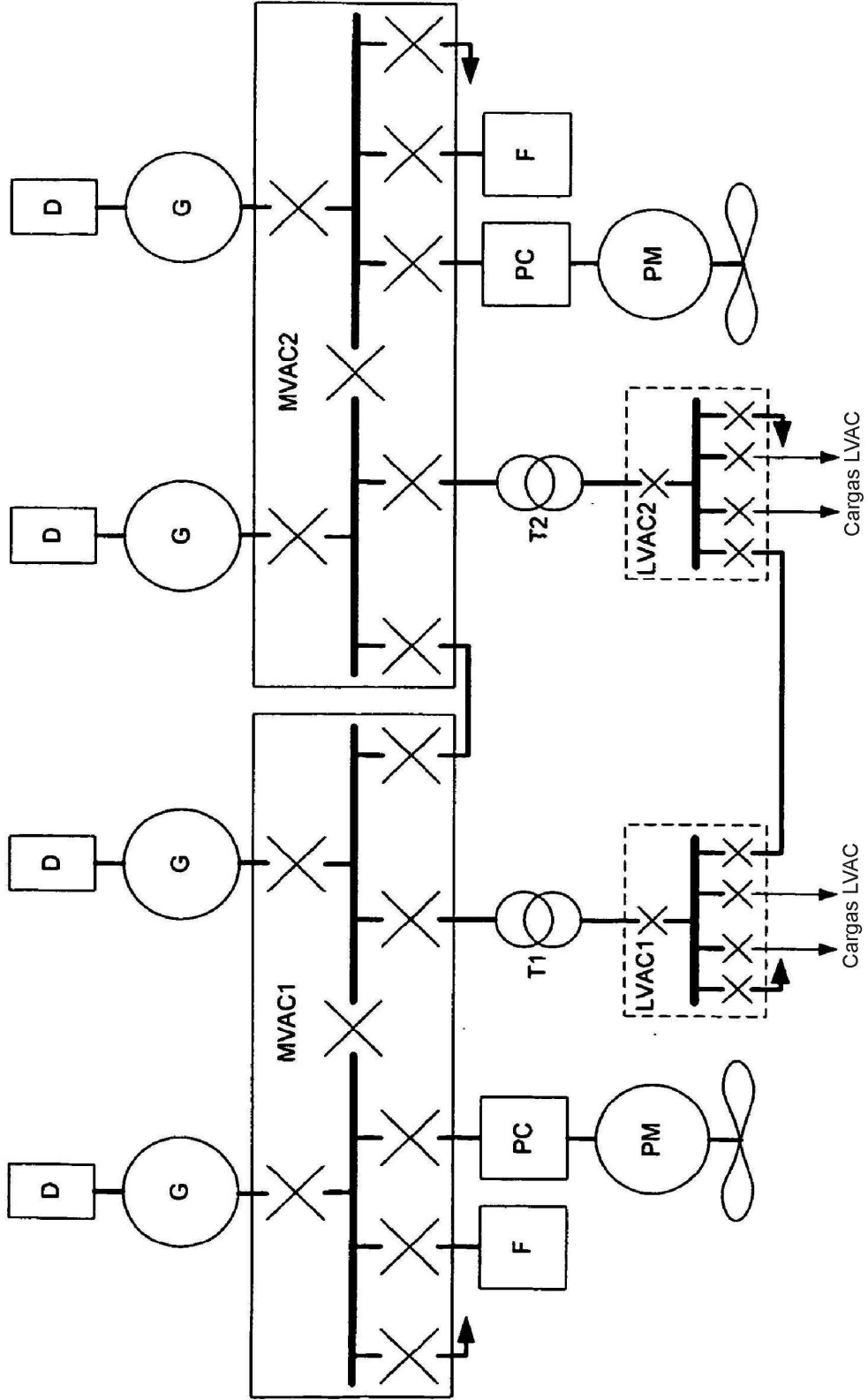


Figura 1

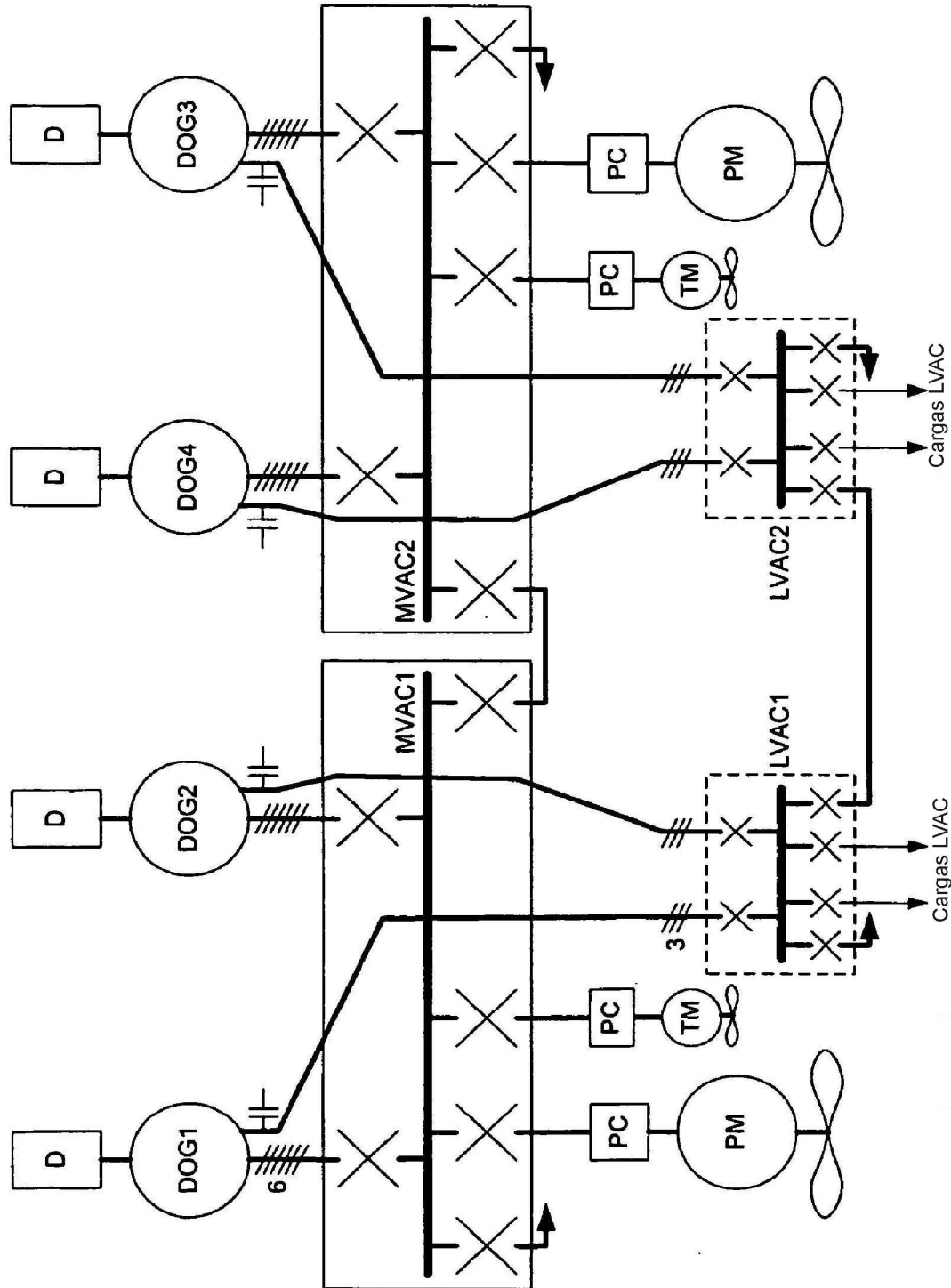


Figura 2

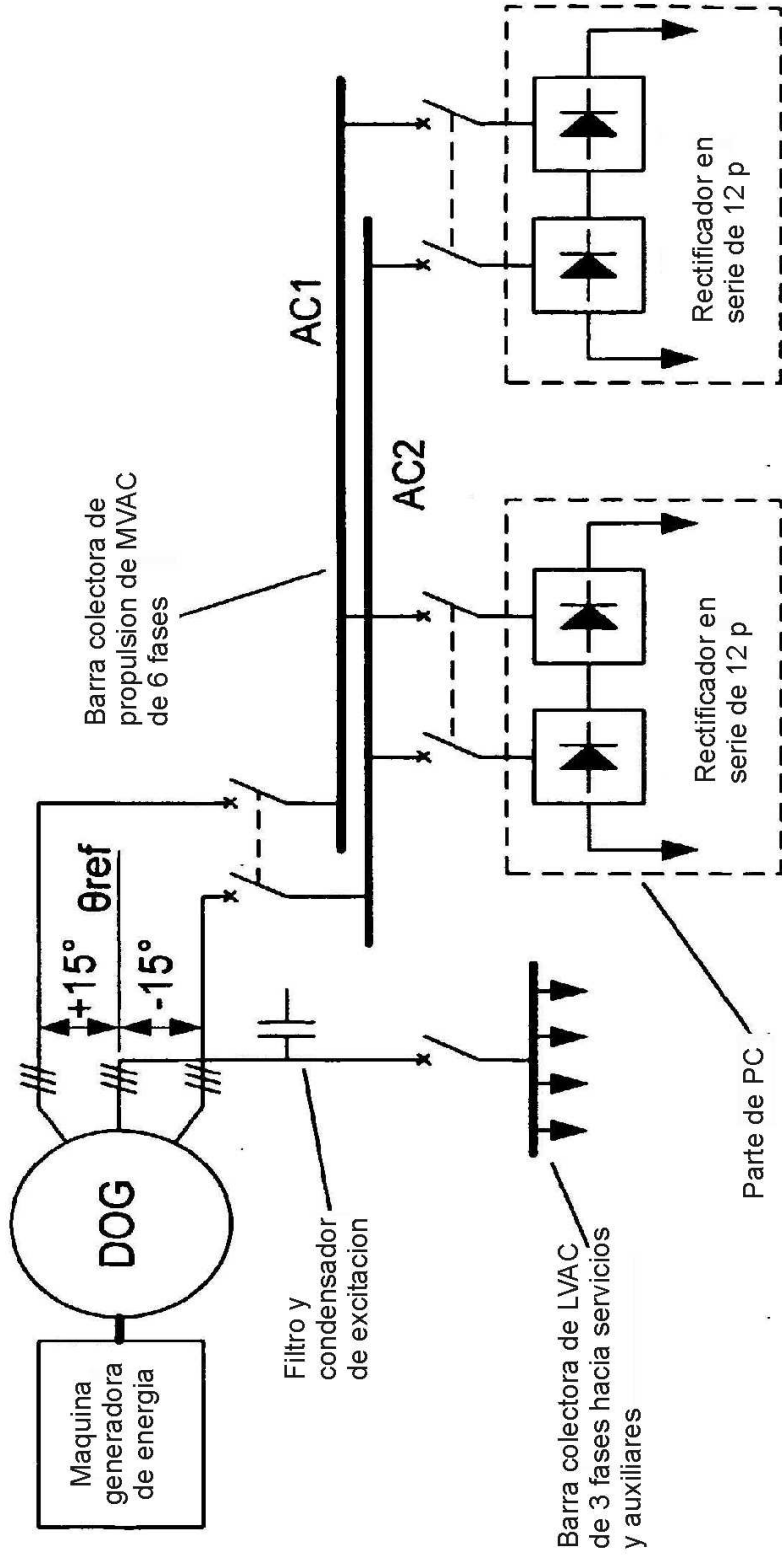


Figura 3

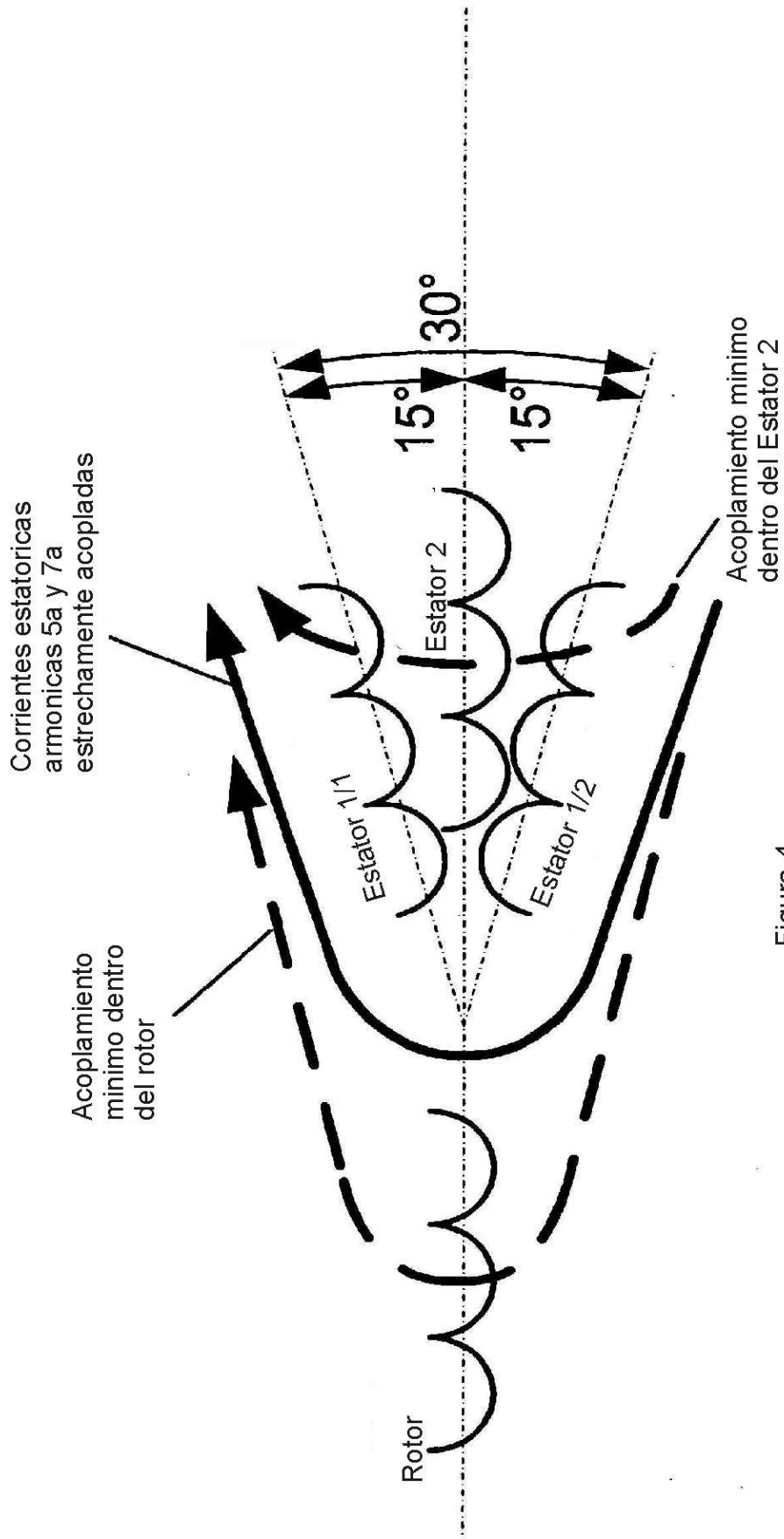


Figura 4

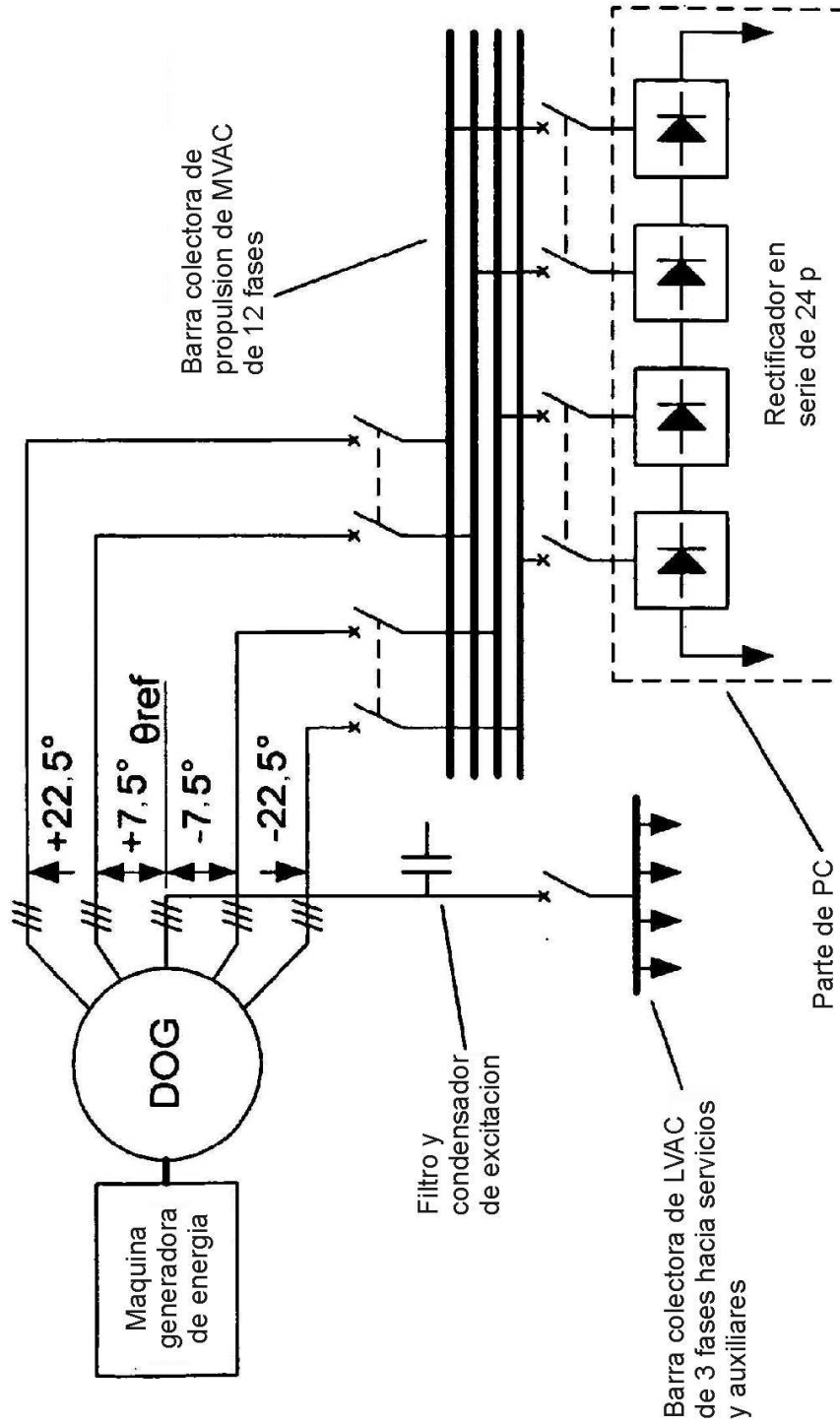


Figura 5



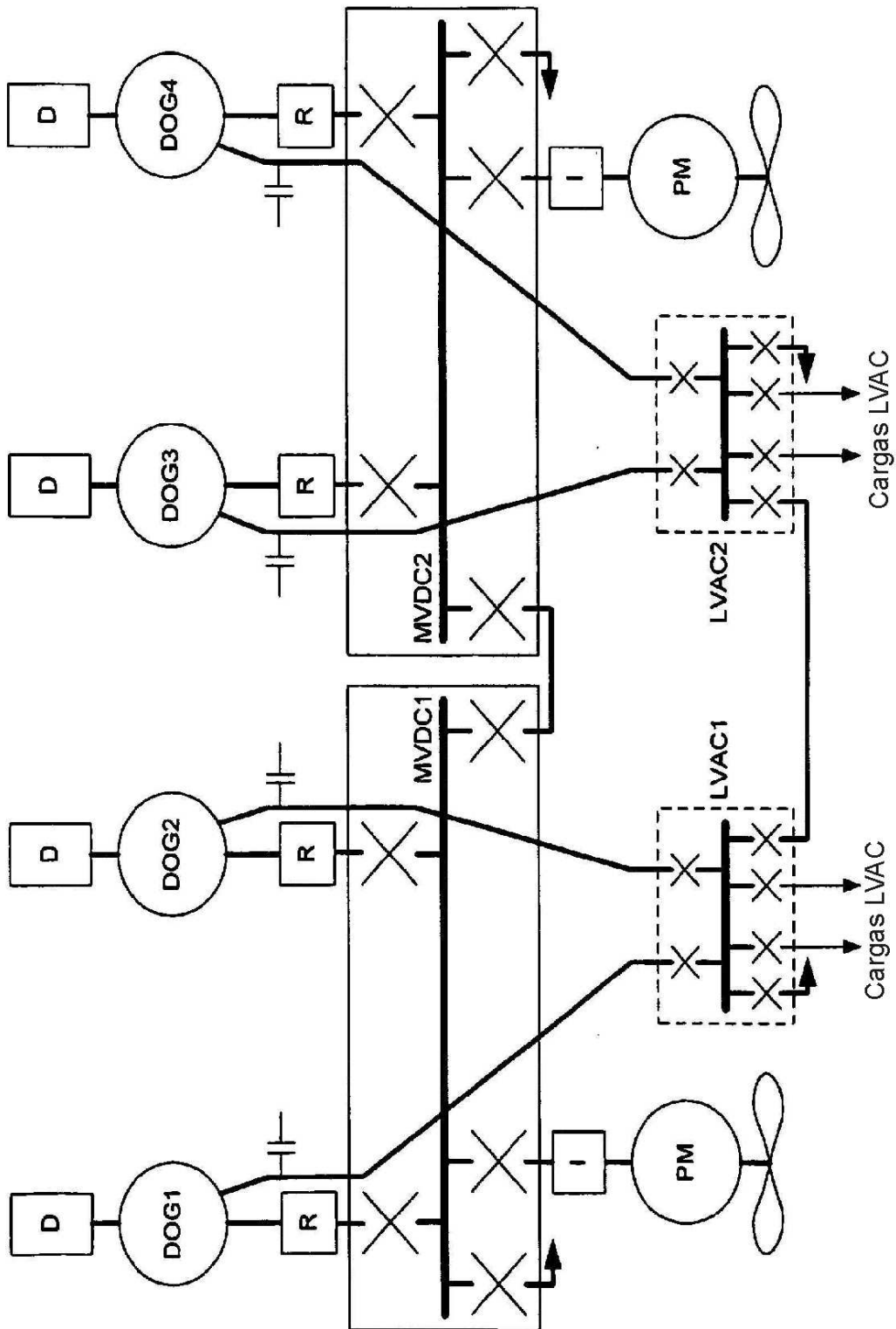


Figura 6